

LARISSA RODRIGUES DE AZEVEDO CÂMARA

**PODER PREDITIVO DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE DIETAS E
EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS *SMALL RUMINANT NUTRITION SYSTEM*
(*SRNS*) MODIFICADO PARA DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO DE
CABRAS LEITEIRAS**

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

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2017

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

C172p
2017

Câmara, Larissa Rodrigues de Azevedo, 1983-
Poder preditivo do sistema de avaliação de dietas e
exigências nutricionais *Small Ruminant Nutrition System (SRNS)*
modificado para determinação do desempenho de cabras leiteiras
/ Larissa Rodrigues de Azevedo Câmara. – Viçosa, MG, 2017.
xv, 111f. : il. (algumas color.) ; 29 cm.

Inclui apêndices.

Orientador: Marcelo Teixeira Rodrigues.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f.58-66.

1. Caprinos - Lactação. 2. Nutrição animal. 3. Caprinos -
Dieta. I. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de
Zootecnia. Programa de Pós-graduação em Zootecnia. II. Título.

CDD 22 ed. 636.390852

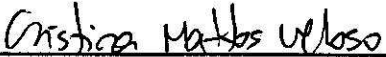
LARISSA RODRIGUES DE AZEVEDO CÂMARA

**PODER PREDITIVO DO SISTEMA DE AVALIAÇÃO DE DIETAS E
EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS *SMALL RUMINANT NUTRITION SYSTEM*
(SRNS) MODIFICADO PARA DETERMINAÇÃO DO DESEMPENHO DE
CABRAS LEITEIRAS**


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

Aprovada em 16 de janeiro de 2017


Prof. Ricardo Augusto Mendonça
Vieira
(Coorientador)


Prof.ª Cristina Mattos Veloso
(Coorientadora)


Prof. Iran Borges


Prof. Alberto Magno Fernandes


Prof. Marcelo Teixeira Rodrigues
(Orientador)

A Deus, pela obra realizada, Deus do impossível, minha fortaleza.

À minha mãe, Fátima de Azevedo Câmara.

Ao meu pai, Robson Rodrigues Câmara.

À minha irmã, Thais Rodrigues de Azevedo Câmara.

DEDICO

BIOGRAFIA

Larissa Rodrigues de Azevedo Câmara, filha de Robson Rodrigues Câmara e Fátima de Azevedo Câmara, nasceu em 15 de agosto de 1983, na cidade de Belo Horizonte, MG.

Em janeiro de 2007, concluiu o curso de Graduação em Zootecnia pela Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri- UFVJM, em Diamantina-MG.

Em março de 2007, iniciou seus estudos como estudante não vinculado de Pós-Graduação na Universidade Federal de Viçosa-MG, obtendo aprovação no processo seletivo em 2008.

Em agosto de 2010 concluiu seu mestrado em Zootecnia pela Universidade Federal de Viçosa- UFV, cujo título da dissertação foi “Zeolita na dieta de Bovinos de corte”.

Em junho de 2011 foi contratada pela Revista Brasileira de Zootecnia- RBZ, com sede na cidade de Viçosa-MG.

Em agosto de 2012, ingressou no curso de Doutorado em Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa-MG.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por ter me guiado pelo caminho mais árduo, sem me deixar fraquejar.

À minha mãe, Fátima, pelas inúmeras orações e palavras de incentivo quando eu me sentia perdida, que acalmava minha alma, abria meus olhos e alegrava meu coração.

Ao meu pai, Robson, por não medir esforços para me ajudar nessa conquista e estar sempre presente.

À minha irmã, Thaís, pelo apoio incondicional e companheirismo desde sempre.

A todos os meus familiares que torceram pela minha vitória nessa longa caminhada de vida acadêmica, que não termina aqui.

Ao meu orientador, Marcelo Teixeira Rodrigues, por ter sido um grande orientador e, além de tudo, um grande pai. Todos os seus ensinamentos estão concretizados em mim.

Ao meu coorientador, Ricardo Augusto Mendonça Vieira, pela sabedoria transmitida durante os períodos de convivência.

À minha coorientadora, Cristina Mattos Veloso, pela generosidade e pelo companheirismo, sempre disposta a ajudar.

Ao Prof. Leonardo Siqueira Glória, por toda a ajuda estatística e apoio nos momentos difíceis.

À minha amiga Márcia Cândido, por estar ao meu lado durante todo esse período do Doutorado. Para mim, foi uma grande orientadora e incentivadora, exemplo para muitos! O seu apoio, sabedoria e participação foram essenciais para a concretização desta Tese. Obrigada!

Aos amigos e irmãos científicos do LANCAPRI-UFV, Carlos Tiago, Tiago Alves, Thais, Erica, Carol, Domingos e Lucas pela indispensável ajuda, sempre!

Ao meu irmão científico, Rafael Marzall, pelo incentivo e por toda a ajuda!

Aos meus amigos e estagiários de Viçosa, Mariana, Marcelinho, Giovane, Robert e Leo.

Ao meu querido Juliano, definitivamente um anjo, obrigado pela indispensável ajuda nos piores dias e pelos laços eternos de amizade que firmamos.

Aos meus amigos de Campos dos Goytacazes (UENF), Mateus, Tadeu, Rafael, Elisabeth, Nardele, Laila e Maraca meu eterno agradecimento!

Mariana, Flavinha e Débora, exemplares funcionárias da Revista Brasileira de Zootecnia, minhas amigas queridas, obrigada por sempre me receberem de braços abertos!

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia, Laboratório de Nutrição Animal e do Setor de Caprinocultura, pela amizade.

À Universidade Federal de Viçosa, instituição renomada, pela oportunidade de aprendizado e por permitir a realização de um sonho pessoal.

As minhas 30 cabras, obrigada por permitirem a realização desse experimento de Doutorado, foram muito mais que simples animais experimentais. Jamais irei esquecer-me de vocês, em especial Caninha, Ruivinha, Pezinho e Beetlejuice.

Meu eterno OBRIGADA!

Tu que habitas sob a proteção do Altíssimo, que moras à sombra do Onipotente, dize ao Senhor: Sois meu refúgio e minha cidadela, meu Deus, em que eu confio.

É ele quem te livrará do laço do caçador, e da peste perniciosa. Ele te cobrirá com suas plumas, sob suas asas encontrarás refúgio. Sua fidelidade te será um escudo de proteção.

Tu não temerás os terrores noturnos, nem a flecha que voa à luz do dia, nem a peste que se propaga nas trevas, nem o mal que grassa ao meio-dia.

Caíam mil homens à tua esquerda e dez mil à tua direita, tu não serás atingido. Porém verás com teus próprios olhos, contemplarás o castigo dos pecadores, porque o Senhor é teu refúgio. Escolheste, por asilo, o Altíssimo.

Nenhum mal te atingirá, nenhum flagelo chegará à tua tenda, porque aos seus anjos ele mandou que te guardem em todos os teus caminhos. Eles te sustentarão em suas mãos, para que não tropeces em alguma pedra.

Sobre serpente e víbora andarás, calcarás aos pés o leão e o dragão. Pois que se uniu a mim, eu o livrarei; e o protegerei, pois conhece o meu nome.

Quando me invocar, eu o atenderei; na tribulação estarei com ele. Hei de livrá-lo e o cobrirei de glória. Será favorecido de longos dias, e mostrar-lhe-ei a minha salvação.

Amém

Salmos 91:1-16

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	viii
LISTA DE FIGURAS.....	ix
APÊNDICES.....	x
RESUMO.....	xii
ABSTRACT.....	xiv
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REFERENCIAL TEÓRICO.....	5
2.1. Modelos matemáticos utilizados na nutrição de ruminantes	5
2.2. Sobre o <i>Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS)</i> e <i>Small Ruminant Nutrition System (SRNS)</i>	7
2.3. Descrição do modelo adotado.....	10
2.4. Submodelo para estimar a taxa de passagem e a digestibilidade da fibra ruminal- GNG1	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	16
3.1. Avaliação inicial dos alimentos.....	16
3.2. Fracionamento de proteínas e carboidratos	17
3.3. Taxas de degradação in vitro das frações de carboidratos e proteína	19
3.4. Ensaio com animais em lactação	19
3.5. Avaliação dos dados	29
4. RESULTADOS.....	31
5. DISCUSSÃO	47
5.1. Consumo de matéria seca (CMS)	47
5.2. Consumo de energia metabolizável (CEM).....	51
5.3. Produção de leite (PL).....	52
5.4. Coeficientes de digestibilidade dos nutrientes.....	55
5.5. Taxas de passagem (kp).....	56
6. CONCLUSÃO	57
7. REFERÊNCIAS.....	58

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Composição da dieta inicial por grupos, utilizando o SRNS.....	21
Tabela 2 - Análise química dos ingredientes da dieta, em g·kg ⁻¹ de MS.....	31
Tabela 3 - Valores médios de proteína bruta e carboidratos totais com suas respectivas frações nos ingredientes da dieta.....	32
Tabela 4 - Taxa de degradação das frações dos nutrientes (%/h ⁻¹).....	33
Tabela 5 - Taxa de passagem (h ⁻¹) e tempo de retenção de concentrado e volumoso por grupo de produção leiteira, de acordo com modelo GNG1.....	35
Tabela 6 - Taxa de passagem de líquidos por grupo de produção leiteira de acordo com modelo GNG1.....	37
Tabela 7 - Massa corporal, produção de leite, gordura e proteína do leite.....	38
Tabela 8 - Consumo de alimentos e matéria seca total.....	39
Tabela 9 - Ferramentas estatísticas adotadas para avaliação do poder preditivo do modelo SRNS.....	45
Tabela 10- Ferramentas estatísticas adotadas para avaliação do poder preditivo do modelo SRNS para taxas de passagem da fibra.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Representação esquemática dos modelos matemáticos Empíricos (A) e Mecanicista (B) e seu comportamento.....	5
Figura 2 -	Esquemática da acurácia e da precisão.....	6
Figura 3 -	Representação esquemática do conceito de dois <i>pools</i> ruminais.....	13
Figura 4 -	Processo laboratorial para marcação da fibra.....	25
Figura 5 -	Fibra marcada.....	26
Figura 6 -	Espectrometria de indução óptica por plasma acoplado.....	28
Figura 7 -	Perfil de excreção da fibra do volumoso marcada com óxido de itérbio.....	34
Figura 8 -	Perfil de excreção da fibra do concentrado marcada com lantânio.....	34
Figura 9 -	Perfil de excreção da fibra contida na fração líquida.....	36
Figura 10 -	Valores preditos e observados do consumo de matéria seca ($\text{g}\cdot\text{dia}^{-1}$).....	41
Figura 11 -	Valores preditos e observados do Consumo de energia metabolizável ($\text{Mcal}\cdot\text{dia}^{-1}$).....	41
Figura 12 -	Valores preditos e observados da produção de leite ($\text{kg}\cdot\text{d}^{-1}$)	42
Figura 13 -	Valores preditos e observados do coeficiente de digestibilidade da matéria seca (CDMS).....	42
Figura 14 -	Valores preditos e observados do coeficiente de digestibilidade da proteína bruta (CDPB).....	43
Figura 15 -	Valores preditos e observados do coeficiente de digestibilidade dos carboidratos fibrosos (CDCF).....	43
Figura 16 -	Valores preditos e observados da taxa de passagem da fibra do volumoso (kpv).....	44
Figura 17 -	Valores preditos e observados da taxa de passagem da fibra do concentrado (kpc).....	44
Figura 18 -	Valores preditos e observados da taxa de passagem da fibra associada a fração líquida (kpl).....	45

APÊNDICES

Apêndice 1 -	Dieta completa formulada pelo SRNS para o grupo de cabras com produção leiteira até 1,5 kg·dia ⁻¹	68
Apêndice 2 -	Dieta completa formulada pelo SRNS para o grupo de cabras com produção leiteira até 2,5 kg·dia ⁻¹	70
Apêndice 3 -	Dieta completa formulada pelo SRNS para o grupo de cabras com produção leiteira até 3,5 kg·dia ⁻¹	72
Apêndice 4 -	Consumo dos alimentos e consumo de matéria seca total por animal.....	74
Apêndice 5 -	Valores observados e preditos (por animal) utilizados para avaliação do poder preditivo do modelo com <i>Model Evaluation System</i> (MES).....	76
Apêndice 6 -	Valores observados e preditos da digestibilidade da MS, PB e CF utilizados para avaliação do poder preditivo do modelo com MES.....	78
Apêndice 7 -	Valores observados e preditos da taxa de passagem da fibra utilizados para avaliação do poder preditivo do modelo com MES.....	80
Apêndice 8 -	Avaliação semanal (S) da massa corporal dos animais (kg).....	81
Apêndice 9 -	Relatório <i>Model Evaluation System</i> (MES) - Consumo de matéria seca (CMS).....	82
Apêndice 10 -	Relatório <i>Model Evaluation System</i> (MES) - Produção de leite (PL).....	87
Apêndice 11 -	Relatório <i>Model Evaluation System</i> (MES) - Consumo de energia metabolizável (CEM).....	92
Apêndice 12 -	Intervalos de confiança preditos (95% IC) para consumo de matéria seca, matéria orgânica e nutrientes em cada plano nutricional.....	97

Apêndice 13 -	Intervalos de confiança preditos (95% IC) para energia, matéria seca, matéria orgânica e nutrientes digestíveis em cada plano nutricional.....	98
Apêndice 14 -	Intervalos de confiança preditos (95% IC) do plano nutritricional corrigido, metabolizabilidade corrigida, consumo de energia metabolizável, produção de leite e eficiências de utilização de energia metabolizável em cada plano nutricional.....	99
Apêndice 15 -	Metodologia para Marcação de fibra para ruminantes, com utilização de Itérbio (Yb), Lantânio (La) e Cobalto-EDTA (Co-EDTA).....	100

RESUMO

Câmara, Larissa Rodrigues de Azevedo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, janeiro de 2017. **Poder preditivo do sistema de avaliação de dietas e exigências nutricionais *Small Ruminant Nutrition System (SRNS)* modificado para determinação do desempenho de cabras leiteiras.** Orientador: Marcelo Teixeira Rodrigues. Coorientadores: Ricardo Augusto Mendonça Vieira e Cristina Mattos Veloso.

Objetivou-se com o presente estudo avaliar o poder preditivo do sistema de dietas e exigências nutricionais *Small Ruminant Nutrition System (SRNS)* com modificações em parâmetros de desempenho de cabras em lactação, tais como consumo de matéria seca (CMS), produção de leite (PL), consumo de energia metabolizável (CEM), além dos coeficientes de digestibilidade da matéria seca (CDMS), proteína bruta (CDPB), carboidratos fibrosos (CDCF), taxas de passagem da fibra do volumoso (kpv), concentrado (kpc) e associada à fração líquida (kpl). A análise química da silagem de milho, farelo de trigo, farelo de soja e milho (fubá) foi executada *a priori*, permitindo o cálculo de rações para atender a demanda por nutrientes, energia e minerais de três grupos de cabras leiteiras, múltiparas, não gestantes, com lactação superior a 60 dias, sendo o grupo 1 com produção até $1,5 \text{ kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ de leite, grupo 2 até $2,5 \text{ kg}\cdot\text{dia}^{-1}$ e grupo 3 até $3,5 \text{ kg}\cdot\text{dia}^{-1}$. O experimento teve duração total de 60 dias, com 15 dias de adaptação. O consumo individual de MS e a produção de leite foram mensurados diariamente, enquanto a massa corporal e amostragens de leite registradas semanalmente. Um ensaio em gaiolas metabólicas foi executado para realizar coletas de fezes e urina durante sete dias para determinação da digestibilidade dos nutrientes e do valor energético da dieta. Na última semana experimental, foi realizado um ensaio para medir a cinética de degradação e passagem da fibra, administrando volumoso e concentrado com fibra marcada aos animais e coletas sucessivas de fezes, que ocorreram nos tempos 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 54, 60, 66, 72, 84, 96, 108, 120 e 144 horas. A análise dos dados para CMS, PL, CEM, coeficiente de digestibilidade dos nutrientes (MS, PB e CF) e taxas de passagem da fibra foi realizada utilizando o *software Model Evaluation Systems (MES)* entre os valores preditos e observados no experimento, com a finalidade

de avaliar o poder preditivo do modelo e identificar possíveis ajustes, caso necessários. O CMS foi superestimado pelo modelo, chegando a valores de até 93%, com um R^2 de 0,5841, MB foi de -347,4795 e C_b de 0,6674. Observou-se que a PL e o CEM foram subestimados pelo modelo, com valores de MB 0,9387 e 0,4633; C_b 0,5104 e 0,8975; R^2 0,6087 e 0,6237, respectivamente. Já com a digestibilidade dos nutrientes, houve superestimação do CDMS. Porém, com o CDPB e CDCF, o efeito foi contrário, sendo subestimados. Com relação à avaliação da taxa de passagem da fibra do volumoso (kpv), concentrado (kpc) e associada à fração líquida (kpl), observou-se que houve uma leve subestimação de kpv, com valores de R^2 : 0,7780 MB: 0,0012, C_b : 0,9551 e RMSEP: 0,0094. Contrário ao ocorrido com kpv, as estimativas de kpc e kpl foram superestimadas. Diante do exposto, concluiu-se que o modelo SRNS com modificações ainda não é suficientemente preciso e acurado, sendo necessários ajustes em sua modelagem para aumentar seu poder de previsão do desempenho de cabras leiteiras, principalmente do consumo de matéria seca e produção de leite.

ABSTRACT

Câmara, Larissa Rodrigues de Azevedo, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, January, 2017. **Predictive power of the diets evaluation system and nutritional requirements Small Ruminant Nutrition System (SRNS) modified to determine the performance of dairy goats.** Adviser: Marcelo Teixeira Rodrigues. Co-advisers: Ricardo Augusto Mendonça Vieira and Cristina Mattos Veloso.

