

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

**TAXA DE PASSAGEM EM CAPRINOS
SUBMETIDOS OU NÃO À RESTRIÇÃO ALIMENTAR**

Simone Pedro da Silva
Zootecnista

JABOTICABAL
Março de 2013

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
“JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

TAXA DE PASSAGEM EM CAPRINOS SUBMETIDOS
OU NÃO À RESTRIÇÃO ALIMENTAR

Simone Pedro da Silva

Orientadora: Prof. Dr^a. Izabelle A. M. A. Teixeira

Tese apresentada à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias – Unesp, Campus de
Jaboticabal, como parte das exigências para
obtenção do título de Doutor em Zootecnia.

JABOTICABAL

Março de 2013

Silva, Simone Pedro
S586t Taxa de passagem em caprinos submetidos ou não à restrição alimentar/ Simone Pedro da Silva. -- Jaboticabal, 2013
viii, 80 p. ; 29 cm

Tese (doutorado) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientador: Izabelle A. M. de Almeida Teixeira
Banca examinadora: Jane Maria Bertocco Ezequiel, Ricardo Andrade Reis, Mario Luiz Chizzotti, Antonello Cannas
Bibliografia

1. Ingestão. 2. Nutrição. 3. Rúmen. 4. Trato gastrointestinal
I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 636.3:636.085

Ficha catalográfica elaborada pela Seção Técnica de Aquisição e Tratamento da Informação – Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação - UNESP, Câmpus de Jaboticabal.

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

Simone Pedro da Silva filha de Maria Josefa da Silva e Francisco Pedro da Silva nasceu no dia 18 de abril de 1983 na cidade de Osasco em São Paulo. Iniciou sua graduação em Zootecnia em março de 2003 na Universidade Federal de Viçosa (UFV), colando grau no dia 25 de janeiro de 2007. Em fevereiro de 2007 deu início a pós graduação em Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa na área de nutrição e produção de ruminantes, com a obtenção do título de Mestre no dia 22 de fevereiro de 2010. Nesse mesmo ano começou o doutorado na Universidade Estadual Paulista (UNESP) em Jaboticabal na mesma área. No período de março à julho de 2012 realizou estágio no exterior sob orientação do prof^o Antonello Cannas na *Università degli studi di Sassari*, na Sardenha, Itália.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus por me conceder o dom da vida

Aos meus pais por sempre me apoiarem em tudo que faço.

Ao Manoel Eduardo por saber me ouvir, sempre estar ao um lado e acima de tudo me ensinar a amar.

À Universidade Estadual Paulista, especialmente ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade de realização desse projeto.

À Fundação de Amparo à Pesquisa no Estado de São Paulo (FAPESP) pela concessão da bolsa de estudos e pelos recursos concedidos ao projeto.

À professora Izabelle pela orientação e amizade nesses anos. Ao prof^o Antonello Cannas pela dedicação em me receber e a trabalhar nos meus dados. A Márcia pela ajuda na escrita dos artigos científicos.

Aos companheiros de experimento Amélia e Diogo que me ensinaram a trabalhar em conjunto e me fizeram crescer bastante nesse período.

Aos estagiários e bolsistas Evandro e Luanna que não pertencem mais a nossa equipe, mas que a ajuda foi essencial para condução desse projeto

Aos companheiros da cabritolândia Alana, Rafael, Fernanda, Faiado, Carla, Astrid e Rebeca pela ajuda nos abates dos animais, nas escalas de indicador e de comportamento ingestivo pelas madrugadas à fora. Sem ajuda de vocês a realização desse projeto seria impossível. Em especial à Alana por me ajudar nas leituras de itérbio no aparelho de absorção atômica.

Aos ex-membros da cabritolândia K-borja, Gracinha, Tati, Douglas que ajudaram efetivamente nesse trabalho.

Aos funcionários e colaboradores do Laboratório de Nutrição Animal: S. Orlando, Juliana, Joice e Magali pelos ensinamentos e colaboração durante a temporada de análises. Aos funcionários do Setor de Caprinocultura: Juninho e Carlinhosos pelo auxílio.

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

Muito Obrigada!

SUMÁRIO

	Página
Certificado da Comissão de Ética no Uso de Animais.....	iii
Resumo.....	iv
Abstract.....	v
Lista de Abreviaturas.....	vi
Lista de Figuras.....	vii
Lista de Tabelas.....	viii
CAPITULO 1 – CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	1
1. Introdução.....	1
2. Revisão bibliográfica.....	2
2.1.Taxa de passagem.....	2
2.2. Fatores que afetam a taxa de passagem.....	4
2.3 Mensuração da taxa de passagem.....	15
2.3.1. Metodologias diretas.....	15
2.3.2. Metodologias indiretas.....	17
2.4. Uso de indicadores para medir taxa de passagem.....	20
2.4.1. Indicadores internos.....	20
2.4.2 Indicadores externos.....	22
2.5. Fluxograma geral do trabalho.....	25
2.6. Referências.....	27
CAPÍTULO 2. CINÉTICA DA DIGESTÃO NO RÚMEN E INTESTINO GROSSO EM CAPRINOS ALIMENTADOS COM DIETA DE BAIXA FIBRA E SUBMETIDOS OU NÃO À RESTRIÇÃO ALIMENTAR.....	37
RESUMO.....	37
1.Introdução.....	38
2.Material e métodos.....	39
3.Resultados.....	43
4, Discussão.....	48
5.Conclusões.....	52
6. Referências	53
CAPÍTULO 3. TAXA DE PASSAGEM DE SÓLIDO E LÍQUIDO EM CAPRINOS DE DIFERENTES CLASSES SEXUAIS E SUBMETIDOS À	

DIFERENTES REGIMES ALIMENTARES	56
RESUMO.....	56
1. Introdução	57
2. Material e métodos	58
3. Resultados	65
4. Discussão	73
5. Conclusões	77
6. Referências	78

Certificado da Comissão de Ética no Uso de Animais



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus de Jaboticabal



CEBEA – COMISSÃO DE ÉTICA E BEM ESTAR ANIMAL

CERTIFICADO

Certificamos que o Protocolo nº 003097-09 do trabalho de pesquisa intitulado "**Estudo da taxa de passagem em caprinos**", sob a responsabilidade da Dra. Izabelle Auxiliadora Molina de Almeida Teixeira, está de acordo com os Princípios Éticos na Experimentação Animal, adotado pelo Colégio Brasileiro de Experimentação (COBEA) e foi aprovado pela COMISSÃO DE ÉTICA E BEM ESTAR ANIMAL (CEBEA), em reunião ordinária de 19 de março de 2009.

Jaboticabal, 25 de março de 2009.

Prof. Dr. Jeffrey Frederico Lui
Presidente – CEBEA

Med. Vet. Maria Alice de Campos
Secretária – CEBEA

TAXA DE PASSAGEM EM CAPRINOS SUBMETIDOS OU NÃO À RESTRIÇÃO ALIMENTAR

RESUMO - Foram realizados dois estudos, o primeiro teve como objetivo estudar se e como a classe sexual e a restrição alimentar afetam a taxa de passagem em caprinos alimentados com dieta com baixa fibra. Foram utilizados 51 caprinos da raça Saanen, sendo 18 machos não castrados, 18 machos castrados e 15 fêmeas, os quais foram sorteados segundo o tipo de restrição: ausente (RA), moderada (RM) e severa (RS). O experimento iniciou quando os animais atingiram em média 30 kg PC e finalizou quando os caprinos que receberam o tratamento RA atingiram peso corporal médio de 45 kg. Para mensuração da taxa de passagem, no rúmen, ceco e cólon, adotou-se a técnica de abate e foi utilizado como indicador interno a FDNi. Adotou-se o delineamento em blocos casualizado, em esquema fatorial 3x3 com seis repetições de machos não-castrados e castrados e cinco repetições de fêmeas. Os dados foram analisados como modelos mistos, considerando como efeitos fixos a restrição alimentar, a classe sexual e suas interações e como efeitos aleatórios os blocos e o erro. Os principais resultados foram que a restrição alimentar não afetou a taxa de passagem e turnover no rúmen ($P \geq 0,05$), por outro lado influenciou a taxa de passagem no ceco e cólon ($P < 0,05$). No segundo estudo buscou-se verificar o efeito da classe sexual e da restrição alimentar sobre a taxa de passagem de sólido e líquido em caprinos, assim como, estudar a associação entre a taxa de passagem e a digestibilidade dos nutrientes, comportamento ingestivo e distribuição das partículas no rúmen-retículo. Foram utilizados os mesmos animais do primeiro estudo. O delineamento e a análise estatística dos dados foram iguais ao estudo anterior. Para mensuração da taxa de passagem foi usado o acetato de itérbio como indicador de sólido e para taxa de passagem de líquidos foi usado o Cr-EDTA. A restrição alimentar não afetou a taxa de passagem de sólidos no rúmen ($P \geq 0,05$), mas teve efeito na taxa de passagem de líquidos em todos os compartimentos estudados, com exceção do jejuno. As contribuições de ambos os estudos foram gerar valores de taxa de passagem reais da fração sólida no rúmen e intestino grosso e da fração líquida nos diferentes compartimentos do trato digestivo. A ausência de efeito da classe sexual na taxa de passagem em caprinos na fase final de crescimento implica que um único modelo para estimar essa variável pode ser utilizado em todas as classes sexuais. Conclui-se que, em caprinos alimentados com baixa fibra na dieta, a classe sexual não influencia a taxa de passagem de sólido e líquido, bem como a degradação da fibra no rúmen e intestino grosso. Em dietas com baixo teor de fibra, a ingestão de alimentos não é o principal fator de regulação da taxa de passagem no rúmen de caprinos, demonstrando a importância das características físicas e químicas da dieta sobre os mecanismos que modificam a taxa de passagem. E que o nível de ingestão de alimento com baixo teor de fibra é fator preponderante na regulação da taxa de passagem de líquidos, Além disso, a alta proporção de partículas menores que 1,18 mm no rúmen indica que outros mecanismos, além da redução no tamanho de partículas, regulam a saída de sólidos do rúmen-retículo.

Palavras-chave: ceco, cólon, ingestão, rúmen, trato gastrointestinal

RATE OF PASSAGE IN GOATS SUBMITTED OR NOT TO FEED RESTRICTION

ABSTRACT - Two studies were conducted, the first aimed at study whether and how sex and feed restriction affects the rate of passage in goats fed with low fiber. We used 51 Saanen goats, 18 intact males, 18 castrated males and 15 females. These animals were randomly selected according to the type of feed restriction: no restriction (NR), moderate restriction (MR) and severe restriction (SR). The initial BW was of 30 kg and the trial finished when the goats NR reached 45 kg. Rate of passage in the rumen, caecum and colon was measure by the slaughter animals and neutral detergent fiber indigestible (NDFi) was adopted as the marker. Experimental design was randomized block in factorial design 3x3 with six repetitions of intact and castrated males and five repetitions for females. Data were analyzed as mixed models, considering as fixed effects feed restriction, sex and their interactions and blocks and error as random effects. The feed restriction unaffected the rate of passage in the rumen ($P > 0.05$), on the other hand influenced the passage rate ($P < 0.05$) in the caecum and colon. The objective of the second study was evaluate effect of sex and feed restriction on passage rate of solid and liquid in goats, as well as studies the association between the rate of passage and digestibility of nutrients, feeding behavior and distribution of the particles in rumen-reticulum. The animals used were same those used in the first study. Experimental design and statistical analysis were also the same as in the previous study. To measure the rate of passage ytterbium acetate was used as solid marker and Cr-EDTA as liquid marker. Feed restriction did not affect the passage rate of liquid in all compartments, except in the jejunum. Both studies contributed to produce real values of passage rate of solid in the rumen and large intestine and the passage rate of liquid in different compartments of digestive tract. The lack of effect of sex on the passage rate in goats implies that passage rate values or mathematical models constructed to estimate this variable can be used by any other sexual category. We conclude that the sex in goats not influence passage rate of solid and liquid and fiber degradation in rumen and large intestine. Feed intake is not the main factor regulating the passage rate in the rumen of goats fed low fiber what emphasize the need to consider physical and chemical characteristics of the diet. Level of feed intake is the main factor in regulating the liquids rate of passage. Moreover, the high proportion of particles smaller than 1.18 mm in rumen indicates that mechanisms besides of reducing particle size control the solids output in rumen-reticulum.

Key-words: caecum, colon, digestive tract, intake, rumen

LISTA DE ABREVIATURAS

CT	Carboidratos totais
CNF	Carboidratos não fibrosos
Cr	Cromo
EDTA	Ácido etileno diamino tetra-acético
EE	Extrato etéreo
FDA	Fibra em detergente ácido
FDN	Fibra em detergente neutro
FDNc	Fibra em detergente neutro livre de cinzas
FDNi	Fibra em detergente neutro indigestível
FDNpd	Fibra em detergente neutro potencialmente digestível
SDN	Fração solúvel em detergente neutro
GEF	Gravidade específica funcional
Kp	Taxa de passagem
Kd	Taxa de degradação
MS	Matéria seca
MO	Matéria orgânica
ORO	Orifício retículo omasal
PB	Proteína bruta
PC	Peso corporal
RA	Restrição ausente
RM	Restrição moderada
RS	Restrição severa
RR	Rúmen-retículo
T	Turnover
Yb	Itérbio

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Efeitos do período de fermentação sobre o perfil de deslocamento vertical das partículas fibrosas no retículo-rúmen.....	11
Figura 2	Espaços compartimentais e pools conceituais das partículas do alimento no rúmen-retículo.....	12
Figura 3	Curva de concentração do Itérbio nas fezes de ovinos em função do tempo transcorrido após sua administração (n=5).....	18
Figura 4	Fluxograma com diferentes fatores que afetam a taxa de passagem.....	26
Figura 5	Relação entre consumo de FDNi e a taxa de passagem (Kp) no rúmen (A), ceco (B) e cólon (C) e consumo de MS e a taxa de passagem (Kp) no rúmen (C), ceco (D) e cólon (E) de caprinos submetidos as restrições alimentares.....	48
Figura 6	Relação entre ingestão de matéria seca (%PC) e taxa e passagem (Kp) de líquidos no rúmen (A), ceco (B), cólon (C),omaso (D), abomaso (E) e jejuno (F)	67
Figura 7	Relação entre tempo em alimentação e taxa de passagem de líquido no rúmen-retículo.	71
Figura 8	Proporção das partículas pequenas (<1,18mm) (à esquerda) e grandes ($\geq 1,18$ mm) (à direita) ingeridas e presentes no rúmen-retículo de caprinos submetidos à restrição ausente (RA), restrição moderada (RM) e restrição severa (RS).	72

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Alguns trabalhos científicos que avaliaram taxa de passagem da forragem em caprinos.....	4
Tabela 2	Principais resultados de trabalhos científicos em que as relações entre consumo, digestibilidade e taxa de passagem da dieta foram avaliados.....	7
Tabela 3	Composição química bromatológica dos ingredientes e da dieta experimental.....	40
Tabela 4	Peso corporal e consumo dos nutrientes por caprinos de diferentes classes sexuais sob restrição alimentar.....	45
Tabela 5	Taxa de passagem, turnover, taxa de digestão, digestibilidade da FDNpd e FDNc e pH no rúmen e ceco de caprinos submetidos à restrição alimentar.....	46
Tabela 6	Composição da digesta do rúmen, ceco e cólon em caprinos submetidos à restrição alimentar.....	47
Tabela 7	Taxa de passagem de sólido e de líquido e turnover em caprinos submetidos à restrição alimentar.....	66
Tabela 8	Efeito da restrição alimentar e da classe sexual no peso corporal, consumo de nutrientes, digestibilidade aparente total e consumo de água em caprinos.....	69
Tabela 9	Efeito da restrição alimentar no comportamento ingestivo de caprinos.....	70
Tabela 10	Partículas grandes ($\geq 1,18$ mm) e pequenas ($< 1,18$ mm) ingeridas e presentes no rúmen retículo e índice de seletividade em caprinos submetidos a restrição alimentar.....	71

CAPÍTULO 1. Considerações gerais

1. Introdução

Estudos envolvendo taxa de passagem em ruminantes são importantes, pois esta variável está associada à ingestão voluntária de alimentos, a extensão da digestão da dieta, ao escape de proteína do rúmen, a eficiência de crescimento microbiano e a extensão da perda de metano (OKINE et al., 1998). A taxa com que a dieta é consumida pelos ruminantes e a velocidade com que o alimento é degradado e removido fisicamente do rúmen vão determinar a liberação de nutrientes para os microrganismos no rúmen, como também a quantidade de alimento que poderá ser consumido. Dessa forma, a taxa de passagem é de extrema importância para compreensão do desempenho dos animais (FAICHNEY et al., 1986).

Dentre os fatores que influenciam a taxa de passagem e são inerentes aos animais, pode-se destacar a classe sexual. Machos não castrados, castrados e fêmeas possuem exigências nutricionais diferentes (NRC, 2007). Além disso, apresentam curvas de crescimentos modificadas por ação de hormônios sexuais, que podem acarretar diferenças nos níveis de consumo e, por sua vez, influenciar a taxa de passagem do alimento pelo trato gastrintestinal. Porém, é possível que, para animais em fase final de crescimento ou em estágio de desenvolvimento posterior à puberdade, a ação hormonal não seja significativa a ponto de ocasionar modificações no consumo e na taxa de passagem, quando se comparam caprinos de diferentes classes sexuais. Dessa forma, apesar de se suspeitar que existam diferenças na taxa de passagem entre categorias sexuais, não se conhece perfeitamente a relação entre essas características.

Ao se controlar o nível de ingestão do animal é possível verificar a resposta na taxa de passagem, de forma que animais com maior consumo de alimento apresentam maior fluxo de nutrientes e, ao contrário, aqueles submetidos à restrição alimentar irão apresentar menor taxa de passagem, para reter por mais tempo o alimento, como estratégia de maior aproveitamento dos nutrientes (VAN SOEST, 1994). A retenção do alimento por mais tempo no trato gastrintestinal irá permitir que o mesmo seja digerido em sua máxima extensão possível (YANSARI et al., 2004).

A relação concentrado volumoso e a forma física da dieta também afetam a taxa de passagem (GOESTCH; GAYLEAN, 1982) de forma que animais alimentados com dieta com tamanho de partícula pequeno e baixo nível de fibra apresentam maior taxa de passagem, o que pode levar ao maior escape de material fermentescível para ser aproveitado no ceco e cólon. Porém, poucos trabalhos têm sido reportados na literatura envolvendo estudos de taxa de passagem em caprinos alimentados com pouca fibra e tamanho de partícula pequeno.

Dessa forma, objetivou-se avaliar o efeito da classe sexual e da restrição alimentar na taxa de passagem em caprinos alimentados com baixo teor de fibra na dieta.

2. Revisão de literatura

2.1. Taxa de passagem

A taxa de passagem ou de trânsito refere-se ao fluxo de resíduos não digeridos e indigestíveis através do trato digestivo em determinado tempo (VAN SOEST, 1994) Quando o alimento chega ao rúmen, está sujeito a dois mecanismos que determinam seu aproveitamento no trato gastrintestinal, a degradação e a passagem para as porções posteriores.

A importância do estudo da cinética de passagem das partículas se deve ao fato da remoção da digesta ruminal afetar a extensão da digestão protéica, a eficiência de síntese de proteína microbiana (ØRSKOV; MCDONALD, 1979), a digestão da parede celular e, conseqüentemente, a digestibilidade *in vivo* da dieta (VAN SOEST, 1994; ALLEN ; MERTENS, 1988; SNIFFEN; ROBINSON, 1987). A digestão e a passagem atuam de forma simultânea e competitiva para a remoção da digesta no rúmen, sendo necessário, então, estudar os efeitos combinados da digestão e da taxa de passagem para maximizar o consumo de nutrientes digestíveis.

Em sistemas de alimentação como NRC e CNCPS, conhecer valores de taxa de passagem é de extrema importância, pois é pré-requisito para predizer relações entre a dieta e o suprimento de nutrientes aos ruminantes de forma mais acurada (CANNAS et al., 2003; FOX et al., 2004; NRC, 2001).

A busca pela eficiência nos sistemas de produção de caprinos tem culminado no aperfeiçoamento de várias práticas de manejo, raças mais produtivas, melhorias nos aspectos nutricionais, visando aumentar a produtividade e, conseqüentemente tornar a atividade mais rentável. No entanto, os índices produtivos desses rebanhos ainda são considerados baixos, o que está associado, principalmente, ao manejo nutricional inadequado. Dessa forma, estudos envolvendo taxa de passagem podem auxiliar no entendimento dos processos envolvidos na nutrição de caprinos e, desta forma, possibilitar manejo nutricional mais eficiente para obtenção de melhores índices produtivos. Nos sistemas de alimentação (NRC, CNCPS) valores ou equações que estimem a taxa de passagem em caprinos são extrapolados de outras espécies, devido à falta de informações disponíveis na literatura sobre essa variável, sendo de grande importância a realização de trabalhos nesse sentido.

Alguns trabalhos já foram realizados com o objetivo de quantificar a taxa de passagem em caprinos com diferentes metodologias. No entanto, esses trabalhos utilizaram a metodologia indireta, com fornecimento do indicador em dose única, por meio do consumo ou através da introdução do material marcado no rúmen e posterior coleta de fezes (Tabela 1). Por outro lado, são escassos trabalhos que utilizaram a metodologia direta, como também a obtenção de valores de taxa de passagem em outros compartimentos, além do rúmen, como por exemplo, no intestino grosso. A obtenção de valores taxa de passagem no intestino grosso é importante em caprinos, pois esses animais podem ter um maior aproveitamento da fibra nesse compartimento do trato gastrointestinal.

Tabela 1. Alguns trabalhos científicos publicados que avaliaram taxa de passagem da forragem em caprinos.

Trabalhos	PC (Kg)	Raça	Metodologia	Indicador	*Kp (h ⁻¹)
SILANIKOVE et al., 1993	19,5 à 49,1	Bedouin e Saanen	Indireta Dose única (Introduziu no rúmen)	Cromo mordante	0,0242 à 0,0316
KENNEDY et al., 1992	26,2	Não mencionou	Indireta Dose única (Introduziu no rúmen)	Cromo mordante	0,0371 à 0,0495
ALCAIDE et al., 2000	40,6	Granadina	Indireta Dose única	Cromo mordante	0,024 à 0,034
HADJIGEORGIOU et al., 2003	52,8	leiteiras	Indireta Dose única	C ₃₆ alcanos	0,037 à 0,040
GIRALDEZ et al., 2006	43	Saanen	Indireta Dose única	Cr-mordante e Alcano	0,040 à 0,095**
TSIPLAKOU et al., 2011	55	Alpinas	Indireta Dose única	C ₃₆ alcanos	0,054 à 0,069

* taxa de passagem da forragem no rúmen; **mediu taxa de passagem da folha e colmo

As diferentes condições experimentais usadas para estimar a taxa de passagem não permitem comparações diretas entre os estudos, devido divergências nas metodologias adotadas, como o uso de indicadores. Além disso, o nível de ingestão, características da dieta (AITCHISON et al., 1986) e motilidade ruminal (SILANIKOVE, 1992) afetam o tempo de retenção da digesta no rúmen (TSIPLAKOU et al., 2011).

2.2 Fatores que afetam a taxa de passagem

Vários fatores influenciam a taxa de passagem, os quais podem ser classificados como inerentes à dieta ou aos animais. Dentre aqueles relativos ao animal pode-se destacar a classe sexual. Com relação aos da dieta, tem-se a natureza da mesma, tamanho e densidade das partículas e o nível de ingestão (HRISTOV, 2003; DE VEGA; POPPI, 1997). Além disso, a

estratificação das partículas no rúmen como também as contrações reticulares que afetam a abertura do orifício retículo-omasal (ORO) tem influência direta na saída da fração sólida e líquida do rúmen (SEO et al., 2009).

Nível de ingestão

A quantidade de alimento consumido é provavelmente a variável mais importante associada com o tempo de retenção de digesta no trato gastrointestinal de animais ruminantes. Alterações no tempo de retenção com variações na ingestão têm sido demonstrada em vários experimentos nos quais esses dois parâmetros foram estudados (BLAXTER 1956; SHELLENBERGER; KESLER, 1961; COLUCCI et al., 1990; DIAS et al., 2011). Esta associação é esperada, dado o fato de que, em ruminantes, o aumento na quantidade de alimento que entra no trato digestivo é seguido por expansão do rúmen e por taxa mais rápida de desaparecimento (através da digestão ou da passagem). Ambos os fenômenos podem operar ao mesmo tempo. A magnitude da resposta desses dois mecanismos provavelmente é dependente das características químicas e físicas da dieta (densidade, tamanho de partícula, parede celular, amido e proteína).

Existe forte relação entre turnover ruminal, consumo de alimento e digestibilidade (KÓVACS et al., 1998; SOLAIMAN et al., 2002; COLEMAN et al., 2003). A partir de estudos com ovinos (BLAXTER et al., 1956), novilhas leiteiras (RAKES et al., 1957) e novilhos (DIAS et al., 2011), tem-se demonstrado que a digestibilidade diminui com o aumento no consumo devido principalmente ao menor turnover da digesta no rúmen. Por outro lado, em alguns estudos com cordeiros (VARGAS et al., 1982), bovinos, ovinos, pôneis e burros (PEARSON et al., 2006) e vacas holandesas (SHELLENBERGER; KESLER, 1961), não se tem verificado efeito do nível de ingestão na digestibilidade dos nutrientes (Tabela 2). Possivelmente, pequenas depressões na digestibilidade *in vivo* aparente são difíceis de serem detectadas. Além disso, em ensaios com baixa ingestão de fibra, a ausência de efeito da ingestão na taxa de passagem pode ocasionar ausência de efeito também na digestibilidade da dieta.

Apesar de terem sido encontrados trabalhos (Tabela 2) que estudaram o efeito do nível de ingestão na taxa de passagem e digestibilidade, são

escassos os estudos que verificaram efeito do nível de ingestão de fibra na taxa de passagem. Uma vez que a quantidade de fibra ingerida vai definir a repleção ruminal, o aumento de volume do rúmen e conseqüentemente a taxa de passagem. No momento em que o rúmen aumenta de tamanho, receptores mecânicos presentes na parede do retículo são estimulados a aumentar o número de contrações ruminais (LEEK; HARDING, 1975). Esse aumento de contrações provoca incremento na motilidade ruminal, permitindo, portanto, maior escape da digesta. Segundo Balch e Campling (1962) as forças propulsoras no rúmen são o principal mecanismo que movimenta a digesta para fora do rúmen, no entanto, essas forças são influenciadas pelo volume de material dentro do compartimento.

Deste modo, compreender como o volume do rúmen, a taxa de digestão e de passagem da digesta respondem à alterações no nível de ingestão de alimentos é fundamental para conhecer o mecanismo pelo qual ocorre a degradabilidade ruminal e digestibilidade dos nutrientes (KOVÁCS et al., 1998)

Tabela 2. Principais resultados de trabalhos científicos em que as relações entre consumo, digestibilidade e taxa de passagem da dieta foram avaliados

Trabalhos	Espécie animal	Nível ingestão	FDN dieta	Digestibilidade	Kp
Shellenberger e Kesler (1961)	Vacas leiteiras	Alto e Baixo (função da produção de leite)	Não informou	Não afetou	Afetou Kp sólido
Vargas e Prigge (1982)	Cordeiros	<i>Ad libitum</i> 60% ad lib	55%	Não afetou	Afetou kp líquido Tendência kp sólidos
Firkins et al. (1986)	Novilhos	Alto (90% ad libitum) Baixo (60% ad libitum)	68%	Não afetou	Não afetou Kp sólido e líquido no rúmen
Colluci et al. (1990)	Ovelhas e vacas	<i>Ad libitum</i> manutenção	42 - 25%	Não mensurou neste trabalho	Afetou kp sólido e líquido
Okine e Mathison (1991)	Bovinos	Mantença 1,3 M 1,5 M 1,7 M	63%	Afetou Kd fdn	Afetou Kp fdn no rumen e intestine grosso
Dias et al. (2011)	Bovinos	<i>Ad libitum</i> 1.5 % PC 2.0 % PC 2.5 % PC	68.8%	Afetou	Afetou kp sólido Tendência kp líquido

M, manutenção, PC, peso corporal, Ad lib, *ad libitum*, Kp, taxa de passagem, Kd, taxa de degradação

Classe sexual

Dentre os fatores que influenciam a taxa de passagem e são inerentes aos animais, pode-se destacar a classe sexual. Machos não castrados, castrados e fêmeas possuem exigências nutricionais diferentes (NRC, 2007). Além disso, apresentam curvas de crescimento modificadas por ação de hormônios relacionados ao sexo, que podem acarretar diferenças nos níveis de consumo.

O maior consumo em machos não castrados se deve ao fato desses apresentarem maior taxa de crescimento, regulado pelo hormônio testosterona. Esse hormônio promove aumento no diâmetro das fibras musculares devido à maior síntese proteica e estímulo na proliferação das células satélites (LAWRENCE; FOWLER, 2002). Além disso, machos não castrados apresentam maior exigência de energia e proteína para crescimento (NRC, 2007) e, conseqüentemente, possuem maior consumo para atender a maior demanda por nutrientes.

Segundo Bailey e Duff (2005) machos não castrados apresentam maior consumo absoluto de matéria seca do que machos castrados e fêmeas, justamente para sustentar seu maior ganho de peso. Thonney et al. (1987) avaliaram o consumo em caprinos selvagens da costa oeste da Escócia e verificaram que os machos consumiram 1,5; 1,4 e 1,7 vezes a quantidade ingerida pelas fêmeas em três intervalos de maturidade distintos. Louca et al. (1977) estudando três categorias sexuais em cabras Damascus, obtiveram consumo dos animais castrados similar ao das fêmeas que foram inferiores ao consumo dos machos não castrados.

Considerando que o nível de ingestão é o principal fator que afeta a taxa de passagem, é possível que o maior consumo absoluto de matéria seca, em animais não castrados, possa influenciar o turnover do alimento pelo trato gastrintestinal. No entanto, em animais em fase final de crescimento ou em estágio de desenvolvimento posterior à puberdade, a ação hormonal pode não ser significativa a ponto de ocasionar modificações no consumo e na taxa de passagem, quando se comparam caprinos machos não castrados, castrados e fêmeas. Além disso, é possível que apesar de existir divergências no nível de ingestão entre as diferentes categorias sexuais, a quantidade de alimento ingerido pode não ocasionar efeito na taxa de passagem. Isso porque diferenças no nível de ingestão, entre animais de classes sexuais distintas, pode não ser grande o suficiente para afetar a taxa de passagem. Ressalta-se, ainda, que esta hipótese precisa ser testada pela experimentação científica a fim de comprovar sua veracidade.

Conhecer a relação entre a categoria sexual e a taxa de passagem é importante no sentido de que se for confirmado ausência de efeito da classe

sexual na taxa de passagem, a adoção de um único modelo para todas as classes sexuais pode ser feita.

Tamanho de partícula

As partículas de alimentos que chegam ao rúmen precisam ser quebradas em partículas menores antes de fluir para o omaso (EVANS et al., 1973). A taxa de passagem de partículas do rúmen está fortemente relacionada à taxa de redução do tamanho das partículas pelo animal (ULYATT et al., 1986).

Sob condições normais, o tamanho de partículas é reduzido durante os processos de mastigação inicial, ruminação, fricção da digesta pelos movimentos ruminais, ação microbiana e digestão (LUGINBUHL et al., 1990). Destes, a ruminação é o principal meio de redução do tamanho de partícula, que depende da eficiência mastigatória.

As partículas grandes dificultam o acesso dos microrganismos ao interior da célula para realizar a degradação e fermentação devido à menor área de superfície exposta (KOVÁCS et al., 1998) e à menor quantidade de reentrâncias e fissuras nas camadas envoltórias do conteúdo celular, que possibilitam a colonização inicial. Além disso, partículas maiores aumentam o tempo necessário à ruminação, possuem menor gravidade específica funcional (GEF) e formam uma malha suspensa no interior do rúmen-retículo (RR). Tais fatores aumentam o volume e reduzem a capacidade de renovação do conteúdo do rúmen-retículo (RR), fazendo com que o desempenho animal seja prejudicado pelo menor nível de ingestão.

O conceito de tamanho de partícula crítico proposto por Poppi et al. (1980) é baseado no fato de que cerca de 95% das partículas presentes no intestino e nas fezes são menores que 1,18 mm em ovinos. Nesse conceito, o orifício retículo-omasal (ORO) funciona como uma peneira para filtrar as partículas, sendo que a passagem por esse orifício é o maior limitante para passagem da digesta para fora do rúmen-retículo (RR). Porém, esse tamanho crítico de partículas não é constante (VAN SOEST, 1988), pode aumentar ou diminuir em função da moagem da forragem e também do nível de consumo.

Embora o tamanho de partícula seja um pré-requisito para a passagem da digesta para fora do rúmen-retículo, apenas a redução no tamanho de

partícula parece não ser o limitante para liberação da digesta do rúmen. Foi verificado no rúmen que mais da metade da matéria seca atravessa a peneira de 600 micras. Isso pode ser explicado pelo fato de que o sobrenadante formado pelas partículas grandes aprisiona partes das partículas pequenas e evitam que essas escapem do rúmen, através do efeito denominado “*filter-bed*” (FAICHNEY, 1986). Possivelmente, a outra parte dessas partículas pequenas, com densidade maior, depende das contrações ruminais e da abertura do ORO para deixar o rúmen. Logo, são diversos os fatores que definem simultaneamente a saída da digesta do RR.

Densidade

A gravidade específica funcional (GEF) das partículas representa a gravidade específica das partículas do alimento associada com espaços de ar e ligações com água (HOOPER; WELCH, 1985).

Normalmente, as partículas de forragem apresentam gravidade específica entre 0,6 a 0,7 g/mL (HOOPER; WELCH, 1985), enquanto as de concentrado variam de 1,3 a 1,6 g/mL. Ao chegarem ao rúmen, as partículas tendem a aumentar de densidade, pois começa a ocorrer eliminação dos gases e hidratação da partícula com água. A mastigação e ruminação destroem a integridade física das partículas, reduzem o seu tamanho e aumentam sua GEF.

Na Figura 1 é possível verificar o efeito da densidade na degradação dos carboidratos fibrosos. As partículas fibrosas recém-chegadas ao rúmen permanecem em posição dorsal e estão repletas de gases, como dióxido de carbono e metano (círculos brancos) oriundos da degradação da FDN_{pd} (FDN potencialmente digestível; círculos tracejados). À medida que a FDN_{pd} é degradada, reduz-se a produção de gases e amplia-se a concentração relativa da fração indegradável da FDN (FDN_i, círculos negros), normalmente mais densa. Esta dinâmica leva à migração gradativa da partícula para posições mais ventrais, o que aumenta significativamente a probabilidade dessa ser deslocada ao trato gastrointestinal posterior (ALLEN, 1996; PAULINO et al., 2006).

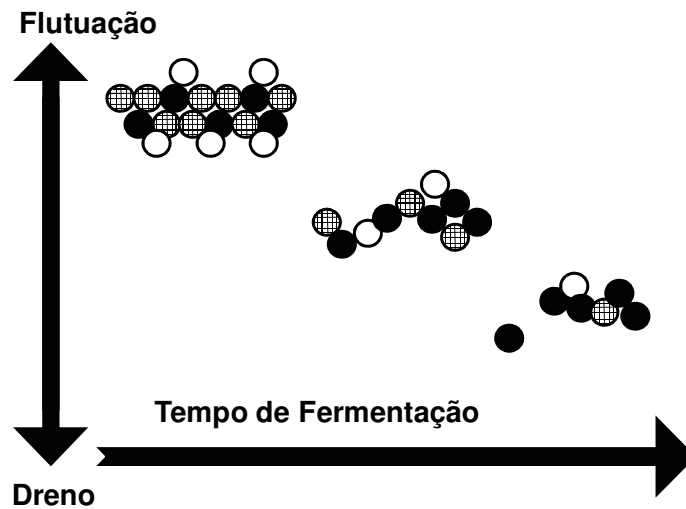


Figura 1. Efeitos do período de fermentação sobre o perfil de deslocamento vertical das partículas fibrosas no retículo-rúmen. Adaptado de Allen (1996).

Após as partículas apresentarem tamanho e densidade adequados para deixar o RR, a saída dessas partículas vai depender da abertura do ORO, que por sua vez, depende das contrações reticulares. Segundo o modelo conceitual de Seo et al. (2009), a motilidade do RR controla o fluxo de saída do rúmen baseado na retenção seletiva das partículas pequenas e grandes em três compartimentos diferentes do RR.

Estratificação das partículas no rúmen-retículo

O modelo conceitual de Seo et al. (2009), desenvolvido para bovinos, representa a dinâmica das partículas no rúmen-retículo (RR), ajudando a entender como se dá o escape das partículas sólidas para fora desse compartimento. Esse modelo consiste de três espaços compartimentais (rúmen dorsal, ventral e retículo) e dois pools conceituais (pool escapável e não escapável) (Figura 2).

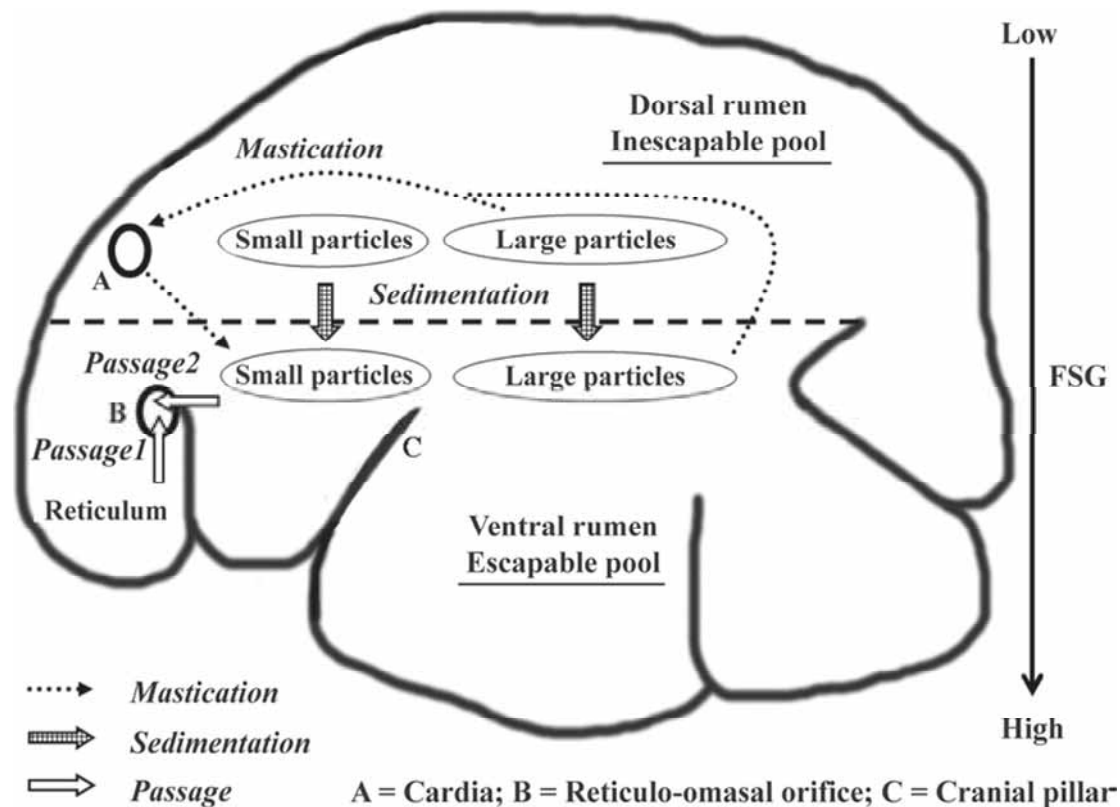


Figura 2 - Espaços compartimentais e pools conceituais das partículas do alimento no rúmen-retículo (Seo et al., 2009).

O modelo assume que dentro dos três compartimentos existem dois tamanhos de partículas: grande e pequena (BALDWIN et al., 1977; SAUVANT et al., 1996). As grandes partículas são definidas como retidas nas peneiras 1,18 mm após “*wet sieving*” e responsáveis por estimular a ruminação. As partículas pequenas são menores que 1,18 mm e não estimulam a ruminação.

As partículas no pool não escapável são formadas pelas partículas grandes, que possuem maior flutuabilidade, em função da menor gravidade específica funcional (GEF). No pool escapável estão presentes as partículas de menor tamanho e com maior GEF.

A passagem das partículas do pool não escapável para o escapável se dá através de vários mecanismos, um deles é a redução no tamanho da partícula, por meio da mastigação, durante a alimentação e ruminação. Além disso, durante a fermentação microbiana, espaços com ar, presentes dentro da estrutura física das partículas, vão sendo preenchidos por água, o que aumenta

sua GEF. Nesse momento, essas partículas com maior GEF e menor tamanho passam para o pool escapável.

Porém, no pool escapável, nem todas as partículas tem a mesma chance de deixar o rúmen-retículo pelo ORO. Apenas aquelas localizadas no retículo passam pelo ORO em direção ao omaso (BAUMONT; DESWYSEN, 1991; LECHNER-DOLL et al., 1991). Além disso, são necessárias contrações reticulares primárias, mediadas pelo fluxo de líquidos para forçar a abertura do ORO para que essas partículas deixem o RR (SEO et al., 2009).

Portanto, a segregação de partículas vai ocorrer em função do tamanho de partícula e GEF diferentes. A digesta presente no retículo apresenta essas duas características bastante homogêneas, dependendo das contrações reticulares primárias para deixar o RR. No entanto, estudos têm reportado que o ORO permanece parcialmente aberto (BALCH et al., 1951; SEO et al., 2007) nos períodos entre as contrações, o que significa que parte das partículas presentes no pool escapável pode deixar o rúmen, sem precisar da ação direta da ação contrações reticulares primárias e do fluxo de líquido.

Existem contradições sobre a existência da retenção seletiva de partículas no rúmen, com a estratificação das partículas grandes e pequenas nos caprinos. Segundo alguns autores (HOFMANN, 1973; NYGREN; HOFMANN, 1990; RENECKER; HUDSON, 1990; CLAUSS, 1998) não existe estratificação da digesta no rúmen das espécies de selecionadores de concentrado. O rúmen desses animais consiste de uma mistura homogênea e espumosa e nesse meio parece impossível a flutuabilidade e aprisionamento seletivo das partículas, como nos pastejadores (CLAUSS; LECHNER-DOLL, 2001).

No entanto, existe a dúvida se em caprinos (selecionadores intermediários), classificados entre os pastejadores e selecionadores de concentrados, haveria essa retenção seletiva de partículas no rúmen. Portanto, é importante o desenvolvimento de estudos para verificar a existência da estratificação de partículas no rúmen de caprinos alimentados com diferentes fontes de volumosos e concentrados.

Contrações e abertura do ORO

Após a partícula atingir tamanho e densidade necessários para atravessar o ORO, as contrações são importantes para forçar a saída dessas partículas para fora do RR. Segundo REID (1984), LECHNER-DOLL et al. (1991) e BAUMONT e DESWYSEN (1991), apenas as partículas presentes no retículo após a primeira fase da contração reticular primária deixam o RR, por meio da segunda fase da contração reticular primária (SEO et al., 2009).

As contrações reticulares primárias (CRP) são mediadas pela taxa de passagem de líquidos que forçam a abertura do ORO para que as partículas deixem o RR (SEO et al., 2009). Essas CRP são influenciadas pelo comportamento mastigatório do animal e, portanto, são caracterizadas para cada atividade mastigatória (alimentação, ruminação e ócio). Equações empíricas foram desenvolvidas por Seo et al. (2007) para estimar a frequência, duração e amplitude das CRP em vacas durante alimentação, ruminação e ócio.

O orifício retículo omasal (ORO) tem papel extremamente importante na regulação do fluxo de líquido e sólidos que saem do rúmen. A abertura desse orifício é controlado por uma série de contrações reticulares discutidas anteriormente.

No entanto, não existe uma definição do tempo de abertura e do tamanho desse orifício completamente aberto. Estudos têm reportado que o ORO permanece parcialmente aberto (BALCH et al., 1950; SEO et al., 2007) nos períodos entre as contrações, o que significa que grande parte das partículas presentes no pool escapável pode escapar do RR, sem precisar da ação direta das contrações reticulares primárias e do fluxo de líquido. No entanto, são necessários trabalhos com caprinos para verificar a abertura máxima do ORO durante as contrações, como também qual seria o tamanho desse orifício nos períodos entre as contrações.

Também, mais estudos precisam ser realizados para associar a taxa de passagem de líquidos com a abertura do ORO, que depende das contrações primárias. Estudos que mensuram as contrações podem ser feitos com animais fistulados, através do uso de sensores Hall (movimentos mandibulares) e transdutores de pressão colocados no retículo e saco ventral. Os sinais desses sensores vão gerar curvas em função da variação de pressão no retículo e

saco ventral, sendo possível identificar a ocorrência das contrações primárias (oriundas no retículo) e secundárias (oriundas do saco ventral).

2.3. Mensuração da taxa de passagem

A mensuração da taxa de passagem de partículas e fluidos em ruminantes tem sido realizada por metodologias diretas e indiretas.

2.3.1. Metodologias diretas

As metodologias diretas consistem em realizar esvaziamento ruminal, o qual pode ser feito em animais abatidos ou através da cânula ruminal.

A técnica de esvaziamento ruminal por cânulas, apesar de ser mais comum, pode resultar em erros de estimativa de volume presente no rúmen, devido à dificuldade de obtenção de amostras representativas deste conteúdo. Além disso, como este método utiliza animais cirurgicamente modificados, tal procedimento pode alterar o funcionamento normal do rúmen (HUHTANEN et al., 2007).

A técnica que consiste no abate dos animais e na mensuração total do conteúdo dos diferentes compartimentos do trato gastrintestinal foi utilizada em 1950 por Paloheimo e Mäkelä (1959) para estimar o tempo de residência de lignina em diferentes segmentos do trato digestivo de vacas, mas tem sido pouco utilizada ultimamente pelo alto custo, além de ser muito trabalhosa. Apesar desse método ser pouco utilizado, este é considerado o método padrão, pois está menos sujeito às alterações inerentes aos animais dotados de cânulas, além de ser ferramenta válida para explorar diferenças entre espécies (CANNAS et al., 2003).

Apesar da metodologia direta com abate do animal gerar apenas uma única medida, acredita-se que ela se aproxime mais do valor real. Além disso, através dessa técnica garante-se que as funções do rúmen estão normais, o que não se pode afirmar no caso da técnica de evacuação ruminal através de cânulas.

Um pré-requisito de estimativa confiável de digestão e de parâmetros cinéticos de passagem dessa técnica é de que o rúmen deve estar em estado estacionário “*steady-state*” (HUHTANEN et al., 2007). Estado estacionário

“*steady-state*” é relativo ao período de tempo durante o qual uma função fisiológica se mantém num valor constante (*steady*) (FOX, 1991).

A principal crítica sobre a técnica de abate é obter uma amostra representativa do tamanho da digesta no rúmen com apenas uma amostragem. Huhtanen et al. (2007) verificaram que os valores de taxa de passagem para FDN digestível foram fortemente superestimados, quando a evacuação foi realizada antes da alimentação, isto é, quando o tamanho da digesta no rúmen era susceptível de estar no mínimo. O inverso era verdade, quando a evacuação foi realizada quatro horas após a alimentação, isto é, quando o tamanho do rúmen era susceptível de ser próximo do seu valor máximo. Dessa forma, quando se utiliza a técnica de abate para estimar taxa de passagem é conveniente não realizar o abate dos animais antes da alimentação nem muito tempo depois, para evitar esses pontos de grande variação do rúmen. Além disso, é importante considerar a frequência de alimentação (FROETSCHEL; AMOS, 1991), pois para se obter uma estimativa confiável do tamanho da digesta no rúmen é desejável que os animais sejam alimentados pelo menos duas vezes ao dia (HUNHTANEN et al., 2007).

Portanto, no ensaio conduzido nesse trabalho, procurou-se realizar o abate entre 2 a 3 horas após alimentação, com objetivo de evitar os pontos de enchimento máximo e mínimo do rúmen. Além disso, com a frequência de alimentação adotada, de 2 vezes ao dia, foi possível obter estimativa confiável do tamanho da digesta no rúmen.

De qualquer modo, as medições cinéticas supõem que o tamanho da digesta do rúmen e que a taxa de diluição são constantes. Essa pressuposição ignora pesquisas sobre turnos diurnos e pós-prandiais no tamanho do rúmen. No entanto, a pressuposição de *steady-state* precisa ser aceita para realizar estudos de taxa de passagem.

No caso da técnica de esvaziamento ruminal ou de abate, a infusão do indicador deve ser realizada de maneira contínua, onde o objetivo é marcar a digesta uniformemente com o indicador de modo que a proporção de digesta marcada seja constante. Depois da condição *steady-state* do indicador ser alcançada, a concentração desse indicador em qualquer compartimento será constante. Isso permite o estudo da taxa de passagem em diferentes compartimentos do trato digestivo, que pode ser calculado simplesmente

dividindo a infusão do indicador (dosagem) pela concentração do indicador no compartimento:

$$\text{Fluxo (h)} = \text{dose (mg/h)} / \text{concentração do indicador (mg)}$$

Para alcançar essa condição é necessário que as flutuações no fornecimento de ambos, indicador e dieta sejam minimizadas. Variações em ambos farão com que a concentração do indicador varie. Para proporcionar um fornecimento constante de indicador, alguns pesquisadores têm utilizado infusão automatizada contínua de Cr ou Yb diretamente em um órgão, com dispositivos que liberam esses compostos gradualmente no rúmen (OWENS; HANSON, 1992). No entanto, essa técnica só pode ser utilizada em animais fistulados.

Na técnica de abate é necessário ter cuidado em relação às amostragens que são feitas antes da concentração do indicador atingir o platô, pois isso pode subestimar a taxa de passagem. Em bovinos com consumo de ração constante, o fornecimento de indicador por 5 a 7 dias geralmente atinge platô. No entanto, mesmo dentro desse patamar, a concentração do indicador pode flutuar ao longo do dia. Vários fatores podem ser responsáveis por estas flutuações diurnas, como por exemplo, o tipo de substância utilizada. Verificaram-se concentrações fecais de Cr₂O₃ e polietileno glicol variaram drasticamente durante um período de amostragem de 24 h. Em contraste, concentrações de Yb mantiveram-se mais constantes ao longo do dia (OWENS; HANSON, 1992). Além disso, padrões de alimentação e dosagens irregulares também podem estar envolvidos nessas flutuações da concentração do indicador.

Portanto, ao adotar a técnica direta para mensurar taxa de passagem, vários cuidados precisam ser tomados com relação ao horário de alimentação, como também no fornecimento do indicador, com objetivo de evitar flutuações nas concentrações dessa substância e a geração de estimativas incorretas.

2.3.2. Metodologias indiretas

As metodologias indiretas utilizam indicadores complexados com a fração fibrosa do alimento, em procedimento de dose única, com amostragens fecais subsequentes realizadas em intervalos de tempo pré-definidos.

Posteriormente, em função do tempo transcorrido desde a administração do indicador e as coletas de fezes gera-se uma curva de concentração do indicador (Figura 3) que será ajustada a um modelo matemático (não linear). Esse modelo irá determinar parâmetros relacionados à dinâmica da passagem das partículas no trato gastrointestinal (LASCANO; QUIROZ, 1990).

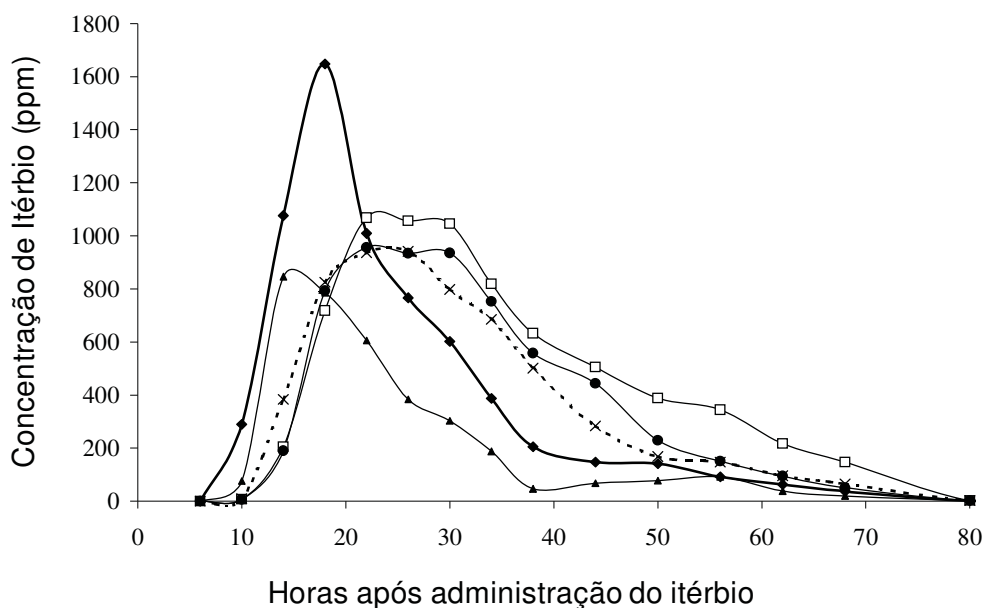


Figura 3. Curva de concentração do Itérbio nas fezes de ovinos em função do tempo transcorrido após sua administração (n=5) (Boe, 2006).

Vários modelos matemáticos têm sido utilizados para ajustar a curva de excreção do indicador nas fezes e estimar parâmetros cinéticos de passagem. Blaxter (1956) sugeriu que o trato digestivo dos ruminantes é essencialmente composto por dois compartimentos de mistura e um compartimento tubular, e que o fluxo de digesta pode ser descrito por modelo consistindo de dois termos exponenciais e um atraso de tempo.