The objective of this study was to evaluate the predictive power of the dietary system and nutritional requirements of the Small Ruminant Nutrition System (SRNS) with changes in performance parameters of lactating goats, such as dry matter intake (DMI), milk production (MP), metabolizable energy intake (MEI), in addition to dry matter digestibility coefficients (DMDC), crude protein (CPDC), fibrous carbohydrates (FCDC), fiber passage rates of forage (kpf), concentrate (kpc) and associated with the liquid fraction (kpl). The chemical analysis of corn silage, wheat bran, soybean meal and maize (corn) was performed *a priori* allowing the calculation of rations to meet the demand for nutrients, energy and minerals of three groups of dairy goats, multiparous, non-pregnant, with lactation of more than 60 days, group 1 with production up to 1.5 kg·day⁻¹ of milk, group 2 up to 2.5 kg·day⁻¹ and group 3 up to kg·day⁻¹. The experiment had a total duration of 60 days, with 14 days of adaptation. The individual consumption of DM and MP were measured daily, while body mass and milk sampling were recorded weekly. A metabolic cage assay was performed to perform feces and urine collections for seven days to determine the digestibility of nutrients and the energy value of the diet. In the last experimental week, an experiment was carried out to measure the degradation and passage kinetics of fiber, administering forage and concentrate with marked fiber to the animals and successive collections of feces that occurred at times 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 54, 60, 66, 72, 84, 96, 108, 120 and 144 hours. The analysis of the data for DMI, MP, MEI, nutrient digestibility coefficient (DM, CP and FC) and fiber passage rates was performed using the Model Evaluation Systems (MES) software among predicted and observed values in the experiment, with the purpose of evaluating the predictive power of the model and identify possible adjustments, if necessary. The DMI was overestimated by the model, reaching values of up to 93%, with an R² of 0.5841; MB was -

347.4795 and C_b of 0.6674. We observed that MP and MEI were underestimated by the model, with values of MB 0.9387 and 0.4633; C_b 0.5104 and 0.8975; R^2 0.6087 and 0.6237 respectively. Already with the digestibility of the nutrients, there was an overestimation of the DMDC. However, with the CPDC and FCDC the effect was contrary, being underestimated. In relation to the rate of passage of forage fiber (kpf), concentrate (kpc) and associated to the liquid fraction (kpl), we observed a slight underestimation of kpf, with values of R^2 : 0.7780, MB: 0.0012, C_b : 0.9551 and RMSEP: 0.0094. Contrary to what happened with kpf, estimates of kpc and kpl were overestimated. In view of the above, we can conclude that the SRNS model with modifications is still not precise enough and accurate, and adjustments in its modeling are necessary to increase its predictive power in the performance of dairy goats, mainly for dry matter intake and milk production.

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção animal visam, primariamente, o retorno econômico. Nenhuma unidade produtiva se manterá lucrativa quando os fatores que possam interferir de forma direta no aumento dos custos não estejam estrategicamente controlados. Nesse sentido, o adequado planejamento nutricional dos animais é fator primordial, já que os alimentos podem representar até 80% dos referidos custos.

Para traçar um adequado plano nutricional, dois aspectos devem ser levados em consideração: as exigências dos animais e a composição dos alimentos. De posse desses conhecimentos, é possível utilizar ferramentas computacionais que auxiliem a decisão sobre qual combinação de alimentos atenderia à demanda dos animais por nutrientes de forma eficiente e econômica. A modelagem matemática aplicada à nutrição de ruminantes pode ser usada para integrar o conhecimento sobre fatores animais e da dieta, como taxas de alimentação, ingestão, digestão e passagem em valores de alimentação de energia, escape de proteínas na dieta e na eficiência do crescimento microbiano.

Para ser utilizado com certa confiabilidade, um modelo nutricional deve espelhar as características fundamentais de um sistema de produção de forma a ser simples para compreensão e manipulação e, ao mesmo tempo, próximo o suficiente da realidade para proporcionar resultados relevantes.

Vários modelos matemáticos nutricionais têm sido criados e aperfeiçoados para representar os sistemas de alimentação de animais ruminantes (ARC, 1980; AFRC, 1993; NRC, 1996, 2001, 2007). Esses modelos foram criados com base empírica, ou seja, são baseados apenas em correlações ou associações entre duas ou mais variáveis, descrevendo as respostas dos animais de forma quantitativa em condições específicas, sem levar em consideração os mecanismos adjacentes que controlam a resposta animal. Esses modelos tornaram-se mais complexos ao longo do tempo, devido ao acúmulo de informações científicas acerca das relações entre

animal, alimento e ambiente e a inevitável incorporação de variáveis cuja interpretação matemática é baseada em funções mais complexas, exigindo assim maior complexidade, abrindo espaço para os modelos mecanicistas.

O sistema desenvolvido na Universidade Cornell – CNCPS (*Cornell Net Carbohydrate and Protein System*) é um exemplo de modelo matemático com base mecanicista para avaliação de dietas e do desempenho de bovinos leiteiros e de corte (Fox et al., 1992; Russell et al., 1992; Sniffen et al., 1992). Trata-se de um modelo com base mecanicista, ou seja, baseado em teorias ou princípios biológicos, químicos ou físicos conhecidos, com os objetivos de melhorar os modelos de predição da resposta animal, otimizar o uso de recursos disponíveis nas propriedades e reduzir o impacto ao meio ambiente, como o excesso de nutrientes no solo e a qualidade da água. Esse sistema pode ser considerado uma grande inovação na forma de determinar as transformações que os nutrientes sofrem no rúmen, possibilitando melhorar a quantificação dos processos de degradação e escape das frações de carboidratos e compostos nitrogenados no rúmen, permitindo, assim, estimar o crescimento microbiano de forma mais exata e precisa, em comparação aos sistemas que o precederam, de base empírica.

Com o sistema CNCPS, é possível avaliar a dieta e simular os efeitos de ingestão do alimento, fermentação ruminal, digestão intestinal, absorção e metabolismo sobre a utilização do nutriente, e o desempenho animal subsequente (Fox et al., 2004). Esse sistema também é capaz de prever o consumo de matéria seca para diversas categorias animais, utilizando equações de ajuste para rebanhos consumindo nutrientes acima do nível de manutenção (Fox et al., 2004). A base de dados inicial foi obtida em bovinos, mas foi adaptada a outras espécies ruminantes de importância econômica, primeiramente ovinos (Cannas et al., 2004) originando o *Cornell Net Carbohydrate and Protein System for Sheep* - CNCPS-S (Cannas et al., 2004), que utiliza relações mecanicistas e empíricas para prever o requisito de energia e proteína metabolizável para ovinos.

Dada a importância que a caprinocultura estabeleceu no agronegócio mundial, para o fornecimento de pele, fibra, carne, leite e derivados (Resende

et al., 2005), e dos benefícios sociais e econômicos para diversas regiões, um novo modelo, denominado *Small Ruminant Nutrition System* (SRNS), foi publicado com a finalidade de adicionar informações acerca de caprinos e novas equações de estimação de taxa de passagem de sólidos e líquidos (Tedeschi et al., 2010), tornando-se o principal modelo com base mecanicista adotado para pequenos ruminantes. O *Small Ruminant Nutrition System* (SRNS; Tedeschi et al., 2010) é o resultado de uma colaboração conjunta entre Texas A & M University, Cornell University e Universidade de Sassari.

No entanto, por ser um modelo relativamente novo, o mesmo ainda não foi submetido a uma devida avaliação para cabras em lactação sob diversos cenários de produção, além de haver pouca ou nenhuma informação na literatura científica avaliando o SRNS com cabras em lactação (Cannas et al., 2010). Portanto, existe a necessidade de um estudo mais detalhado, utilizando um banco de dados mais robusto, com a finalidade de avaliar a capacidade preditiva desse modelo para cabras em lactação.

No Brasil, Regadas Filho et al. (2014a) desenvolveram um trabalho de avaliação do modelo *SRNS* com modificações para cabras em lactação utilizando um banco de dados pré-existente, composto por 10 estudos com 45 tratamentos, totalizando 327 medidas individuais em cabras leiteiras em lactação (Alpina e Saanen) na Universidade Federal de Viçosa (MG), onde o CMS, CEM, PL, composição do leite e análise química dos alimentos foram realizados. Esses dados apresentavam natureza heterogênea quanto à dieta oferecida, estágio fisiológico dos animais, época do ano, métodos de análise laboratorial e, às vezes, ausência de dados necessários para completa e correta avaliação.

Outro fator importante incorporado por Regadas Filho et al. (2014a) diz respeito aos aspectos físicos do controle da ingestão por ruminantes, que podem ser influenciados pela estratificação da fibra no rúmex (*pool*/heterogêneo), fator este que pode ocorrer quando ruminantes são alimentados com uma considerável quantidade de fibra. As equações referentes à taxa de passagem e digestão de fibras no modelo *SRNS* original não incluem essa

estratificação de fibra ruminal e, conseqüentemente, sua avaliação no modelo ainda não foi realizada.

Portanto, pela junção desses principais fatores, faz-se necessário que um experimento seja devidamente programado com a finalidade de obter dados fiéis e homogêneos, necessários para *input* (entrada) no modelo e obter do mesmo resposta (*output*) com maior precisão e exatidão para correta avaliação do seu poder preditivo. A melhor maneira de verificar a aplicabilidade de determinado modelo consiste na comparação dos valores preditos com as estimativas obtidas no sistema real, ou seja, *in vivo* (Krishnamoorthy et al., 1983; O'Connor et al., 1993), realizando, dessa forma, uma avaliação do poder preditivo do conjunto de equações.

Diante do exposto, os objetivos deste trabalho foram avaliar a capacidade preditiva do modelo SRNS, com modificações, na previsão de desempenho de cabras em lactação, além de avaliar a inserção de um submodelo que aborda a estratificação da fibra em dois *pools* (heterogêneo) no ambiente ruminal.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Modelos matemáticos utilizados na nutrição de ruminantes

Modelos matemáticos podem ser classificados de diferentes formas, conforme a sua abordagem. Essas abordagens são dependentes da complexidade dos dados de entrada, bem como da proposta (saída) para a qual o modelo foi desenvolvido. Dentre as diversas classificações no estudo da modelagem, os modelos matemáticos podem ser separados como “empíricos” ou “mecanicistas”, segundo o grau de explicação biológica dos fenômenos que eles descrevem ou estimam.

Os modelos denominados empíricos (Figura 1A) evidenciam a observação direta de variáveis de interesse associadas ao comportamento do sistema. Análises estatísticas envolvidas nas observações podem elucidar as possíveis relações envolvidas, uma vez que, a partir da determinação de valores preditos (observados), pode-se estimar o valor de outra variável de interesse (resposta). Para modelos com essa natureza, os mecanismos causais nos quais uma variável interfere na resposta do sistema não são elucidados (France & Kebreab, 2008).

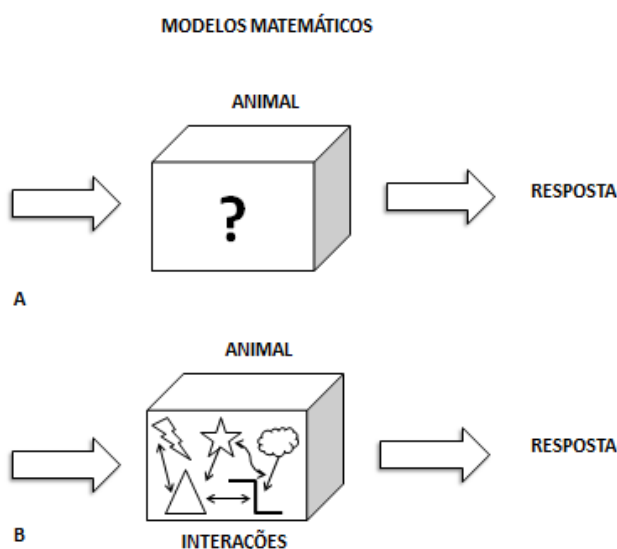


Figura 1 - Representação esquemática dos modelos matemáticos Empíricos (A) e Mecanicistas (B) e seu comportamento.

Já os modelos que contemplam uma abordagem mecanicista (Figura 1B) estão relacionados com a interação entre os processos internos, de modo a explicar o comportamento do sistema de forma completa. Assim, o sistema é decomposto em seus principais componentes e fluxos internos. Uma vez conhecendo os processos envolvidos no sistema, estes são modelados individualmente, criando, assim, uma série de submodelos. Os resultados desses modelos são produzidos a partir da simulação dos processos e na interação entre eles (France & Kebreab, 2008), o que aumenta seu grau de complexidade perante aos modelos de natureza empírica.

Todos os modelos são considerados como errados, pois são abstrações da realidade (Box, 1976; 1979). Contudo, conhecendo as deficiências e as fragilidades do banco de dados durante o processo de modelagem, aliado a testes para determinar precisão e acurácia dos modelos, estes se tornam ferramentas importantes para a predição de parâmetros a partir de equações.

A acurácia mensura a divergência do valor predito pelo modelo em relação ao valor real. Já a precisão mensura a divergência de cada valor predito em relação aos outros valores preditos, ou seja, a dispersão dos valores preditos. Assim, um modelo pode ser acurado e impreciso ou vice-versa, além de não apresentar nem acurácia ou precisão.

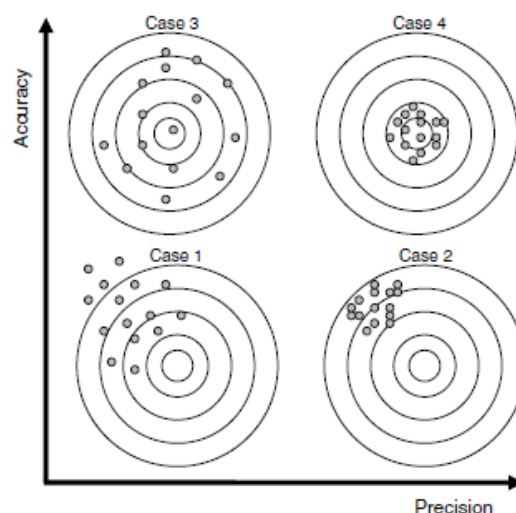


Figura 2 - Esquemática da acurácia e da precisão. O caso 1 é inacurado e impreciso, o caso 2 é inacurado e preciso, o caso 3 é acurado e impreciso e o caso 4 é acurado e preciso (Tedeschi, 2006).

Segundo os princípios da modelagem e simulação, para que um modelo seja aceito e aplicado, deverá cumprir etapas que envolvam desde a definição do problema até a avaliação da qualidade de predição do modelo (Mertens, 1976). Testar modelos está descrito na literatura como a demonstração da acurácia e precisão em predições desses modelos, sendo essas avaliações indicativas de acertabilidade e capacidade de uso dos mesmos (Sterman, 2002). Sendo assim, o termo avaliação ou teste é proposto para medir a robustez baseada em critérios pré-estabelecidos. Existem diversos métodos para avaliação de modelos, tendo como intuito principal comparar valores preditos pelo modelo a ser testado com valores observados.

Com intuito de criar uma ferramenta robusta capaz de realizar a avaliação de modelos matemáticos, Tedeschi, (2006) desenvolveu o *software Model Evaluation Systems* (MES). Esse software apresenta uma compilação de ferramentas estatísticas consagradas para avaliação de modelos, sendo capaz de avaliar o modelo proposto e identificar seus pontos fracos, além de auxiliar na avaliação adequada de modelos matemáticos usando análise estatística, incluindo em seu ferramental a análise de regressão linear, erro padrão de previsão, coeficiente de precisão do modelo (Cb), coeficiente de correlação de concordância (CCC) (Lin, 1989), viés médio (MB) (Cochran e Cox, 1954), análise de distribuição, análise de desvio, gráficos e histograma, dentre outras ferramentas. A análise estatística adequada é um passo indispensável, especialmente para modelos preditivos (Tedeschi, 2006).

2.2. Sobre o *Cornell Net Carbohydrate and Protein System* (CNCPS) e *Small Ruminant Nutrition System* (SRNS)

A modelagem aplicada à nutrição animal tem sido objeto de estudos desde a década de 40, com grandes avanços nas pesquisas e contribuindo para melhor entendimento dos processos envolvidos nas respostas dos animais às diversas condições de alimentação.

Modelos matemáticos na nutrição de ruminantes têm sido empregados nas últimas três décadas e têm estimulado avanços na alimentação animal (Chalupa e Boston, 2003). A finalidade de um modelo matemático de simulação é descrever de maneira matemática a resposta de cada compartimento ou vários compartimentos ligados a uma variável ou combinação de variáveis. Um dos maiores problemas na construção de modelos matemáticos é o nível de agregação das equações (Tedeschi et al., 2005b), porém, quanto maior o nível de complexidade, maior é sua capacidade de aproximação com a realidade animal.

Ao longo dos anos foram propostos programas para formulação de rações para pequenos ruminantes, dentre os quais podemos citar os modelos Inglês (AFRC, 1995), Australiano (CSIRO, 1990) e Francês (INRA, 1989). Assim como na nutrição de bovinos, cada sistema incorpora os conceitos baseados no conhecimento disponível e apresentam algumas limitações.

No geral, os sistemas acima citados são considerados empíricos e poucos flexíveis em relação aos atuais modelos utilizados para bovinos. Além disso, não consideram efeitos da ingestão sobre a digestibilidade dos alimentos (exceto AFRC, 1995), eficiência microbiana, interação entre taxa de passagem e digestão do alimento, consideram a reserva corporal de forma simplificada e não consideram ovelhas em lactação (exceto INRA, 1989).

O *Cornell Net Carbohydrate and Protein System* (CNCPS) e modelos americanos idealizados para ajustar os requisitos e a utilização de nutrientes dentro de uma grande variação de animais, alimentos, manejo e condições ambientais. Estes sistemas possuem submodelos para funções fisiológicas e metabólicas, tais como consumo, fermentação de carboidratos e degradação de proteínas no rúmen, digestão e absorção intestinal, excreção, utilização e partição de nutrientes para manutenção, crescimento, lactação e engorda. O CNCPS, desenvolvido por Fox et al. (1992) adotou o fracionamento dos carboidratos e proteínas, que, associado a estimativas da dinâmica do processo, pode prever, com maior precisão o desempenho dos animais e estimar a quantidade de proteína microbiana sintetizada e o escape ruminal de nutrientes. Com isso, determina-se a energia e proteína metabolizável a partir

dos dados relativos às frações de carboidratos e proteínas e de suas taxas de degradação.

Com o objetivo de desenvolver um novo sistema para formulação de rações para ovinos, que superasse estas limitações, Cannas et al. (2004) desenvolveram um modelo baseado no CNCPS. Este modelo, denominado CNCPS-Sheep foi desenvolvido para prever as exigências, utilização dos alimentos e desempenho animal para ovinos produtores de leite ou de carne, utilizando os conhecimentos acumulados sobre a composição dos alimentos, digestão e metabolismo animal.

Buscando aperfeiçoar a utilização dos modelos matemáticos como ferramenta para formulação de ração para pequenos ruminantes, pesquisadores das Universidades do Texas, de Cornell nos Estados Unidos e da Universidade de Sassari na Itália desenvolveram o *Small Ruminant Nutrition System* (SRNS) (Tedeschi et al., 2010). Este modelo prediz as exigências nutricionais dos animais e o valor biológico dos alimentos, baseados na estrutura do CNCPS-Sheep, e acrescenta a possibilidade de formulação de rações para caprinos, incluindo as diversas categorias. O SRNS prediz as exigências de energia, proteína, cálcio e fósforo, levando em consideração fatores relacionados ao animal, como peso corporal, isolamento térmico, movimentação diária, produção e composição do leite, reservas corporais, maturidade da carcaça e gestação; e, fatores ambientais, tais como temperatura, velocidade do vento e ocorrência de chuva. As características do alimento são baseadas no fracionamento de carboidratos e proteínas e suas taxas de fermentação ruminal e de passagem, crescimento microbiano e fibra fisicamente efetiva.