No modelo de Grovum e Williams (1973), foi proposto o uso de dois termos exponenciais e um tempo de atraso para representar o processo, sendo possível estimar a taxa de passagem lenta (k_1) que representa a saída do

indicador do rúmen-retículo e a taxa de passagem rápida (k_2) que é passagem do indicador pelo ceco e cólon. Este modelo, embora seja o mais utilizado para as estimativas de taxa de passagem, é usado quando se considera o processo de passagem nos diferentes segmentos do trato digestivo como sendo independente do tempo de permanência nos diferentes compartimentos, ou seja, considera igual oportunidade de escape das partículas, independente do seu tempo de permanência no compartimento. Este modelo tem sido criticado por essa abordagem, devido esse mecanismo não ocorrer de fato no trato gastrointestinal dos ruminantes. As partículas que chegam ao rúmen precisam ser quebradas em partículas menores e sofrerem hidratação, sendo que esses mecanismos necessitam de tempo para ocorrer.

Dhanoa et al. (1985) relataram que alguns autores tiveram dificuldades para ajustar o modelo proposto por Grovum e Williams (1973) para curvas de excreção e propuseram o modelo que considera a dependência do tempo com abordagem matemática distinta, onde o fluxo da digesta é considerado processo exponencial multi-compartimental, com n compartimentos não-específicos.

Diferentemente dos modelos Grovum e Williams (1973) e Dhanoa et al. (1985), que consideram o rúmen como único pool, nos modelos GnG1, os ruminantes alimentados com forragem apresentam duas fases distintas no rúmen-retículo. A primeira fase sólida seria uma esteira flutuante com partículas cuja flutuabilidade promove a sua retenção seletiva no rúmen (pool não-escapável); e a segunda fase sólida com partículas menores e dispersas dentro da fase fluida (pool escapável) (BALCH; KELLY, 1950; HUNGATE, 1966; VIEIRA et al., 2008). Dessa forma, essa abordagem tenta simular o que realmente acontece no interior dos ruminantes alimentados com forragem e gerar estimativas de taxa de passagem mais precisas.

Apesar do aprimoramento dos modelos de excreção fecal do indicador, a metodologia indireta com uso de indicadores para estimar a taxa de passagem possui limitações, devido às variações no uso das técnicas, mudanças na gravidade específica e digestibilidade do alimento e migração do indicador (ÚDEN et al., 1980; EHLE, 1984; BEAUCHEMIN; BUCHANAN-SMITH, 1989; COMBS et al., 1992).

Nesse sentido, a mensuração da taxa de passagem por meio da evacuação ruminal, em animais fistulados ou por abate, através de indicadores internos parece superar essas limitações (TAMMINGA et al., 1989). Isso porque o ceco e o intestino grosso podem modificar a curva de excreção fecal do indicador, levando a estimativas tendenciosas de taxa de passagem no rúmen (DE VEGA e POPPI, 1997; BERNARD et al., 1998). Além disso, valor de taxa de passagem superestimado obtido por dose única (método indireto) pode ser resultado de porção significativa do indicador que chega ao abomaso mais rápido. Tal evento altera a curva de excreção do indicador nas fezes, principalmente indicadores de fase líquida, que passam rapidamente pelo rúmen e vão direto ao abomaso.

No entanto, apesar de várias limitações dessa técnica, nos últimos anos tem sido muito utilizada, em função da tendência atual das pesquisas em não utilizar técnicas invasivas na avaliação dos parâmetros digestivos. Portanto, essa técnica precisa ser melhor aprimorada, com uso de modelos matemáticos que representem realmente o fluxo do indicador no trato gastrointestinal, como também através do uso de indicadores mais adequados.

2.4. Uso de indicadores para medir taxa de passagem

Indicadores são rotineiramente usados para estimar fluxo no interior do trato digestivo. As principais características que devem ser observadas na escolha de um bom indicador são: não ser absorvido durante a passagem pelo trato digestivo; não ser tóxico; não afetar ou ser afetado pelos processos digestivos; ser determinado por metodologias simples; estar intimamente ligado e não se separar das respectivas frações marcadas (ÚDEN et al., 1980); misturar-se bem ao alimento e permanecer uniformemente distribuído na digesta; e não influenciar a microflora do trato digestivo (MAYES et al., 1986; OWENS; HANSON, 1992). Nenhum indicador único preenche todos estes critérios, ou seja, não existe indicador perfeito, de forma que, o grau tolerável de erro deve estar de acordo com a variável que está sendo medida.

Os indicadores são classificados em duas grandes categorias, internos e externos (KOTB e LUCKEY, 1972; OWENS e HANSON, 1992; MOORE e SOLLENBERGER, 1997).

2.4.1. Indicadores internos

No aparelho digestivo qualquer composto vai desaparecer pela ação da digestão ou da passagem, de modo que compostos indigestíveis irão desaparecer somente por causa da passagem e, assim, podem ser utilizados como indicadores para medição dessa taxa. Dessa forma, considera-se que a taxa de passagem da fração não digestível é igual à das partículas da ração, considerando que no rúmen a fração potencialmente digestível e a fração indigestível são parte da mesma partícula do alimento.

Os indicadores internos apresentam a vantagem de já estarem presentes no alimento, serem de baixo custo, fácil análise, não necessitar de preparação especial e de permanecerem distribuídos na digesta durante o processo de digestão e excreção (PIAGGIO et al., 1991). Além disso, não tem o risco de erros durante a administração do indicador, como no caso do fornecimento de indicadores externos, pois o indicador interno já se encontra presente na fração ingerida do alimento.

A lignina e a cinza insolúvel em ácido, normalmente, ocorrem em baixas concentrações na forragem consumida, o que impede sua melhor utilização como indicadores internos. O erro devido à amostragem poderá ser reduzido, se o componente indigestível tiver maior porcentagem na matéria seca (VAN SOEST, 1994). Outro fator que tem sido considerado para não utilizar a lignina como fração indigestível é que o desaparecimento da lignina durante a digestão tem sido relatado em alguns estudos (MERCHEN, 1988; FAHEY; JUNG, 1983; COCHRAN et al., 1988).

Nesse sentido, tem-se sugerido que as frações fibrosas indigestíveis do alimento sejam utilizadas com tal propósito (LIPPKE et al., 1986). As frações que demonstraram maior potencial como indicadores são as fibras indigestíveis em detergente neutro (FDNi) e ácido (FDAi) e a matéria seca indigestível (MSi) (COCHRAN et al., 1986; NELSON et al., 1990; BERCHIELLI et al., 2000; DETMANN et al., 2001; ÍTAVO et al., 2002; ZEOULA et al., 2002; BERCHIELLI et al., 2005).

A principal crítica aos indicadores internos, principalmente os das frações fibrosas, é a obtenção da fração indegradável. Na literatura existe divergência quanto ao tempo de incubação necessário para representar a fração da amostra indigestível no rúmen, sendo sugeridos períodos variáveis

como 96 (RUIZ et al., 2001), 144 (BERCHIELLI et al., 2000), 192 (ZEOULA et al., 2002) e 288 horas (HUHTANEN et al., 1994). Hoje, a recomendação de 288 horas (HUHTANEN et al., 1994, VALENTE et al., 2011) ainda tem sido questionada se esse tempo seria suficiente para obtenção do resíduo indegradável. Além disso, existe falta de padronização no método de determinação, com relação ao tecido utilizado para incubação. Portanto, mais estudos precisam ser realizados no sentido de obter tempo de incubação que represente realmente a fração indigestível.

2.4.2. Indicadores Externos

Os indicadores externos são compostos inertes, como o óxido crômico e os elementos terras raras (Lantânio, Samário, Cério, Itérbio, Disprósio), que são adicionados à dieta ou fornecidos via oral ou ruminal aos animais.

Nos primeiros estudos com cinética ruminal, os indicadores eram tinturas, porém esta técnica se mostrou ineficiente e deu lugar à utilização dos lantanídeos ou terras raras que se aderem mais firmemente às partículas alimentares (LASCANO; QUIROZ, 1990).

É importante que a substância usada como indicador externo tenha as mesmas características da fração marcada. Essas características incluem peso molecular, gravidade específica e grau de hidratação.

Os indicadores externos sofrem grande crítica pelo fato de poderem alterar as características físicas das partículas (EHLE, 1984) ou se dissociar do material marcado e associar-se às partículas pequenas e aos microorganismos (COMBS; SATTER, 1992).

Para melhor compreensão dos estudos de taxa de passagem, faz-se necessário o monitoramento da cinética das fases sólida e líquida da digesta, pois estas são relativamente independentes. Faichney (1975) sugere o uso de indicadores para a fase sólida e líquida, em conjunto, para tentar reconstituir de modo mais preciso a dinâmica da digesta no animal.

Medidas absolutas de taxa de passagem de partículas e líquidos requerem que os indicadores não se separem das frações respectivamente marcadas e, em geral, o pressuposto é de que o indicador deve estar em equilíbrio com o pool da fração marcada. Embora nenhuma substância satisfaça totalmente todas essas condições, os indicadores de fase sólida são

normalmente menos satisfatórios do que os líquidos, porque os primeiros apresentam o problema de migrar para partículas não originalmente marcadas. (ÚDEN, 1978).

Indicadores de fase sólida

As terras raras, como samário, lantânio, itérbio, disprósio, cério e os complexos de rutênio fenantrolina, estão sendo utilizadas como indicadores para estimar taxa de passagem da digesta. Tais elementos apresentam alguns requisitos de indicador ideal, como não serem absorvidos pelo intestino, serem quantitativamente excretados e apresentarem métodos específicos e sensíveis para a sua detecção. Além disso, possuem propriedades fortes de adsorção às partículas, principalmente aos alimentos fibrosos (KYKER, 1962).

A detecção de alguns desses elementos tem exigido análise especializada, como ativação de nêutrons (HARMELL; SATTER, 1979). O itérbio tem sido amplamente utilizado e tem vantagens sobre outras terras raras, por ser relativamente barato e detectado facilmente com equipamentos de absorção atômica (COLEMAN, 1979; TEETER et al., 1979).

A principal crítica ao itérbio é que pode ocorrer migração desse elemento da partícula marcada para o fluído ruminal, ou para partículas não marcadas. Tal efeito pode ser agravado à medida que ocorre queda no pH. Além disso, quando o elemento terra rara está em excesso de capacidades de ligação, pode aumentar a migração no rúmen.

Para minimizar a migração de terras raras, a substância fracamente ligada pode ser removida por lavagem extensa (OWENS; HANSON, 1992). Ellis et al. (1994) sugeriram que a remoção da fração não ligada do indicador ou fracamente ligada pode ser removido por lavagem com solução de ácido suave (ácido acético, pH 4,5). Se o excesso não é removido, o indicador residual pode migrar para outros alimentos ou a outros componentes do rúmen e interferir na interpretação dos dados do indicador.

Resultados de estudos de Wylie et al. (1986), Woorley et al. (2002) e Ellis et al. (2002) sugerem que qualquer elemento das terras raras, quando especificamente aplicado aos sítios de ligação resistentes ao ácido acético de pH 4, irá simular o tempo permanência ruminal em ruminantes, cujo pH ruminal não seja abaixo desse valor. Crooker et al. (1982) verificaram mudanças na

concentração do indicador após a incubação *in vitro* em fluido abomasal, o que sugere a dissociação em locais de forte ligação dos terras raras em condições ácidas.

Nos tecidos das plantas existem diversos tipos de ligações e essas ligações podem ter maior ou menor afinidade com o itérbio. Tem sido sugerido que as ligações que possuem forte afinidade com esse elemento estão associadas com tecidos lignificados e presença de polifenóis (TETTER et al., 1984; OWENS; HANSON, 1992), com pectinas solúveis (ALLEN, 1982; ALLEN et al., 1985) e com outras entidades químicas (M_CBURNEY et al., 1986, WOORLEY et al., 2002). Segundo Teeter et al. (1981), alimentos com alto conteúdo de proteína se liga mais ao itérbio (76-205 $\mu\text{mol Yb/g}$ alimento) do que alimentos com alto conteúdo de amido (5-37 $\mu\text{mol Yb/ g}$ alimento) (CROOKER et al., 1982).

Indicadores de fase líquida

Um dos primeiros pesquisadores a utilizar indicadores de fase líquida foi Úden et al. (1980), que criou modelo matemático para estudar os movimentos hídricos ruminais, utilizando polietilenoglicol (PEG). Todavia, além de implicações relativas ao seu peso molecular, esta substância pode precipitar-se com taninos, cuja concentração pode ser alta nas forrageiras tropicais.

Os quelatos de cromo (Cr- EDTA) e cobalto (Co-EDTA) são indicadores de fase líquida que têm sido utilizados em substituição ao PEG. Tanto o Cr-EDTA (ELLIS et al., 1979) como o Co-EDTA (UDÉN et al., 1980) são totalmente solubilizados e têm sido utilizados para estimativa de volume de líquido ruminal e taxa de diluição. Ao contrário do PEG, análises desses indicadores são simples e mais precisas (MERCHEN, 1988). Alguns trabalhos (DOBSON et al., 1976; DOWNES ; McDONALD, 1964; STERN et al., 1983; GOODALL; KAY, 1973; ÚDEN et al., 1978) mostraram que o Cr-EDTA e Co-EDTA foram excretados em níveis baixos na urina, na maioria dos animais, exceto em coelhos, onde grandes perdas na urina foram observadas. Dessa forma, devem ser tomadas precauções no que diz respeito a utilização desses indicadores em animais com longos tempos de retenção de líquidos (ÚDEN, 1978).

O complexo cromo etileno diamino tetra-acético (Cr-EDTA) foi proposto por Downes e McDonald (1964) e tem sido indicador de fase líquida muito utilizado, por ser facilmente determinado através de espectrometria de absorção atômica ou colorimetria. Warner (1969) verificou baixa ligação do Cr-EDTA com as partículas sólidas do rúmen, mostrando assim ser um bom marcador de fase líquida. Apesar de ocorrer uma leve absorção de Cr-EDTA pelo animal, sendo excretado na urina, o Cr-EDTA tem a vantagem de ter um procedimento analítico que é muito específico e altamente acurado ao longo de uma ampla faixa de concentração.

Algumas contradições em relação às estimativas de turnover ruminal têm sido encontradas quando se compara o Cr-EDTA e Co-EDTA. Teeter et al. (1979) observaram maior turnover ruminal com o Co-EDTA, comparado com o Cr-EDTA. Esse resultado foi contrário dos obtidos por Stern et al. (1983). Por outro lado, Úden et al. (1978) não encontraram diferenças no turnover de líquidos entre esses marcadores. Portanto, é preciso analisar com atenção experimentos que usaram Cr-EDTA e Co-EDTA para comparar valores de turnover de líquidos.

A utilização dos indicadores em estudos de nutrição é vantajosa, mas devem ser tomados certos cuidados na sua utilização porque várias fontes de erros estão envolvidas no uso dessa técnica, como recuperação incompleta e dissociação do indicador.

Apesar de existir variação inerente à técnica com uso de indicadores, as estimativas obtidas geralmente fornecem informações confiáveis sobre a direção, alterações e extensão dos parâmetros cinéticos de passagem induzidas pelos tratamentos (OWENS; HANSON, 1992).

2.5. Fluxograma geral do trabalho

Uma forma de compreender melhor os fatores que afetam determinada variável consiste na construção de modelos conceituais, ainda que inicialmente baseados em relações empíricas ou mesmo hipotéticas (NABINGER et al., 2006).

As relações entre nível de ingestão, composição física e química da dieta, comportamento ingestivo, digestibilidade com a taxa de passagem ocorrem de diferentes maneiras inter-relacionadas. Portanto, conhecer como se

dão essas relações ajuda a prever de forma mais adequada a taxa de passagem

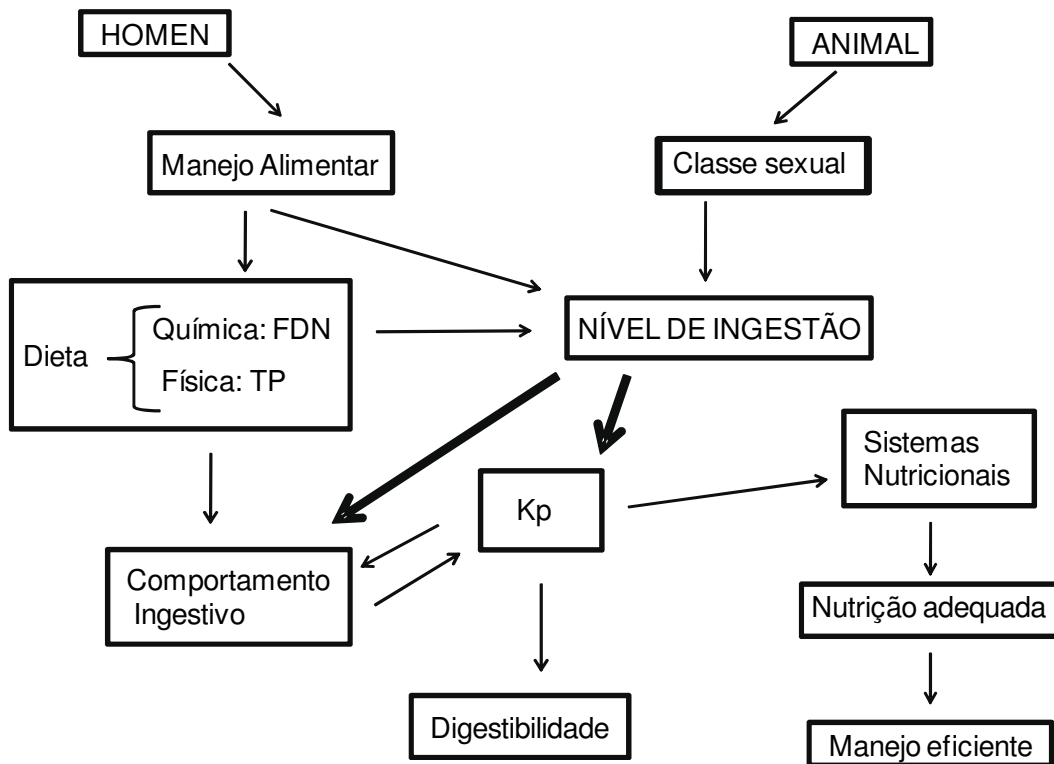


Figura 4: Fluxograma com diferentes fatores que afetam a taxa de passagem

O homem através do manejo alimentar consegue manipular a quantidade de alimento que será ingerido pelo animal. De fato, em situações de escassez de alimento algumas estratégias de restrição alimentar podem ser adotadas com a finalidade de reduzir custos no sistema de produção. Também as características inerentes ao animal, como a classe sexual, podem afetar diretamente a quantidade de alimento a ser ingerida, sendo que machos não castrados como consequência de ações hormonais podem vir a ter maior consumo que machos castrados e fêmeas. No entanto, é desconhecida a relação entre a categoria sexual do animal e a taxa de passagem.

As características químicas da dieta vão definir a maior ou menor ingestão pelo animal. Dietas com alto teor de fibra o consumo será limitado pelo enchimento físico do rúmen e por maior tempo a digesta ficará retida

nesse compartimento. Por outro lado, dietas com baixa fibra e alta energia, o consumo será limitado pela demanda energética do animal, sendo que o turnover ruminal será menor, com maior escape de digesta para o intestino.

As características físicas da dieta também interferem diretamente no consumo e na taxa de passagem. Partículas grandes (>1,18 mm) ficarão retidas por maior tempo no pool não escapável para que possam ser quebradas através da ruminação e possam aumentar sua gravidade funcional específica e passar para o pool escapável do rúmen.

Animais com alto nível de ingestão pode levar a maior taxa de passagem e conseqüentemente decréscimo na digestibilidade dos nutrientes (BLAXTER et al., 1956; DIAS et al., 2011). Por outro lado, ruminantes em condições de baixo consumo de alimento podem modificar o comportamento ingestivo, para tentar aproveitar melhor o alimento consumido (CLAUSS et al., 2009) por meio da atividade mastigatória.

Todos esses fatores em conjunto podem vir afetar a taxa de passagem, portanto, devem ser considerados na elaboração de modelos que estimem essa variável. Estimativas de taxa de passagem bem como modelos matemáticos são necessários para os sistemas nutricionais como NRC, CNCPS e AFRC que precisam dessa informação para predizer o aproveitamento do alimento pelo animal e dessa forma estabelecer estratégias de manejo mais adequadas para diferentes sistemas de produção.

2.6. Referências

- ALCAIDE , E. M., MARTIN GARCIA, A.I., AGUILERA J.F. A comparative study of nutrient digestibility, kinetics of degradation and passage and rumen fermentation pattern in goats and sheep offered good quality diets. *Livestock Production Science*, v.64, p.215–223, 2000.
- ALLEN, M. S. Investigation into the use of rare earth elements as gastrointestinal markers. M.S. Thesis, Cornell University, Ithaca, NY. 1982.
- ALLEN, M. S., M. I. MCBURNEY, and VAN SOEST, P. J.. Cation exchange capacity of plant cell walls at neutral pH. *Journal. Science. Food Agriculture*. v.36, p.1065–1072, 1985.
- ALLEN, M. S.; MERTENS, D.R. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. *Journal of Nutrition*, v.118, n.1, p.261-270, 1988.
- ALLEN, M. S. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *Journal of Animal Science*, v.74, p.3063-3075, 1996.
- AITCHISON, E.M., GILL, M., DHANOA, M.S., OSBOURN, D.F. The effect of digestibility and forage species on the removal of digesta from the rumen

- and voluntary intake of hay by sheep. *British Journal of Nutrition*, v.56, 463–476. 1986..
- BAILEY, C.R.; DUFF, G.C. Protein requirements of finishing beef cattle. In: *SOUTHWEST NUTRITION CONFERENCE*, 2005, Tempe. Proceedings... Tempe: University of Arizona, 2005. p.78-85.
- BALCH, C. C., and A. KELLY. Factors affecting the utilization of food by dairy cows. 3. The specific gravity of digesta from the reticulo-rumen of cows. *British Journal of Nutrition*, v.4, p.395–398. 1950.
- BALCH, C. C., and R. C. CAMPLING. Regulation of voluntary food intake in ruminants. *Nutr. Abstr. Rev.*, v.32, p.669–686,1962.
- BALDWIN, R. L., L. J. KOONG, and ULYATT, M. J. A dynamic model of ruminant digestion for evaluation of factors affecting nutritive value. *Agricultural Systems*. v. 2,p.255–288, 1977.
- BAUMONT, R., and DESWYSEN, A. G. The mixing and propulsion of reticulorumen content. *Reproduction, Nutrition, Development*. v. 31, p.335–359,1991.
- BEAUCHEMIN, K. A. Ingestion and mastication of feed by dairy cattle. In: *Vet. Clin. North Am. Food Anim. Pract.*, 7. 1991. Saunders, Philadelphia, PA. 1991, p.439–463.
- BEAUCHEMIN, K.A., BUCHANAN-SMITH, J.G. Evaluation of markers, sampling sites and models for estimating rates of passage of silage or hay in dairy cows. *Animal Feed Science and Technology*, v. 27, p. 59-75, 1989.
- BERNARD, L., CHAISE, J. P., DELVAL, E. AND PONCET, C. Validation of the main modeling methods for the estimation of marker mean retention times in the different compartments of the gastrointestinal tract in sheep. *Journal Animal Science*, v.76, p.2485-2495, 1998.
- BERCHIELLI, T.T.; ANDRADE, P.; FURLAN, C.L. Avaliação de indicadores internos em ensaios de digestibilidade. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, n.3, p.830-833, 2000.
- BERCHIELLI, T.T.; OLIVEIRA, S.G.; CARRILHO, E.N.V.M. et al. Comparação de marcadores para estimativas de produção fecal e de fluxo de digesta em bovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.34, n.3, p.987-996, 2005.
- BLAXTER, K. L., GRAHAM, N. McC. AND WAINMAN, F. W.. Some observations on the digestibility of food by sheep, and on related problems. *British Journal of Nutrition*, v.10, p. 69-91, 1956.
- BOE, F. Effects of dietary carbohydrates on milk production, feed utilization, and feeding behaviour of dairy sheep. 2006, 227p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Università degli studi di Sassari, Sassari, Sardenha, Itália, 2006.
- CANNAS, A., VAN SOEST, P.J. Simple allometric models to predict rumen feed passage rate in domestic ruminants. In: McNamara, J.P., France, J., Beever, D.E. (Eds.), *Modelling Nutrient Utilization in Farm Animals*. CABI Publishers, Oxon, UK, p. 49–62, 2000.
- CANNAS, A., VAN SOEST, P.J., PELL, A.N. Use of animal and dietary information to predict rumen turnover. *Animal Feed Science and Technology*, v. 106, p. 95-117, 2003.
- CANNAS, A. ; TEDESCHI, L. O. ; FOX, D. G. ; PELL, A. N. ; VAN SOEST, P. J. A. Mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep, *Journal of Animal Science*, v. 82, p.149-169. 2004

- CLAUSS, M., DEUTSCH, A, LECHNER-DOLL, M., FLACH, EJ, TACK, C. Passage rate of fluid and particle phase in captive giraffe (*Giraffa camelopardalis*). *Adv Ethol [Suppl Ethol]* p. 33-98, 1998
- CLAUSS, M. and LECHNER-DOLL, M.. Differences in selective reticulo-ruminal particle retention as a key factor in ruminant diversification. *Oecologia* v. 129, p.321–327, 2001.
- CLAUSS, M., NUNN, C., FRITZ, J., and HUMMEL, J. Evidence for a tradeoff between retention time and chewing efficiency in large mammalian herbivore. *Comparative Biochemistry. and Physiology Part A: Molecular & Integrative. Physiology.* v.154, p.376-382, 2009.
- COCHRAN, R.C., ADAMS, D.C., WALLACE, J.D. et al. Predicting digestibility of different diets with internal markers: evaluation of four potential markers. *Journal of Animal Science*, v.63, p.1476-1483, 1986.
- COCHRAN, R. C., E. S. VANZANT, and DELCURTO, T. Evaluation of internal markers isolated by alkaline hydrogen peroxide incubation and acid detergent lignin extraction. *Journal of Animal Science*,v.66, p.3245-3251. 1988.
- COLEMAN, S. W. The use of ytterbium as a rumen kinetic marker. *Journal Animal Science*, v.49, p.38. 1979.
- COLEMAN, S. W., S. P. HART, and SAHLU, T. Relationship among forage chemistry, rumination and retention time with intake and digestibility of hay by goats. *Small Ruminant Research.* v.50, p.129-140, 2003.
- COLUCCI, P. E. I., MACLEOD, G. K., GROVUM, W. L., McYILLANI, I., and BARNEY, D. J. Digesta kinetics in sheep and cattle fed diets with different Forage to Concentrate Ratios at High and Low Intakes. *Journal of Dairy Science*, v. 73, p.2143-2156, 1990.
- COMBS, D.K., SHAVER, R.D., SATTER, L.D. Retention of rare earths by hay particles following incubation in fresh or autoclaved rumen fluid. *Journal of Dairy Science*, v.75, p.132–139, 1992.
- COMBS, D.K. and SATTER, L.D. Determination of Markers in Digesta and Feces by Direct Current Plasma Emission Spectroscopy. *Animal Feed Science Technology*, v.75, p.2176–2183, 1992.
- CROOKER, B. A., J. H. CLARK, and R. D. SHANKS. Rare earth elements as markers for rate of passage measurements of individual feedstuffs through the digestive tract of ruminants. *The Journal of Nutrition*, v.112, p.1353–1361, 1982.
- DE VEGA, A. and POPPI, D.P. Extent of digestion and rumen condition as factor affecting passage of liquid and digesta particles in sheep. *Journal of Agriculture Science*, v.128, p. 207-215. 1997
- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, M.F. et al. Cromo e indicadores internos na determinação do consumo de novilhos mestiços, suplementados, a pasto. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.30, n.5, p.1600-1609, 2001.
- DHANOVA, M. S., SIDMONS, R. C., FRANCE, J., GALE, D. L. A multicompartamental model to describe marker excretion patterns in ruminant faeces. *British Journal of Nutrition*, v. 53, p.663 – 671, 1985.
- DIAS, R. S., PATINO, H. O., LÓPEZ, S., PRATES, E., SWANSON, K. C. AND FRANCE, J. Relationships between chewing behavior, digestibility and digesta passage kinetics in steers fed restricted and *ad libitum* levels of oat hay. *Journal of Animal Science*, published online February 4, 2011.

- DOBSON, A., A. F. SELLERS, and GATEWOOD, V. H.. Dependence of Cr-EDTA absorption from the rumen on luminal osmotic pressure. *American Journal of Physiology*, v.231, p.1595, 1976.
- DOWNES, A. M. & MC DONALD, I. W. The chromium-51 complex of ethylenediamine tetraacetic acid as a soluble rumen marker. *British Journal Nutrition*. v.18, p.153-162, 1964
- EHLE, F.R. Influence of feed particle density on particulate passage from rumen of Holstein cow. *Journal of Dairy Science*, v.67, p.693-697, 1984.
- ELLIS, W. C., J. H. Marls, and Lascano, C. Quantitating ruminal turnover. *Federation Proceedings*, v.38, p.2702. 1979.
- ELLIS, C., and J. H, MATIS. Validity of rare earths as flow markers for undigested feed residues. *Journal of Animal Science*, v. 63, 1986.
- ELLIS, W. C., MATIS, J. H. HILL, T. M. and MURPHY, M. R.. Methodology for estimating digestion and passage kinetics of forages. In: *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*. G. C. Fahey, ed. University of Nebraska, Lincoln, p. 682, 1994.
- ELLIS, W. C., M. J. WYLIE, and J. H. MATIS. Validity of specifically applied rare earth elements and compartmental models for estimating parameters for flow of undigested plant tissue residues through the gastrointestinal tract of ruminants. *Journal of Animal Science*. v.80, p.2752–2758, 2002.
- EVANS, E. W., G. R. PEARCE, J. BURNETT, and PILLINGER, S. L. Changes in some physical characteristics of the digesta in the reticulo rumen of cows fed once daily. *British Journal of Nutrition*, v. 29, p.357–376, 1973.
- FAHEY, G.C.Jr; JUNG, H.G. Lignin as a marker in digestion studies: A review. *Journal of Animal Science*, v.57, n.1, p.220-225, 1983.
- FAICHNEY, G. J. The effect of formaldehyde treatment of a concentrate diet on the passage of solute and particle markers through the gastrointestinal tract of sheep. *Australian Journal Agriculture. Science*, v.26, p.319, 1975.
- FAICHNEY, G.J. The kinetics of particulate matter in the rumen. In: MILLIGAN, L. P., GROVUM, W. L., DOBSON, A. (Eds.) *Control of digestion and metabolism in ruminants*. Englewood Cliffs, Prentice-hall. p.173-195, 1986.
- FIRKINS, J. L., BERGER, L. L., MERCHEN, N. R., FAHEY, G. C. Effects of forage particle size, level of feed intake and supplemental protein degradability on microbial protein synthesis and site of nutrient digestion in steers. *Journal of Animal Science*, v. 62, p.1081-1094, 1986.
- FOX, D.G. Predicting body condition score changes in cows from calculated energy balance. *Proceeding Cornell Nutrition Conference for feed manufacturers*. Cornell University, Ithaca-NY, 1991, 144p.
- FOX, D.G.; TEDESCHI, L.O.; TYLUTKI, T.P. et al. The Cornell Net carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion *Animal Feed Science and Technology*, v.112, p.29-78, 2004.
- FROETSCHER, M.A and AMOS, H.E. Effects of dietary fiber and feeding frequency on ruminal fermentation, digesta water-holding capacity, and fractional turnover of rumen contents. *Journal of Animal Science*, v.69, p.1312–1321, 1991.
- GIRÁLDEZ, F.J., LÓPEZ, S., LAMB, C.S., MAYES, R.W. The use of even-chain alkanes sprayed onto herbage as rate of passage markers in goats. *Livestock Science*, v.100, p.195– 202, 2006.

- GOETSCH, A.L., GALYEAN, M.L. Effect of dietary concentrate level on rumen fluid dilution rate. *Journal of Animal Science*, v.62, p.649-652, 1982.
- GOODALL, E. D., and KAY, R.N.B.. The use of the chromium complex of ethylenediaminetetraacetic acid for studies of digestion in sheep. *The Proceedings of the Nutrition Society*, v. 32, p.22a-23a, 1973.
- GROVUM, W. L. and WILLIAMS, V. J. Rate of passage of digesta in sheep. 3. Differential rates of passage of water and dry matter from the reticulo-rumen, abomasum and caecum and proximal colon. *British Journal of Nutrition*, v. 30, p. 231-240, 1973.
- HADJIGEORGIOU, I.E. , GORDON, I.J. MILNE, J.A. Intake, digestion and selection of roughage with different staple lengths by sheep and goats. *Small Ruminant Research*, v.47, p.117–132, 2003.
- HARTNELL, G. F. and SATTER, L. D. Extent of Particulate Marker (Samarium, Lanthanum and Cerium) Movement from One Digesta Particle to Another. *Journal Animal Science*, v.48, p.375-380, 1979.
- HOFMANN, R.R. The ruminant stomach: stomach structure and feeding habits of East African game ruminants (East African Monographs in Biology, vol 2). East African Literature Bureau, Nairobi, 1973.
- HOFMANN, R.R. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: A comparative view of their digestive system. *Oecologia* 78:443-457, 1989.
- HOOPER, A. P., and WELCH, J. G. Change of functional specific gravity of forages in various solutions. *Journal of Dairy Science*, v.68, p.1652– 1658, 1985.
- HRISTOV, A. N., and J. K. ROPP. Effect of dietary carbohydrate composition and availability on utilization of ruminal ammonia nitrogen for milk protein synthesis in dairy cows. *Journal of Dairy Science*. v.86, p.2416–2427, 2003.
- HUNGATE, R.E. *The Rumen and its Microbes*. Academic Press, New York, 533p., 1966.
- HUHTANEN, P., KAUSTELL, K., JAAKKOLA, S. The use of internal markers to predict digestibility and duodenal flow of nutrients in cattle given six different diets. *Animal Feed Science and Technology*, v.48, p.211-227, 1994.
- HUHTANEN, P and HRISTOV, A, N. Estimating passage kinetics using fiber-bound ^{15}N as an internal marker. *Animal Feed Science and Technology*. v.94, p. 29–41, 2001.
- HUHTANEN, P.; ASIKAINEN, U.; ARKKILA, M. Cell wall digestion and passage kinetics estimated by marker and in situ methods or by rumen evacuations in cattle fed hay 2 or 18 times daily. *Animal Feed Science and Technology*, v. 133, p. 206-227, 2007.
- ILLIUS, A.W. and GORDON, I.J. Prediction of intake and digestion in ruminants by a model of rumen kinetics integrating animal size and plant characteristics. *Journal of Agricultural Science. (Camb.)*, v.116, p.145–157, 1991.
- INGALLS, J.R., J.W. THOMAS, M.B. TESAR, CARPENTER, D.L. Relation between *ad libitum* intake of several forage species and gut fill. *Journal Animal Science*, v.25, P.283-289. 1966
- ÍTAVO, L.C.V.; VALADARES FILHO, S.C.; FERREIRA DA SILVA, F. et al. Comparação de indicadores e metodologia de coleta para estimativas de produção fecal e fluxo de digesta em bovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, p.1833-1839, 2002.

- KENNEDY, P.M., McSWEENEY, C.S, WELCH, J.G. Influence of dietary particle size on intake, digestion, and passage rate of digesta in goats and sheep fed wheaten (*Triticum aestivum*) hay. *Small Ruminant Research*, v.9, p. 125-138, 1992.
- KOTB, A.R.; LUCKEY, T.D. Markers in nutrition. *Nutrition Abstracts and Reviews*, v.42, n.3, p.813-845, 1972.
- KOVÁCS, P.L., SÜDEKUM, K.-H., STANGASSINGER, M. Effects of intake of a mixed diet and time post feeding on amount and fiber composition of ruminal and fecal particles and on digesta passage from the reticulum-rumen of steers. *Animal Feed Science and Technology*, v.71, p. 325–340, 1998.
- KYKER, G. C. Rare earth. In: *Mineral Metabolism*. C. L. Comar and Felix Bronner (Ed.) Chap. 36, Vol. 2, Part B, Academic Press, New York. 1962.
- LASCANO, C.; QUIROZ, R., Metodología para estimar la dinámica de La digestion en ruminantes. In: RUIZ, M.E, RUIZ, A. (Eds.) *Nutrición de ruminantes: guía metodológica de investigación*. San Jose: ALPA/IICA/RISPAL, p.89-104. 1990.
- LAWRENCE, T.L.J. and FOWLER, V.R. *Growth of farm animals*, second ed. Wallingford, CAB International Publishing, 2002.
- LECHNER-DOLL, M., KASKE, M. and ENGELHARDT, W. V.. Factors affecting the mean retention time of particles in the forestomach of ruminants and camelids. In: *Physiological Aspects of Digestion and Metabolism in Ruminants: Proc. 7th Int. Symp. Ruminant Physiology*. T. Tsuda, Y. Sasaki, and R. Kawashima, ed. Academic Press, San Diego, CA. 1991, p. 455–482
- LEEK, B.F. and HARDING, R.H. Sensory nervous receptors in the ruminant stomach and the reflex control of reticulo-ruminal motility. In: IW McDonald and ACI Warner (Ed). *Digestion and metabolism in the ruminant*, University of New England Publ. Unit., Armidale, NSW, Austrália, 1975, p.60-76.
- LESCOAT, P., and D. SAUVANT. Development of a mechanistic model for rumen digestion validated using the duodenal flux of amino acids. *Reproduction, Nutrition, Development*. v.35, p.45-70, 1995.
- LOUCA, A., ECONOMIDES, S. HANCOCK. Effects of castration on growth rate, feed conversion efficiency and carcass quality in Damascus goats *Journal Animal Production*, v.24, p.387-391, 1977.
- LUGINBUHL, J. M.; POND, K. R.; BUNS, J. C., Changes in ruminal and fecal particle weight distribution of steers fed coastal bermudagrass hay at four levels, *Journal of Animal Science*, v.68, p.2864-2873, 1990.
- MATHISON, G. W., OKINE, E. K., VAAGE, A. S., KASKE, M., and MILLIGAN, L. P. Current understanding of the contribution of the propulsive activities in the forestomach to the flow of digesta. In *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth, and Reproduction: Proc. Eighth Int. Symp. Ruminant Physiol.* W. V. Engelhardt, S. Leonhard-Marek, G. Breves, and D. Giesecke, ed. Enke, Stuttgart, Germany. 1995, p. 23–41
- MAYES, R.W., LAMB, C.S., COLGROVE, P.M. The use of dosed and herbage n-alkanes as markers for the determination of herbage intake. *Journal of Agricultural Science*, v.107, n. 1, p. 161-170, 1986.
- McBURNEY, M. I., M. S. ALLEN, and VAN SOEST, P. J. Praseodymium and copper cation-exchange capacities of neutral-detergent fibers relative to composition and fermentation kinetics. *Journal. Science. Food Agriculture*, v.37, 666–672. 1986.

- MERCHEN N. R. Digestion, absorption and excretion in ruminants. The ruminant animal: digestive physiology and nutrition. D.c. Church, ed. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. p.172-201. 1988.
- MERTENS, D.R. Application of theoretical mathematical models to cell wall digestion and forage intake in ruminants. Ph.D. dissertation. Cornell University, Ithaca, New York. 1973.
- MOORE, J.E.; SOLLENBERGER, L.E. Techniques to predict pasture intake. In: INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON ANIMAL PRODUCTION UNDER GRAZING, 1997, Viçosa. Anais... Viçosa:UFV, 1997. p.81-96.
- NABINGER, C.; DALL'AGNOL, M; CARVALHO, P.C.F. Biodiversidade e produtividade em pastagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 22. Piracicaba, 2006. Anais... Piracicaba: Fealq, 2006, p. 37-85.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient requirements of dairy cattle. 7.ed. Washington, D.C.: 2001. 381p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient requirements of small ruminants. 2007, 362p.
- NELSON, M.L., MOTJOPE, L., FINLEY, J.W. et al. Ash free indigestible acid detergent fiber as an internal marker to estimate digestibility wither grazing ruminants. *Journal of Range Management*, v.43, p.224-229, 1990.
- NYGREN, K. and HOFMANN, R.R. Seasonal variation of food particle size in moose. *Alces* v.26, p.44-50, 1990.
- OKINE, E. K., AND G. W. MATHISON. Reticular contraction attributes and passage of digesta from the ruminoreticulum in cattle fed roughage diets. *Journal of Animal Science*, v.69, p.2177-2186. 1991.
- OKINE, E.K., MATHISON, G.W., KASKE, M., KENNELLY, J.J., CHRISTOPHERSON, R.J. Current understanding of the role of the reticulum and reticulo-omasal orifice in the control of digeta passage from the ruminoreticulum of sheep and cattle. *Can. Journal of Animal.Science*, v.78, p.15-21, 1998.
- ØRSKVO, E.R. and McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements of feed weighted according to rate passage. *Journal of Agricultural Science*, v.92, p.499-503, 1979.
- OWENS, F.N., and A.L. GOETSCH. Digesta passage and microbial protein synthesis. In *Control of digestion and metabolism in ruminants*. Ed. L.P. Milligan, W.L. Grovum, and A. Dobson. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1986.
- OWENS, F.N. and HANSON, C.F. External and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. *Journal of Dairy Science*, p. 2605-2617, 1992.
- PALOHEIMO, L. and MÄKELÄ, A. Further studies on the retention time of food in the digestive tract of cows. *Acta Agralia Fenniae*, v.94, p.15-39. 1959.
- PAULINO, M.F.; MORAES, E.H.B.K; ZERVOUDAKIS, J.T. et al. Terminação de novilhos mestiços leiteiros sob pastejo, no período das águas, recebendo suplementação com soja. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.35, p.154- 158, 2006.
- PIAGGIO, L.M., PRATES, E.R., PIRES, F.F. et al. Avaliação de cinzas insolúveis em ácidos indigestíveis e lignina em detergente ácido indigestível como indicadores internos da digestibilidade. *Revista Brasileira de Zootecnia.*, v.20, p.306-312, 1991.

- PEARSON, R. A., ARCHIBALD, R. F. AND MUIRHEAD, R. H. A comparison of the effect of forage type and level of feeding on the digestibility and gastrointestinal mean retention time of dry forages given to cattle, sheep, ponies and donkeys. *British Journal of Nutrition*, v.95, p.88–98, 2006.
- POPPI, D. P., B. W. NORTON, D. J. MINSON, and HENDRICKSEN, R. E. The validity of the critical size theory for particles leaving the rumen. *Journal Agriculture Science*, v. 94, p.275–280, 1980.
- RAKES, A. H., W. A. HARDISON, ALBERT, J. MOORE, W. E. C. and GRAF, G. C. Response of growing dairy heifers to frequency of feeding. *Journal Dairy Science*. v. 40, p. 1621, 1957.
- RENECKER, L.A and HUDSON, R.J. Digestive kinetics of moose, wapiti and cattle. *Journal Animal Production*, v.50, p.51–61, 1990.
- REID, C. S. W. The progress of solid feed residues through the rumen-reticulum: The ins and outs of particles. In: *Ruminant Physiology: Concepts and Consequences*. S. K. Baker, J. M. Gawthorne, J. B. Mackintosh, and D. B. Purser, ed. University of Western Australia. Univ. Western Australia, Perth, WA, Australia, 1984, p. 79–84.
- RUIZ, R.; van SOEST, P.J.; van AMBURGH, M.E. et al. Use of chromium mordant neutral detergent residue as a predictor of fecal output to estimate intake in grazing high production Holstein cows. *Animal Feed Science and Technology*, v.89,p.155-164, 2001.
- SAINZ, R.D.; BALDWIN, R.L. Models of growth, lactation and digestion in cattle. In: EVERLING, D.M.; QUADROS, F.L. VIÉGAS, J.; SANCHEZ, L.M.; GONÇALVES, M.B.F.;LOVATTO, P.A; RORATO, P.R.N. (Ed.). *Modelos para a tomada de decisões na produção de bovinos e ovinos*. Santa Maria: UFSM, 2002. p. 120-132
- SAUVANT, D., R. BAUMONT, and FAVERDIN, P. Development of a mechanistic model of intake and chewing activities of sheep. *Journal of Animal Science*, v.74, p.2785–2802, 1996.
- SEO, S., L. O. TEDESCHI, C. G. SCHWAB, C. LANZAS, and FOX, D. G. Development and evaluation of empirical equations to predict feed passage rate in cattle. *Animal Feed Science Technology*, v. 128, p. 67–83, 2006.
- SEO, S., LANZAS, C., TEDESCHI, L. O. AND FOX, D. G. Development of a mechanistic model to represent the dynamics of liquid flow out of the rumen and to predict the rate of passage of liquid in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 90, p.840-855, 2007.
- SEO, S., LANZAS, C., TEDESCHI, L. O. PELL, A. N. and FOX, D. G. Development of a mechanistic model to represent the dynamics of particle flow out of the rumen and to predict rate of passage of forage particles in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v.92, p.3981–4000, 2009.
- SHELLENBERGER, P.R. AND KESLER, E. M. Rate of passage of feeds through the digestive tract of Holstein cows. *Journal of Animal Science*, v.20, p.416-419, 1961.
- SILANIKOVE, N., Effects of water scarcity and hot environment on appetite and digestion in ruminants: a review. *Livestock Production Science*, v.30, p.175–194, 1992.
- SILANIKOVE, N. TAGARI, H. SHKOLNIK, A. Comparison of rate of passage, fermentation rate and efficiency of digestion of high fiber diet in desert Bedouin goats compared to Swiss Saanen Goats. *Small Ruminant Research*, v.12, p. 45-60, 1993.

- SNIFFEN, C.J.; ROBINSON, P.H. Protein and fiber digestion, passage and utilization in lactating cows: microbial growth and flow as influenced by dietary manipulation. *Journal of Dairy Science*, Champaign, v.70, n.2, p.425-441, 1987.
- SOLAIMAN, S. G., SMOOT, Y. P, OWENS, F. N. Impact of EasiFlo cottonseed on feed intake, apparent digestibility, and rate of passage by goats fed a diet containing 45% hay. *Journal of Animal Science*. v. 80, p.805-811, 2002.
- STERN, M. D., ORTEGA, M. E. and SATTER, L. D. Retention Time in Rumen and Degradation of Protein Supplements Fed to Lactating Dairy Cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 66, p.1264-1271, 1983.
- TAMMINGA, S., ROBINSON, P.H., VOGT, M., BOER, H., Rumen ingest kinetics of cell wall components in dairy cows. *Animal Feed Science Technology*, v. 25, p. 89–98, 1989.
- TEDESCHI, L. O., CANNAS, A., SOLAIMAN, S.G., VIEIRA, R. A. M. and GURUNG, N. K. Development and evaluation of empirical equations to predict ruminal fractional passage rate of forages in goats. *The Journal of Agricultural Science*, p.1-13, 2011.
- TEETER, R. G., T. L. MADER, and G. W. HORN. Rumen turnover: methodology as applied to liquid and solids markers. *Proc. Rumen Function Conf. XV:24. (Abstr.)*, 1979.
- TEETER, R. G., F. N. OWENS, and MADER, T. L. Ytterbium chloride as a marker for particulate matter in the rumen. *Journal of Animal Science*, v.58, p.465–473. 1984.
- THONNEY, M. L.; TAYLOR, St C. S. e MCCLELLAND, T. H.. Breed and sex differences in equally mature sheep and goats 1. Growth and food intake. *Animal Production*, v.45, p.239-260, 1987.
- TSIPLAKOU, A. E., HADJIGEORGIOUA, I., SOTIRAKOGLIOUB, K, ZERVASA G. Differences in mean retention time of sheep and goats under controlled feeding practices. *Small Ruminant Research*, v.95, p. 48–53, 2011.
- ÚDEN, P. Comparative studies on rate of passage, particle size and rate of digestion in ruminants, equines, rabbits, and man. Ph.D. thesis, Cornell Univ. Ithaca, NY. 1978.
- ÚDEN, P., COLUCCI, P. E., and VAN SOEST, P. J. Investigation of three passage markers: Cr, Ce, and Co. *Journal of Animal Science*, v.47, p.444, 1978.
- ÚDEN, P.; COLUCCI, P.E.; VAN SOEST, P.J. Investigation of chromium, cerium and cobalt as markers in digesta. Rate of passage studies. *Journal. Science. Food Agriculture*, v.31, n.7, p.625-632, 1980.
- ULYATT, M. J., D. W. DELLOW, A. JOHN, C. S. W. REID, and WAGHORN, G. C. Contribution of chewing during eating and rumination to the clearance of digesta from the ruminoreticulum. Pages 498–515 in *Control of Digestion and Metabolism in Ruminants: Proc. 6th Int. Symp. Ruminant Physiology*. L. P. Milligan, W. L. Grovum, and A. Dobson, ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1986.
- VALENTE, T. N. P., DETMANN E., QUEIROZ A. C., VALADARES FILHO S.C., GOMES D. I., FIGUEIRAS J. F., Evaluation of ruminal degradation profiles of forages using bags made from different textiles, *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, p. 2565-2573, 2011.

- VAN SOEST, P.J., SNIFFEN, C.J. and ALLEN, M.S. Rumen dynamics. In: ACI Warner(Ed). Digestion and metabolism in the ruminant, p.21-42. Comstock Pub. Associates, Ithaca, N.Y. 1988.
- VAN SOEST, P. J., Nutritional ecology of the ruminant, 2. ed. Ithaca: Cornell University, 1994, 476 p.
- VARGA, G. A. and PRIGGE, E. C. Influence of forage species and level of intake on ruminal turnover rates. *Journal of Animal Science*, v.55, p.1498-1504, 1982.
- VIEIRA, R.A.M., TEDESCHI, L.O., CANNAS A. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in the ruminoreticulum: 2.Integrating digestion and passage . *Journal of Theoretical Biology*, v.255 p.357–368, 2008.
- YANSARI, A.T., VALALIZADEH ,R., NASERIN, A., CHRISTENSEN, D. A. Effects of Alfalfa Particle Size and Specific Gravity on Chewing Activity, Digestibility, and Performance of Holstein Dairy Cows. *Journal of Dairy and Science*,v.87, p.3912-3924, 2004.
- ZEOULA, L.M.; KASSIES, M.P.; FREGADOLLI, F.L. et al. Uso de marcadores na determinação da digestibilidade parcial e total em bovinos. *Acta Scientiarum*, v.22, n.3, p.771-777, 2000.
- WARNER, A.C.I. Binding of Cr-EDTA to particulate matter in the rumen. *Veterinary Record*.v.81, p.441. 1969.
- WORLEY, R., A. CLEARFIELD and ELLIS, W. C. Binding stability and capacities of ytterbium (3+) and hafnium (4+) for chemical entities of plant tissue fragments. *Journal of Animal Science*, v. 80, p.3307-3314, 2002
- WYLIE, M. J., ELLIS,W. C.; MATIS,J. H. Validity of rare earths as flow markers for undigested feed residues. *Journal of Animal Science* v. 63(Suppl. 1):5 (Abstr.),1986.

CAPÍTULO 2. Cinética da digestão no rúmen e intestino grosso em caprinos alimentados com dieta de baixa fibra e submetidos ou não à restrição alimentar

RESUMO - Objetivou-se estudar se e como a classe sexual e a restrição alimentar afetam a taxa de passagem em caprinos alimentados com dieta com baixa fibra. Foram utilizados 51 caprinos da raça Saanen, sendo 18 machos inteiros, 18 machos castrados e 15 fêmeas, os quais foram sorteados segundo o tipo de restrição: ausente (RA), moderada (RM) e severa (RS). O experimento iniciou quando os animais atingiram em média 30 kg PC e finalizou quando os caprinos que receberam o tratamento RA atingiram peso corporal médio de 45 kg. Para mensuração da taxa de passagem, no rúmen, ceco e cólon, adotou-se a técnica de esvaziamento dos compartimentos em animais abatidos e foi utilizado como indicador interno a fibra em detergente neutro indigestível (FDNi). Foram calculados turnover, taxa de passagem e degradação da fibra em detergente neutro (FDN). Adotou-se o delineamento em blocos inteiramente casualizados, em esquema fatorial 3x3 sendo seis repetições de machos não castrados e castrados e cinco de fêmeas. Os dados foram analisados como modelos mistos, considerando como efeitos fixos a restrição alimentar, a classe sexual e suas interações e como efeitos aleatórios os blocos e o erro. Não houve efeito de interação entre classe sexual e restrição em nenhuma das variáveis avaliadas. A restrição alimentar não afetou a taxa de passagem e turnover no rúmen ($P \geq 0,05$), por outro lado influenciou a taxa de passagem ($P < 0,05$) no ceco e cólon. Houve efeito da restrição alimentar na digestibilidade da fibra em detergente neutro potencialmente digestível (FDNpd), fibra em detergente neutro livre de cinzas (FDNc) ($P < 0,05$) e na taxa de digestão da FDN somente no cólon ($P < 0,05$). A digestibilidade da FDNc no cólon foi maior para os animais restritos. A pequena quantidade de fibra ingerida, não provocou a saturação do rúmen o que não ocasionou expansão física desse órgão e possivelmente esta foi a causa da restrição alimentar não ter influenciado a taxa de passagem no rúmen. De forma contrária, no ceco e cólon, houve saturação por fibra. No entanto, no cólon, o maior turnover quando comparado ao ceco, como também presença de hemicelulose parcialmente digerida levaram a maior digestibilidade da fibra nesse órgão. As contribuições desse estudo foram gerar valores de taxa de passagem reais no rúmen e intestino grosso de caprinos, como também evidenciar uma das principais adaptações evolutivas dos caprinos, que é a maior digestão da fibra no cólon, como forma de melhor aproveitar material fermentescível que escapou do rúmen. A ausência de efeito da classe sexual na taxa de passagem em caprinos na fase final de crescimento implica que um único modelo para estimar essa variável pode ser utilizado em todas as classes sexuais. Conclui-se em caprinos alimentados com baixo teor de fibra na dieta, a classe sexual não influencia a taxa de passagem e a degradação da fibra no rúmen e no intestino grosso. Em dietas com baixo teor de fibra, a ingestão de alimentos não é principal fator de regulação da taxa de passagem no rúmen de caprinos, demonstrando a importância das características físicas e químicas da dieta sobre os mecanismos que modificam a taxa de passagem.