A utilização da modelagem é uma ferramenta que acompanha o progresso obtido pelas pesquisas que explicam as interações entre os dois principais elementos do sistema de produção, o animal e o alimento. O SRNS coloca-se como o mais novo e avançado programa de formulação de rações para pequenos ruminantes, permitindo manipular as variáveis dos pontos de vista nutricional, econômico e ambiental, para diversas condições e sistemas de produção.

O uso de modelos mecanicistas para avaliação de alimentos e exigências nutricionais de ruminantes (Cannas et al., 2004; Cannas et al., 2007) visa melhorar a avaliação das dietas completas, minimizar as perdas de nutrientes e o impacto ambiental, além de procurar maximizar a eficiência de utilização dos alimentos pelos animais. Desta forma, torna-se importante a precisa avaliação dessa ferramenta matemática de estimativas para caprinos. A melhor maneira de verificar a aplicabilidade desses sistemas é comparando as predições com os resultados diretamente observados em ensaios com os animais (Regadas Filho et al., 2011).

2.3. Descrição do modelo adotado

O modelo avaliado foi o SRNS com modificações, descrito na sua íntegra por Regadas Filho et al. (2014a). O SRNS utiliza as equações descritas por Tedeschi et al. (2010) para prever as necessidades nutricionais de cabras, e as equações descritas por Fox et al. (2004) são utilizadas para prever o fornecimento de energia dietética e nutrientes disponíveis.

Foram adotadas, no modelo, as seguintes modificações e premissas:

- 1) Fracionamento de proteína em apenas quatro frações (A, B₁, B₂ e C), ao invés de cinco descritas no modelo original (A, B₁, B₂, B₃ e C). Essa modificação está embasada na uniformidade de digestão das frações B₁ e B₂, adotando, portanto, as frações A (nitrogênio não proteico), B₁ (proteína solúvel), B₂ (PIDN-PIDA) e C (PIDA);
- 2) Semelhante ao fracionamento de proteínas, os carboidratos também tiveram modificações no seu fracionamento, alterando de cinco para quatro frações. São elas: A (ácidos orgânicos e açúcares), B₁ (fibra solúvel e amido), B₂ (fibras insolúveis disponíveis) e C (fibras insolúveis);
- 3) Modificações no cálculo de proteína bruta fecal (Cannas et al., 2004, Tedeschi et al., 2010).

- 4) Um fator que pode influenciar os aspectos físicos de controle de ingestão em ruminantes é a estratificação da fibra no ambiente ruminal (*pool* heterogêneo), que pode ocorrer quando se alimentam de quantidades consideráveis de fibra (Sutherland, 1989). As equações utilizadas para estimar a taxa de passagem e digestão da fibra no modelo original do SRNS, não contemplam essa estratificação da fibra (considera somente homogêneo). Portanto, incorporar essa nova abordagem ao modelo geraria um ganho em conhecimento. A avaliação do *pool* heterogêneo foi utilizada apenas nas frações B1 e C da fibra. Para a digestibilidade ruminal das demais frações de carboidratos e proteínas utilizou-se a abordagem original. Contudo, a taxa de passagem adotada para estimar a digestibilidade foi calculada como o inverso do tempo médio de retenção total (TMRT).
- 5) Os requisitos de fósforo e cálcio, descritos no AFRC (1993), foram aceitos e adotados.

2.4. Submodelo para estimar a taxa de passagem e a digestibilidade da fibra ruminal- GNG1

O submodelo para estimar a taxa de passagem e degradação da fibra alimentar, adotado por Regadas Filho et al. (2014a), tem como base o *pool* heterogêneo de fibra ruminal presente em cabras recebendo dietas ricas em fibra. Essas considerações foram descritas por Matis (1972) e, mais recentemente, por Vieira et al. (2008), que também generalizou a teoria de Waldo et al. (1972). De forma geral, baseia-se na explicação a seguir.

A disponibilidade de carboidratos no rúmen para fermentação a ácidos graxos voláteis e síntese de células microbianas é função de dois processos concorrentes, que ocorrem simultaneamente e independentes: digestão e passagem (Waldo et al., 1972; Van Soest, 1994; Mertens, 2005).

Historicamente, a fibra insolúvel tem sido tratada como um único e homogêneo *pool* no compartimento rumino-reticular. Entretanto, abordagem

oposta a esta teoria tem sido desenvolvida e avaliada por diversos pesquisadores (Hungate, 1966; Matis, 1972; Allen & Mertens, 1988; Pond et al., 1988; Sutherland, 1989; Vieira et al., 2008ab), sendo este importante aspecto a ser considerado quanto aos paradigmas atualmente aceitos relacionados à dinâmica da fibra no rúmen-retículo (RR), nos principais sistemas de avaliação de alimentos e exigências nutricionais.

Os referidos modelos compartimentados têm a não linearidade como proposta na interpretação dos perfis de degradação, o que permite melhor entendimento de fenômenos físicos e biológicos inerentes ao processo de degradação e de cinética de trânsito de carboidratos fibrosos no rúmen (Fernandes, 2006; Vieira et al., 2008ab), sendo que o conhecimento da mecânica destes fenômenos permite a estimativa exata e precisa dos processos que regem a repleção ruminal, além, é claro, da digestão das entidades nutricionais dos alimentos.

Ruminantes que consomem dietas ricas em forrageiras apresentam tipicamente, duas fases sólidas distintas dentro do compartimento rumino-reticular: a massa flutuante (denominada como *raft*), formada a partir das partículas da dieta que foram recentemente ingeridas e um *pool* de pequenas partículas dispersas (Figura 3) dentro da fase fluida, ventralmente ao compartimento de partículas no *raft* (Hungate, 1966; Sutherland, 1989). Exceções a esta regra ocorrem quando o comportamento alimentar é de alguma maneira restrito, levando à exclusão da fibra mais grosseira da dieta, como em confinamentos de alto grão ou em ruminantes selecionadores de concentrado (Hoffmann, 1989; Van Soest, 1994).

Os mecanismos envolvidos na retenção das partículas no compartimento *raft* estão relacionados com mecanismos físicos (hidratação, quebra de partículas a partir de ruminação, etc) como também com os mecanismos que promovem a digestão microbiana (solubilização de inibidores, adesão e colonização das partículas etc), (Vieira et al., 2008b). A transferência das partículas do compartimento *raft* para o *pool* de partículas escapáveis se dá através da taxa λ_r , assumido como tendo distribuição gamma e ordem de dependência do tempo, $\Gamma(N, \lambda_r, t)$; já o escape da fração que está ventralmente

localizada (*pool* de partículas escapáveis) é assumido como tendo distribuição exponencial, $E(K_e, t)$ (Matis, 1972). O modelo resultante (Figura 3) é chamado de classe GNG1 por causa da distribuição gama com o parâmetro N associado ao *raft* e a distribuição exponencial associada ao *pool* de renovação (Pond et al., 1988; Matis et al., 1989; Ellis et al., 1994).

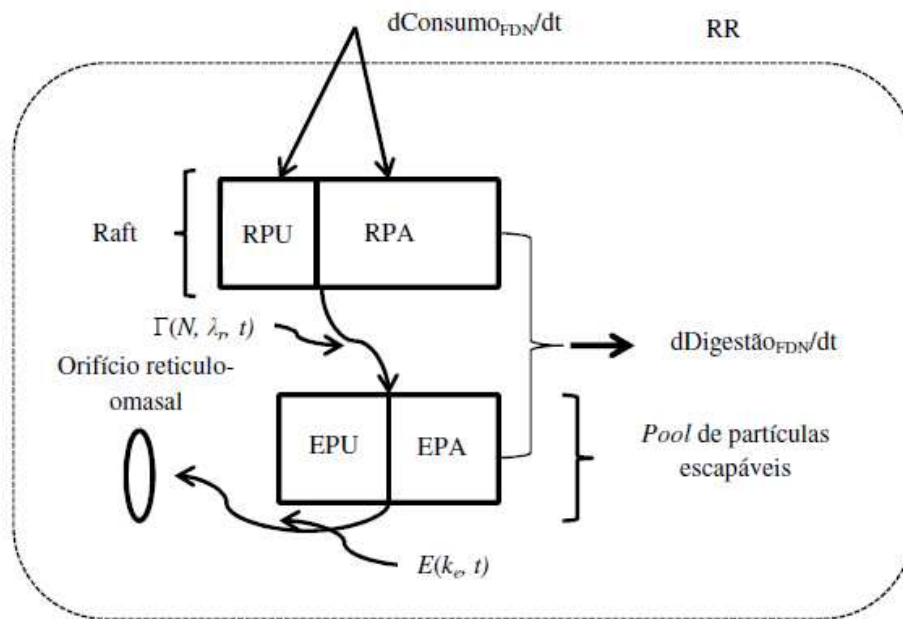


Figura 3 - Representação esquemática do conceito de dois *pools* ruminais. Fração fibrosa potencialmente digestível (RPA) e indigestível (RPU) no compartimento flutuante no rúmen (*raft*). Fração fibrosa potencialmente digestível (EPA) e indigestível (EPU) no compartimento de partículas escapáveis. Taxa de passagem das partículas fibrosas para a porção ventral do rúmen (λ_r) e taxa de escape ruminal das partículas fibrosas para o restante do TGI (k_e). Adaptado de Vieira et al. (2008b).

Apesar da estratificação da digesta ser um fenômeno real, esta massa fibrosa é tratada como simples compartimento na maioria dos sistemas de avaliação de alimentos. Entretanto, este conceito, baseado na cinética de partículas marcadas, permitiu estimativas mais precisas quanto ao tempo de retenção médio de partículas (TRM), além de melhor entendimento biológico do

processo de passagem no RR (Ellis et al., 1991; Ellis et al., 1994; Ellis, 2002; Vieira et al., 2008ab).

A interpretação da cinética utilizando-se o modelo de dois *pools* ruminal parece conduzir para predições mais verossímeis sobre a dinâmica da fibra no rúmen, além de contribuir, também, para determinação de outras variáveis, tais como o consumo voluntário, o crescimento microbiano no rúmen, a absorção e utilização de nutrientes e a predição do desempenho dos animais (Vieira et al., 2008b).

Com base nessas premissas, Vieira et al. (2008) e Regadas Filho et al. (2014a) incorporaram ao SRNS o submodelo de *pool* de fibra heterogênea (GNG1) no rúmen, com a finalidade de obter respostas preditivas mais precisas. Como resposta de seus estudos, os autores verificaram que a inclusão do modelo de *pool* heterogêneo da fibra ruminal apresentou resultados semelhantes quando comparados aos modelos empíricos baseados em um único *pool* (homogêneo), sugerindo a adoção do *pool* heterogêneo para melhorar a estrutura mecanicista já adotada pelo SRNS, elevando assim seu poder preditivo.

A importância do estudo da cinética de passagem das partículas deve-se ao fato da remoção da digesta ruminal afetar a extensão da digestão proteica, a eficiência de síntese de proteína microbiana (Ørskov e McDonald, 1979), a digestão da parede celular e, conseqüentemente, a digestibilidade *in vivo* da dieta (Sniffen e Robinson, 1987; Allen e Mertens, 1988; Van Soest, 1994). Em sistemas de alimentação, como o CNCPS e o SRNS, 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 (NRC, 2001; Cannas et al., 2003; Fox et al., 2004).

Na literatura, há duas principais técnicas para determinação da taxa de passagem e tempo médio de retenção das partículas do alimento em ruminantes: a metodologia direta, que consiste no abate do animal e avaliação do conteúdo alimentar em cada compartimento; e a indireta, com auxílio do fornecimento de um marcador em dose única, seguido de sucessivas coletas

de material fecal em tempos pré-estabelecidos, posterior análise da concentração desse marcador nas fezes, e realização do ajuste da curva de excreção a um modelo matemático para determinar os coeficientes relacionados à taxa de passagem das partículas. A técnica mais utilizada em experimentação animal é a indireta, e a escolha do marcador deve ser avaliada de acordo com a necessidade de cada experimento e as limitações inerentes de cada material, sendo que, no mercado, há uma série de categorias de marcadores, dentre elas partículas inertes, corantes, metais pesados (cobalto, cromo) e terras raras ou lantanídeos (itérbio e lantânio).

3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido no Laboratório de Nutrição Animal e no Setor de Caprinocultura, ambos pertencentes ao Departamento de Zootecnia do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, Minas Gerais, durante o período de dezembro de 2014 a fevereiro de 2015. A coleta de dados foi dividida em duas etapas, sendo a primeira constituída pela análise inicial dos alimentos e a segunda pelo ensaio com cabras em lactação.

3.1. Avaliação inicial dos alimentos

Para avaliação do objetivo proposto, foram analisadas amostras de fubá de milho (*Zea mays* L), farelo de soja (*Glycine max* L.) e farelo de trigo (*Triticum spp.*) como alimentos concentrados, e silagem de milho como volumoso, obtidas na fábrica de ração e no Setor de Caprinocultura da Universidade Federal de Viçosa, seguindo as recomendações técnicas de amostragem e quarteamento. Estes alimentos constituíram a base das dietas experimentais usadas na segunda etapa do experimento e sua análise foi realizada anteriormente ao início do período experimental (agosto a outubro de 2014).

Após obtenção, as amostras dos alimentos foram secas sob ventilação forçada a 55 °C, durante 72 horas, processadas em moinho de facas tipo Willey (1 mm) e armazenadas em frascos de polietileno em temperatura ambiente para posteriores análises laboratoriais. Determinaram-se os teores de matéria seca (MS), pelo método 967.03 da AOAC (1990), matéria mineral (MM), método 924.05, proteína bruta (PB), método 981.10, extrato etéreo (EE), método 920.39, fibra em detergente ácido (FDA) e lignina, por solubilização da celulose por ácido sulfúrico (72% p/p), método 973.18, segundo metodologias descritas pela AOAC (1990). Os teores de fibra em detergente neutro (FDN) foram determinados segundo recomendações de Mertens (2002). Os teores de

FDN e FDA foram também expressos nas formas corrigidas para cinzas e compostos nitrogenados.

3.2. Fracionamento de proteínas e carboidratos

Para o fracionamento das proteínas e dos carboidratos dos alimentos utilizaram-se as metodologias conforme adaptadas por Carvalho (2012).

As frações de carboidratos e proteínas juntamente com suas respectivas taxas de degradação são utilizadas para computar a quantidade de nutrientes disponíveis, que são necessários para dar suporte à fermentação ruminal para os grupos de microrganismos, conforme descrito por Russel et al. (1992). Além disso, o fracionamento dos alimentos permite quantificar e verificar a disponibilidade de proteína e carboidratos para o processo biológico de degradação e digestão animal, contribuindo para um correto balanceamento da dieta.

Adotou-se o fracionamento de proteína e carboidratos em quatro frações (A, B₁, B₂ e C) como proposto por alguns autores (Van Soest, 1994; Broderick, 1995; Favoreto et al., 2008) ao invés da subdivisão destas entidades nutricionais em cinco frações (A, B₁, B₂, B₃ e C), originalmente proposta por Sniffen et al. (1992). Tal procedimento justifica-se pelo fato de que as frações B₁ e B₂ comportam-se de forma nutricional uniforme. Além disso, as técnicas laboratoriais utilizadas neste fracionamento em apenas quatro frações são mais simples e acessíveis na rotina laboratorial.

O fracionamento de proteína foi realizado em quatro frações (A, B₁, B₂ e C), sendo: a fração A (nitrogênio não proteico), obtida pela diferença entre o N total e o N insolúvel em ácido tricloroacético, a partir do tratamento de 0,5 g de amostra com 50 mL de água por 30 minutos, seguido da adição de 10 mL de ácido tricloroacético (TCA) a 10% por mais 30 minutos. Após filtragem da amostra tratada, utilizando-se papel-filtro (Whatman 54), determinou-se o N residual pelo método Macro Kjeldahl. O nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e o nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) foram

dosados nos resíduos de FDN e FDA, respectivamente, e os teores proteicos obtidos pela multiplicação dos valores de nitrogênio pelo fator 6,25. A fração C, que constitui a proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) e a fração B₂, proteína de degradação lenta foram obtidas pela diferença entre a proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) e a PIDA, segundo Sniffen et al. (1992). A fração B₁, proteína de degradação mais rápida que a B₂, foi quantificada pela diferença:

$$100 - (A + B_2 + C)$$

Para os carboidratos, considerou-se como fração A` (açúcares solúveis prontamente degradáveis), B₁` (carboidratos não-fibrosos, obtidos pela soma do amido + pectinas), B₂` (carboidratos fibrosos) e fração C` (indigestível).

Para determinação da fração A`, realizou-se a extração dos carboidratos solúveis em oxalato de amônia e a determinação colorimétrica com reação de antrona (Deriaz, 1961). Esse procedimento é utilizado para medir a concentração de açúcares (glicose) nos alimentos. Inicialmente, foi pesado de 0,25 g até 1,0 g de amostra (ASA), em potes plásticos com tampa (próprios para autoclave). Adicionaram-se 70 mL de solução de oxalato de amônia 0,5%, e levou-se para ser autoclavado por duas horas. Posteriormente, filtrou-se o conteúdo com auxílio de papel-filtro, em balões de 100 mL, completando-se o volume restante com água destilada. Uma alíquota de 2 mL foi retirada do filtrado das amostras e dos padrões de glicose, colocada em tubos de ensaio grandes e adicionados 10 mL de solução antrona. Para o teste em branco, procedeu-se do mesmo modo, porém sem adição da amostra: os tubos foram agitados (vórtex) e deixados em banho de água fria por alguns minutos para que a antrona mostra-se colorida. Em seguida, os tubos-teste e o branco foram mantidos em banho-maria (90 °C) por 20 minutos e, em seguida, foram resfriados em banho de água fria. Ao final, procedeu-se a leitura da absorbância em espectrofotômetro colorimétrico (comprimento de onda de 625 nm). Os teores de carboidratos solúveis em água foram determinados por espectrofotometria, por meio da coloração azul-esverdeada, formada quando esses compostos são aquecidos em solução de antrona em meio fortemente ácido (Deriaz, 1961).

A fração B₁' foi determinada pela diferença entre carboidratos não fibrosos (CNF) e a fração A'. Já a fração B₂' pela diferença entre os carboidratos totais (Sniffen et al., 1992) e os carboidratos não-fibrosos.

$$CT = 100 - (\%PB + \%EE + \%MM)$$

$$CNF = 100 - (\%PB + \%EE + \%FDM_{CP} + \%MM)$$

em que FDN_{CP} equivale à parede celular corrigida para cinzas e proteínas.

A fração C' foi determinada segundo Chandler et al., (1980), resultante da multiplicação da fração de lignina do alimento pelo fator 2,4.

3.3. Taxas de degradação *in vitro* das frações de carboidratos e proteína

As taxas de degradação das frações dos carboidratos (A', B'₁ e B'₂) e das frações proteicas B₁ e B₂ utilizadas nessa tese foram adaptadas do trabalho realizado por Henrique (2007) e foram apresentadas na Tabela 4.