Palavras-chave: ceco, classe sexual, cólon, FDNi, ingestão, rúmen

1. Introdução

A importância de conhecer a taxa de passagem consiste em prever relações entre a dieta e o suprimento de nutrientes aos ruminantes de forma mais acurada (CANNAS et al., 2004; FOX et al., 2004; NRC, 2001). Os fatores que afetam a taxa de passagem podem ser classificados como fatores relacionados ao animal (raça, sexo, idade, estado fisiológico) e fatores relacionados à dieta (quantidade, tamanho, densidade de partículas).

A classe sexual é característica inerente ao animal que pode influenciar a taxa de passagem. Machos não castrados, castrados e fêmeas possuem exigências nutricionais diferentes (NRC, 2007) e apresentam curvas de crescimento modificadas por ação de hormônios sexuais, sendo que esses dois fatores, em conjunto, ocasionam diferenças nos níveis de consumo (BAILEY; DUFF, 2005). Dessa forma, o maior nível de ingestão em machos não castrados em relação aos machos castrados e fêmeas pode afetar a taxa de passagem no trato gastrointestinal. No entanto, apesar da suspeita de que existem diferenças na taxa de passagem entre animais de distintas categorias sexuais, esta relação não é perfeitamente conhecida.

O controle da ingestão da dieta pelo animal também modifica a taxa de passagem, de forma que animais com maior consumo apresentam maior fluxo de nutrientes. Ao contrário, animais submetidos à restrição alimentar apresentam menor taxa de passagem, para reter por mais tempo o alimento no trato gastrointestinal, como estratégia de maior aproveitamento dos nutrientes (VAN SOEST, 1994). A retenção do alimento por mais tempo no trato gastrointestinal irá permitir que o mesmo seja digerido em sua máxima extensão possível (YANSARI et al., 2004).

O efeito no nível de ingestão sobre a taxa de passagem já foi verificado em diversos trabalhos com ruminantes (VARGAS; PRIGGE, 1982; COLLUCI et al., 1990; DIAS et al., 2011). No entanto, a relação entre essas variáveis foi estudada em animais alimentados com grande quantidade de fibra na dieta. Em situação contrária, com animais consumindo pouca fibra na dieta, pode haver maior escape de material fermentescível para ser aproveitado no ceco e cólon e ausência de efeito do consumo na taxa de passagem do rúmen. Porém pouco se conhece sobre esses efeitos.

As taxas de passagem em caprinos de diferentes classes sexuais, alimentados com baixo nível de fibra e submetidos à restrição alimentar ainda são desconhecidas e, portanto, não se sabe qual desses fatores será mais preponderante na regulação da taxa de passagem. Nesse sentido, objetivou-se estudar se e como a classe sexual e a restrição alimentar afetam a taxa de passagem em caprinos alimentados com dieta com baixo teor de fibra.

2. Material e métodos

O experimento foi realizado no Laboratório de Estudos em Caprinocultura do Departamento de Zootecnia, na Universidade Estadual Paulista (UNESP), em Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Foram utilizados 51 caprinos da raça Saanen, sendo 18 machos não castrados, 18 machos castrados e 15 fêmeas. Os animais foram mantidos em baias individuais equipadas com bebedouros e comedouros. A castração dos animais foi realizada aproximadamente aos 5 meses de idade.

No período anterior ao experimento os animais foram desmamados com 2 meses de idade e peso corporal médio de 12 Kg. No período após o desmame receberam silagem de milho e concentrado (50:50) à base de milho e farelo de soja até atingirem o peso corporal médio de 30 Kg com aproximadamente 7 meses de idade quando deu-se início à fase experimental.

Nesse momento foram realizados sorteios dos animais para formação dos trios de cada classe sexual (blocos), em que cada animal do trio recebeu um tipo de restrição: restrição alimentar ausente (RA), com oferta de ração à vontade aos animais; restrição moderada (RM), com fornecimento diário de ração aos animais na quantidade aproximada a 75% do consumo (g/dia) quantificado no dia anterior para o animal do mesmo bloco que foi alimentado com ausência de restrição alimentar "*pair-fed*"; e restrição severa (RS), com fornecimento diário de ração aos animais na quantidade equivalente a 50% do consumo (g/dia) quantificado no dia anterior para o animal de mesmo bloco alimentado com ausência de restrição alimentar (*pair-fed*).

A ração experimental foi calculada segundo as recomendações do NRC (2007), para animais com 45 Kg e ganho médio diário de 100 g/dia. Foi utilizado como volumoso o feno da planta de milho (planta de milho inteira fenada no ponto de ensilagem) picado no tamanho de 1 cm. Como concentrado

foi usado milho triturado, farelo de soja, calcário calcítico e mistura mineral (Tabela 3). A ração total tinha relação volumoso/concentrado de 50:50, com base na matéria seca (MS). A ração foi fornecida em duas refeições diárias, às 7h e 16h, com disponibilidade irrestrita de água para os animais. Na Tabela 2 estão apresentadas a composição bromatológica dos ingredientes e da ração experimental.

Tabela 3. Composição química bromatológica dos ingredientes e da dieta experimental

	MS (g/kg)	MO (g/kg MS)	PB (g/kg MS)	EE (g/kg MS)	FDN _c (g/kg MS)	FDA (g/kg MS)	CNF (g/kg MS)
Milho moído	858	987	82	50	127	35	72
Farelo de soja	861	931	539	21	158	77	21
Calcário calcítico	999	3	0	0	0	0	0
Mistura mineral	969	48	0	0	0	0	0
Feno planta milho	850	959	85	16	568	304	29
Dieta experimental	863	918	126	41	278	138	47

MS, material seca; MO, material orgânica, PB, proteína bruta, EE, extrato etéreo, FDN_c, fibra em detergente neutro livre de cinzas; FDA, fibra em detergente ácido

A ingestão dos animais alimentados à vontade foi ajustada de forma a manter sobras em torno de 20% do fornecido. Diariamente, as sobras foram pesadas e coletadas amostras para armazenamento à -10°C. Posteriormente, as amostras foram secas e moídas para análises laboratoriais. Para avaliação da taxa de passagem utilizou-se a média do consumo dos 5 dias anteriores ao abate.

Taxa de passagem

A técnica adotada para mensuração da taxa de passagem foi a metodologia direta através do abate dos animais. de forma que, todos os animais de um determinado bloco foram abatidos quando o cabrito alimentado à vontade atingiu 45 kg de peso corporal, assim, todos os animais do trio tiveram o mesmo número de dias em experimento. O abate foi realizado entre 2 à 3 horas após a alimentação, para evitar os momentos de máximo e mínimo de enchimento do rúmen.

O abate foi realizado com os animais deitados e logo em seguida foi amarrado as junções entre os compartimentos, para garantir que os conteúdos dos compartimentos não fossem misturados. Após o abate e evisceração, o

trato gastrointestinal (TGI) foi removido e separado nos compartimentos rúmen-retículo, ceco e cólon, que foram pesados cheios e vazios para determinação do peso de seus conteúdos. Nos compartimentos do rúmen e ceco foram mensurados o pH, utilizando potenciômetro digital (modelo TEC-11, Tecnal). Os conteúdos foram coletados, amostrados e armazenados a -10°C, para serem posteriormente analisados.

Com o objetivo de amostrar de forma mais homogênea o conteúdo ruminal, foi realizada a separação da parte sólida e líquida por meio da filtragem do material. Após a pesagem dessas frações, procedeu-se à amostragem em função das proporções obtidas. Para amostragem do conteúdo do ceco e cólon, realizou-se apenas uma homogeneização do material e posterior coleta em potes plásticos.

Para estimar a taxa de passagem, foi utilizado como indicador interno a FDNi. As concentrações dos indicadores internos na ração experimental, sobras e conteúdos dos compartimentos rúmen, ceco e cólon foram determinadas pela incubação dessas amostras em sacos de Ankom[®] (F57), no rúmen de bovinos por 288 h (VALENTE et al., 2011).

Nos cálculos do turnover, taxa de passagem e degradação da FDN foram utilizados os procedimentos de Dado e Allen (1995). O tempo de retenção foi calculado na fração do alimento que inclui a matéria digestível e indigestível, no caso a FDN, dessa forma, o tempo de retenção passa a ser melhor denominado de turnover (CANNAS et al., 2003).

O turnover (T) da fração indigestível da FDN foi calculada como:

$$T_{\text{FDNi}} \text{ (h)} = \text{pool de FDNi no órgão (kg)} / \text{taxa de ingestão de FDNi (kg/h)} \quad [1]$$

O recíproco do turnover (h) é equivalente a taxa de passagem (kp):

$$Kp \text{ (Taxa de passagem da FDN h}^{-1}\text{)} = 1 / T_{\text{FDNi}} \quad [2]$$

Ao assumir que a FDNi e a FDN potencialmente digestível (FDNpd) tem a mesma taxa de passagem, a estimativa de taxa de degradação (kd) da FDNpd foi calculada na fração potencialmente digestível, considerando que o maior valor absoluto da taxa de passagem da FDNpd é a taxa de degradação.

$$Kd \text{ FDNpd} = 1/T_{\text{FDNpd}} - 1/T_{\text{FDNi}} \quad [3]$$

Em que:

T_{FDNpd} é o turnover da FDNpd e foi calculado como sendo:

$$T_{\text{FDNpd}} \text{ (h)} = \text{pool de FDNpd no órgão (kg)} / \text{taxa de ingestão de FDNpd (kg/h)} \dots [4]$$

Em que:

pool de FDNpd no órgão (kg) = total de FDN no órgão – total de FDNi indigestível no órgão;

taxa de ingestão de FDNpd (kg/h) = taxa de ingestão de FDN – taxa de ingestão de FDNi;

Dessa forma, a FDNpd digerida foi calculada como:

$$\text{Digestibilidade FDNpd} = Kd \text{ FDNpd} / (Kd \text{ FDNpd} + Kp) \quad [5]$$

$$\text{Digestibilidade FDN no órgão} = \text{Fração da FDNpd na dieta} * (Kd / (Kd + Kp)) \dots [6]$$

$$\text{FDNpd digerida (kg/d)} = \text{FDNpd (Kg/d)} * (Kd / (Kd + Kp)) \quad [7]$$

Procedimentos analíticos

Nas amostras dos ingredientes da ração e das sobras foram determinados os teores de matéria seca por secagem em estufa a 105 °C por 24 h (AOAC, 1995/ 930.15), a matéria orgânica foi feita com a queima da amostra a 600 °C por 3 horas (AOAC, 1990/ 942.05). O teor de nitrogênio foi determinado pelo método de combustão de Dumas (Leco modelo FP 528 LC, Leco Corporation) (AOAC, 1990/ 968.06). O extrato etéreo foi determinado por extração em éter de petróleo no aparelho Soxhlet (AOAC 1995/ 920.39)

A concentração de FDN foi determinada no aparelho Ankom 220 Fiber Analyser (ANKOM Technology Corporation, Macedon, NY, USA) utilizando amilase termoestável e sem uso do sulfito de sódio e foi expresso como livre de

cinzas. Para mensuração das cinzas na FDN foi realizado a queima dos sacos de Ankom segundo AOAC, 1990/ 942.05. A FDA foi determinada no mesmo aparelho descrito acima (VAN SOEST et al., 1991). A fração solúvel em detergente neutro (SDN) foi determinada pela subtração entre o teor de MS e o teor de FDNc.

Análise estatística

Adotou-se o delineamento em blocos casualizado, com esquema fatorial 3x3 e seis repetições de machos não-castrados e castrados e cinco repetições de fêmeas. Os dois fatores em estudos foram a classe sexual e a restrição alimentar.

Os dados foram analisados como modelos mistos, considerando como efeitos fixos a restrição alimentar (2 graus de liberdade, GL), a classe sexual (2 GL) e suas interações (4 GL) e como efeitos aleatórios blocos (16 GL) e o erro.

O teste utilizado para comparação entre as médias foi Tukey. A significância foi declarada quando $P < 0,05$ e foi considerada tendência quando $0,05 \leq P < 0,10$.

3. Resultados

Não foi observado efeito significativo da interação classe sexual e restrição alimentar em todas as variáveis analisadas (Tabela 4) Houve efeito da classe sexual somente sobre o consumo de alguns nutrientes. Por outro lado, a restrição alimentar afetou a taxa de passagem no ceco e cólon (Tabela 5).

A classe sexual não afetou as taxas de passagem e de degradação, e a digestibilidade da FDNpd e FDNc no rúmen e intestino grosso dos caprinos submetidos à restrição alimentar ($P \geq 0,05$). No entanto, houve efeito sobre o consumo de matéria seca e da fração solúvel em detergente neutro quando expresso como porcentagem do peso corporal. Também houve tendência dos machos não castrados apresentarem maior consumo médio diário (g/dia) de matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro livre de cinzas (FDNc) e fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) que os machos castrados e fêmeas (Tabela 4). Os valores de consumo de nutrientes na Tabela 4 são referentes aos 5 dias anteriores ao abate em que foi feita a avaliação da taxa de passagem. O tipo de restrição

alimentar afetou ($P < 0,05$) o peso corporal e o consumo de nutrientes, sendo que animais em restrições ausente e moderada não diferiram no consumo de nutrientes quando expressos como porcentagem do peso corporal.

1 Tabela 4. Peso corporal e consumo dos nutrientes por caprinos de diferentes classes sexuais sob restrição alimentar

	Restrição Alimentar				Classe sexual				valores P	
	Ausente	Moderada	Severa	Não castrados	Castrados	Fêmeas	RA	CS	RAXCS	
PC (kg)	44,1±0,50 ^a	37,1±0,49 ^b	30,9±0,53 ^c	38,14±0,50	37,14±0,46	36,82±0,55	<0,01	0,18	0,46	
*Consumo (g/dia)										
MS	1039 ±16,67 ^a	756±16,67 ^b	519±17,47 ^c	800±16,51 ^x	772±15,28 ^y	741±18,82 ^y	<0,01	0,07	NS	
MO	956±15,15 ^a	694±15,15 ^b	476±15,88 ^c	735±15,01 ^x	710±13,90 ^y	681±17,12 ^y	<0,01	0,07	NS	
PB	135,9±2,56 ^a	95,5±2,56 ^b	65,4±2,68 ^c	101,5±2,54	96,2±2,35	98,9±2,69	<0,01	0,31	NS	
EE	42,8±0,93 ^a	30,8±0,93 ^b	21,1±0,97 ^c	32,6±0,92 ^x	32,5±0,86 ^y	29,6±1,05 ^y	<0,01	0,06	NS	
CNF	515±8,11 ^a	360±8,11 ^b	245±8,50 ^c	386±8,03 ^x	375±7,44 ^y	359±9,16 ^y	<0,01	0,11	NS	
FDNc	267±4,79 ^a	209±4,79 ^b	144±5,03 ^c	215±4,75 ^x	206,2±4,40 ^y	199±5,42 ^y	<0,01	0,08	NS	
FDNi	99,7±99,65 ^a	76,3±4,57 ^b	52,5±4,96 ^c	82,3±4,69 ^x	79,3±4,34 ^y	66,9±5,21 ^y	<0,01	0,08	NS	
*Consumo (%PC)										
MS	2,06±0,09 ^a	1,83±0,09 ^a	1,50±0,09 ^b	1,91±0,09 ^x	1,88±0,08 ^x	1,61±0,09 ^y	<0,01	0,05	NS	
FDNc	0,53±0,02 ^a	0,50±0,02 ^a	0,42±0,03 ^b	0,51±0,02 ^x	0,50±0,02 ^x	0,43±0,03 ^y	<0,01	0,08	NS	
SDN	1,54±0,06 ^a	1,32±0,06 ^a	1,09±0,07 ^b	1,39±0,06 ^x	1,38±0,06 ^x	1,18±0,07 ^y	<0,01	0,05	NS	
FDNi	0,22±0,01 ^a	0,20±0,01 ^a	0,17±0,01 ^b	0,21±0,01	0,20±0,01	0,18±0,01	<0,01	0,11	NS	
FDNpd	0,30±0,02 ^a	0,30±0,02 ^a	0,25±0,02 ^b	0,31±0,01 ^x	0,29±0,01 ^x	0,25±0,02 ^y	<0,01	0,07	NS	
*Consumo (g/kg PC ^{0,75})										
MS	53,3±2,29 ^a	45,1±2,29 ^b	35,4±2,41 ^c	47,6±2,27 ^x	46,6±2,10 ^x	39,7±2,52 ^y	<0,01	0,05	NS	
FDNc	13,6±0,66 ^a	12,5±0,63 ^a	9,83±0,69 ^b	12,8±0,65 ^x	12,4±0,60 ^x	10,7±0,72 ^y	<0,01	0,08	NS	
FSDN	39,7±1,67 ^a	32,7±1,61 ^a	25,6±1,74 ^b	34,8±1,65 ^x	34,2±1,53 ^x	29,0±1,83 ^y	<0,01	0,05	NS	
FDNi	5,79±0,27 ^a	5,07±0,26 ^a	3,99±0,28 ^b	5,26±0,27 ^x	5,17±0,25 ^x	4,42±0,30 ^y	<0,01	0,09	NS	
FDNpd	7,79±0,40 ^a	7,39±0,39 ^a	5,84±0,42 ^b	7,55±0,39 ^x	7,23±0,37 ^x	6,23±0,44 ^y	<0,01	0,08	NS	

2 * Consumo dos 5 dias anteriores ao abate; RA, restrição alimentar, MS, material seco; FDNc, fibra em detergente neutro livre de cinzas; MO, matéria orgânica; PB, proteína bruta, EE, extrato etéreo; CNF, carboidratos não fibrosos; FDNc, fibra em detergente neutro livre de cinzas; FDNi; FDN indigestível; FDNpd, FDN potencialmente digestível, SDN, fração solúvel em detergente neutro; PC, peso corporal, RAXCS, interação entre restrição alimentar e classe sexual

3 ^{a, b, c} Médias na linha seguidas por letras diferentes diferem pelo Teste de Tukey (P < 0,05). ^{x, y} Médias na linha seguidas por letras diferentes diferem pelo Teste de Tukey (0,05 ≤ P < 0,10); NS; não significativo quando P ≥ 0,10

4

5

6

A taxa de passagem e o turnover no rúmen não foram afetados pela restrição alimentar ($P \geq 0,05$), mas a restrição alimentar influenciou ($P < 0,05$) estas variáveis no ceco e cólon. Houve efeito da restrição alimentar na digestibilidade da FDNpd, FDNc ($P < 0,05$) e na taxa de degradação da FDNc (Kd) somente no cólon. A digestibilidade da FDNc no cólon foi significativamente maior para os animais em restrição moderada e severa (Tabela 5).

Tabela 5. Taxa de passagem, turnover, taxa de digestão, digestibilidade da FDNpd e FDNc e pH no rúmen e ceco de caprinos submetidos à restrição alimentar

	Restrição alimentar			P
	Ausente	Moderada	Severa	
Kp_{FDNi} (h⁻¹)				
Rúmen	0,0231±0,0018	0,0232±0,0018	0,0210±0,0020	NS
Ceco	0,4945±0,0313 ^a	0,4291±0,0302 ^a	0,2551±0,0352 ^b	<0,01
Cólon	0,1731±0,012 ^a	0,0905±0,014 ^b	0,0743±0,012 ^b	<0,01
T_{FDNi} (h)				
Rúmen	46,51±3,48	46,36±3,37	50,40±3,65	NS
Ceco	2,22±0,39 ^b	2,59±0,38 ^b	4,89±0,44 ^a	<0,01
Cólon	6,74±0,94 ^b	11,88±0,89 ^a	14,67±0,94 ^a	<0,01
Kd FDNc (h⁻¹)				
Rúmen	0,0225±0,0036	0,0255±0,0034	0,0267±0,0049	NS
Ceco	0,7764±0,1602	0,6405±0,1549	0,7499±0,1799	NS
Cólon	0,2700±0,0427 ^b	0,2439±0,0401 ^b	0,3816±0,0425 ^a	0,047
Digestibilidade FDNpd				
Rúmen	0,4698±0,045	0,4749±0,043	0,5426±0,062	NS
Ceco	0,5851±0,063	0,5676±0,061	0,7197±0,071	NS
Cólon	0,5809±0,0302 ^c	0,7020±0,0284 ^b	0,8038±0,030 ^a	<0,01
Digestibilidade FDNc				
Rúmen	0,2727±0,028	0,2835±0,026	0,3221±0,038	NS
Ceco	0,3385±0,037	0,3387±0,036	0,4303±0,041	NS
Cólon	0,3311±0,018 ^b	0,4182±0,017 ^a	0,4792±0,018 ^a	<0,01
pH				
Rúmen	5,79±0,102 ^y	5,76±0,103 ^y	6,09±0,114 ^x	0,07
Ceco	6,49±0,072 ^b	6,62±0,071 ^a	6,77±0,074 ^a	0,03

P, valores de P; Kp, taxa de passagem; T, turnover; Kd, taxa de degradação; FDNc, fibra em detergente neutro; FDNpd, FDN potencialmente digestível; FDNi, FDN indigestível;

^{a,b,c} Médias na linha seguidas por letras diferentes diferem pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

^{x,y} Médias na linha seguidas por letras diferentes diferem pelo Teste de Tukey ($0,05 \leq P < 0,10$); NS; não significativo quando $P \geq 0,10$.

Houve tendência do pH ruminal permanecer mais baixo nos animais alimentados à vontade e em restrição moderada, quando comparados com

animais em restrição severa (Tabela 6). Por outro lado, no ceco, o efeito da restrição foi significativo. O pH no rúmen foi menor que no ceco ($P < 0,05$)

O conteúdo de FDNc presente no ceco e cólon, quando expressos como porcentagem do peso corporal, foi afetado pela restrição alimentar. No rúmen, esse efeito não foi verificado. Além disso, no rúmen houve efeito da restrição alimentar sobre o conteúdo em gramas de MS, FDNc e FDNi, porém esse efeito não foi observado no ceco e cólon (Tabela 7).

Tabela 6. Composição da digesta do rúmen, ceco e cólon em caprinos submetidos à restrição alimentar

	Restrição alimentar			P
	Ausente	Moderada	Severa	
Rúmen				
MD (g)	4391 \pm 229	4201 \pm 221	3834 \pm 240	0,246
MS (g)	702,2 \pm 47,83 ^a	592,7 \pm 46,24 ^b	455,2 \pm 50,12 ^b	<0,01
FDNc(g)	322,5 \pm 22,53 ^a	257,4 \pm 21,78 ^b	172,4 \pm 23,61 ^c	<0,01
FDNi (g)	192,0 \pm 14,28 ^a	146,9 \pm 13,81 ^b	110,1 \pm 14,97 ^c	<0,01
FDNc (%PC)	0,432 \pm 0,034	0,393 \pm 0,033	0,352 \pm 0,035	NS
Ceco				
MD (g)	249 \pm 14,15	211 \pm 13,69	220 \pm 14,83	NS
MS (g)	35,3 \pm 1,88	29,5 \pm 1,82	31,6 \pm 1,87	0,087
FDNc(g)	13,5 \pm 0,99	12,4 \pm 0,96	13,2 \pm 1,04	NS
FDNi (g)	8,8 \pm 0,65	7,7 \pm 0,63	9,9 \pm 0,73	0,080
FDNc (%PC)	0,030 \pm 0,003 ^a	0,033 \pm 0,003 ^a	0,043 \pm 0,003 ^b	<0,01
Cólon				
MD (g)	519 \pm 33,67	479 \pm 32,55	429 \pm 35,29	NS
MS (g)	115,0 \pm 8,37	118,1 \pm 7,84	98,8 \pm 8,50	NS
FDNc(g)	43,5 \pm 3,42	49,4 \pm 3,20	40,8 \pm 3,47	NS
FDNi (g)	26,7 \pm 2,67	33,9 \pm 2,50	31,4 \pm 2,71	NS
FDNc (%PC)	0,09 \pm 0,009 ^a	0,13 \pm 0,009 ^b	0,13 \pm 0,010 ^b	<0,01

EPM, erro padrão da média; P, valores de P; MD, massa da digesta; MS, matéria seca; FDNc; fibra em detergente neutro livre de cinzas; FDNi, fibra em detergente neutro indigestível; PC, peso corporal

Não houve associação entre a taxa de passagem no rúmen com os níveis de ingestão da matéria seca e FDNi, mas verificou-se relação entre essas variáveis no ceco e cólon (Figuras 5). A taxa de passagem no ceco foi associada linear e positivamente com os consumos de FDNi ($r^2=0,45$; $P < 0,001$) e de matéria seca ($r^2=0,42$; $P < 0,001$). Também no cólon houve associação linear positiva da

taxa de passagem com o consumo de FDNi ($r^2=0,47$, $P<0,001$).e de matéria seca ($r^2= 0,47$; $P<0,001$).

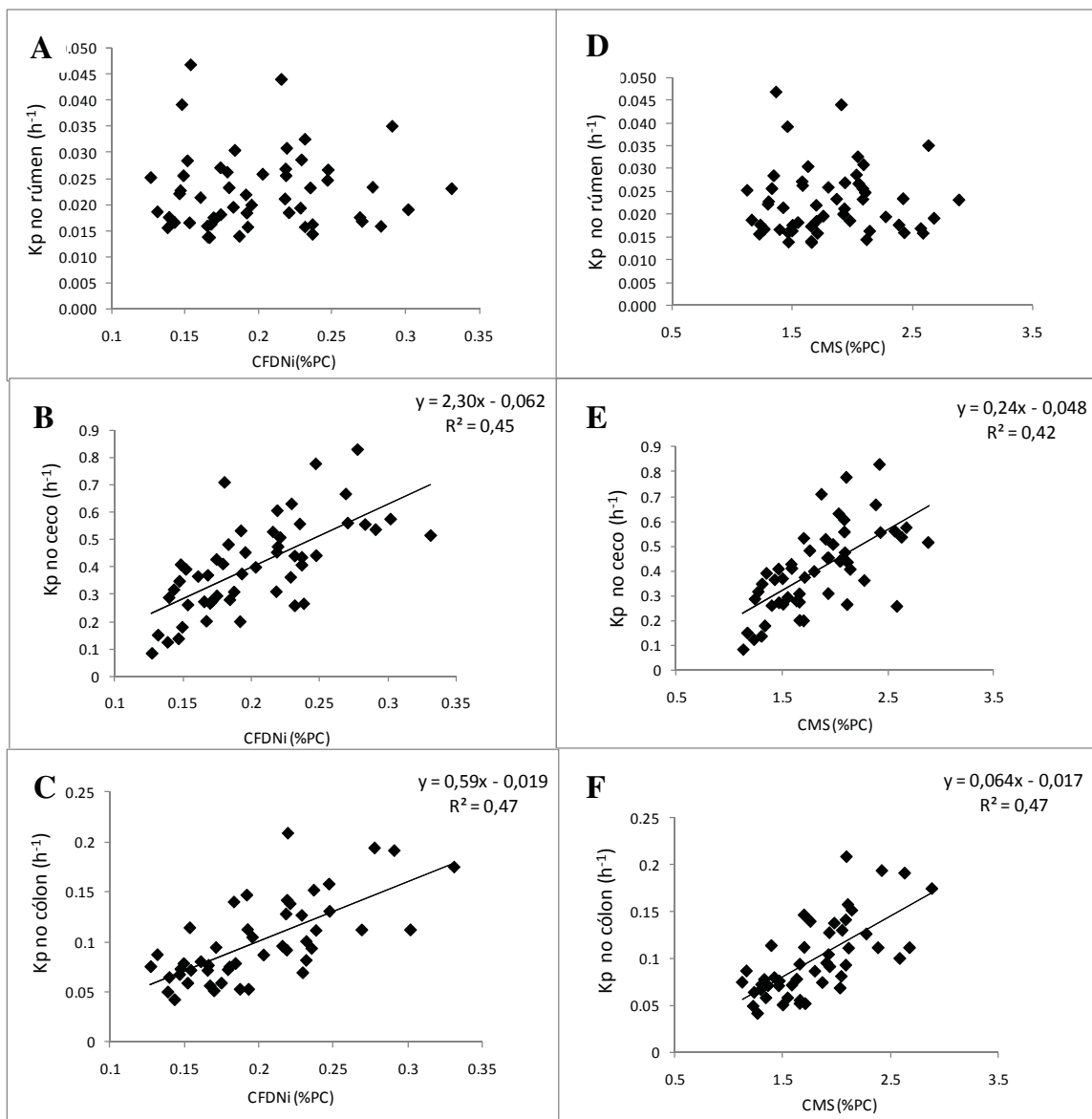


Figura 5. Relação entre consumo de FDNi e a taxa de passagem (Kp) no rúmen (A), ceco (B) e cólon (C) e entre consumo de MS e a taxa de passagem (Kp) no rúmen (D), ceco (E) e cólon (F) de caprinos submetidos a restrição alimentar.

4. Discussão

Nesse estudo nós buscamos estudar se e como a classe sexual e as restrições alimentares afetam a taxa de passagem no rúmen e intestino grosso em

caprinos alimentados com dieta de baixo teor de fibra. Nesse sentido, verificamos que a classe sexual não afetou a taxa de passagem em todos os compartimentos e que a restrição alimentar não influenciou a taxa de passagem no rúmen, mas teve efeito no ceco e cólon.

A maior ingestão em machos não castrados em relação aos machos castrados e fêmeas obtido nesse estudo também foi verificado por Bailey e Duff (2005) com bovinos e por Louca et al. (1977) com caprinos. O maior consumo em machos não castrados se deve ao fato desses apresentarem maior taxa de crescimento, regulado pelo hormônio testosterona. Esse hormônio promove aumento no diâmetro das fibras musculares devido à maior síntese proteica e estímulo na proliferação das células satélites (LAWRENCE; FOWLER, 2002). Além disso, machos não castrados apresentam maior exigência de energia e proteína para crescimento (NRC, 2007) e, conseqüentemente, possuem maior consumo para atender a maior demanda por nutrientes.

O consumo superior de MS (%PC) dos machos não castrados em relação às fêmeas (15,7%) e aos machos castrados (1,6%) não foi suficientemente grande para ocasionar efeito nas taxas de passagem e degradação no rúmen e intestino grosso. Portanto, pequenas diferenças no consumo de ração contendo baixo teor de fibra entre caprinos de diferentes classes sexuais, não afetam os parâmetros cinéticos de taxa de passagem.

A restrição alimentar não afetou a taxa de passagem no rúmen. Na maioria dos estudos que observaram efeito da restrição alimentar (ou do nível de ingestão) (BLAXTER et al., 1956; SHELLENBERGER; KESLER, 1961; COLUCCI et al., 1990; DIAS et al., 2011) os animais foram alimentados com alta proporção de fibra. Nesse caso, o aumento na quantidade ingerida de alimento é acompanhado por uma expansão no órgão e conseqüentemente em maior taxa de passagem, uma vez que quando o rúmen se expande fisicamente ocorre ativação de receptores presentes na parede deste órgão que estimulam a motilidade e conseqüentemente a saída da digesta (BALCH; CAMPLING, 1962).

No entanto, essa relação de causa e efeito depende de outros fatores, como a concentração de parece celular na dieta (COLUCCI et al., 1990). Nesse

contexto, no presente estudo, é possível que a baixa quantidade de fibra ingerida, em média 0,5% do peso corporal, não tenha provocado saturação do rúmen e, portanto, não promoveu expansão física desse órgão, o que não afetou a taxa de passagem.

O maior conteúdo da digesta no rúmen (MS, FDNc e FDNi) dos animais alimentados à vontade não foi suficiente para afetar a taxa de passagem, o que novamente confirma que em todos os tratamentos o baixo nível de ingestão de fibra não provocou enchimento ruminal. Tal efeito também foi encontrado por Djajanegara e Doyle (1989).

No ceco e cólon foi possível verificar efeito da restrição alimentar sobre a taxa de passagem, o que pode ser atribuído à saturação por fibra nesses compartimentos que são menores que o rúmen. A evidência de que houve saturação nesses órgãos é sustentada pelo resultado significativo das restrições sobre o peso do conteúdo em FDNc (%PC) no ceco e cólon. Ademais, a associação positiva entre o nível de ingestão e taxa de passagem no ceco e cólon e a ausência dessa relação no rúmen dá suporte ao argumento de que no rúmen não houve repleção, o que não limitou a taxa de passagem, enquanto no ceco e cólon isso não aconteceu.

A digestibilidade da fibra no rúmen não foi afetada pelo nível de ingestão, porque não houve diferença no turnover ruminal. Além disso, os baixos valores de pH ruminal levaram à menor digestão da fração fibrosa nesse órgão (HOOVER; STOKES, 1991; ØRSKOV, 1988).

Animais alimentados à vontade apresentaram valores de pH no rúmen mais baixos. Esse efeito pode ser resultado da maior frequência de alimentação, aliado ao maior consumo de CNF, quando comparados com animais mantidos em restrição. Provavelmente, ao longo do dia, o pH ruminal nesses animais manteve-se por maior período abaixo do adequado para fermentação da fração fibrosa do alimento, com valores abaixo de seis (HOOVER, 1986).

Por outro lado, nos animais com restrição alimentar severa, verificou-se tendência do pH no rúmen ser mais alto, em relação aos animais alimentados à vontade, pelo fato dos primeiros não se alimentarem constantemente ao longo do

dia e, assim, as reduções do pH se concentraram nos períodos de fornecimento da dieta. De fato, em estudos com avaliação do efeito do nível de ingestão sobre o pH ruminal de cabras e ovelhas, foi verificado que o pH manteve-se ou aumentou moderadamente, quando o nível de ingestão diminuiu (ZHAO et al., 1993; KABRÉ et al., 1995; DJAJANEGARA; DOYLE, 1989).

Possivelmente, o baixo pH no rúmen pode ter limitado a ação dos microrganismos fibrolíticos, o que restringiu a degradação da fibra nesse órgão. Consequentemente, essa fração do alimento pode ser melhor aproveitada no intestino grosso. Nesse compartimento, o pH foi considerado adequado para a ação dos microrganismos fibrolíticos *Ruminococcus flavefaciens* e *Fibrobacter succinogenes*, que tem sua atividade limitada em pH 6,0 a 6,1 e completamente inibidos em pH 5,9 (ASANUMA; HINO, 1997; MIYAZAKI et al., 1992; RUSSEL; DOMBROWSKI, 1980).

Também no ceco não foi verificado efeito da restrição alimentar sobre a digestibilidade da FDNc, o que pode ser atribuído pelo baixo turnover nesse órgão. Apesar dos herbívoros apresentarem microrganismos no ceco para degradar a fibra que escapa da degradação ruminal, a velocidade com que a digesta passa pelo ceco é muito alta e, portanto, a digestão nesse local pode ser negligenciável ou nula. Tal efeito também foi estudado por Coombe e Kay (1965), que verificaram, em ovinos com alta ingestão, redução na digestibilidade da fibra no rúmen, fato não compensado por um aumento de fermentação no ceco.

Porém no cólon houve efeito da restrição alimentar na digestibilidade da FDNpd, FDNc e na taxa de digestão. O cólon tem maior extensão que o ceco e, desse modo, o tempo de retenção do alimento nesse órgão seria suficiente para ocasionar maior digestibilidade da fibra. De fato, nos animais em restrição moderada e severa o turnover no cólon foi de aproximadamente 12 a 15 horas, respectivamente, portanto, haveria tempo para os processos de degradação ocorrer nesse órgão. É possível que a digestão tenha ocorrido na parte ascendente do cólon, que se assemelha muito ao ceco, com presença de microrganismos para degradação (Van Soest, 1994). Além disso, a hemicelulose que chega ao intestino grosso já sofreu ação do suco gástrico no abomaso, o que

pode ocasionar quebras de algumas ligações da hemicelulose com a lignina, tornando essa fração fibrosa mais disponível para digestão nesse compartimento (DESWYSEN; ELLIS, 1988, OKINE; MATHISON, 1991).

A principal contribuição desse estudo consiste em gerar valores de taxa de passagem reais, nos diferentes órgãos de caprinos. Grande parte dos estudos estima indiretamente esses valores, em função da excreção fecal de indicadores, sendo que o intestino grosso pode modificar essa curva de excreção (VEGAS et al., 1998), levando à estimativas de taxa de passagem tendenciosas (BERNARD et al., 1998). Dessa forma, trabalhos dessa natureza, com uso de metodologias diretas, são de extrema importância na obtenção de valores efetivos de taxa de passagem, não somente no rúmen, como também no intestino grosso.

Adicionalmente, este estudo evidenciou uma das principais adaptações evolutivas dos caprinos, como selecionadores de concentrados, proposta por Hoffman (1988), que consiste na maior digestão da fibra no cólon, como forma de aproveitar melhor material fermentescível que escapou do rúmen.

A ausência de efeito da classe sexual na taxa de passagem em caprinos alimentados com baixo teor de fibra na dieta e em fase final de crescimento implica que um único modelo para estimar essa variável pode ser utilizado em todas as classes sexuais.

A falta de relação entre ingestão e taxa de passagem nesse estudo sugere que outros fatores como nível de ingestão de fibra afeta diretamente o fluxo de partículas no trato gastrointestinal, o que sugere que estudos futuros precisam ser realizados no sentido de verificar qual nível de fibra na dieta poderia causar enchimento ruminal em caprinos e como isso afetaria a taxa de passagem no rúmen e intestino grosso.

5. Conclusões

Em caprinos alimentados com baixo teor de fibra na dieta, a classe sexual não influencia a taxa de passagem e a degradação da fibra no rúmen e no intestino grosso.

Em dietas com baixo teor de fibra, a ingestão de alimentos não é principal fator de regulação da taxa de passagem no rúmen de caprinos, demonstrando a importância das características físicas e químicas da dieta sobre os mecanismos que modificam a taxa de passagem.

6. Referências

- ASANUMA, N. AND HINO, T. Tolerance to low pH and lactate production in rumen bacteria, *Animal Feed Science Technology*, v.68, p.367–376, 1997.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis, 15thed, Washington: 1990.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis, 16thed, Washington: D.C. 1995.
- BAILEY, C.R.; DUFF, G.C. Protein requirements of finishing beef cattle. In: SOUTHWEST NUTRITION CONFERENCE, 2005, Tempe. Proceedings... Tempe: University of Arizona, 2005. p.78-85
- BALCH, C. C., and R. C. CAMPLING. Regulation of voluntary food intake in ruminants. *Nutrition Abstracts and Reviews.*, v.32, p.669–686, 1962.
- BERNARD, L., CHAISE, J. P., DELVAL, E. AND PONCET, C. Validation of the main modeling methods for the estimation of marker mean retention times in the different compartments of the gastrointestinal tract in sheep. *Journal of Animal Science*, v.76, p.2485-2495, 1998.
- BLAXTER, K. L., GRAHAM, N. McC. AND WAINMAN, F. W.. Some observations on the digestibility of food by sheep, and on related problems. *British Journal of Nutrition*, v.10, p. 69-91, 1956.
- CANNAS, A., VAN SOEST, P.J., PELL, A.N. Use of animal and dietary information to predict rumen turnover, *Animal Feed Science and Technology*, v.106, p.95-117, 2003.
- CANNAS, A. ; TEDESCHI, L. O. ; FOX, D. G. ; PELL, A. N. ; VAN SOEST, P. J. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep, *Journal of Animal Science*, v. 82 , p. 149-169, 2004.
- COLUCCI, P. E. I., MACLEOD, G. K., GROVUM, W. L., McYILLANI, I., and BARNEY, D. J. Digesta kinetics in sheep and cattle fed diets with different Forage to Concentrate Ratios at High and Low Intakes. *Journal of Dairy Science*, v. 73, p.2143-2156, 1990.
- COOMBE, J,P. AND KAY, R.N.B. Passage of digesta through the intestines of sheep, *British Journal of Nutrition*, v.19, p.325-338, 1965.
- DADO, R.G. AND ALLEN, M,S. Intake limitations, feeding behavior, and rumen function of cows challenged with rumen fill from dietary fiber or inert bulk, *Journal of Dairy Science*, v.78, p.118-113, 1995.
- DESWYSEN, A. G. AND ELLIS, W. C. Site and extent of neutral detergent fiber digestion, efficiency of ruminal digesta flux and fecal output as related to variations in voluntary intake and chewing behavior in heifers. *Journal of Animal Science*, v.66, p.2678, 1988.

- DE VEGA, GASA, A.J., CASTRILLO, C., GUADA, J. A. Passage through the rumen and the large intestine of sheep estimated from faecal marker excretion curves and slaughter trials. *British Journal of Nutrition* v. 80, p.381–389, 1998.
- DIAS, R. S., PATINO, H. O., LÓPEZ, S., PRATES, E., SWANSON, K. C. AND FRANCE, J. Relationships between chewing behavior, digestibility and digesta passage kinetics in steers fed restricted and ad libitum levels of oat hay. *Journal of Animal Science*, published online February 4, 2011.
- DJAJANEGARA, A. and DOYLE, P.T., Digestion rates in and outflow rates from the rumen of sheep fed untreated or calcium hydroxide-treated wheat straw. *Animal Feed Science and Technology*, v.25, p.179–191. 1989.
- DUKES, H.H., REECE, W.O. *Dukes' Physiology of Domestic Animals*, 12th ed. Cornell University Press, Ithaca, NY, USA. 2004, p.999.
- FOX, D.G.; TEDESCHI, L.O.; TYLUTKI, T.P. et al. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion *Animal Feed Science and Technology*, v.112, p.29-78, 2004.
- HOFFMAN, R. R. Anatomy of the gastrointestinal tract. In: *The Ruminant Animal, Digestive Physiology and Nutrition*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, NJ, 1988, p.14– 43.
- HOOVER, W. H. Chemical factors involved in ruminal fiber digestion. *Journal of Dairy Science*, v. 69, p.2755-2766. 1986.
- HOOVER, W.H., STOKES, S.R. Balancing carbohydrate and proteins for optimum rumen microbial yield. *Journal of Dairy Science*, v.74, p.3630-3644, 1991.
- KABRÉ, P., DOREAU, M., MICHALET-DOREAU, B. Effects of underfeeding and of fish meal supplementation on forage digestion in sheep. *Journal Agriculture Science(Camb.)*, v.124, p.119–127,1995.
- LAWRENCE, T.L.J. and FOWLER, V.R. *Growth of farm animals*, second ed. Wallingford, CAB International Publishing, 2002.
- LOUCA, A., ECONOMIDES, S. HANCOCK. Effects of castration on growth rate, feed conversion efficiency and carcass quality in Damascus goats *Journal Animal Production*, v.24, p.387-391, 1977.
- MERTENS, D. R. Regulation of forage intake. In: *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*, Wisconsin, Proceedings, Wisconsin, 1994, p. 450-493.
- MIYAZAKI, K., HINO, T. AND ITABASHI, H. Effects of extracellular pH on the intracellular pH and membrane potential of cellulolytic ruminal bacteria, *Ruminococcus albus*, *Ruminococcus flavefaciens*, and *Fibrobacter succinogenes*, *Journal of General and Applied Microbiology*, v.38, p.567–573, 1992.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, *Nutrient Requirements of Dairy Cattle*. 7th rev. ed. National Academy Press, Washington, DC., 2001.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, *Nutrient requirements of small ruminants*, 2007, p. 362.
- OKINE, E. K. AND MATHISON, G. W. Effects of feed intake on particle distribution, passage of digesta, and extent of digestion in the gastrointestinal tract of cattle. *Journal of Animal Science*, v.69, p.3435-3445, 1991.
- ØRSKOV, E.R. *Nutricion protéica de los rumiantes*. Saragoza: Ed. Acribia. 1988,p.178.

- RUSSELL, J. B. AND DOMBROWSKI, D. B. Effect of pH on the efficiency of growth by pure cultures of rumen bacteria in continuous culture. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 39, p.604–610, 1980.
- SHELLENBERGER, P.R. AND KESLER, E. M. Rate of passage of feeds through the digestive tract of Holstein cows. *Journal of Animal Science*, v.20, p.4160419, 1961.
- VALENTE, T. N. P., DETMANN E., QUEIROZ A. C., VALADARES FILHO S.C., GOMES D. I., FIGUEIRAS J. F., Evaluation of ruminal degradation profiles of forages using bags made from different textiles, *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, p. 2565-2573, 2011.
- VAN SOEST, P. J., ROBERTSON, J.B., LEWIS, B. A. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle, *Journal of Dairy Science*, Champaign, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.
- VAN SOEST, P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*, 2. ed, Ithaca: Cornell University, 1994.
- VARGA, G. A. and PRIGGE, E. C. Influence of forage species and level of intake on ruminal turnover rates. *Journal of Animal Science*, v.55, p.1498-1504, 1982.
- YANSARI, A.T., VALALIZADEH, R., NASERIN, A., CHRISTENSEN, D, A,. Effects of Alfalfa Particle Size and Specific Gravity on Chewing Activity, Digestibility, and Performance of Holstein Dairy Cows, *Journal of Dairy Science*, v.87, p. 3912-3924, 2004.
- ZHAO, J.Y., SHIMOJO, M., GOTO, I., The effects of feeding level and roughage/concentrate ratio on the measurement of protein degradability of two tropical forages in the rumen of goats, using the nylon bag technique. *Animal Feed Science and Technology*, v.41, p.261–269. 1993.

CAPÍTULO 3. Taxa de passagem de sólido e líquido em caprinos de diferentes classes sexuais e submetidos à diferentes regimes alimentares

RESUMO – Nosso objetivo foi verificar o efeito da classe sexual e da restrição alimentar sobre a taxa de passagem de sólido e líquido em caprinos, assim como, estudar a associação entre a taxa de passagem e a digestibilidade dos nutrientes, comportamento ingestivo e distribuição das partículas no rúmen-retículo. Para tal, foram usados 51 caprinos da raça Saanen, sendo 18 machos inteiros, 18 machos castrados e 15 fêmeas, os quais foram sorteados segundo o tipo de restrição: ausente (RA), moderada (RM) e severa (RS). O experimento foi iniciado quando os animais atingiram em média 30 kg PC e finalizado com o abate, quando os animais do tratamento RA atingiram peso corporal médio de 45 kg. Para mensuração da taxa de passagem, adotou-se a técnica de abate e como indicador externo de sólido foi utilizado o acetato de itérbio, para taxa de passagem de líquidos foi usado o Cr-EDTA. Adotou-se o delineamento em blocos casualizado, com esquema fatorial 3x3, sendo seis repetições de machos não castrados e castrados e cinco repetições de fêmeas. Foram usados modelos mistos, com os efeitos fixos de restrição alimentar, classe sexual e suas interações e como efeitos aleatórios, blocos e erro. A restrição alimentar não afetou a taxa de passagem de sólidos no rúmen ($P \geq 0,05$), mas teve efeito na taxa de passagem de líquidos em todos os compartimentos estudados, com exceção do jejuno ($P < 0,05$). A associação entre o baixo teor de FDN da dieta e grande proporção de partículas pequenas ingeridas não ocasionaram saturação por fibra do rúmen e aumento de volume do mesmo, o que levou a ausência de efeito das restrições na taxa de passagem de sólidos no rúmen. O aumento na ingestão não acarretou aumento na taxa de passagem de sólidos no rúmen e, conseqüentemente, não houve efeito na digestibilidade dos nutrientes ($P \geq 0,05$). O efeito do nível de consumo na taxa de passagem de líquido é resultado da relação linear que existe entre a quantidade de alimento ingerido, independente do tipo de alimento, com a quantidade de digesta que sai do rúmen-retículo em direção ao omaso. Em caprinos alimentados com baixa fibra na dieta, a classe sexual não influencia a taxa de passagem de sólido e líquido. O nível de ingestão de alimento com baixo teor de fibra é fator preponderante na regulação da taxa de passagem de líquidos, porém não tem efeito sobre a taxa de passagem de sólido no rúmen de caprinos. A alta proporção de partículas menores que 1,18 mm no rúmen indica que outros mecanismos, além da redução no tamanho de partículas, regulam a saída de sólidos do rúmen-retículo.

Palavras-chaves: Cr-EDTA, itérbio, tamanho de partícula, digestibilidade, comportamento ingestivo

1. Introdução

A taxa de passagem do alimento no trato digestivo está diretamente relacionada com a regulação física do consumo voluntário (ULYATT et al. 1986) e também afeta a quantidade de nutrientes que serão absorvidos no duodeno (ELLIS, 1978). Portanto, o conhecimento da taxa de passagem da digesta no rúmen possibilita prever o aproveitamento da dieta pelo animal. Além disso, é importante conhecer não apenas a velocidade de trânsito da fração sólida do alimento, mas também da fração líquida, pois essa tem influência nas contrações ruminais e, conseqüentemente, na abertura do orifício retículo-omasal, que vão determinar a saída das partículas do rúmen-retículo (SEO et al., 2007).

Considerando que animais de diferentes classes sexuais apresentam diferenças no consumo de nutrientes (NRC, 2007) e que o consumo é um dos principais fatores que afetam a taxa de passagem, é possível que a classe sexual possa ter influência na taxa de passagem. No entanto, é desconhecida a relação entre o efeito da categoria sexual do animal na taxa de passagem de sólidos e de líquidos no trato digestivo.

Aumento na ingestão de alimentos pode levar à diminuição no turnover ruminal e conseqüentemente decréscimo na digestibilidade dos nutrientes (BLAXTER et al., 1956; DIAS et al., 2011). No entanto, em alguns estudos esse efeito não tem sido encontrado (SHELLENBERGER; KESLER, 1961; VARGAS et al., 1982; PEARSON et al., 2006). Possivelmente, pequenas depressões na digestibilidade *in vivo* aparente são difíceis de serem detectadas. Além disso, em ensaios com baixa ingestão de fibra, podem ocorrer limitações no turnover ruminal, o que, conseqüentemente, não ocasiona efeito na digestibilidade.

Os ruminantes em condições de baixo consumo de alimento podem modificar o comportamento ingestivo, para tentar aproveitar melhor o alimento consumido (CLAUSS et al., 2009). É possível que animais em restrição severa modifiquem sua atividade mastigatória em resposta à baixa quantidade de alimento ingerido e ao maior turnover ruminal (DE BOEVER et al., 1990; DIAS et al., 2011). Além disso, as contrações no rúmen-retículo, são influenciadas pela atividade mastigatória do animal (MATHISON et al., 1995) e, portanto, conhecer o

comportamento mastigatório pode ajudar a explicar a dinâmica de líquidos no rúmen (SEO et al., 2007). No entanto, pouco se sabe sobre as alterações na atividade mastigatória em caprinos alimentados com baixa quantidade de fibra e como isso afeta a taxa de passagem.

A menor quantidade de alimento ingerido pode ocasionar diferenças na distribuição das partículas no rúmen, em função da maior atividade mastigatória dos animais (DIAS et al., 2011). Contudo, é possível que caprinos ao ingerir baixa quantidade de fibra na dieta não alterem sua atividade mastigatória e, conseqüentemente, a distribuição das partículas no rúmen não modifique. Porém, não se conhece a relação entre essas duas características e como isso afeta a taxa de passagem de sólidos e líquidos em caprinos consumindo dieta com baixa fibra.

As pesquisas idealizadas para conhecer as relações entre turnover da digesta, atividade mastigatória, distribuição das partículas no rúmen, digestibilidade e consumo podem prover informações importantes para estabelecer estratégias de manejo que aumentem a eficiência alimentar, como também para o desenvolvimento de modelos matemáticos que predizem turnover, levando em consideração essas relações (SAUVANT et al., 1996; SEO et al., 2007; DIAS et al., 2011).

Dessa forma, objetivou-se verificar o efeito da classe sexual e da restrição alimentar sobre a taxa de passagem de sólido e líquido em caprinos, assim como estudar a associação entre a taxa de passagem e a digestibilidade dos nutrientes, comportamento ingestivo e distribuição das partículas no rúmen-retículo.

2. Material e métodos

Animais e dieta

O experimento foi realizado no Laboratório de Estudos em Caprinocultura do Departamento de Zootecnia, na Universidade Estadual Paulista (UNESP), em Jaboticabal, São Paulo, Brasil. Foram utilizados 51 caprinos da raça Saanen, sendo 18 machos não castrados, 18 machos castrados e 15 fêmeas. Os animais

foram mantidos em baias individuais equipadas com bebedouros e comedouros. A castração dos animais foi realizada aproximadamente aos 5 meses de idade.

No período anterior ao experimento os animais foram desmamados com 2 meses de idade e peso corporal médio de 12 Kg. No período após o desmame receberam silagem de milho e concentrado (50:50) à base de milho e farelo de soja até atingirem o peso corporal médio de 30 Kg com aproximadamente 7 meses de idade quando deu-se início a fase experimental.

Nesse momento foram realizados sorteios dos animais para formação dos trios de cada classe sexual (blocos). Em que cada animal do trio recebeu um tipo de restrição: restrição alimentar ausente (RA), com oferta de ração à vontade aos animais; restrição moderada (RM), com fornecimento diário de ração aos animais na quantidade aproximada a 75% do consumo (g/dia) quantificado no dia anterior para o animal do mesmo bloco que foi alimentado com ausência de restrição alimentar (pair-fed); e restrição severa (RS), com fornecimento diário de ração aos animais na quantidade equivalente a 50% do consumo (g/dia) quantificado no dia anterior para o animal de mesmo bloco alimentado com ausência de restrição alimentar (pair-fed).