3.4. Ensaio com animais em lactação

O ensaio com animais foi conduzido de acordo com as normas da Comissão de Ética no Uso de Animais de Produção (CEUAP) da Universidade Federal de Viçosa, com base nas normas estabelecidas pelo Conselho Nacional de Controle de Experimentação Animal - CONCEA, tendo sido aprovado por esta Comissão em 05/09/2014, registrado pelo processo nº 83/2014.

O experimento com cabras em lactação foi realizado no galpão experimental do Setor de Caprinocultura (DZO, UFV). Foram selecionadas 30 cabras leiteiras das raças leiteiras Saanen e Pardo-Alpina, com massa corporal média de 54,33 kg ± 7,82, multíparas, terceira ou quarta ordem de parto, em

lactação superior a 60 dias e não gestantes. As cabras foram previamente vermifugadas e confinadas em baias individuais com dimensões de 1,5 m por 2,0 m de piso totalmente ripado, providas de cocho para alimentação e bebedouro para consumo de água *ad libitum*.

Adotou-se um delineamento inteiramente casualizado, com formação de três grupos distintos (10 animais em cada grupo), em função da produção leiteira (kg/dia⁻¹): o primeiro grupo com produção leiteira até 1,5, o segundo até 2,5 e o terceiro grupo até 3,5.

O modelo experimental adotado foi:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \alpha\tau_{ij} + e_{ij}$$

em que Y_{ijk} é a observação relacionada com a grandeza de medição na k-ésima cabra alimentada para o i-ésimo tratamento durante o j-ésimo dia. Os efeitos fixos são a média μ , o tratamento α_i , o dia τ_j , e a interação entre tratamento \times dia $\alpha\tau_{ij}$. Os efeitos aleatórios são os termos do erro e_{ijk} .

Os animais de cada um desses grupos receberam uma dieta balanceada para atender às suas exigências nutricionais, formuladas previamente segundo as recomendações propostas pelo SRNS, considerando as modificações propostas por Regadas Filho et al.(2014a) e com base na produção máxima de leite esperada para cada grupo, na média de massa corporal padrão das raças leiteiras (55 kg), dias em lactação (80), idade (48 meses), proteína (3,0%) e gordura do leite (3,20%).

A formulação das dietas experimentais está apresentada resumidamente na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição da dieta inicial por grupos, utilizando o SRNS.

Alimento	Grupo 1	Grupo 2	Grupo 3
	(até 1,5 kg leite)	(até 2,5 kg de leite)	(até 3,5 kg de leite)
MS (g·kg ⁻¹)			
Farelo de soja	105,2	112,3	95,6
Farelo de trigo	21,8	19,3	33,9
Fubá de milho	123,9	218,1	278,8
Silagem de milho	737,7	634,6	571,2
Mistura mineral	11,4	15,6	20,6
Dieta			
EM (kcal·kg ⁻¹)	2363,25	2393,22	2394,51
PM (g·kg ⁻¹)	78,2	78,1	78,9
PB (g·kg ⁻¹)	101,5	105,1	100,3
EE (g·kg ⁻¹)	22,8	23,6	24,6
CT (g·kg ⁻¹)	807,3	804,3	807,2
CNF (g·kg ⁻¹)	360,3	395,0	416,5
CF (g·kg ⁻¹)	447,0	409,2	390,7
C _{F_{DN}}	11,3±1,7	11,3±1,7	11,5±1,7

MS (%) = matéria seca em percentagem, MS (g·kg⁻¹) = matéria seca em gramas por quilo, CEM: consumo de energia metabolizável, PM: proteína metabolizável, PB: proteína bruta, EE: extrato etéreo, CT: carboidratos totais, CNF: carboidratos não fibrosos, CF: carboidratos fibrosos, C_{F_{DN}}: consumo de FDN em g / (d x kg PV).

Para composição das dietas experimentais (Tabela 1), foram utilizados como alimentos a silagem de milho (volumoso) produzida no próprio Setor de Caprinocultura e uma mistura concentrada à base de milho (fubá), farelo de trigo e farelo de soja (lote separado na fábrica de ração da UFV para que os ingredientes da ração experimental fossem oriundos de um mesmo lote).

As rações foram fornecidas duas vezes ao dia, as 8 e às 16 horas, após as ordenhas, realizadas às 6 e às 14 horas. A mistura de alimentos oferecidos e as sobras foram pesadas e amostradas diariamente para determinação do consumo diário de matéria seca e cálculo da quantidade a ser oferecida e para

análises posteriores. A quantidade de sobras foi ajustada para 10% da quantidade oferecida, garantindo assim o consumo voluntário dos animais.

O experimento teve duração total de 60 dias, com quinze dias de adaptação prévia dos animais às instalações, às dietas e ao manejo. Também foi realizada a pesagem semanal dos animais em jejum (após a ordenha matinal e antes da primeira alimentação diária), utilizando balança digital, com duas casas decimais.

A produção de leite foi mensurada diariamente nas duas ordenhas, amostrado semanalmente e analisado por espectroscopia infravermelha pelo método IRMA (*Infra Read Milk Analyzer*) quanto aos teores de proteína, gordura, lactose e sólidos totais.

Durante o período experimental, realizou-se um ensaio de digestibilidade para obtenção dos coeficientes de digestibilidade dos nutrientes da dieta, energia digestível e energia metabolizável. No ensaio, foram utilizados todos os animais experimentais (30) para coleta total de fezes e urina, durante sete dias.

A coleta de fezes foi realizada com auxílio de uma tela de náilon sob a superfície do piso ripado das gaiolas, para retenção de toda a produção fecal de cada animal.

A urina foi coletada por meio de mangueiras que direcionavam a mesma para um recipiente plástico contendo 20 mL de solução de H₂SO₄ 40% (v/v), que atua como conservante.

Em todos os dias do ensaio de digestibilidade (sete dias), as fezes e urina foram pesadas e seus volumes, mensurados. Alíquotas de 10% de cada um dos materiais coletados foram separadas e constituíram amostras compostas, que foram conservadas a - 20 °C para as análises.

O consumo de matéria seca dos animais (CMS, kg/d) foi definido como a diferença entre a matéria seca oferecida e matéria seca das sobras, como a seguir:

$$\text{CMS} = \text{MS oferecida} - \text{MS sobras}$$

A composição dos alimentos ofertados e sobras, juntamente com a quantidade diária de sobras, foram utilizadas para cálculo do consumo diário de nutrientes (NUT), em quilogramas, definido como:

$$\text{NUT consumido} = \text{NUT alimento} - \text{NUT sobras}$$

A digestibilidade de cada um dos nutrientes (NUT digestível) foi definida pela equação:

$$\text{NUT digestível (kg/dia)} = \text{NUT oferecido} - \text{NUT sobras} - \text{NUT fezes}$$

A energia bruta da urina (EBU) foi obtida através da queima de amostras urinárias contidas em cápsulas de polietileno, utilizando bomba calorimétrica (Silva e Queiroz, 2009). As amostras de urina precisam ser descongeladas até a temperatura ambiente e não devem ser agitadas. Inicialmente foram transferido, com auxílio de pipeta, 5 mL de urina, por cápsula, previamente pesada em balança analítica. As cápsulas contendo urina (5 mL) foram levadas à estufa de ventilação forçada a 55 °C, até quase completa secagem das amostras (dezoito a vinte e quatro horas). Em seguida, adicionaram-se mais 5 mL de urina às cápsulas, com a finalidade de obter um total de 10 mL por amostra. Retorna-se à estufa nas mesmas condições (18 a 24 horas), tendo-se o cuidado de não deixar a amostra secar completamente. Após esse procedimento, as cápsulas foram levadas para combustão em bomba calorimétrica.

O conteúdo de energia bruta (EB) dos alimentos oferecidos, das sobras e da dieta consumida, foi estimado com base na respectiva composição e no calor de combustão da proteína (23,4 MJ/kg), carboidratos (17,6 MJ/kg) e gordura (39,3 MJ/kg) segundo Maynard et al. (1979).

$$\text{EB} = 17,6 (\text{CNF}_c + \text{FDN}_c) + 23,4 \text{PB}_c + 39,3 \text{EE}_c$$

A energia digestível (ED, MJ· dia⁻¹) aparente consumida, foi estimada por equivalência energética do conteúdo digestível dos nutrientes através da equação (Maynard et al., 1979):

$$ED = 17,6 (CNF_d + FDN_d) + 23,4 PB_d + 39,3 EE_d$$

em que: CNFd = carboidratos-não-fibrosos digeridos; FDNd = fibra insolúvel em detergente neutro digerida; PBd = proteína bruta digerida; EEd = extrato etéreo digerido.

$$EM = ED - EU - EG$$

sendo que EM é a energia metabolizável, ED é a energia digestível; EU energia da urina e EG energia dos gases estimada.

A energia diária perdida por meio dos gases (EG, MJ/d) foi estimada com a equação proposta por Blaxter & Clapperton (1965), modificada segundo Jardim et al. (2015) como a seguir:

$$EG = [EB] \times CMS (1,3 + 0,112 D_m + L_c (2,37 - 0,05) D_m)/100$$

Os termos D_m e L_c, representam a média da digestibilidade da dieta a nível de manutenção (L=1 M_m) e o plano nutricional corrigido, respectivamente. A energia da urina e dos gases foi subtraída da energia digestível para obtenção do consumo de energia metabolizável de cada animal, em cada combinação tratamento x animal x dia.

Para a avaliação da cinética de trânsito de fibra dos conteúdos sólido e líquido da digesta, foram utilizadas terras raras para o conteúdo sólido (Figura 4) e cobalto- EDTA para o conteúdo líquido. O óxido de itérbio foi empregado para marcar a fibra da silagem de milho e o óxido de lantânio para marcar a fibra dos alimentos concentrados (milho, soja e farelo de trigo). A complexação com terras raras foi feita utilizando-se a técnica proposta por Ellis & Beever (1984), com modificações propostas por Lira et al. (2000). Essa avaliação foi realizada utilizando-se todas as cabras, totalizando 30 animais, nos últimos 7 dias do período experimental.



Figura 4 - Processo laboratorial para marcação da fibra.

Inicialmente, amostras de 600 g de silagem de milho foram coletadas e submetidas à fervura por uma hora em recipiente de 12 litros contendo solução de detergente neutro, mantendo-se a proporção de 20 mL de detergente para dois litros de água para cada 100g de amostra seca ao ar, com o intuito de se extrair o material solúvel do volumoso. Após este procedimento, a solução foi escorrida e o material foi submetido, novamente, ao mesmo procedimento, para garantir a eficiência da lavagem. Após a última fervura, o material foi lavado repetidas vezes com água quente (até não eliminar mais espuma) e um litro de acetona foi utilizado para finalizar o procedimento antes de o material ser colocado em estufa, onde permaneceu a 55 °C por 72 horas.

O mesmo procedimento foi utilizado para a lavagem dos conteúdos solúveis das misturas concentradas das dietas experimentais. A proporção utilizada para preparar as soluções de terras raras foi de 5 mg de itérbio e lantânio por grama de fibra da silagem de milho e da mistura concentrada, respectivamente. Óxidos de itérbio e lantânio foram diluídos (com auxílio da placa de agitação) em soluções de HCl 6 N e 2 N, respectivamente. Vale a pena ressaltar que, quando não ocorre a diluição das terras raras na solução de HCl correspondente, será necessária a adição de HCl concentrado até completa solubilização. Amostras de 100 g de cada material foram imersas em frascos de vidro contendo 2,5 litros de água destilada, cujo pH foi reduzido a 2,0, utilizando-se o ácido clorídrico. Após a imersão da fibra, o pH foi novamente corrigido para 2,0, quando, então, foram adicionadas as soluções salinas de itérbio e lantânio, que permaneceram em repouso por 24 horas. Em

seguida, o material foi lavado e imerso em solução de ácido cítrico, correspondente a 50% do peso da fibra, e deixado em repouso por uma hora. Por fim, o material foi lavado e seco em estufa de ventilação forçada a 60 °C por 48 horas.

Amostras de 10 g de cada um dos materiais marcados, tanto do volumoso como do concentrado, foram oferecidas via oral aos animais para garantir a completa ingestão de todo o material (fibra marcada), já que os animais recusaram o consumo voluntário dos mesmos.

Para avaliar a taxa de passagem de líquidos, foi utilizado o cobalto-EDTA (Co-EDTA) como marcador, preparado de acordo com a metodologia descrita por Úden et al. (1980). Para a obtenção do acetato de cobalto, 100g de sulfato de cobalto foram diluídos em 400 mL de água destilada, em constante aquecimento. Posteriormente, foi acrescentada a mesma quantidade de ácido acético, cujo resíduo foi levado à estufa a 105 °C. Cerca de 50 g do acetato de cobalto, 58,4 g de EDTA e 8 g de hidróxido de sódio foram colocados em um béquer, cujo volume foi completado para 400 mL com água destilada. Essa mistura foi aquecida até sua dissolução completa e, depois de esfriar, foi adicionada de 20 mL de peróxido de hidrogênio 30% (v/v) e mantida em repouso durante a noite. No dia seguinte adicionaram-se 300 mL de etanol 95%, deixando o material em refrigeração por 24 horas. O material foi filtrado em papel Whatman n° 4 e lavado com etanol 80%, e o resíduo levado à estufa por 12 horas. Depois de pronto, 1 g do Co-EDTA foi diluído em 40 mL de água destilada e administrado aos animais (com auxílio de uma seringa), juntamente com as fibras do volumoso e concentrado marcadas (Figura 5).



Figura 5 - Fibra marcada.

Após o fornecimento do material, amostras fecais foram coletadas (diretamente do reto) em sacos plásticos, nos tempos 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 54, 60, 66, 72, 84, 96, 108, 120 e 144 horas, e congeladas a - 20 °C para posterior análise, que foi realizada por espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente, no Departamento de Ciências do Solo da UFV, após abertura das amostras. Devido ao alto custo dessa análise laboratorial, apenas as amostras de dois animais de cada grupo de produção foram utilizadas para leitura, sendo que foram escolhidos os animais que apresentaram a produção de leite mais próxima à média do grupo e consumo de matéria seca homogênea durante o período experimental.

Para realizar a leitura dos marcadores, foram pesados 0,3 gramas de amostra (fezes) seca e moída em tubos de borossilicato. Em seguida, adicionou-se 3 mL de ácido nítrico. As amostras permaneceram em descanso por 12 horas, realizando uma pré-digestão. Após esse tempo, foi iniciada a digestão por aquecimento em placa digestora, iniciando o aquecimento em 40 °C, aumentando vagarosamente até a temperatura de 120 °C. Nesse momento, as amostras foram retiradas da placa de aquecimento para resfriamento e foram adicionados 1,5 mL de peróxido de hidrogênio (H₂O₂). As amostras novamente voltaram ao aquecimento até que a temperatura da placa digestora atingisse 190 - 210 °C. Após a digestão, as amostras foram filtradas em papel filtro de filtragem rápida (livre de cinzas) usando uma solução de água destilada com ácido nítrico 0,5%, completando-se o volume até 25 mL. O filtrado foi armazenado em tubos tipo Falcon, na geladeira, para leitura (Figura 6).



Figura 6 - Espectrometria de indução óptica por plasma acoplado.

Os perfis de concentração dos indicadores nas fezes e a estimação dos parâmetros de degradação e passagem foram interpretados cineticamente conforme modelo descrito por Vieira et al. (2008b). O modelo GNG1, que aborda dois compartimentos (*raft* e *pool* de partículas escapáveis) é descrito como:

$$C(t) = \varepsilon, \quad 0 \leq t < \tau,$$

$$C(t) = C(0)k_e \left\{ \delta^N \exp[-k_e(t - \tau)] - \exp[-\lambda_r(t - \tau)] \right. \\ \left. \times \sum_{i=1}^N \delta^i [\lambda_r(t - \tau)]^{N-i} / (N - i)! \right\} + \varepsilon, \quad t \geq \tau.$$

Amostras da dieta oferecida e das sobras foram coletadas diariamente, agrupadas em uma amostra composta para o período e armazenadas a -20 °C.

No Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da UFV, foram realizadas análises dos componentes da dieta e das sobras para determinação dos teores de matéria seca (MS), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose, cinzas, extrato etéreo (EE) e proteína bruta (PB), conforme metodologia descrita pela AOAC (1990) e lignina em ácido sulfúrico, segundo Goering e Van Soest (1970).

O consumo de matéria seca predito pelo modelo foi realizado utilizando-se a seguinte equação proposta pelo AFRC (1993):

$$\text{CMS (kg.dia}^{-1}\text{)} = 0,062 \times \text{PV}^{0,75} + 0,305 \times \text{PL}$$

na qual: PL = produção de leite, em kg/dia, com 3,5% de gordura

PV = peso vivo, em kg.

3.5. Avaliação dos dados

O banco de dados obtido contém informações referentes ao animal (massa corporal, composição do leite, raça, estágio fisiológico) e à composição das dietas, além de parâmetros produtivos e nutricionais mensurados (consumo de matéria seca, massa corporal, produção de leite, digestibilidade da fibra, taxa de passagem de sólidos e líquidos, consumo de nutrientes digestíveis totais, energia e proteína metabolizável).

Os dados obtidos em campo (observados) foram submetidos ao procedimento estatístico de melhor predição linear imparcial (BLUP) para obtenção de uma média mais robusta quando comparada a média simples. Essa média foi então utilizada nos procedimentos posteriores de avaliação matemática.

De posse dos dados observados em campo, foi realizada uma nova predição para cada animal experimental. Para tanto, utilizou-se, novamente, a planilha de cálculo inicial (SRNS com modificações), porém, além dos dados da análise química inicial dos alimentos, foram agregadas as médias dos dados observados (reais) de massa corporal, produção de leite e consumo dos ingredientes da dieta, obtendo novos valores preditos por animal.

As informações referentes aos animais e à composição das dietas foram inseridas (*inputs*) no modelo e, como saída (*outputs*), foram estimados os parâmetros produtivos e nutricionais citados anteriormente, que foram posteriormente comparados utilizando ferramentas estatísticas. A avaliação do

poder preditivo do modelo foi realizada pelos procedimentos descritos por Tedeschi (2006), utilizando-se o *software Model Evaluation Systems* (MES), disponível em <http://nutritionmodels.com/mes.html>, entre os valores preditos e observados no experimento.

O MES apresenta um conjunto de ferramentas estatísticas capaz de realizar, com clareza, avaliação de modelos matemáticos. A precisão do modelo foi avaliada utilizando o coeficiente de determinação (R^2) entre os valores preditos e observados. A acurácia foi avaliada pelo fator de correção do viés (C_b), que indica o quanto a linha de regressão desvia-se da inclinação de 45° , viés médio (MB), que indica igualdade entre predito e observado, além de indicar subestimação ou superestimação; coeficiente de correlação e concordância (CCC); e raiz quadrada do erro quadrático médio de previsão (RMSEP).

4. RESULTADOS

A análise química dos alimentos que constituíram a dieta experimental está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 - Análise química dos ingredientes da dieta, em g·kg⁻¹de MS.