A ração experimental foi calculada segundo as recomendações do NRC (2007), para animais com 45 Kg e ganho médio diário de 100 g/dia. Foi utilizado como volumoso o feno da planta de milho (planta de milho inteira fenada no ponto de ensilagem) picado no tamanho de 1 cm. Como concentrado foi usado milho triturado, farelo de soja, calcário calcítico e mistura mineral. A ração total tinha uma relação volumoso/concentrado de 50:50, com base na matéria seca (MS). A ração foi fornecida em duas refeições diárias, às 7h e 16h, com disponibilidade irrestrita de água para os animais. Na Tabela 2 (capítulo anterior, página 36) está apresentada a composição bromatológica da ração experimental.

Consumo

A ingestão dos animais alimentados em restrição ausente (RA) foi ajustada de forma a manter sobras em torno de 20% do fornecido. O consumo desses animais serviu para determinar a quantidade a ser ofertada aos animais em restrição. Diariamente, foram coletadas amostras de sobras e armazenadas à -

10°C. Posteriormente, as amostras foram secas e moídas para análises laboratoriais. Para avaliação da taxa de passagem utilizou-se o consumo dos 5 dias anteriores ao abate dos animais.

Comportamento ingestivo

As observações de comportamento ingestivo foram realizadas aproximadamente na metade do período experimental.

Nos dias de avaliação, durante um período de 24 horas, quatro observadores treinados, posicionados estrategicamente de forma a não incomodar os animais, fizeram observações visuais a cada cinco minutos, onde foram identificadas as atividades de alimentação, ruminação e ócio (WOODFORD; MURPHY, 1988). Durante a coleta de dados, o ambiente foi mantido com iluminação artificial para possibilitar a observação noturna dos animais.

Foram realizadas contagens do número de mastigações meréricas (nº de mastigações/bolo) e do tempo despendido para ruminação de cada bolo (seg/bolo), com a utilização de um cronômetro digital (POLLI et al., 1996, BÜRGER et al., 2000). Para obtenção das médias das mastigações e do tempo, foram feitas observações de três bolos ruminais em três horários diferentes do dia, no período da manhã, tarde e noite.

A eficiência de alimentação e ruminação foi calculada por meio da divisão do tempo total despendido em alimentação, ruminação ou mastigação pelo consumo médio diário de MS e FDN (gramas) durante 24 horas, respectivamente.

Digestibilidade

Após o período de observações do comportamento alimentar, foi realizado o ensaio de digestibilidade, em que os animais foram levados para as gaiolas dotadas de aparatos separadores de fezes. Foi utilizado o método de coleta total de fezes durante cinco dias. As fezes e sobras da ração foram pesadas diariamente, sendo que aproximadamente 10% da quantidade coletada foram utilizadas para realização das análises laboratoriais.

Para análise bromatológica do alimento fornecido, utilizou-se a composição dos ingredientes (feno de milho, farelo de soja e milho) nas proporções da dieta total.

Os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca (MS), fibra em detergente neutro livre de cinzas (FDNc), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), carboidratos não fibroso (CNF) e carboidratos totais (CT) foram calculados como:

$$\text{Digestibilidade aparente} = \frac{(\text{Nutriente ingerido, g} - \text{Nutriente excretado, g})}{(\text{Nutriente ingerido, g})}$$

Durante o período de avaliação da digestibilidade foi mensurada diariamente a quantidade de água bebida, por meio da pesagem da água fornecida e recusada no período de 24 horas, sendo que era descontada também a quantidade de água perdida por evaporação. A perda evaporativa foi feita a partir da mensuração de 1 litro de água, todas as manhãs, que ficava exposto no ambiente das gaiolas.

O consumo de água total foi determinado pela soma da quantidade de água bebida, água do alimento e água metabólica. A água metabólica foi calculada em função da quantidade de água produzida por grama de alimento ingerido (TAYLOR et al., 1969). Multiplicando-se por 0,60, 0,42 e 1,10 para carboidrato digestível, proteína digestível e gordura digestível, respectivamente (CHURCH, 1976).

Taxa de passagem

Foi utilizado como indicador externo da fração sólida o acetato de itérbio. A ração completa foi submersa em solução tampão de acetato (0,1M) por 3 horas e por mais uma hora em uma nova solução de composição igual à anterior contendo acetato de itérbio. Posteriormente o material foi lavado várias vezes com água e depois seco em estufa 60 °C por 48 horas (DE VEGAS;POPPI, 1997).

O Cr-EDTA foi usado como indicador externo de fase líquida, seu preparo foi feito segundo método de Downes e McDonald (1964), onde Cloreto de Cromo

(CrCl₆H₂O) foi dissolvido em água e adicionado uma solução ácido etilenodiamino tetra-acético (EDTA). A mistura foi aquecida a 100°C por uma hora, e os íons cromo em excesso foram precipitados com adição de um ligeiro excesso de NH₄OH à solução quente. Em seguida, a mesma foi resfriada e filtrada.

Porções de todas as soluções de Cr-EDTA e de ração marcada com itérbio foram armazenadas para posterior análise da quantidade desses indicadores fornecida aos animais.

A dosagem dos indicadores externos foi realizada por cinco dias consecutivos, antes do abate, onde 6 g da ração total marcada com itérbio e 150 mL de solução de Cr-EDTA foram administrados oralmente em quatro porções iguais com intervalo de seis horas. Os indicadores foram administrados aos animais utilizando sonda oral e a ração marcada foi administrada na forma de peletes.

Para determinação dos elementos cromo e itérbio nas amostras de digesta e das amostras marcadas fornecidas aos animais, procedeu-se a digestão com 10 mL da mistura de ácido nítrico e perclórico (5:1) em 0,2 g de amostra seca. Após o período de uma noite, as amostras foram gradualmente aquecidas até serem completamente digeridas. Após digestão, realizou-se a filtragem e a determinação da concentração do indicador usando aparelho de espectrometria em absorção atômica (Varian, modelo Spectra AA 220 FS), com chama de acetileno e óxido nitroso (DE VEGA; POPPI, 1997).

Os animais foram abatidos quando aqueles alimentados à vontade atingiram 45 kg de peso corporal. Após o abate e a evisceração, o trato gastrointestinal (TGI) foi removido e separado nos compartimentos rúmen-retículo, omaso, abomaso, jejuno, ceco e cólon que foram pesados cheios e vazios, para determinação do peso dos conteúdos. Os conteúdos de todos os compartimentos foram coletados, amostrados e armazenados a -10°C, para serem posteriormente analisados.

Para realização de amostragem mais homogênea do conteúdo ruminal foi feita a separação da parte sólida e líquida através da filtragem do material. Após pesagem dessas frações procedeu-se a amostragem em função das proporções

obtidas. Para amostragem dos demais compartimentos realizou-se apenas uma homogeneização do material e posterior coleta em potes plásticos.

Para cálculo da taxa de passagem e do turnover nos diferentes compartimentos do trato digestivo dos animais abatidos utilizou-se os procedimentos descritos por Faichney (1975), usando a equação:

$$K = I/Q,$$

Onde K representa a taxa fracional de passagem (h^{-1}) do compartimento, I taxa de administração dos indicadores (mg/h) e Q a quantidade de indicador (mg) realmente presente no compartimento, calculado como:

$$Q = C \times A,$$

Onde C representa a concentração de indicadores na digesta em condições de “steady-state” (mg/g MS) e A representa a quantidade de MS (g) no total considerado.

Tamanho de partícula

A distribuição do tamanho de partículas das amostras da ração fornecida, sobras e conteúdo ruminal foi determinada no aparelho Endecotts modelo wet sieving EFL 2000/1 (Endecotts Limited, Lombard Road, London) que possui seis peneiras com tamanho dos poros de 4,75, 2,36, 1,18, 0,60, 0,30 e 0,15 mm. Partículas retidas nas peneiras menores que 1,18 mm foram consideradas pequenas (PP) e partículas retidas nas peneiras maiores e iguais à 1,18 foram consideradas grandes (PG) (SEO et al., 2009)

Aproximadamente 15 gramas de amostra da ração fornecida, como também das sobras dos animais, e 60 gramas de digesta de rúmen foram peneiradas por 10 minutos utilizando o fluxo de água de 1,5 litros/minuto, conforme indicado para uso do aparelho. Antes de realizar o peneiramento das amostras secas (ração e sobras), as mesmas foram imersas em 200 mL de água, durante 20 minutos, a fim de quebrar a tensão superficial das partículas à água.

Após o peneiramento, o material retido em cada peneira foi coletado em folhas de papéis com tara conhecida, levado à estufa de 60°C por 48 horas e,

posteriormente, pesado para determinação da distribuição da matéria seca nas peneiras. Os resultados foram expressos em gramas da matéria seca.

O índice de seletividade (IS) foi calculado pela divisão entre o ingerido e ofertado, para as partículas pequenas e grandes. O IS acima de 1 significa que o animal selecionou determinada fração da dieta, abaixo de 1 representa que o animal não selecionou e houve recusa por aquele tamanho de partícula. Para IS igual à 1, não houve seleção nem refuga, ou seja, tudo que foi ofertado foi consumido pelos animais (HODGSON, 1979).

Procedimentos analíticos

Nas amostras dos ingredientes da ração, das sobras e das fezes foram determinados os teores de matéria seca por secagem em estufa a 105 °C por 24 h (AOAC 1995/ 930.15), a matéria orgânica foi obtida pela queima da amostra a 600 °C por 3 horas (AOAC 1990/ 942.05). O teor de nitrogênio foi determinado pelo método de combustão de Dumas (Leco modelo FP 528 LC, Leco Corporation) segundo AOA 1990/ 968.06. O extrato etéreo foi determinado por extração em éter de petróleo no aparelho Soxhlet (AOAC 1995/ 920.39).

A concentração de FDN foi determinada no aparelho Ankom 220 Fiber Analyser (ANKOM Technology Corporation, Macedon, NY, USA) utilizando amilase termoestável e sem uso do sulfito de sódio e foi expresso como livre de cinzas. Para mensuração das cinzas na FDN foi realizado a queima dos sacos de Ankom segundo AOAC, 1990/ 942.05. A FDA foi determinada no mesmo aparelho descrito acima (VAN SOEST et al., 1991).

Para secagem das amostras de digesta utilizou-se o processo de liofilização, de forma a evitar que altas temperaturas pudessem causar modificações na concentração dos indicadores. Após secagem, realizou-se a moagem das amostras à 1mm. Foram realizadas as determinações de matéria seca, matéria orgânica, fibra em detergente neutro livre de cinzas, como descrito acima.

Análise estatística

Adotou-se o delineamento em blocos casualizados, com esquema fatorial 3x3 sendo seis repetições de machos não castrados e castrados e cinco repetições de fêmeas. Os dois fatores em estudos foram a classe sexual e a restrição alimentar.

Os dados foram analisados como modelos mistos, considerando como efeitos fixos a restrição alimentar (2 graus de liberdade, GL), a classe sexual (2 GL) e suas interações (4 GL) e como efeitos aleatórios blocos (16 GL) e o erro.

O teste para comparação entre as médias utilizado foi Tukey. A significância foi declarada quando $P < 0,05$ e foi considerada tendência quando $0,05 \leq P < 0,10$.

3. Resultados

Não houve efeito da classe sexual sobre todas as variáveis mensuradas, com exceção do consumo de água. A interação não foi significativa entre os fatores classe sexual e restrição alimentar em todas as respostas estudadas.

A restrição alimentar não afetou a taxa de passagem de sólido no rúmen, mas teve efeito sobre a taxa de passagem de líquidos nos demais compartimentos, exceto no jejuno (Tabela 7).

Optou-se por não apresentar os dados de taxa de passagem de sólido no abomaso, jejuno, ceco e cólon na Tabela 7, devido algumas limitações do itérbio, que serão discutidas posteriormente.

Tabela 7. Taxa de passagem de sólido e de líquido e turnover em caprinos submetidos a restrição alimentar

	Restrição			P
	Ausente	Moderada	Severa	
Taxa de passagem da fração sólida (h ⁻¹)				
rúmen	0,044±0,0034	0,038±0,0038	0,037±0,0034	NS
Turnover da fração sólida (h)				
rúmen	25,39±0,0264	29,37±0,0268	29,63±0,0268	NS
Taxa de passagem da fração líquida (h ⁻¹)				
rúmen	0,128±0,0079 ^a	0,091±0,0072 ^b	0,064±0,0078 ^c	<0,01
omaso	3,61±0,41 ^a	2,05±0,41 ^b	1,89±0,43 ^b	<0,01
abomaso	4,51±0,62 ^a	1,98±0,58 ^b	1,59±0,71 ^b	<0,01
jejuno	0,105±0,025	0,108±0,025	0,063±0,026	NS
ceco	0,505±0,040 ^a	0,367±0,041 ^b	0,275±0,040 ^c	<0,01
cólon	0,193±0,024 ^a	0,122±0,020 ^b	0,095±0,023 ^b	<0,01
Turnover da fração líquida (h)				
rúmen	8,65±0,0104 ^c	12,12±0,0096 ^b	17,26±0,0104 ^a	<0,01
omaso	0,42±0,052	0,53±0,052	0,64±0,055	<0,01
abomaso	0,40±0,074 ^b	0,67±0,070 ^a	0,77±0,085 ^a	<0,01
jejuno	12,03±1,86 ^b	16,12±1,85 ^a	19,44±1,95 ^a	<0,01
ceco	2,47±0,0032 ^b	3,17±0,0033 ^a	4,03±0,0032 ^a	<0,01
cólon	7,14±0,010	9,95±0,009	12,01±0,010	<0,01

P, valores de P; ^{a, b, c} Médias na linha seguidas por letras diferentes diferem pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

A taxa de passagem de líquidos foi associada linear e positivamente com o nível de ingestão da matéria seca no rúmen ($r^2=0,34$; $P<0,001$), no ceco ($r^2=0,46$; $P<0,001$) e cólon ($r^2 =0,30$; $P<0,001$). Não houve associação entre essas variáveis no omaso, abomaso e jejuno ($r^2=0,16$; $P=0,0068$; $r^2=0,01$; $P=0,54$ e $r^2=0,14$ e $P=0,078$ respectivamente) (Figura 6).

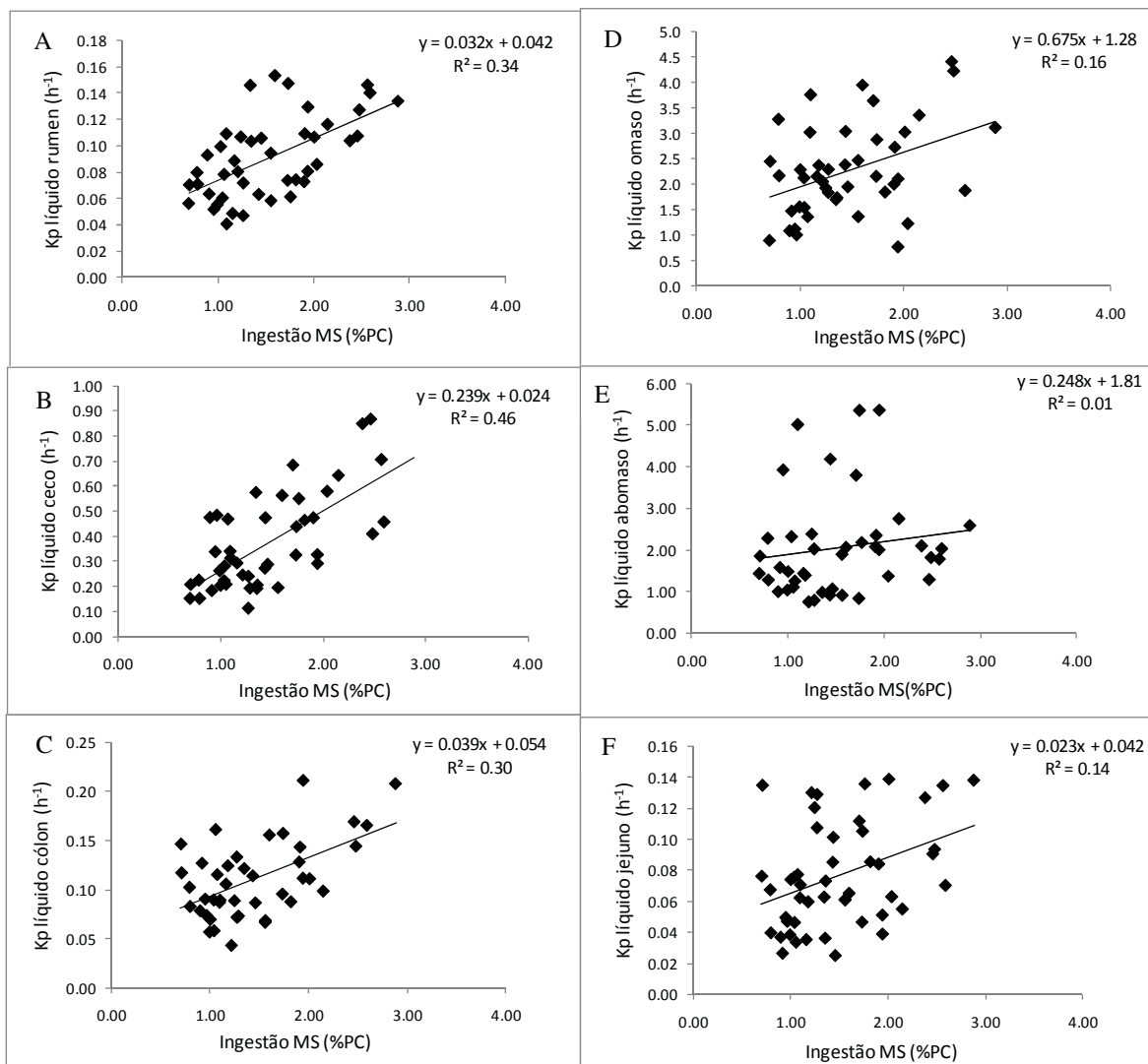


Figura 6. Relação entre ingestão de matéria seca (MS, %PC) e taxa e passagem (Kp) de líquidos no rúmen (A), ceco (B), cólon (C), omaso (D), abomaso (E) e jejuno (F) em caprinos submetidos à restrição alimentar.

Os machos não castrados e castrados apresentaram maior consumo de água total que as fêmeas. Os animais em restrição severa tiveram maior consumo de água quando essa variável foi expressa como porcentagem do peso corporal e como ml por peso metabólico. Machos inteiros tiveram tendência de maior consumo de MS, FDNc e PB que machos castrados e fêmeas ($P=0,07$; $0,08$; $0,06$, respectivamente). Não houve efeito das restrições alimentares na digestibilidade da MS, FDNc e PB ($P \geq 0,05$). No entanto, a digestibilidade dos CNF ($P < 0,05$) foi maior nos animais com consumo à vontade e com restrição severa. (Tabela 8).

Tabela 8. Efeito da restrição alimentar e da classe sexual no peso corporal, consumo de nutrientes, digestibilidade aparente total e consumo de água em caprinos

	Restrição						Classe sexual			Valores de P		
	Ausente	Moderada	Severa	Não castrado	Castrado	Fêmea	RA	CS	RAXCS	CS	RAXCS	
	44,1±0,50 ^a	37,1±0,49 ^b	30,9±0,53 ^c	38,14±0,50	37,14±0,46	36,82±0,55	<0,01	0,18	0,46			
PC (kg)	44,1±0,50 ^a	37,1±0,49 ^b	30,9±0,53 ^c	38,14±0,50	37,14±0,46	36,82±0,55	<0,01	0,18	0,46			
*Consumo (g/dia)												
MS	1039±16,67a	756±16,67b	519±17,47c	800±16,51x	772±15,28y	741±18,82y	<0,01	0,07	NS			
FDNc	267±4,79a	209±4,79b	144±5,03c	215±4,75x	206±4,40y	199±5,42y	<0,01	0,08	NS			
EE	42,8±0,93 ^a	30,8±0,93b	21,1±0,97c	32,6±0,92x	32,5±0,86y	29,6±1,05y	<0,01	0,31	NS			
PB	135,9±2,56a	95,5±2,56b	65,4±2,68c	101,5±2,54x	96,2±2,35y	98,9±2,69y	<0,01	0,06	NS			
CNF	515±8,11a	360±8,11b	246±8,50c	386±8,03x	375±7,44y	360±9,16y	<0,01	0,11	NS			
Digestibilidade aparente total												
MS	0,70±0,012	0,68±0,012	0,71±0,013	0,68±0,012	0,71±0,019	0,70±0,014	0,12	NS	NS			
FDN _c	0,48±0,028	0,46±0,021	0,50±0,023	0,45±0,021	0,50±0,021	0,48±0,024	NS	NS	NS			
PB	0,60±0,027	0,57±0,026	0,58±0,028	0,58±0,026	0,61±0,025	0,57±0,029	NS	NS	NS			
EE	0,94±0,094 ^a	0,91±0,091 ^b	0,90±0,902 ^b	0,90±0,871	0,92±0,967	0,93±0,829	0,03	NS	NS			
CNF	0,90±0,008 ^a	0,89±0,007 ^b	0,92±0,008 ^a	0,89±0,007	0,91±0,007	0,91±0,008	0,02	NS	NS			
CT	0,76±0,012 ^x	0,73±0,011 ^y	0,77±0,012 ^x	0,73±0,014	0,76±0,011	0,75±0,013	0,06	NS	NS			
Consumo água (mL/d)												
Bebida	3810±416	3614±399	4487±426	4701±403 ^a	4159±376 ^a	3050±460 ^b	NS	0,03	NS			
Metabólica	431±12,31 ^a	314±11,82 ^b	211±12,61 ^c	302±11,92	337±11,11	316±13,59	<0,01	0,12	NS			
Alimento	149±3,86 ^a	122±3,71 ^b	80±3,95 ^c	111±3,73	122±3,48	117±4,26	<0,01	0,13	NS			
Total	4430±417	4081±401	4833±427	5132±404 ^a	4643±376 ^a	3569±461 ^b	NS	0,04	NS			
Total (mL/PC ^{0,75})	25,9±2,94 ^b	27,2±2,82 ^b	36,7±3,01 ^a	33,8±2,84 ^x	31,5±2,65 ^x	24,4±3,24 ^y	0,03	0,09	NS			
Total (%PC)	11,4±1,29 ^b	12,3±1,25 ^b	16,2±1,33 ^a	15,1±1,25 ^x	14,1±1,73 ^x	10,8±1,43 ^y	0,03	0,08	NS			

*Consumo dos últimos 5 dias anterior ao abate..

PC, peso corporal durante o período de digestibilidade; MS, material seco; FDN_c, fibra em detergente neutro livre de cinzas; PB, proteína bruta, EE, extrato etéreo; CNF, carboidratos não fibrosos; CT, carboidratos totais; RAXCS, interação entre classe sexual e restrição

^{a,b,c} Médias na linha seguidas por letras diferentes diferem pelo Teste de Tukey (P < 0,05).

^{x,y} Médias na linha seguidas por letras diferentes diferem pelo Teste de Tukey (0,05 ≤ P < 0,10); NS; não significativo quando P ≥ 0,10

Foi observado efeito do tipo de restrição alimentar ($P < 0,05$) em todas as categorias de comportamento avaliadas (min/d). No entanto, não foi verificado efeito da restrição alimentar nas eficiências (min/g) de alimentação e ruminação ($P \geq 0,05$). Os animais alimentados à vontade e em restrição moderada apresentaram maior tempo gasto em atividades como ruminação e mastigação (Tabela 9).

Tabela 9. Efeito da restrição alimentar no comportamento ingestivo de caprinos

	Restrição			Valores <i>P</i>
	Ausente	Moderada	Severa	
Atividade diária (min/d)				
Em pé	589±28,8 ^b	629±27,8 ^b	722±30,1 ^a	<0,01
Deitado	847±31,3 ^b	803±30,3 ^b	706±32,8 ^a	<0,01
Alimentação	117±10,7 ^a	81±10,4 ^b	80±11,2 ^b	<0,01
Ruminação	350±20,4 ^a	344±19,8 ^a	215±21,3 ^b	<0,01
Mastigação*	468±26,3 ^a	425±25,4 ^a	275±27,5 ^b	<0,01
Ócio	943±30,2 ^b	1011±29,3 ^a	1164±31,6 ^a	<0,01
Eficiência (min/g)				
<u>Alimentação /IMS</u>	0,13±0,02	0,11±0,02	0,10±0,02	NS
<u>Ruminação / IMS</u>	0,40±0,04	0,47±0,04	0,36±0,04	NS
<u>Ruminação /IFDN</u>	1,51±0,13	1,72±0,13	1,32±0,14	NS
<u>Mastigação / IFDN</u>	2,01±0,18	2,12±	1,70±0,19	NS

*Mastigação = alimentação + ruminação;

RA, restrição alimentar; IMS, ingestão de matéria seca; IFDN, ingestão de fibra em detergente neutro

^{a, b, c} Médias na linha seguidas por letras diferentes diferem pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$).

O tempo em alimentação foi associado linearmente e positivamente com a taxa de passagem de líquidos no rúmen-retículo ($r^2=0,39$; $P < 0,001$) (Figura 7). Não houve associação entre essas variáveis nos demais compartimentos

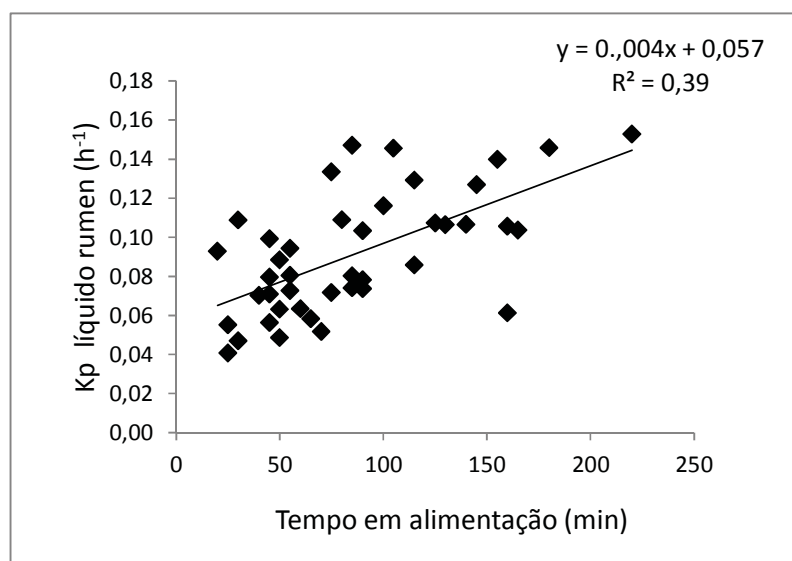


Figura 7. Relação entre tempo em alimentação e taxa de passagem de líquido no rúmen-retículo de caprinos submetidos à restrição alimentar.

O tipo de restrição alimentar afetou a quantidade de partículas ingeridas pelos caprinos e o índice de seletividade ($P < 0,05$). No entanto, não foi verificado esse efeito sobre o tamanho das partículas da digesta ruminal. As partículas pequenas no rúmen representaram, em média, 60% das partículas totais presentes nesse compartimento (Tabela 10).