Alimento	MS	MM	EE	PB	FDNcp	Lig	CNF	CT	FDA
Silagem de milho	260,0	65,3	22,1	57,0	492,4	38,3	339,7	855,7	340,3
Farelo de soja	893,9	65,9	15,5	451,5	91,9	3,6	368,5	467,0	62,9
Farelo de trigo	888,7	53,5	39,2	141,8	339,6	35,4	397,9	765,5	116,7
Fubá de milho	878,5	10,8	33,0	67,6	102,8	6,5	784,2	888,8	34,1

MS: matéria seca, MM: matéria mineral, EE: extrato etéreo, PB: proteína bruta, FDNcp: fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína, Lig: lignina, CNF: carboidratos não fibrosos, CT: carboidratos totais, FDA: fibra em detergente ácido.

Os teores de MS, MM, EE, PB, FDNcp, Lig, CNF, CT e FDA dos ingredientes da dieta estão coerentes com os descritos na literatura (Malafaia et al., 1997; Branco et al., 2010; Carvalho, 2012) com pequenas variações observadas, principalmente nos valores de EE e Lig, o que é esperado quando se trabalha com alimentos de lotes/origem diferentes. Por isso, a análise *a priori* é essencial para a correta avaliação do poder preditivo de modelos matemáticos (Tabela 2).

O fracionamento de carboidratos e proteínas dos alimentos está apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores médios de proteína bruta e carboidratos totais com suas respectivas frações nos ingredientes da dieta.

Alimento	Proteína					Carboidratos				
	PB*	A	B ₁	B ₂	C	CT*	A'	B ₁ '	B ₂ '	C'
		-----g kgPB ⁻¹ -----					-----g kgCT ⁻¹ -----			
Silagem de milho	57,0	13,2	33,3	2,6	7,9	855,7	157,4	109,7	493,3	95,3
Farejo de soja	451,5	90,1	344,0	3,87	13,6	460,4	177,0	191,5	82,5	9,4
Farelo de trigo	141,8	46,1	86,6	3,7	5,3	765,5	193,8	224,0	261,9	85,7
Fubá de milho	67,6	7,7	32,7	19,4	7,7	886,8	205,8	578,4	91,5	11,2

*g·kg⁻¹; PB: proteína bruta, A: proteína de rápida degradação, nitrogênio não proteico, B₁: proteína de média degradação, B₂: proteína de lenta degradação, C: proteína insolúvel em detergente ácido, CT: carboidratos totais, A': açúcares solúveis prontamente degradáveis, B₁': carboidratos não-fibrosos, B₂': carboidratos fibrosos, C': fração indigestível.

Os valores de PB e suas frações nos alimentos (Tabela 3) foram semelhantes aos descritos por Malafaia et al. (1997) e os encontrados para carboidratos e suas frações são semelhantes aos reportados por Carvalho (2012).

As frações de carboidratos e suas taxas de degradação (Tabela 4) são utilizadas para computar a quantidade de nutrientes disponíveis para dar suporte à fermentação ruminal para cada grupo de microrganismos.

Tabela 4- Taxa de degradação das frações dos nutrientes (%/h⁻¹).

Alimentos	kd[B ₁]PB	kd[B ₂]PB	kd[A]CHT	kd[B ₁]CHT	kd[B ₂]CHT
Silagem de milho	3,0000	0,1000	0,2000	0,2000	0,0400
Farelo de soja	2,8664	0,0864	0,4500	0,4500	0,0600
Farelo de trigo	2,4523	0,0371	0,7000	0,7000	0,0800
Fubá de milho	0,2555	0,0243	0,1200	0,1200	0,0170

Fonte: adaptado de Henrique (2007).

kd[B₁]PB: taxa de degradação fração da B₁ da proteína; kd[B₂]PB: taxa de degradação da fração B₂ da proteína; kd[A]CHT: taxa de degradação da fração A dos carboidratos; kd[B₁]CHT: taxa de degradação da fração B₁ dos carboidratos; kd[B₂]CHT: taxa de degradação da fração B₂ dos carboidratos.

Segundo Nocek & Russell (1988), a taxa de digestão do alimento no rúmen e, particularmente, o sincronismo entre a taxa de digestão das proteínas e dos carboidratos podem ter importante efeito sobre os produtos finais da fermentação e, conseqüentemente, sobre a produção animal.

Esse fracionamento, assim como a análise química inicial, foi necessário para *input* no modelo. Ocorre pequena variação na composição dos alimentos em diferentes condições de plantio, época do ano e sazonalidade. Para manter a fidelidade nutricional dos alimentos utilizados, as análises básicas iniciais foram necessárias para que a alimentação do modelo proposto (*input*) fosse realizada com dados reais, e não por médias ou dados tabelados encontrados na literatura.

O perfil de excreção da fibra marcada dos alimentos sólidos (volumoso marcado com itérbio e concentrado marcado com lantânio) está apresentado nas Figuras 7 e 8. Quando apresentadas graficamente, tornam-se visíveis a curva de excreção dos indicadores e sua taxa de passagem.

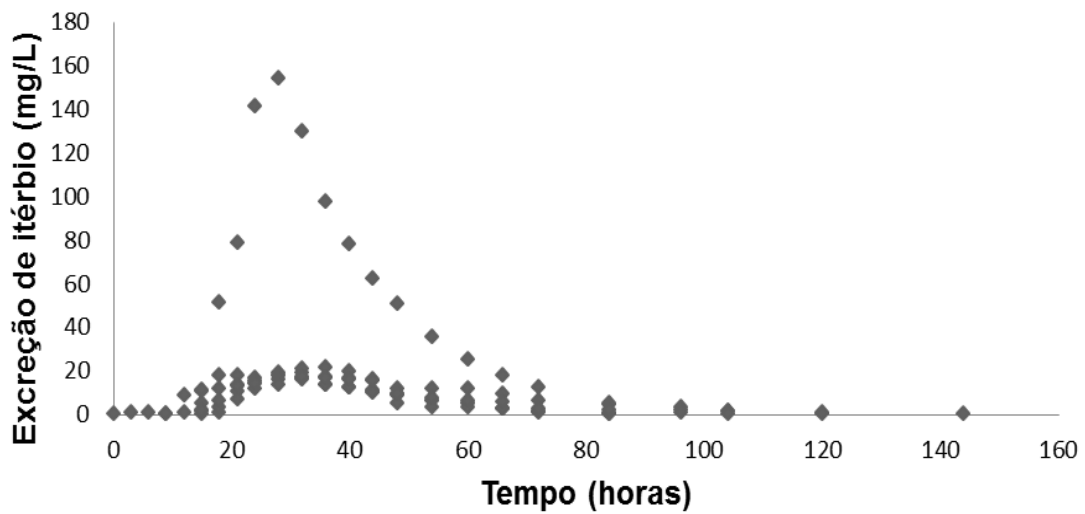


Figura 7- Perfil de excreção da fibra do volumoso, marcada com óxido de itérbio.

O pico de excreção de itérbio, marcador da fibra presente no volumoso, foi de 28 horas após o consumo pelos animais.

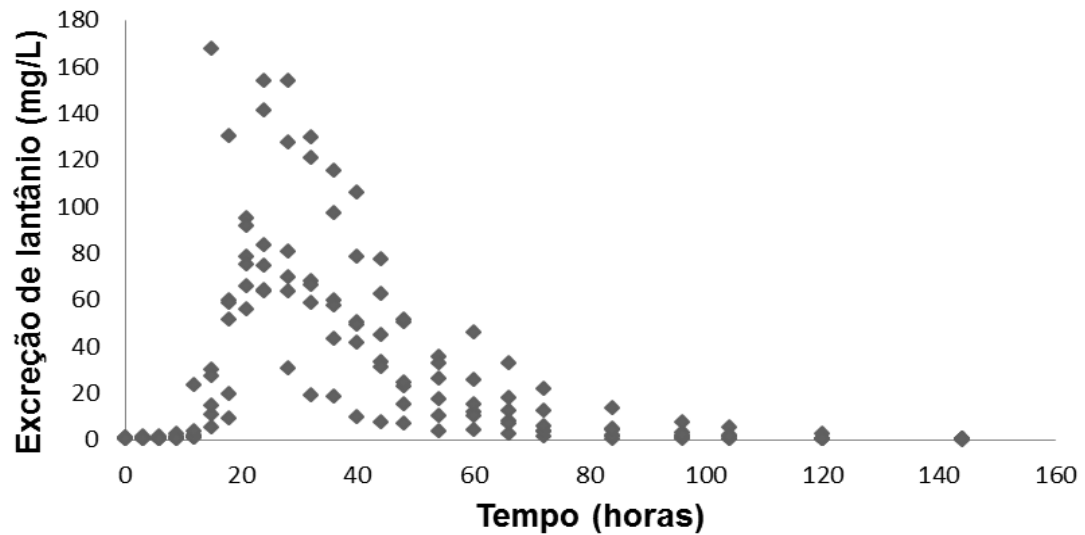


Figura 8 - Perfil de excreção da fibra do concentrado, marcada com lantânio.

O pico de excreção de lantânio, usado para marcação da fibra do concentrado, ocorreu no período de 21 a 24 horas após sua administração aos animais.

A taxa de passagem e o tempo médio de retenção da fibra dos alimentos concentrados (lantânio) e volumoso (itérbio), obtida a partir da técnica de marcação está apresentada na Tabela 5, representando a passagem dos sólidos.

Tabela 5 - Taxa de passagem (h^{-1}) e tempo de retenção de concentrado e volumoso por grupo de produção leiteira, de acordo com modelo GNG1.

Concentrado						Volumoso				
Grupo	N	λ_r	k_e	TMRc	kpc	N	λ_r	k_e	TMRv	Kpv
1	3	0,905	0,069	17,81	0,060	3	0,1721	0,0861	29,05	0,043
2	3	0,269	0,059	28,10	0,041	3	0,1872	0,0729	29,74	0,041
3	3	0,224	0,070	27,68	0,043	3	0,2467	0,0442	34,78	0,033

N: ordem de dependência no tempo; λ_r : taxa de transferência das partículas do *raft*; k_e : taxa de transferência do *pool* de partículas escapáveis; TMRc (h): tempo médio de retenção do concentrado por hora, TMRv (h): tempo médio de retenção do volumoso por hora, kpc: taxa de passagem de concentrado, kpv: taxa de passagem de volumoso. Concentrado: farelo de soja, farelo de trigo e fubá de milho, marcados com óxido de lantânio. Volumoso: silagem de milho, marcada com óxido de itérbio.

O cálculo para obtenção da taxa de passagem de sólidos (kps) foi obtido segundo Reis (2003) e o tempo médio de retenção (TMR), de acordo com Lira et al. (2000), conforme segue:

$$kps = \frac{\lambda_r \times k_e}{(2 \times k_e + \lambda_r)}$$

$$TMR = \frac{N}{\lambda_r} + \frac{1}{k_e}$$

O TMR no rúmen representa o tempo em que o alimento permanece sofrendo a ação dos microrganismos ruminais influenciando os processos de

digestão, de assimilação dos nutrientes e de redução do tamanho das partículas alimentares, que, conseqüentemente afetam o consumo e a taxa de degradação. Dessa maneira, o tempo de retenção no rúmen é um parâmetro inversamente correlacionado com a taxa de passagem (Grofum & Williams, 1973).

O TMR (horas) do alimento volumoso foi superior ao do concentrado, evidenciando um tempo de preparo, como hidratação, adesão, colonização pelos microrganismos para degradação/digestão e redução do tamanho de partículas, superior ao do alimento concentrado, o que está coerente com os princípios descritos por Mertens (1973,1977).

Corroborando essa informação, a taxa de passagem do volumoso (kpv) foi menor quando comparada à taxa de passagem do concentrado (kpc), demonstrando o tempo de permanência maior do alimento volumoso no ambiente ruminal quando comparado ao concentrado.

O perfil de excreção da fibra marcada na fração líquida, obtida a partir da administração de cobalto - EDTA em dose única está representado na Figura 9.

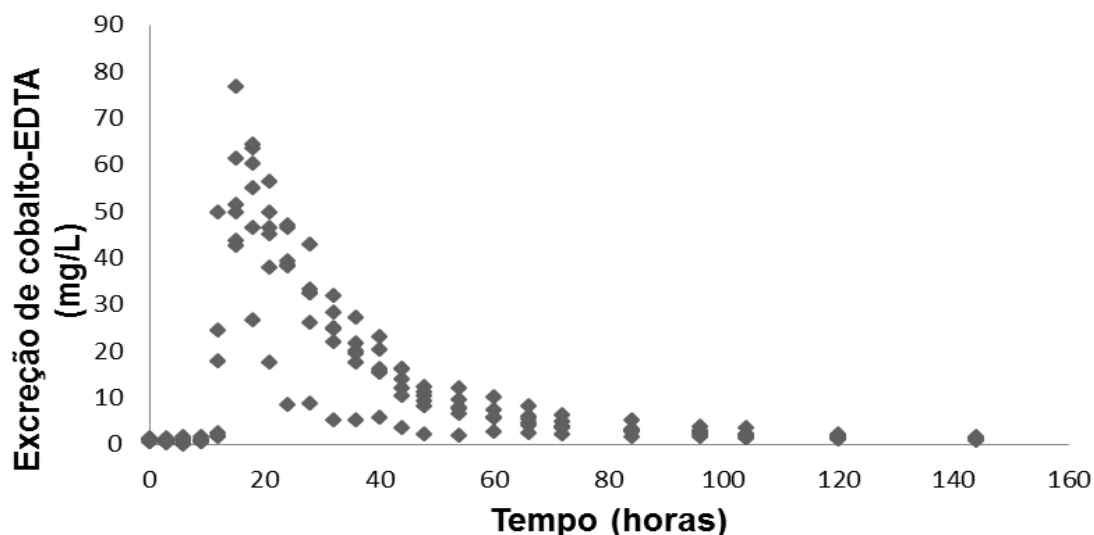


Figura 9 - Perfil de excreção da fibra contida na fração líquida.

O pico de excreção de cobalto-EDTA (mg/L) ocorreu entre 12 e 15 horas após a administração do mesmo aos animais. A taxa de passagem dos líquidos (kpl) foi calculada a partir do perfil de excreção de cobalto-EDTA (Tabela 6).

Tabela 6 - Taxa de passagem de líquidos por grupo de produção leiteira de acordo com modelo GNG1.

Grupo de produção leiteira	Taxa de passagem de líquidos			Kpl
	N	k_e (h^{-1})	λ_r (h^{-1})	
1	1	0,0569	1,0465	0,054
2	1	0,0425	3,7414	0,042
3	1	0,0531	17,4616	0,053

GNG1: modelo bicompartimental tempo dependente; N: ordem de dependência no tempo; k_e : taxa de escape final do *pool* de partículas escapáveis; λ_r : taxa de transferência do *raft*; kpl: taxa de passagem de líquidos.

A taxa de passagem de líquidos (kpl) foi calculada segundo a equação descrita a seguir:

$$kpl = \frac{\lambda_r \times k_e}{(N \times \lambda_r + k_e)}$$

sendo que λ_r : taxa de passagem do *raft*; k_e : taxa de passagem do *pool* de partículas escapáveis; N: ordem de dependência no tempo.

Em sistemas de alimentação, como o CNCPS, conhecer valores de taxa de passagem é de extrema importância, pois é pré-requisito para prever relações entre a dieta e o suprimento de nutrientes aos ruminantes de forma mais acurada (NRC, 2001; Cannas et al., 2003; Fox et al., 2004). Essa importância estende-se para o SRNS, modelo mecanicista derivado do CNCPS. Deste modo, compreender e quantificar as taxas de digestão e de passagem da digesta são fundamentais para se conhecer o mecanismo pelo qual ocorre a degradabilidade ruminal e digestibilidade dos nutrientes (Kovács et al., 1998), vital para avaliação do poder preditivo de modelos.

Os dados de massa corporal, produção de leite, gordura e proteína do leite (%) estão apresentados na Tabela 7 e na Tabela 8 os dados de CMS.

Tabela 7 - Massa corporal, produção de leite, gordura e proteína do leite.

Animal	Grupo de produção leite	Massa corporal (kg) †	Produção de leite (kg·dia ⁻¹) †	Gordura leite (%) †	Proteína leite (%) †
4080	1	54,934 ± 1,547	0,32	3,65	2,98
4425	1	50,600 ± 1,048	0,82	3,88	3,24
4703	1	44,971 ± 0,324	0,59	3,48	2,97
4798	1	41,267 ± 1,248	1,09	3,28	2,71
4815	1	55,772 ± 0,422	1,22	3,54	2,84
4894	1	46,900 ± 0,730	1,21	3,47	3,25
4942	1	60,733 ± 0,863	1,23	3,52	3,01
4952	1	51,322 ± 0,379	0,56	3,68	2,99
5169	1	45,367 ± 0,917	1,10	3,68	2,99
5173	1	46,178 ± 0,580	1,14	4,18	3,26
4260	2	54,900 ± 1,292	2,16	3,96	3,15
4393	2	56,083 ± 0,408	1,69	3,38	2,63
4361	2	66,967 ± 1,409	2,15	3,85	2,85
4609	2	59,056 ± 0,895	1,67	3,58	2,88
4749	2	55,211 ± 1,802	1,78	3,95	2,87
4884	2	51,261 ± 0,968	1,78	3,98	2,81
4940	2	69,728 ± 0,809	1,83	3,61	2,92
5001	2	46,928 ± 0,806	1,78	3,61	2,92
5011	2	50,733 ± 0,272	2,02	3,61	2,92
5079	2	49,544 ± 1,220	1,91	3,18	3,19
4487	3	64,428 ± 0,246	2,84	3,35	2,73
4530	3	54,889 ± 1,003	3,19	3,32	2,63
4625	3	53,278 ± 0,602	3,57	3,35	2,64
4890	3	73,461 ± 1,463	3,32	3,20	2,91
4917	3	49,632 ± 1,537	2,17	2,97	2,59
5012	3	55,161 ± 0,787	2,57	3,14	2,38
5014	3	59,483 ± 1,347	2,83	3,19	2,46
5032	3	66,300 ± 1,487	2,63	3,34	2,80
5122	3	51,117 ± 0,805	2,63	3,34	2,65
5151	3	45,972 ± 0,643	2,63	3,60	2,71

† : Média por animal utilizando ferramenta estatística BLUP.

Tabela 8 - Consumo de alimentos e matéria seca total.

Animal	Grupo	Alimento (g·dia ⁻¹)					CMS total
		Soja	Trigo	Milho	Silagem	Mineral	
4080	1	73,49	15,23	86,56	515,36	7,96	698,6
4425	1	128,94	26,72	151,86	904,20	13,97	1225,7
4703	1	100,80	20,89	118,72	706,86	10,92	958,2
4798	1	114,31	23,69	134,63	801,58	12,39	1086,6
4815	1	123,21	25,53	145,11	863,99	13,35	1171,2
4894	1	134,68	27,91	158,62	944,40	14,59	1280,2
4942	1	115,90	24,02	136,50	812,72	12,56	1101,7
4952	1	112,20	23,25	132,14	786,76	12,16	1066,5
5169	1	122,63	25,41	144,43	859,94	13,29	1165,7
5173	1	121,02	25,08	142,53	848,65	13,11	1150,4
4260	2	182,26	31,32	353,98	1029,96	25,32	1623,0
4393	2	166,57	28,63	323,51	941,30	23,14	1483,3
4361	2	189,34	32,54	367,72	1069,94	26,30	1686,0
4609	2	177,42	30,49	344,58	1002,60	24,65	1579,9
4749	2	166,02	28,53	322,44	938,19	23,06	1478,4
4884	2	123,54	21,23	239,93	698,12	17,16	1100,1
4940	2	135,53	23,29	263,22	765,90	18,83	1206,9
5001	2	160,75	27,63	312,19	908,37	22,33	1431,4
5011	2	169,89	29,20	329,94	960,02	23,60	1512,8
5079	2	179,42	30,84	348,46	1013,90	24,92	1597,7
4487	3	176,22	62,49	513,91	1052,89	37,97	1843,3
4530	3	168,50	59,75	491,39	1006,74	36,31	1762,5
4625	3	163,55	58,00	476,97	977,21	35,24	1710,8
4890	3	187,74	66,57	547,51	1121,72	40,45	1963,8
4917	3	208,39	73,90	607,73	1245,10	44,90	2179,8
5012	3	190,18	67,44	554,62	1136,29	40,98	1989,3
5014	3	188,37	66,80	549,35	1125,49	40,59	1970,4
5032	3	138,74	49,20	404,62	828,98	29,90	1451,3
5122	3	166,70	59,11	486,14	996,00	35,92	1743,7
5151	3	168,30	59,68	490,83	1005,60	36,27	1760,5

De posse de uma avaliação inicial dos alimentos, o modelo SRNS com modificações foi alimentado com as entradas (*inputs*) dos alimentos (análises químicas laboratoriais) comum aos 30 animais, média de massa corporal por animal, produção de leite, gordura e proteína do leite (%) (Tabela 7), além do consumo médio dos ingredientes da dieta (g/kg de MS) e consumo de matéria seca total (Tabela 8).

Desta forma, foram obtidas saídas (*outputs*) para os parâmetros de consumo de matéria seca (CMS), consumo de energia metabolizável (CEM), produção de leite (PL), além dos coeficientes de digestibilidade da matéria seca, proteína e carboidratos fibrosos (DMS, CDPB e DCF), que são os valores de predição gerados pelo modelo para cada animal. Completando a avaliação, obtiveram-se os valores da taxa de passagem da fibra do alimento volumoso (kpv), concentrado (kpc) e associada à fração líquida (kpl).

De posse dos valores preditos e observados de CMS, CEM, PL, DMS, DPB, DCF, kpv, kpc e kpl, a avaliação do poder de predição do modelo foi realizada utilizando-se o *software Model Evaluation System* (MES) entre os valores preditos e observados apresentados. A representação gráfica está apresentada nas Figuras 10, 11, 12,13,14,15,16,17 e 18 respectivamente. A linha contínua apresentada nas Figuras é a linha de igualdade entre o modelo (dados preditos) e os valores observados (reais). Quanto maior a distância entre os pontos em relação à linha de igualdade é sinal de superestimação (aproximação do eixo X) ou subestimação (aproximação do eixo Y) pelo modelo avaliado, que pode ser comprovado e quantificado matematicamente por meio de ferramentas estatísticas.

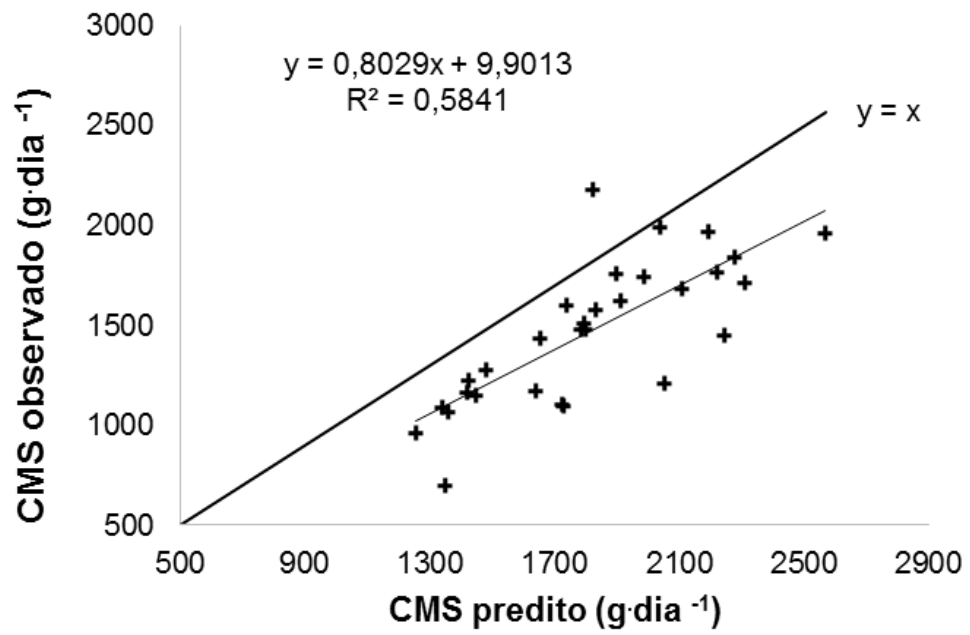


Figura 10 - Valores preditos e observados de consumo de matéria seca (g·dia¹).

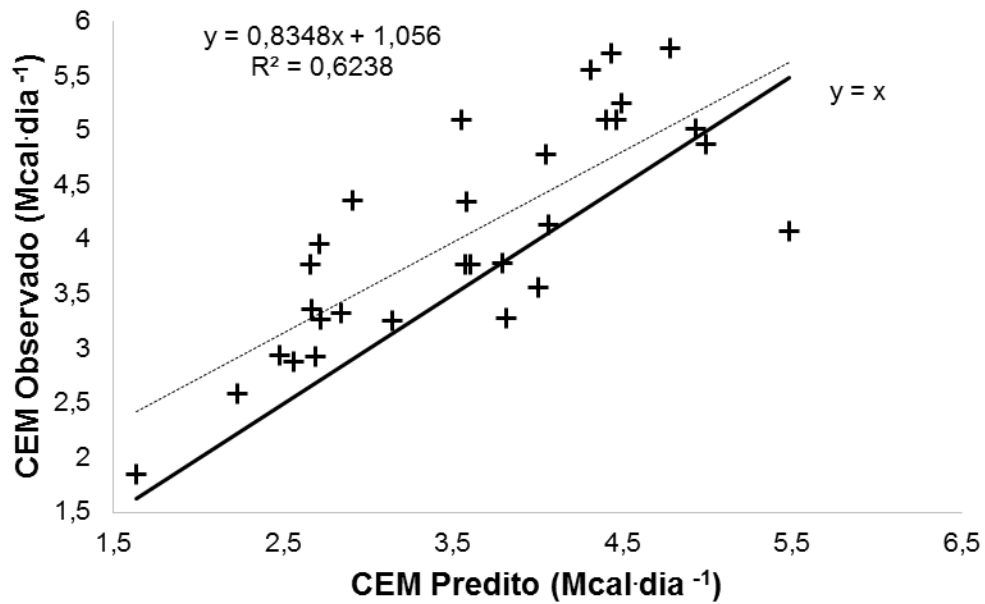


Figura 11 - Valores preditos e observados de consumo de energia metabolizável (Mcal·dia⁻¹).

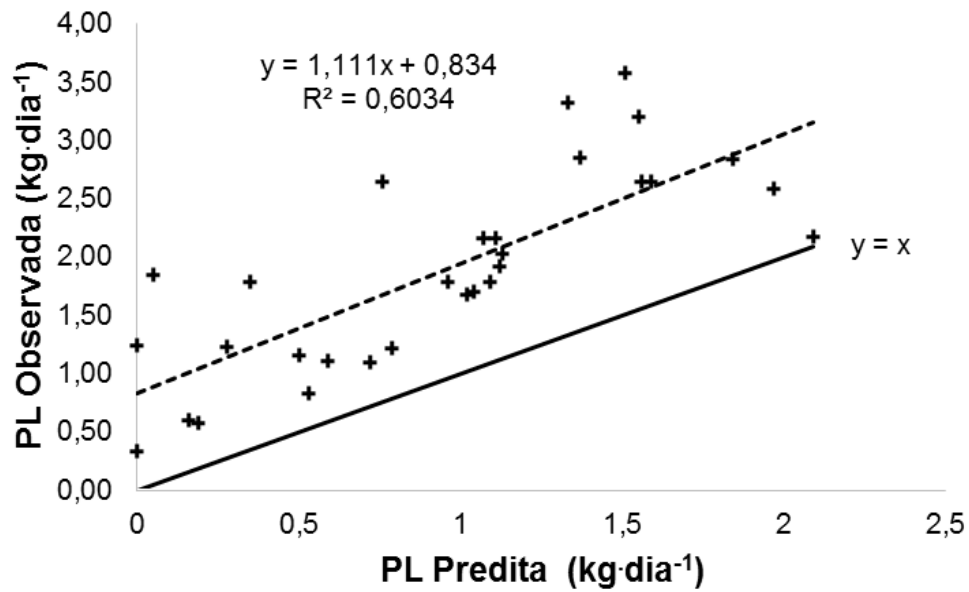
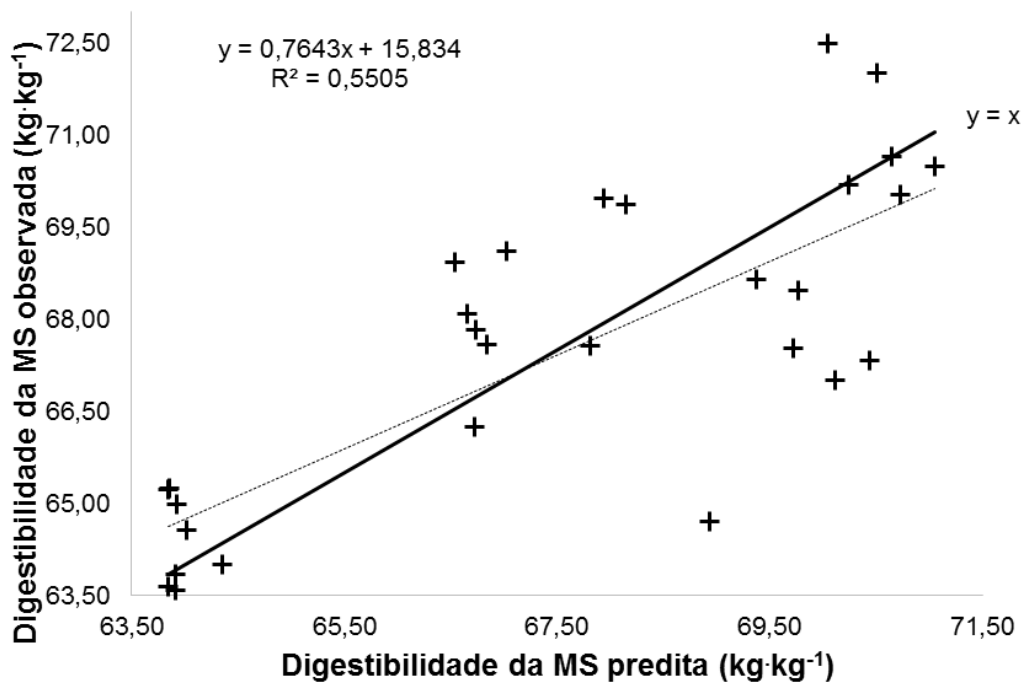


Figura 12 - Valores preditos e observados da produção de leite (kg·dia⁻¹).



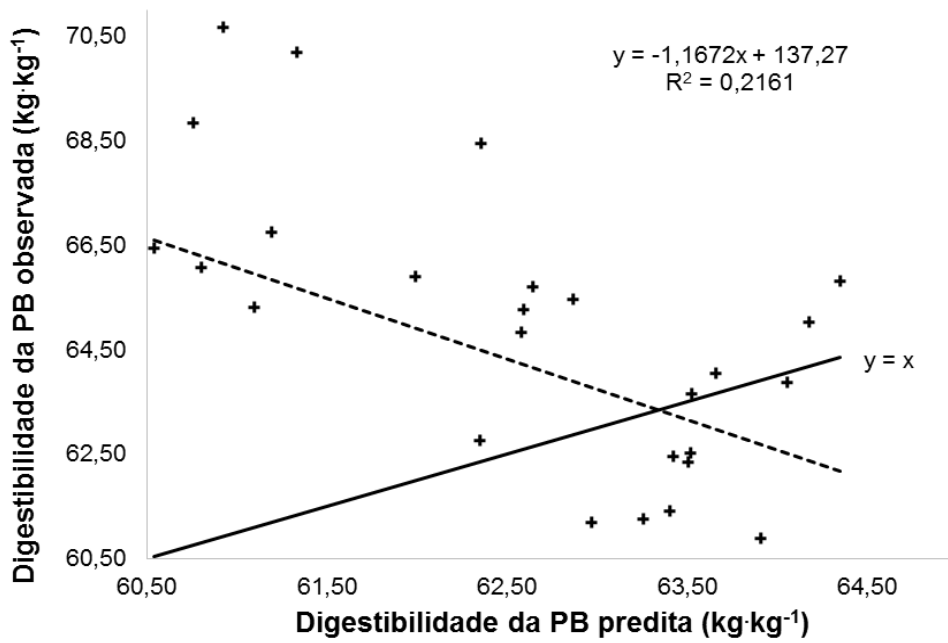


Figura 14 - Valores preditos e observados do coeficiente de digestibilidade da proteína bruta (CDPB).

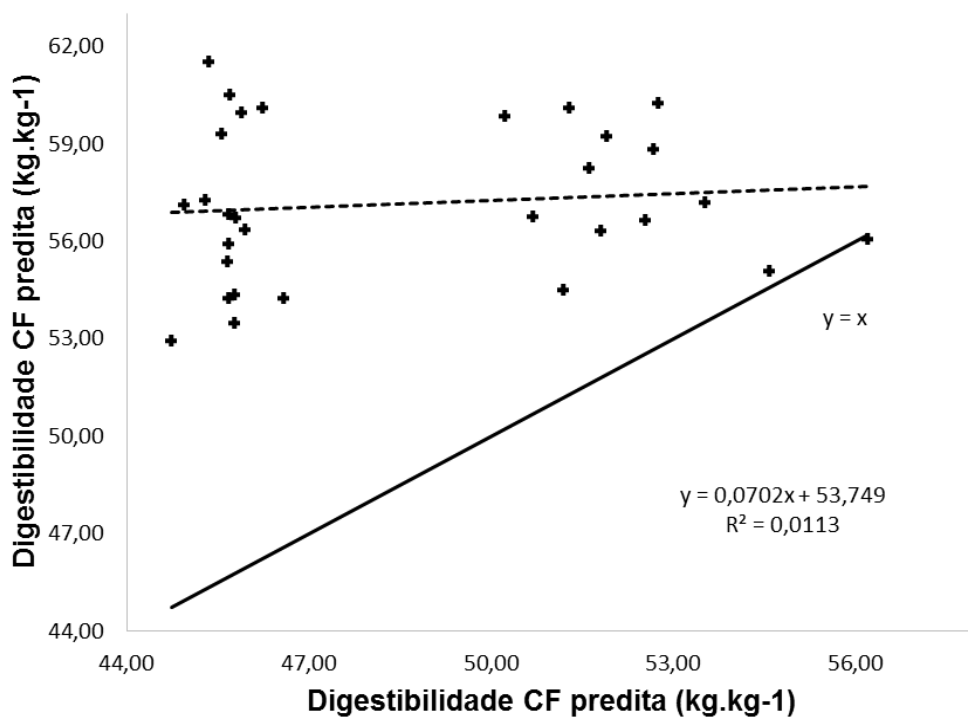


Figura 15 - Valores preditos e observados do coeficiente de digestibilidade dos carboidratos fibrosos (CDCF).

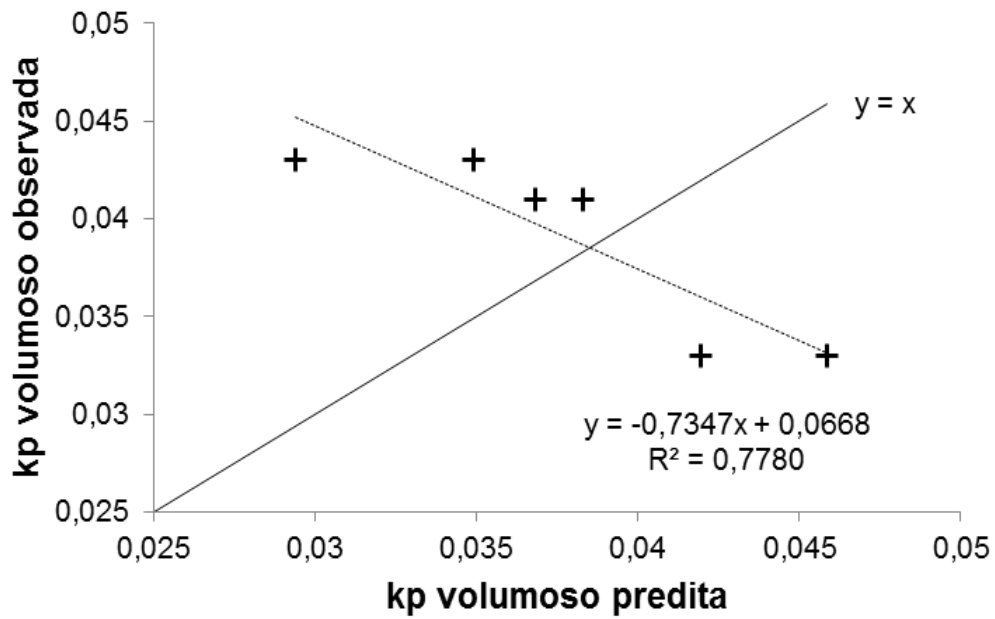


Figura 16 - Valores preditos e observados da taxa de passagem da fibra do volumoso (kpv).