Tabela 10. Partículas grandes ($\geq 1,18$ mm) e pequenas ($< 1,18$ mm) ingeridas e presentes no rúmen retículo e índice de seletividade em caprinos submetidos a restrição alimentar.

	Restrição			P
	Ausente	Moderada	Severa	
Ingerido (g/kg MS)				
Partículas grandes	460 \pm 4,69 ^b	492 \pm 4,43 ^a	493 \pm 5,64 ^a	<0,01
Partículas pequenas	540 \pm 4,88 ^a	508 \pm 4,61 ^b	507 \pm 5,87 ^b	<0,01
Digesta ruminal (g/ kg MS)				
Partículas grandes	384 \pm 22,4	420 \pm 21,1	359 \pm 26,9	NS
Partículas pequenas	616 \pm 22,5	580 \pm 21,3	641 \pm 27,1	NS
Índice de seletividade				
Partículas grandes	0,90 \pm 0,01 ^b	0,99 \pm 0,01 ^a	1,00 \pm 0,02 ^a	<0,01
Partículas pequenas	1,09 \pm 0,01 ^a	1,00 \pm 0,01 ^b	1,00 \pm 0,02 ^b	<0,01

EPM, erro padrão da média; P, valores de P; MS, matéria seca;

^{a, b, c} Médias na linha seguidas por letras diferentes diferem pelo Teste de Tukey ($P < 0,05$);

^{x, y} Médias na linha seguidas por letras diferentes diferem pelo Teste de Tukey ($0,05 \leq P < 0,10$);

NS, não significativo quando $P \geq 0,10$

Ao comparar as proporções do tamanho das partículas ingeridas e presentes no rúmen verificou-se que a quantidade de partículas menores iguais à 0,3 mm no rúmen-retículo foram maiores, se comparados com a quantidade destas ingeridas. No entanto, as partículas maiores iguais à 0,6 mm, apresentaram padrão de resposta inverso, com menor quantidade no rúmen-retículo em relação ao ingerido (Figura 8).

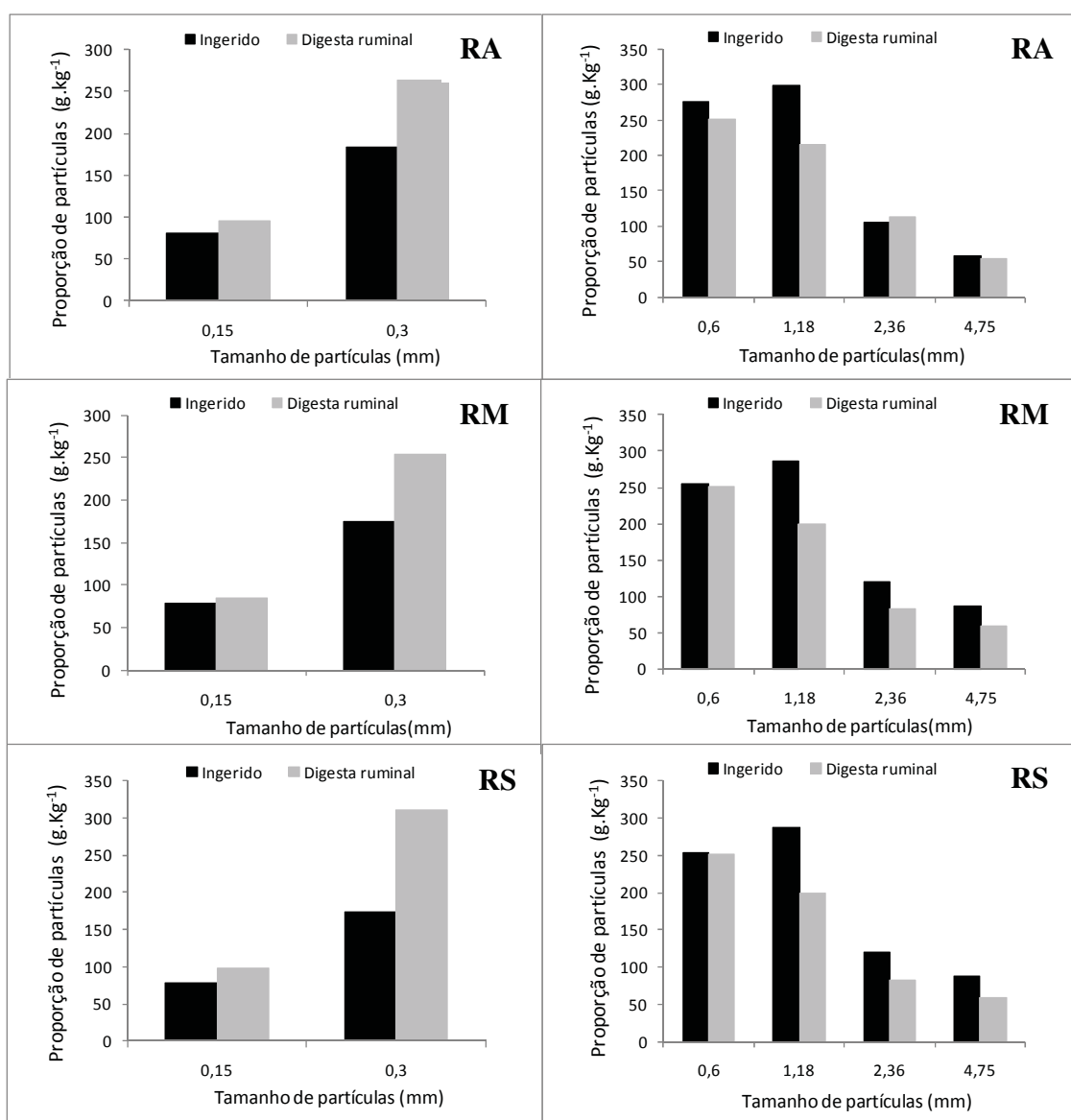


Figura 8. Proporção de partículas menores iguais à 0,3 mm (à esquerda) e maiores iguais à 0,6 mm (à direita) ingeridas e presentes no rúmen-retículo de caprinos submetidos à restrição ausente (RA), restrição moderada (RM) e restrição severa (RS).

4. Discussão

Nós buscamos verificar o efeito da classe sexual e da restrição alimentar sobre a taxa de passagem de sólido e líquido em caprinos, assim como estudar a associação entre a taxa de passagem e a digestibilidade dos nutrientes, comportamento ingestivo e distribuição das partículas no rúmen-retículo.

Apesar dos machos não castrados terem apresentado maior consumo de matéria seca (g/dia) do que machos castrados e fêmeas, a taxa de passagem não foi influenciada pela categoria sexual em caprinos na fase final de crescimento. A ausência do efeito da classe sexual na taxa de passagem pressupõe que um único modelo para prever turnover de sólidos e líquidos em caprinos alimentados com baixa fibra na dieta possa ser utilizado.

A restrição alimentar não afetou a taxa de passagem de sólidos no rúmen, apesar da quantidade de alimento consumido ser a principal variável associada ao tempo de retenção da digesta no trato digestivo de ruminantes (SHELLENBERGER; KESLER, 1961; COLUCCI et al., 1990). Isso porque existem fatores relacionados à dieta, como o nível de ingestão de fibra, que afetam o enchimento total do rúmen. De forma que, no presente trabalho o baixo nível de ingestão de fibra, em média 0,5% do peso corporal, não causou repleção ruminal.

Em condições de dietas com alto teor de fibra, o maior enchimento do rúmen estimula os receptores presentes na parede do rúmen a aumentar o número de contrações ruminais o que provoca incremento na motilidade ruminal e permite maior escape da digesta (BALCH; CAMPLING, 1962). Por outro lado, em situações de dietas com baixo teor de FDN e grande proporção de partículas pequenas, não ocorre saturação por fibra do rúmen e aumento de volume do mesmo, o que resulta em ausência de efeito das restrições alimentares sobre a taxa de passagem de sólidos no rúmen.

A ausência de efeito da restrição alimentar na taxa de passagem no rúmen fez com que o coeficiente de digestibilidade aparente da FDNc também não fosse alterada. Tem sido demonstrado que a digestibilidade da dieta diminui com o aumento do consumo de ração e esse fato tem sido principalmente atribuído ao menor tempo médio de retenção da digesta (BLAXTER et al., 1956; KOVÁCS,

1998 e TSIPLAKOU et al., 2011). Entretanto, no presente estudo, o aumento na ingestão de alimento não acarretou aumento da taxa de passagem no rúmen e, conseqüentemente, não houve redução da digestibilidade da fibra.

Apesar do maior tempo de retenção da digesta no ceco e cólon em função do maior consumo e dos maiores valores de taxa de degradação (Kd) da FDN no cólon nos animais em restrição (SILVA et al., 2013), o melhor aproveitamento da fibra no cólon não foi suficiente para ocasionar diferença na digestibilidade total aparente da FDN. Isso pode ser explicado pelo fato do rúmen ser o principal local de digestão da fibra (maior turnover), em relação aos demais órgãos. Realmente, pelo menos 75% da extensão total da digestão da fibra ocorre antes do duodeno (OKINE; MATHISON, 1991).

Por outro lado, o maior coeficiente de digestibilidade dos CNF nos animais em restrição ausente e severa pode ser devido ao fato dessa fração do alimento estar presente no conteúdo celular, que não depende, em grande parte, do tempo de retenção para serem digeridos completamente, diferentemente da fração fibrosa. Além disso, os animais alimentados à vontade tiveram a possibilidade de selecionar a dieta ofertada e possibilitando dessa forma, a ingestão de alimento de melhor valor nutritivo e maior digestibilidade.

Tem sido demonstrado na literatura que ruminantes em restrição alimentar ou não aumentaram sua eficiência mastigatória e de ruminação, quando o consumo de FDN (% PC) variou de 3 1,08 a 1,75% (DIAS et al., 2011). Entretanto, nossos dados não dão suporte a estes achados. Assim, acredita-se que a falta de efeito do nível de ingestão nas eficiências de alimentação, ruminação e mastigação são devido à ação conjunta da baixa ingestão de fibra e baixo consumo de partículas grandes (>1,18mm), fatores preponderantes para o estímulo da ruminação.

Os animais alimentados à vontade, selecionaram as partículas pequenas da dieta, que são oriundas do concentrado, enquanto os animais submetidos às restrições não realizaram seleção da dieta, haja vista que praticamente toda a dieta ofertada foi consumida por esses animais. Segundo a classificação de Hoffmann (1989), os caprinos são considerados selecionadores intermediários e,

portanto, exercem grande seleção do alimento. No entanto, o índice de seletividade apresentado pelos animais à vontade foi considerado baixo. Possivelmente, a utilização de uma dieta mista e com grande proporção de partículas menores que 1,18 mm impossibilitou grande seleção pelos caprinos.

A menor proporção de partículas maiores iguais à 0,6 mm no rúmen em relação ao ingerido é consequência de processos físicos como a mastigação, durante a alimentação e ruminação, que causam a quebra dessas partículas. No caso das partículas menores iguais à 0,3 mm), a proporção entre ingerido e presente no rúmen segue padrão de resposta inverso, com maior quantidade no rúmen em relação ao ingerido. Possivelmente, o tempo de retenção dessas partículas poderia explicar esse efeito, de modo que, já havia grande quantidade dessas partículas pequenas no rúmen.

As partículas pequenas no rúmen representaram, em média, 60% das partículas totais presentes nesse compartimento, em função da maior quantidade de partículas pequenas ingeridas, como também a quebra das partículas grandes ingeridas em partículas menores, pelos processos físicos da mastigação (ruminação e alimentação). Isso implica que as partículas pequenas tinham tamanho para deixar o rúmen, mas permaneceram nesse compartimento por, em média, 27 horas. Isso evidencia que outros fatores, como a retenção seletiva de partículas, densidade, contrações reticulares e abertura do orifício retículo-omasal (ORO), regulam o escape das partículas do rúmen e que somente a redução no tamanho de partícula não é responsável por esse mecanismo (ALLEN, 1996; SEO et al., 2009).

Possivelmente, parte das partículas pequenas estava presente no pool escapável e dependia das contrações reticulares para forçar a abertura do ORO e permitir sua saída do rúmen. Além disso, é possível que a outra parte dessas partículas pequenas ficou aprisionada pelas partículas grandes, através do efeito “*filter-bed*”, evitando que as partículas pequenas deixassem o rúmen (SEO et al., 2009). Nesse sentido, a formação de um pool não escapável pode ter ocorrido com 40% das partículas grandes, o que gerou pequeno efeito “*filter-bed*”.

O efeito do maior nível de ingestão em aumentar a taxa de passagem de líquido também foi observado em outros trabalhos realizados com ovinos (GROVUM; WILLIAMS, 1977 e ULYATT et al., 1967) e bovinos (ADAMS; KARTCHNER, 1984 e HUTTON et al., 1964). O maior fluxo de líquido no rúmen-retículo, observado em função do consumo, pode ser atribuído ao aumento da salivação, oriundo da atividade mastigatória durante a alimentação e ruminação, o que aumenta o fluxo salivar e conseqüentemente a fluidez da digesta, como também ao maior consumo de água (PHILLIPSON; ASH, 1965).

Apesar do maior consumo de água quando expresso em relação ao peso corporal nos animais em restrição severa o principal efeito na taxa de passagem de líquidos foi em função da salivação. A relação linear e positiva entre tempo em alimentação e taxa de passagem de líquido no rúmen dão suporte a esse argumento, de modo que, os animais alimentados à vontade tiveram maior tempo em mastigação (alimentação e ruminação) do que os animais em restrição.

O mecanismo que justifica os efeitos do aumento da salivação sobre a taxa de passagem de líquido se deve à frequência das contrações reticulares primárias, que está diretamente relacionada com o tempo gasto em atividade mastigatória, durante a alimentação e ruminação (SEO et al., 2007). Portanto, os animais alimentados à vontade, em função do maior tempo em alimentação e ruminação, provavelmente, apresentaram maior frequência e duração das contrações reticulares primárias, sendo essa responsável por maior tempo de abertura do ORO, permitindo dessa forma, maior saída de líquido do rúmen-retículo nesses animais.

A fraca associação entre o nível de ingestão e a taxa de passagem de líquido no abomaso e no jejuno se deve à liberação de secreções nesses órgãos, durante o processo de digestão, que tornam a digesta mais líquida (PHILLIPSON; ASH, 1965). No omaso, também houve fraca associação entre essas variáveis, em detrimento da absorção de água nesse local. Segundo Phillipson e Ash, (1965) cerca de 40 a 60% da água que entra no omaso é absorvida.

A taxa de passagem da fração sólida não foi relacionada com a taxa de passagem da fração líquida. Estudos têm reportado que o orifício retículo omasal

(ORO) permanece parcialmente aberto (BALCH et al., 1951; SEO et al., 2007) nos períodos entre as contrações, o que significa que grande parte das partículas presentes no pool escapável deixou o rúmen, sem precisar da ação direta da ação contrações reticulares primárias e do fluxo de líquido. Essa abertura do ORO possibilitou a passagem das partículas elegíveis de deixar o rúmen-retículo. Por meio desse mecanismo, é possível explicar o efeito direto do consumo na taxa de passagem de líquidos e a ausência desse efeito sobre a taxa de passagem de sólidos.

Optou-se por não apresentar os valores de taxa de passagem nos compartimentos após o abomaso, como jejuno, ceco e cólon, devido às limitações existentes do itérbio em pH ácido (WORLEY et al., 2002). Os terras raras são dissociados pela concentração de prótons em pH menores que 4 (WORLEY et al., 2002, ELLIS et al., 2002). Crooker et al. (1982) verificaram mudanças na concentração do marcador após a incubação *in vitro* em fluido abomasal e sugere que ocorre dissociação em locais onde existe forte ligação dos terras raras com o material marcado.

A maior parte dos estudos de taxa de passagem utiliza o método indireto para obtenção de estimativa da taxa de passagem. A grande contribuição desse estudo consiste em gerar valores acurados, principalmente de taxa de passagem de líquidos em diferentes compartimentos do trato digestivo.

Além disso, estudos futuros que envolvam a retenção seletiva de partículas, densidade, contrações reticulares e abertura do orifício retículo-omasal (ORO) devem ser realizados no sentido de compreender por completo o funcionamento da dinâmica de fluxo de sólido e líquido no trato gastrintestinal.

5. Conclusões

Em caprinos, a classe sexual não influencia a taxa de passagem de sólido e líquido.

O nível de ingestão de alimento com baixo teor de fibra é fator preponderante na regulação da taxa de passagem de líquidos, porém não tem efeito sobre a taxa de passagem de sólido no rúmen de caprinos.

A alta proporção de partículas menores que 1,18 mm no rúmen indica que outros mecanismos, além da redução no tamanho de partículas, regulam a saída de sólidos do rúmen-retículo.

6. Referências

- ADAMS, D. C., and KARTCHNER, R. J. Effect of level of forage intake on rumen ammonia, pH, liquid volume and liquid dilution rate in beef cattle. *Journal of Animal Science*. v.58, p.708, 1984.
- ALLEN, M. S. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *Journal of Animal Science*, v.74, p.3063-3075, 1996.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis, 15thed, Washington: 1990.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis, 16thed, Washington: D.C. 1995.
- BALCH, C.C, KELLY, A. and HEIM, G. Factors affecting the utilization of food by dairy cows. 4. The action of reticulo-omasal orificie. *British Journal of Nutrition*, v.5, p.207-216, 1951.
- BALCH, C. C., and R. C. CAMPLING.. Regulation of voluntary food intake in ruminants. *Nutrition Abstracts Reviews*, v.32, p.669–686,1962.
- BLAXTER, K. L., GRAHAM, N. McC. AND WAINMAN, F. W.. Some observations on the digestibility of food by sheep, and on related problems. *British Journal of Nutrition*, v.10, p. 69-91, 1956.
- BÜRGER, P.J.; PEREIRA, J.C.; QUEIROZ, A.C. et al. Comportamento ingestivo em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, p.236-242, 2000.
- CANNAS, A. ; TEDESCHI, L. O. ; FOX, D. G. ; PELL, A. N. ; VAN SOEST, P. J. A mechanistic model for predicting the nutrient requirements and feed biological values for sheep, *Journal of Animal Science*, v. 82 , p. 149-169, 2004.
- CHURCH, D.C. *Digestive Physiology and Nutrition of Ruminants*, v.1. 1976. *Digestive Physiology*, 2^oed. O & B Books Publishing, Corvallis, OR, 349 p.
- CLAUSS, M., NUNN, C., FRITZ, J., and HUMMEL, J. Evidence for a tradeoff between retention time and chewing efficiency in large mammalian herbivore. *Comparative Biochemistry Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*. v.154, p.376-382, 2009.
- COLUCCI, P. E. I., MACLEOD, G. K., GROVUM, W. L., McYILLANI, I., and BARNEY, D. J. Digesta kinetics in sheep and cattle fed diets with different Forage to Concentrate Ratios at High and Low Intakes. *Journal of Dairy Science*, v. 73, p.2143-2156, 1990.
- CROOKER, B. A., J. H. CLARK, and R. D. SHANKS. Rare earth elements as markers for rate of passage measurements of individual feedstuffs through the digestive tract of ruminants. *The Journal of Nutrition*, v.112, p.1353–1361, 1982.
- DE BOEVER, J.L. , ANDRIES, J.I. , DE BRABANDER, D.L., COTTYN, B.G. , BUYASSE, F.X. Chewing activity of ruminants as a measure of physical structure

- A review of factors affecting it. *Animal Feed Science and Technology*, p. 281–291, 1990.
- DE VEGA, A. and POPPI, D.P. Extent of digestion and rumen condition as factor affecting passage of liquid and digesta particles in sheep. *Journal of Agriculture Science*, v.128, p. 207-215. 1997
- DIAS, R. S., PATINO, H. O., LÓPEZ, S., PRATES, E., SWANSON, K. C. AND FRANCE, J. Relationships between chewing behavior, digestibility and digesta passage kinetics in steers fed restricted and *ad libitum* levels of oat hay. *Journal of Animal Science*, published online February 4, 2011.
- DOWNES, A. M. and MC DONALD, I. W. The chromium-51 complex of ethylenediamine tetraacetic acid as a soluble rumen marker. *British Journal Nutrition*. v.18, p.153-162, 1964.
- ELLIS, W. C., J. H. Marls, and Lascano, C. Quantitating ruminal turnover. *Federation Proceedings*, v.38, p.2702. 1979.
- FAICHNEY, G. J. The use of markers to partition digestion within the gastrointestinal tract of the ruminants. In: McDonald, I.W., Warner, A.C.I. *Digestion and Metabolism in the ruminant*, Armidale, Australia: The University of New England Publishing Unit. p.. 277-291, 1975.
- FREER, M., C. C. BALCH, and CAMPLING, R. C.. Factors affecting voluntary intake of food by cows. 4. Behaviour and reticular motility of cows receiving diets of hay, oat straw and oat straw with urea. *British Journal of Nutrition*, v.16, p.279–295, 1962.
- GROVUM, W. L. and WILLIAMS, V. I. Rate of passage of digesta in sheep. 6. The effect of level of food intake on mathematical predictions of the kinetics of digesta in the reticulo rumen and intestines. *British Journal of Nutrition*, v.38, p.425, 1977.
- HOFMANN, R.R. Evolutionary steps of ecophysiological adaptation and diversification of ruminants: A comparative view of their digestive system. *Oecologia*, v.78, p.443-457, 1989.
- HUTTON, J. B., HUGHES, I. W., NEWTH, R P., and K, WATANEBE, The voluntary intake of the lactating dairy cow and its relation to digestion. *Proceedings*. n°. 2. New Zealand Society of Animal Production, 1964.
- OKINE, E. K., AND G. W. MATHISON. Reticular contraction attributes and passage of digesta from the ruminoreticulum in cattle fed roughage diets. *Journal of Animal Science*, v.69, p.2177–2186. 1991.
- KOVÁCS, P.L., SÜDEKUM, K.-H., STANGASSINGER, M. Effects of intake of a mixed diet and time postfeeding on amount and fibre composition of ruminal and faecal particles and on digesta passage from the reticulo-rumen of steers. *Animal Feed Science and Technology*, v.71, p. 325–340, 1998.
- MATHISON, G. W., OKINE, E. K., VAAGE, A. S., KASKE, M., and MILLIGAN, L. P. Current understanding of the contribution of the propulsive activities in the forestomach to the flow of digesta. Pages 23–41 in *Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth, and Reproduction: Proc. Eighth Int. Symp. Ruminant Physiol.* W. V. Engelhardt, S. Leonhard-Marek, G. Breves, and D. Giesecke, ed. Enke, Stuttgart, Germany. 1995
- MERTENS, D. R. Regulation of forage intake. In: *Forage Quality, Evaluation, and Utilization*, Wisconsin, Proceedings, Wisconsin, 1994, p. 450-493.

- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC, Nutrient requirements of small ruminants, 2007, p. 362.
- PEARSON, R. A., ARCHIBALD, R. F. AND MUIRHEAD, R. H. A comparison of the effect of forage type and level of feeding on the digestibility and gastrointestinal mean retention time of dry forages given to cattle, sheep, ponies and donkeys. *British Journal of Nutrition*, v.95, p.88–98, 2006.
- PHILLIPSON, A.T. and ASH, R.W. Physiological mechanisms affecting the flow of digesta in ruminants. In: Dougherty, R.W and others. *Physiology of digestion in the ruminant*, 1965.
- POLLI, V.A.; RESTLE, J.; SENNA, D.B. et al. Aspectos relativos à ruminação de bovinos e bubalinos em regime de confinamento. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.25, n.5, p.987-993, 1996.
- RENECKER, L.A and HUDSON, R.J. Digestive kinetics of moose, wapiti and cattle. *Animal Production*, v.50, p.51–61, 1990.
- SAUVANT, D., R. BAUMONT, and FAVERDIN, P. Development of a mechanistic model of intake and chewing activities of sheep. *Journal of Animal Science*, v.74, p.2785–2802, 1996.
- SEO, S., LANZAS, C., TEDESCHI, L. O. AND FOX, D. G. Development of a mechanistic model to represent the dynamics of liquid flow out of the rumen and to predict the rate of passage of liquid in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v. 90, p.840-855, 2007.
- SEO, S., LANZAS, C., TEDESCHI, L. O. PELL, A. N. and FOX, D. G. Development of a mechanistic model to represent the dynamics of particle flow out of the rumen and to predict rate of passage of forage particles in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, v.92, p.3981–4000, 2009.
- SOLAIMAN, S. G., SMOOT, Y. P, OWENS, F. N. Impact of EasiFlo cottonseed on feed intake, apparent digestibility, and rate of passage by goats fed a diet containing 45% hay. *Journal of Animal Science*. v. 80, p.805-811, 2002.
- SHELLENBERGER, P.R. AND KESLER, E. M. Rate of passage of feeds through the digestive tract of Holstein cows. *Journal of Animal Science*, v.20, p.4160-419, 1961.
- SHAVER, R.D., NYTES, A.J., SATTER, L.D., JORGENSEN, N.A, Influence of feed intake, forage physical form, and forage fiber content on particle size of masticated forage, ruminal digesta and feces of dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v.71, p.1566–1572, 1988.
- TAYLOR, C.R., SPINAGE, C.A., LYMAN, C.P. Water relations of the waterbuck, an East African antelope. *Am. J. Physiology*, v.217, p.630-634, 1969.
- TSIPLAKOU E., HADJIGEORGIOUA I., SOTIRAKOGLIOUB K, ZERVASA G. Differences in mean retention time of sheep and goats under controlled feeding practices. *Small Ruminant Research*, v.95, p. 48–53, 2011.
- ULYATT, M. I., BLAXTER, K. L., and MCDONALD, I. The relations between the apparent digestibility of roughages in the rumen and lower gut of sheep, the volume of fluid in the rumen and voluntary feed intake. *Animal Production*, v.9, p.463, 1967.
- ULYATT, M. J., D. W. DELLOW, A. JOHN, C. S. W. REID, and WAGHORN, G. C. Contribution of chewing during eating and rumination to the clearance of digesta from the ruminoreticulum. Pages 498–515 in *Control of Digestion and*

- Metabolism in Ruminants: Proc. 6th Int. Symp. Ruminant Physiology. L. P. Milligan, W. L. Grovum, and A. Dobson, ed. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 1986.
- VAN SOEST, P. J., ROBERTSON, J.B., LEWIS, B. A. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism, and nutritional implications in dairy cattle, *Journal of Dairy Science*, Champaign, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.
- VARGAS, G. A. and PRIGGE, E. C. Influence of forage species and level of intake on ruminal turnover rates. *Journal of Animal Science*, v.55, p.1498-1504, 1982
- WOODFORD, S. T.; MURPHY, M. R. Dietary alteration of particle breakdown and passage from the rumen in lactating dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, Cambridge, v. 71, p. 687-696, 1988.
- WORLEY, R., CLEARFIELD, A. and ELLIS, W. C. Binding stability and capacities of ytterbium (3+) and hafnium (4+) for chemical entities of plant tissue fragments. *Journal of Animal Science*, v. 80, p.3307-3314, 2002.