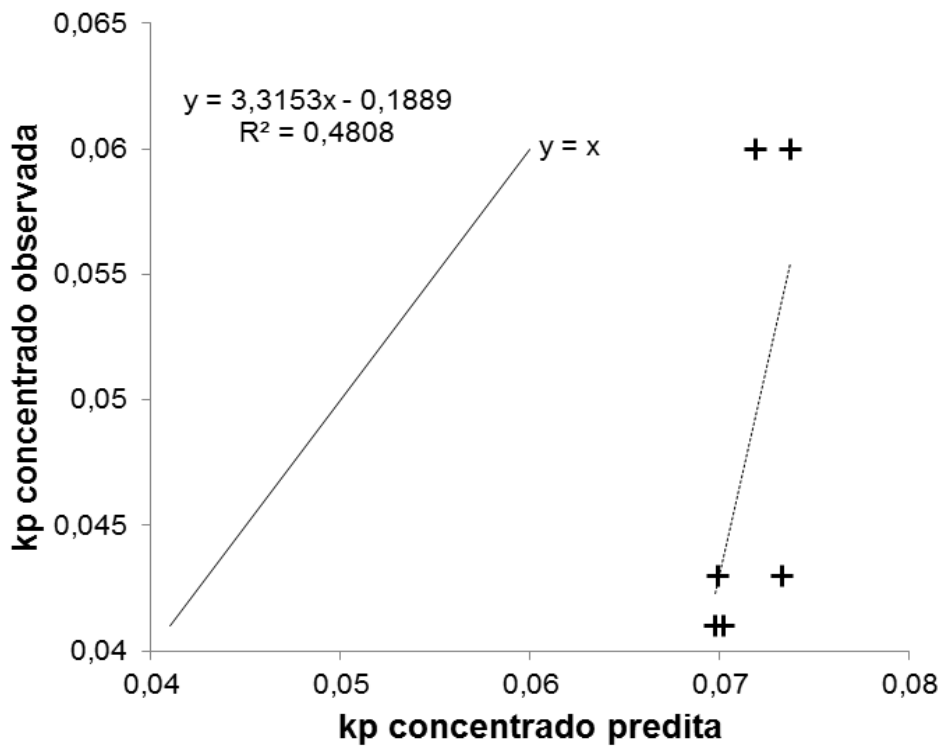


Figura 17 - Valores preditos e observados da taxa de passagem da fibra do concentrado (kpc).

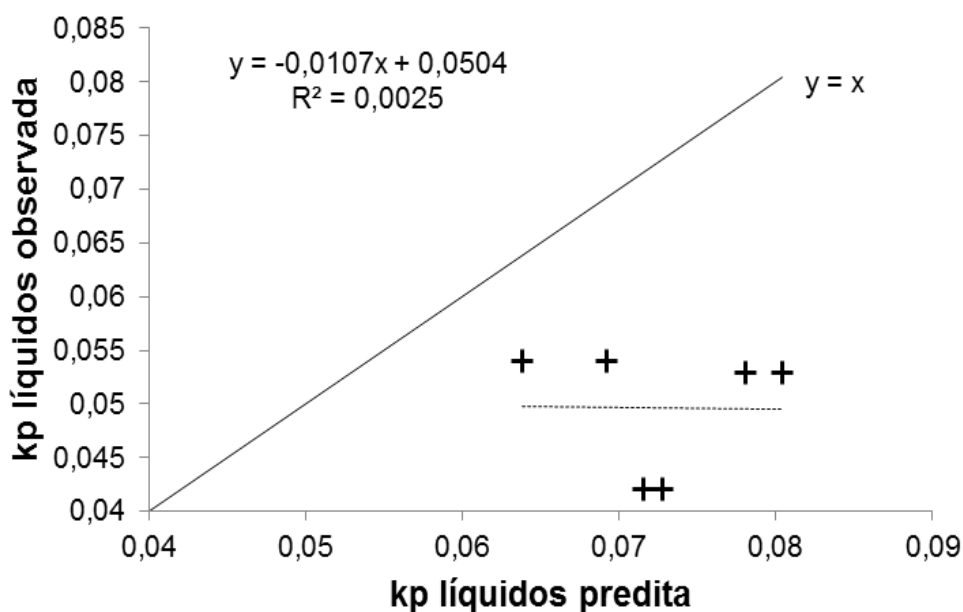


Figura 18 - Valores preditos e observados da taxa de passagem da fibra associada a fração líquida (kpl).

As ferramentas estatísticas para avaliação do poder preditivo do modelo estão apresentadas na Tabela 9.

Tabela 9 - Ferramentas estatísticas adotadas para avaliação do poder preditivo do modelo SRNS.

Teste estatístico	CMS	CEM	PL	CDMS	CDPB	CDCF
R ²	0,5841	0,6237	0,6037	0,5507	0,2161	0,0113
C _b	0,6674	0,8975	0,5174	0,9991	0,5486	0,8975
CCC	0,5101± 0,0943	0,7088± 0,0845	0,4020± 0,0840	0,7414± 0,0850	-0,2550± 0,1002	0,7088± 0,0845
MB	-347,4393	0,4633	0,9387	- 0,0823	1,6423	0,4633
RMSEP	419,9415	0,7776	1,0786	1,1882	4,0424	0,7776

CMS: consumo de matéria seca, PL: produção de leite, CEM: consumo de energia metabolizável, CDMS: digestibilidade da matéria seca, CDPB: coeficiente de digestibilidade da proteína bruta, CDCF: digestibilidade dos carboidratos fibrosos, R²: coeficiente de determinação, C_b: fator de correção da média, CCC: coeficiente de correlação de concordância (Lin, 1989), MB: viés médio (Cochran & Cox, 1954), RMSEP: raiz quadrada do erro quadrático médio de previsão.

O modelo SRNS também foi avaliado quanto ao poder preditivo das taxas de passagem da fibra do volumoso (kpv), concentrado (kpc) e da fibra associada à fração líquida (kpl), apresentado na Tabela 10.

Tabela 10 - Ferramentas estatísticas adotadas para avaliação do poder preditivo do modelo SRNS para taxas de passagem da fibra.

Variável	kpv	kpc	kpl
R ²	0,7780	0,4808	0,0025
MB	0,0012	-0,0235	-0,0230
C _b	0,9551	0,0512	0,1164
CCC	-0,8424 ± 0,2127	0,0355 ± 0,0303	-0,0058 ± 0,0583
RMSEP	0,0094	0,0247	0,0243

kpv: taxa de passagem da fibra do volumoso, kpc: taxa de passagem da fibra do concentrado, kpl: taxa de passagem da fibra associada à fração líquida, R²: coeficiente de determinação, C_b: fator de correção da média, CCC: coeficiente de correlação de concordância (Lin, 1989), MB: viés médio (Cochran & Cox, 1954), RMSEP: raiz quadrada do erro quadrático médio de previsão.

5. DISCUSSÃO

Devido à complexidade dos sistemas de nutrição animal e enorme número de variáveis e suas interações associadas, a modelagem ganha espaço no ambiente zootécnico para auxiliar decisões no âmbito nutricional, sendo uma ferramenta poderosa.

Por esta razão, ferramentas e metodologias que possam auxiliar pesquisadores e produtores na identificação de pontos fortes e fracos de seus sistemas de produção são preciosas. Os modelos matemáticos vêm sendo desenvolvidos justamente para auxiliar as tomadas de decisão. E a correta avaliação quanto ao seu poder de predição é fundamental.

Em nosso trabalho, pode-se fazer as seguintes considerações:

5.1. Consumo de matéria seca (CMS)

Avaliando os dados apresentados na Figura 10, observa-se que houve uma superestimação do CMS pelo modelo, sendo que o consumo real dos animais foi inferior ao estimado. Apenas 1 animal apresentou um valor predito inferior ao observado, com variação em torno de 360 g/dia. Essa superestimação foi comprovada estatisticamente com aplicação das análises estatísticas e ferramentas matemáticas do MES apresentadas na Tabela 9.

O valor de MB foi de -347,4795. Quanto maior for a acurácia do modelo, mais próximo de zero estará o valor de MB, sendo que valores positivos são indicativos de subestimação e o oposto (negativos) são indicativos de superestimação, o que aconteceu neste caso.

Com um R^2 de 0,5841, obtivemos valores medianos, sendo que quanto mais próximo de 1 esse valor está, maior precisão do mesmo. Porém, Neter et al. (1996) discutem algumas considerações acerca da avaliação do valor de R^2 . Primeiramente, um alto coeficiente de correlação não indica que as previsões úteis podem ser feitas por um determinado modelo matemático, dado

que o mesmo mede a precisão e não a acurácia. Em segundo lugar, um alto coeficiente de correlação não implica que a linha de regressão prevista seja bom ajuste da predição do modelo, uma vez que a relação pode ser curvilínea e, por final, um R^2 próximo de zero não indica que os valores observado e predito (modelo) não estão correlacionados porque podem ter uma relação curvilínea.

C_b é o fator de correção do viés que indica quão longe a linha de regressão desvia-se da inclinação da unidade (45°). Quando esse valor é igual a 1, indica que não houve desvio da linha $Y=X$ (igualdade entre observado e predito). Na avaliação de CMS, o valor de C_b foi de 0,6674, indicando o desvio da linha de igualdade, ou seja, houve um desvio de 33,26%.

O quadrado médio do erro de predição (MSEP) e sua raiz quadrada (RMSEP) são, provavelmente, as mais comuns e confiáveis estimativas para medir a precisão da previsão de um modelo. MSEP consiste na diferença entre os valores observados e valores preditos ao invés do valor previsto de regressão (Bibby and Toutenburg, 1977). Para o CMS, o valor de RMSEP foi de 419,9415, ou seja, elevado.

Regadas Filho et al. (2014a) utilizando uma compilação de dados de CMS obtidos em outros experimentos, ressaltaram que era necessário avaliar essa modelagem utilizando uma dieta de formulação *a priori*, e, em seguida, alimentar os animais e observar a sua ingestão. Entretanto, mesmo seguindo essa informação, ainda não foi possível uma correta aproximação dos dados preditos com os observados. Porém, os resultados encontrados foram interessantes para sequência na análise investigativa e lacunas de conhecimento.

Justificativas para as alterações no CMS:

1) Melhor aproveitamento da dieta oferecida para os animais, com maior digestibilidade dos nutrientes disponíveis na dieta, evitando consumo superior (será abordado posteriormente).

2) Fibra pode ter limitado mais do que a previsão

O resultado de consumo de FDN sugere que a ingestão de MS foi máxima, tendo sido limitada pelo enchimento do compartimento ruminal. Segundo Vieira et al. (2008b) e Jardim et al. (2015), quando o consumo for limitado por entraves físicos, o consumo de FDN total deverá ser mantido próximo ao valor de 12 g / (d x kg PV). Baseando-se nessas argumentações, os animais do presente trabalho consumiram valores próximos ao seu limite de FDN em suas dietas, sendo que, nos grupos 1, 2 e 3, os valores de FDN foram de 11,3 g, 11,3 g e 11,5 g respectivamente (Tabela 1), o que realmente pode ter ocasionado efeito de enchimento ruminal sobre o consumo de MS. Portanto, por mais que o modelo indicasse um consumo maior, este foi próximo ao máximo e limitado pela fibra, como descrito em Jardim et al. (2015).

3) Alteração nas taxas de passagem do volumoso, concentrado e líquido (será abordado posteriormente).

4) Superestimação do CMS devido à equação utilizada na predição (AFRC, 1993).

O AFRC (1993) oferece uma equação que é muito utilizada para cálculo do consumo de matéria seca (CMS) para cabras em lactação, que leva em consideração, a unidade de tamanho metabólico ($PV^{0,75}$) e a produção de leite em kg/dia, com 3,5% de gordura.

Segundo Regadas Filho et al. (2014a), a utilização da equação empírica do AFRC (1993) oferece estimativas de CMS semelhantes ao método de otimização da dieta. Essa equação foi adotada na predição do CMS pelo modelo proposto, superestimando o CMS em até 93% do valor real observado, sendo este valor, em média 27% maior. Portanto, no presente trabalho, essa semelhança não ocorreu, sendo necessária a utilização de uma predição mais eficaz.

O AFRC (1993) sugere que seja adicionada às exigências uma margem de segurança de 5,0%. Este valor, apesar de não haver sustentação estatística, pode reduzir situações de subestimação e, portanto, deve ser

adotado. Mesmo respeitando essa margem de segurança, os valores permanecem superestimados. A equação de CMS do AFRC (1993) utiliza apenas a massa corporal e produção de leite para estimar o CMS de cabras em lactação, ou seja, apenas dados inerentes ao animal e não utilizando informações dos alimentos para tal estimativa.

O consumo voluntário máximo de alimento é determinado pela combinação do potencial animal por demanda de energia e capacidade física do trato digestório, sendo estes claramente proporcionais ao tamanho do animal. Entretanto, o peso em si não é um bom referencial do tamanho corporal, uma vez que sofre a influência da fase de desenvolvimento e das condições corporais, além da necessidade de considerar outras variáveis, tais como estado fisiológico, composição da dieta, qualidade e quantidade do alimento oferecido, além de poder ser reduzido por doenças ou por estresse (Resende et al., 2008). Porém, conforme se apresenta na equação de CMS do AFRC (1993), nem todos os fatores citados são levados em consideração pelos sistemas de alimentação. Cada um deles estima o consumo de matéria seca dando ênfase a diferentes aspectos que influenciam o potencial de consumo pelos animais. Esta abordagem empírica pode causar viés de estimativa quando se avaliam animais com o mesmo tamanho e nível de produção diferente.

É reconhecido que fatores relacionados ao animal, à dieta e ao ambiente são fundamentais na determinação do consumo, porém, é preciso determinar o efeito das variáveis que compõem cada fator sobre as estimativas de consumo, permitindo que, em estudos futuros, equações mais precisas e ajustadas aos modelos sejam formuladas e validadas.

Regadas Filho et al. (2014a) completaram o raciocínio, indicando que, aparentemente, o principal problema no uso desta metodologia para a formulação de dietas para ruminantes é o desenvolvimento de um algoritmo matemático adequado para resolver a árdua não-linearidade e interdependência entre as variáveis no modelo. Portanto, estimativas de consumo confiáveis são esperadas quando se utiliza um algoritmo capaz de otimizar uma ampla gama de cenários, a constante busca pelos pesquisadores.

5.2. Consumo de energia metabolizável (CEM)

Observando-se o consumo de energia metabolizável (CEM) na Figura 11, observa-se que os valores reais também foram superiores aos preditos, mas, em um momento, a linha de igualdade é interceptada pela linha de observação. Estatisticamente, foi comprovado, pela análise no MES, representada pela Figura 11, que houve afastamento da linha de unidade $X=Y$.

As ferramentas de avaliação do poder preditivo do modelo estão apresentadas na Tabela 9. O valor de MB (acurácia) foi de 0,4633, demonstrando afastamento da linha de igualdade e uma subestimação energética do modelo avaliado. Já o valor de $R^2 = 0,6237$, que confere precisão ao modelo, permaneceu em valor mediano.

O valor encontrado de C_b para CEM foi de 0,8975, confirmando um leve desvio da linha de igualdade. Completando a avaliação, obtivemos um valor de RMSEP de 0,7776 e CCC de $0,7088 \pm 0,0845$.

Essa subestimação do modelo com relação ao CEM pode ter sido uma provável causa da subestimação na produção de leite, sendo que a PL inferior estimada é reflexo da subestimação na predição do CEM, portanto, são variáveis interdependentes. Para cabras em lactação, o NRC preconiza um valor de energia metabolizável de 1,203 kcal para a produção de cada kg de leite corrigido para 4% de gordura. Não havendo EM disponível para a produção de leite (de acordo com o predito), essa afetou diretamente na estimação da PL dos animais.

Porém, diferente da PL, a estimação do CEM pelo modelo foi, de certa forma, mais exata. Por esse motivo, foi realizada a avaliação da digestibilidade dos nutrientes, principalmente MS, PB e CF, o que poderia elucidar os fatos ocorridos.

5.3. Produção de leite (PL)

Observam-se na Figura 12, que os dados obtidos em campo para produção de leite foram superiores, na sua totalidade, quando comparados com a predição do modelo, elevação que variou em até 100% de diferença nos dados reais e preditos, o que foi comprovado estatisticamente pelas ferramentas utilizadas do MES, presentes na Tabela 9. O modelo, portanto, fez uma subestimação da produção de leite/animal/dia, sendo que o valor de viés médio (MB), que confere acurácia ao modelo, foi de 0,9387.

O coeficiente de determinação (R^2), que determina a precisão do modelo, obteve o valor mediano de 0,6037. O valor encontrado de C_b para produção de leite, que confere acurácia à avaliação, foi de 0,5173, confirmando o desvio da linha de igualdade entre predito e observado, acompanhado de valores de CCC de $0,4020 \pm 0,0840$ e RMSEP de 1,0786.

Os valores de produção de leite superiores aos preditos podem ser explicados pela existência de mobilização energética das reservas corporais do animal, disponibilizando e favorecendo condições para uma lactação superior à estimada ou que não pôde ser prevista pelo modelo.

A exigência total do animal corresponde às exigências de nutrientes para lactação e manutenção (produção e composição do leite, funcionamento da glândula mamária). No início da lactação, os requisitos nutricionais aumentam rapidamente, enquanto a capacidade de ingestão o faz lentamente.

Em cabras especializadas, a glândula mamária tende a alcançar sua produção potencial nas primeiras semanas de lactação, fazendo com que a fêmea mobilize suas reservas corporais. A secreção de leite exige maiores proporções de proteínas, P, Ca e aminoácidos essenciais, que os gastos para manutenção. No início da lactação, as cabras perdem peso, pois não conseguem ingerir a quantidade de alimento que seria necessária para suprir os nutrientes eliminados no leite, reduzindo assim, seu escore de condição corporal. E, a

partir do quarto mês de lactação, as cabras têm que formar reservas corporais para a próxima lactação, apresentando altas exigências.

Essa precaução foi levada em consideração durante o planejamento experimental, iniciando o mesmo com os animais em lactação superior aos 60 dias, além da oferta de alimento com sobras superior a 10% para não limitar o consumo e pesagens semanais para controle de massa corporal, sendo que a média do desvio padrão foi de $\pm 0,929$ kg em 47 dias (retirando período de adaptação inicial de 15 dias), e de 0,864 kg a média simples apenas dos animais que perderam massa (Tabela 7), ressaltando que apenas quatro animais apresentaram redução de massa corporal e os demais ganhos ao longo do período experimental. De qualquer maneira, para o SRNS, seria necessário o desenvolvimento e inclusão de um sub-modelo que levasse em consideração a mobilização de massa corporal animal, evitando subestimações da PL em cabras sobre o efeito final do balanço energético negativo.

O fator genético dos animais também pode ter influenciado a diferença observada entre a produção de leite e a predição do modelo para esta variável. Animais selecionados e especializados para produção de leite, como os avaliados neste trabalho, podem ter sido eficientes na conversão dos nutrientes da dieta em produção de leite, fator este não levado em consideração pelo modelo. Além disso, percebe-se que o modelo também subestimou o consumo de energia metabolizável, sendo esta, também, uma razão que poderia ter contribuído para a subestimação da produção de leite, já que a energia é essencial para o mecanismo de síntese pela glândula mamária. Moe et al. (1971) relataram que a intensa seleção para produção de leite resultou em uma situação em que a capacidade genética para produção de leite, no pico da lactação, excede a capacidade de ingestão de alimentos suficientes para satisfazer as necessidades de energia. Isto ocorre porque a lactação é prioridade para a fêmea, apesar da ingestão insuficiente de energia alimentar. Assim, a cabra utiliza suas reservas corporais para suprir a energia que falta na dieta.

Para produção de leite a partir da simulação matemática, há duas formas de limitação para produção de leite, que são a disponibilidade de

energia e de proteína. Como visto anteriormente, a subestimação do CEM também pode ter influenciado na redução da PL. Para as exigências de energia para cabras em lactação, o NRC preconizou (para cabras) valor fixo de 1,203 kcal/kg de leite com 4% de gordura no leite. Segundo os dados preditos, não havendo energia disponível para PL, a mesma foi reduzida pela estimativa do modelo.

Já para proteína metabolizável, o NRC preconiza 1,45 g proteína/g de proteína metabolizável para síntese de proteína do leite. A ração experimental continha 10% de PB, o que pode ter limitado o modelo e levado a uma subestimação de PL devido ao limitante proteína. Porém, nos dados observados, a produção não foi afetada. Observou-se, também, que o CDPB foi subestimado pelo modelo. Portanto, na realidade os animais aproveitaram uma maior quantidade de proteína quando comparado com o predito, não afetando, assim, a síntese de leite em razão da fração nitrogenada ingerida.

A mobilização de proteína corporal para produção de leite é possível em animais no início da lactação, quando a ingestão de alimento é insuficiente para satisfazer as necessidades de energia das mesmas (NRC, 1989). O significado desta mobilização é prover uma fonte de aminoácidos prontamente disponível durante o período em que ocorre a privação de proteína, sendo este um mecanismo normal de adaptação metabólica. Parte das reservas de proteína pode ser utilizada, também, para a síntese de lactose, uma vez que os aminoácidos constituem, aproximadamente, 12% da lactose do leite.

Oliveira (2014) trabalhou com essa mobilização pós-parto e, seguindo suas orientações experimentais, foi adotado, para esse trabalho, que a fase de adaptação seria iniciada com as cabras em lactação superior aos 60 dias (8 semanas), portanto, as coletas representativas do período experimental iniciaram-se aos 75 dias de lactação (10 semanas).

5.4. Coeficientes de digestibilidade dos nutrientes

O desempenho produtivo de cabras em lactação está relacionado primeiramente, com o consumo de matéria seca e em um segundo momento, com a digestibilidade e eficiência na utilização dos nutrientes contidos na dieta.

O coeficiente de digestibilidade da matéria seca (CDMS), proteína bruta (CDPB) e carboidratos fibrosos (CDCF) foram avaliados quanto ao poder de predição do modelo. A digestibilidade do alimento é um fator essencial para formulação de rações, uma vez que, quanto mais digestível for o alimento, maior é a sua absorção.

Diante do exposto nas Figuras 13, 14 e 15 e na Tabela 9, é possível relacionar a digestibilidade de alguns nutrientes com a PL e CEM. Sendo o CDMS predito superestimado quando comparado ao observado real, o modelo, então, exigiu que o animal consumisse mais para atender a PL e o CEM. Já com relação ao CDPB, nota-se que houve subestimação da digestibilidade, fato este que pode influenciar diretamente na baixa predição de PL dos animais, pois o modelo estimou que não havia proteína suficiente, levando a uma estimativa equivocada. Fato similar ocorreu com o CDCF, ou seja, sua digestibilidade foi superior à predita, o que contribuiu para o maior aporte de energia metabolizável e, conseqüentemente, PL.

Oliveira (2014) conduziu um estudo para avaliar a mobilização de reservas corporais e eficiência energética de cabras no início da lactação e utilizou o SRNS para previsão dos coeficientes de digestibilidade dos nutrientes. A digestibilidade da MS e PB apresentaram estimativas semelhantes. Já para os valores de CF, os valores desse estudo foram contrários aos encontrados em nosso trabalho, sendo o CDCF subestimado. Em sua conclusão, Oliveira (2014) ainda destacou que o SRNS apresentou baixa acurácia para predição da qualidade da dieta.

5.5. Taxas de passagem (kp)

A importância do estudo da cinética de passagem das partículas se deve ao fato da remoção da digesta ruminal afetar a extensão da digestão proteica, a eficiência de síntese de proteína microbiana (Ørskov & McDonald, 1979), a digestão da parede celular e, conseqüentemente, a digestibilidade *in vivo* da dieta (Sniffen e Robinson, 1987; Allen & Mertens, 1988; Van Soest, 1994).

Constata-se na Figura 16 e na Tabela 10 que a taxa de passagem do volumoso (kpv) foi a que mais se aproximou dos dados reais observados em campo, com um R^2 de 0,7780, MB de 0,0012 e C_b 0,9551. Já kpc e kpl (Figuras 17 e 18) foram superestimados, como comprovado pelos valores negativos de MB, -0,0235 e -0,0230, respectivamente, além dos valores baixos de R^2 (Tabela 10). Essas diferenças nas taxas de passagem também podem ter contribuído para afetar os parâmetros de desempenho, tais como CMS, CEM e PL, pois interferem no tempo de permanência do alimento no ambiente ruminal, degradação e escape. Portanto, com os dados já apresentados anteriormente, a kpc e kpl foi inferior a predita, contribuindo para um maior tempo de retenção do concentrado e fração líquida, que interfere na redução de CMS observado, e, conseqüentemente, na redução do CEM.

6. CONCLUSÃO

Apesar do modelo SRNS com modificações oferecer estimativas médias adequadas, ainda há necessidade de torná-lo mais exato em seu poder preditivo para avaliação do desempenho de cabras leiteiras, principalmente na capacidade de predição da produção de leite. A avaliação do consumo de matéria seca por meio de modelo empírico não leva a resultados satisfatórios quando comparados aos observados nesse trabalho. Além disso, os valores preditos de consumo de energia metabolizável, apesar de apresentarem menor desvio da linha de igualdade, ainda carecem de ajustes para melhor predição do consumo de energia metabolizável.

7. REFERÊNCIAS

- AFRC - Agricultural and Food Research Council. **Energy and protein requirements of ruminants**. Wallingford, UK: CAB International, 1993.
- AFRC - Agricultural and Food Research Council. **Energy and protein requirements of ruminants: an advisory manual prepared by the AFRC Technical Committee on Responses to Nutrients**. Wallingford, UK: CAB International, 1995.
- AFRC- Agricultural and Food Research Council. **The Nutrition of Goats**. New York: CAB International, 1998.
- ARC - Agricultural Research Council. **The nutrient requirements of ruminant livestock**. Agricultural Research Council. London: The Gresham Press, 1980.
- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transactions on Automatic Control**, v. 19, n. 6, p. 716-723, 1974.
- ALLEN, M. S.; MERTENS, D. R. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. **The Journal of Nutrition**, v.118, n.2, p.261-270, 1988.
- ALVES, T. M. O. **Eficiência do uso da energia metabolizável por cabras em lactação alimentadas em diferentes planos nutricionais**. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2017.
- AOAC - Association of Official Analytical Chemistry. **Official methods of analysis**. 15th ed. Arlington, VA: AOAC International, 1990.
- BEUVINK, J. M. W.; SPOELSTRA, S. F. Interactions between substrate, fermentation end-products, buffering systems and gas production upon fermentation of different carbohydrates by mixed rumen microorganisms in vitro. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 37, p. 505-509, 1992.
- BIBBY, J.; TOUTENBURG, H. **Prediction and Improved Estimation in Linear Models**. Berlin: Wiley, 1977.
- BOX, G.E.P. Science and statistics. **Journal of American Statistical Association**, v.71, p. 791-799, 1976.
- BOX, G.E.P. Robustness in the strategy of scientific model building. In: **Robustness in Statistics**. London: Academy press, 1979. p. 201-236
- BRANCO, R.H; RODRIGUES, M.T; SILVA, M.M.C. et al. Efeito dos níveis de fibra da forragem sobre o consumo, a produção e a eficiência de utilização de

nutrientes em cabras lactantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 39, n.11, p. 2477-2485, 2010.

BRODERICK, G.A. Methodology for the determining ruminal degradability of feed proteins. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE RUMINANTES, 1995, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1995. p.139-176.

CANNAS, A.; P. J. VAN SOEST; PELL, A. N. Use of animal and dietary information to predict rumen turnover. **Animal Feed Science and Technology**, v. 106, n. 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, n. 149-169, 2004.

CANNAS, A.; ATZORI, A. S.; BOE, F.; TEIXEIRA, I. A. M. A. Energy and protein requirements of goats. In: CANNAS, A.; PULINA, G. (Org.). **Dairy goat: feeding and nutrition**. Wallingford: CAB international, 2007. p. 118-146.

CANNAS, A.; TEDESCHI, L. O.; ATZORI, A. S.; FOX. D. G. The Small Ruminant Nutrition System: development and evaluation of a goat submodel. **Italian Journal of Animal Science**, v. 6, supl.1, 609-611, 2010.

CARVALHO, E.M. **Caracterização de alimentos para ruminantes segundo o Cornell net carbohydrate and protein system - CNCPS com adaptações**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2012.

CHALUPA, W.; BOSTON, R. Development of the CNCPS and CPM models: The Sniffen affect. In: CORNELL NUTRITION CONFERENCE FOR FEED MANUFACTURERS, 2003, Syracuse, NY. **Proceedings...** Syracuse, NY: New York State College of Agriculture & Life Sciences, Cornell University, 2003. p.15-24.

CHALUPA, W.; SNIFFEN, C. J.; FOX, D. G.; VAN SOEST, P. J. Model generated protein degradation nutrition information. In: CORNELL NUTRITION CONFERENCE FOR FEED MANUFACTURERS, 1991, Ithaca. Syracuse, NY. **Proceedings...** Ithaca: Cornell University, 1991. p.44-51.

CHANDLER, J.A.; JEWELL, W.J.; GOSSETT, J.M.; VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON. J.B. Predicting methane fermentation biodegradability. **Biotechnology and Bioengineering Symposium Series**, n.10, p. 93-107, 1980

COCHRAN, W.G.; COX, G.M. **Experimental Design**. New York: Wiley, 1954.

COELHO DA SILVA, J. F. Exigência de macroelementos inorgânicos para bovinos: o sistema ARC/AFRC e a experiência no Brasil. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE RUMINANTES, 1995, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 1995. P. 468-504.

CSIRO - Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization. **Feeding standards for Australian livestock:** ruminants. Melbourne, Australia: Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization, 1990.

DERIAZ, R. E. Routine analysis of carbohydrates and lignin in herbage. **Journal of Science and Food Agriculture**, v.12, n.2, p.152-160, 1961.

FAVORETO, M. G.; DERESZ, F.; FERNANDES, A. M.; VIEIRA, R. A. M.; FONTES, C. A. A. Avaliação nutricional da grama-estrela cv. Africana para vacas leiteiras em condições de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 37, p. 319-327, 2008.

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

FOX, D. G.; TEDESCHI, L. O.; TYLUTKI, T. P.; RUSSELL, J. B.; VAN AMBURGH, M. E.; CHASE, L. E.; PELL, A. N.; OVERTON, T. R. 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.

ELLIS, W.C.; BEEVER, K.C. Methods for binding rare earths to specific feed particles. In: KENNEDY, C.M.P. (Ed.). **Techniques in particles size analysis of feed and digest in ruminants**. Edmonton: Canadian Society of Animal Science, 1984. p.154-165.

ELLIS, W. C.; MATIS, J. H.; HILL, T. M. et al. Methodology for estimating digestion and passage kinetics of forages. In: FAHEY JR., G.C.; COLLINS, M.; MERTENS, D. R.; MOSER, L. E. (Eds.). **Forage Quality, Evaluation and Utilization**. Madison, Wisconsin: ASA-CSSA-SSSA, 1994. p. 682-756.

ELLIS, W. C.; MATIS, J. H.; KENNEDY, P. M. Passage and digestion of plant tissues in herbivores. In: WONG, H.K.; ABDULLAH, N.; TAJUDDIN, A.Z. (Eds.). **Recent Advances on the Nutrition of Herbivores**. Penang: Malaysian Society of Animal Production, 1991. p. 227-236.

ELLIS, W. C.; WYLIE, M. J.; MATIS, J. H. Validity of specifically applied rare earth elements and compartmental models for estimating flux of undigested plant tissue residues through the gastrointestinal tract of ruminants. **Journal Animal Science**, v. 80, p. 2753-2758, 2002.

FRANCE, J.; KEBREAB, E. **Mathematical modelling in animal nutrition**. Canada: Edited Book, 2008.

GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. **Forage fiber analyses**: apparatus, reagents, procedures, and some applications. Washington, DC, USA: Agriculture Research Service USDA, 1970. (Agriculture handbook, nº. 379)

GROVUM, W.L.; WILLIAMS, V.J. Rate of passage of digesta in sheep. Passage of marker through the alimentary tract and the biological relevance of rate-constants derived from the changes in concentration of marker in faeces. **British Journal of Nutrition**, v. 30, n. 1, p. 313-329, 1973.

HALL, M. B.; PELL, A. N.; CHASE, L. E. Characteristics of neutral detergent-soluble fiber fermentation by mixed ruminal microbes. **Animal Science and Feed e Technology**, v. 70, p. 23-39, 1998.

HALL, M. B.; MERTENS, D. R. In vitro fermentation vessel type and method alter fiber digestibility estimates. **Journal of Dairy Science**, v. 91, n.1, p.301-307, 2008.

HENRIQUE, D.S. **Desenvolvimento e avaliação de um modelo matemático para predição do valor nutricional de rações para bovinos sujeito às restrições da massa de fibra no rúmen**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2007.

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

HOFFMANN, 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.

INRA - Institut National de la Recherche Agronomique. **Ruminant nutrition**: recommended allowances and feed tables. Montrouge, France: Institut National de la Recherche Agronomique - John Libbey Eurotext, 1989.

JARDIM, J. G.; VIEIRA, R. A. M.; FERNANDES, A. M.; ARAUJO, R. P.; GLÓRIA, L. S.; ROHEM JÚNIOR, N. M.; ROCHA, N. S. AND ABREU, M. L. C. Corrigendum to “Application of nonlinear optimization tool to balance diets with constant metabolizability”. **Livestock Science**, v. 173, p. 119-120, 2015.

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.

KRISHNAMOORTHY, U.; SNIFFEN, C.J.; STERN, M.D. et al. Evaluation of a mathematical model of rumen digestion and an in vitro simulation of rumen proteolysis to estimate the rumen-undegraded nitrogen content of feedstuffs. **British Journal of Nutrition**, v. 50, n. 3, p. 555-568, 1983.

LANZAS, C.; SNIFFEN, C. J.; SEO, S.; TEDESCHI, L. O. AND FOX, D. G. A revised CNCPS feed carbohydrate fractionation scheme for formulating rations for ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v.136, p. 167-190, 2007a.

LIN, L.I.K. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. **Biometrics**, v. 45, p. 255-268, 1989.

LIRA, V.M.; PEREIRA, J.C.; VIEIRA, M.R.A.; CECON, P.R.; OLIVEIRA, E.C. DE; AMARAL, A.M. DO; SILVA, I.M. DA; MAGIEIRO, D. Cinética da degradação ruminal da matéria seca e fibra em detergente neutro do capim brachiaria na estação seca e chuvosa. In:REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37, 2000, Viçosa. **Anais...** Viçosa, MG: SBZ, 2000. p.358

MALAFAIA, P. A. M.; VALADARES FILHO, S. C.; VIEIRA, R. A. M. et al. Determinação e cinética ruminal das frações proteicas de alguns alimentos para ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 26, n. 6, p.1243-1251, 1997.

MATIS, J. H. Gamma time-dependency in Blaxter's compartmental model. **Biometrics**, v. 28, n. 597-602, 1972.

MATIS, J. H.; WEHRLY, T. E.; ELLIS, W. C. Some generalized stochastic compartment models for digesta flow. **Biometrics**, v. 45, p.703-720,1989.

MAYNARD, L. A.; LOOSLI, J. K.; HINTZ, H. F.; WARNER, R.G. **Animal Nutrition**. New York: McGraw-Hill Inc., 1979.

MERTENS, D.R. **Application of theoretical mathematical models to cell wall digestion and forage intake in ruminants**. Ph.D. Dissertation, Cornell University, Ithaca, USA, 1973.

MERTENS, D.R. Principles of modeling and simulation in teaching and research. **Journal of Dairy Science**, v. 60, n. 7, p.1176-1186, 1976.

MERTENS, D.R. Dietary fiber components: relationship to the rate and extent of ruminal digestion. **Federation proceedings**, v. 36, p.187–192, 1977.

MERTENS, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. **Journal of Official Analytical Chemists**, v. 85, p. 1217-1240, 2002.

MERTENS, D. R. Rate and extend of digestion. In: DIJKSTRA, J.; FORBES, J. M.; FRANCE, J. **Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism**. Wallingford, Oxfordshire: CAB International, 2005.

MOE, P. W.; TYRRELL, H. F.; FLATT, W. P. Energetics of Body Tissue Mobilization. **Journal of Dairy Science**, v. 54, n. 4, p. 548-553, 1971.

NETER, J.; KUTNER, M.; NACHTSHEIM, C.; WASSERMAN, W. **Applied Linear Statistical Models**. New York: McGraw-Hill Companies, 1996.

NOCEK, J. E.; RUSSELL, J. B. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. **Journal of Dairy Science**, v. 71, p. 2070-2107, 1988.

NRC - National Research Council. **Nutrient requirements of beef cattle**. Washington, DC: National Academy of Sciences, 1996.

NRC - National Research Council. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7th ed. Washington, DC: National Academy of Sciences, 2001.

NRC - National Research Council. **Nutrient requirements of small ruminants: sheep, goats, cervids, and new world camelids**. 6th.ed. Washington, DC: National Academy of Sciences, 2007.

O'CONNOR, J.D.; SNIFFEN, C.J.; FOX, D.G. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: IV. Predicting amino acid adequacy. **Journal of Animal Science**, v. 71, n. 5, p.1298-1311, 1993.

OLIVEIRA, T.S. **Mobilização de reservas corporais e eficiências energéticas de cabras no início da lactação**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2014.

ØRSKOV, E. R.; MCDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **Journal of Agricultural Science**, v. 92, p. 449-503, 1979.

- POND, K. R.; ELLIS, W. C.; FERREIRO, H. M. AND SUTTON, J. D. Compartment models for estimating attributes of digesta flow in cattle. **British Journal of Nutrition**, v. 60, p. 571-595, 1988.
- REGADAS FILHO, J. G. L.; TEDESCHI, L. O.; CANNAS, A.; VIEIRA, R. A. M. AND RODRIGUES, M. T. Using the Small Ruminant Nutrition System to develop and evaluate an alternative approach to estimating the dry matter intake of goats when accounting for ruminal fiber stratification. **Journal of Dairy Science**, v. 97, p. 7185-7196, 2014a.
- REGADAS FILHO, J. G. L.; TEDESCHI, L. O.; VIEIRA, R.A.M.; RODRIGUES, M.T. Assessment of the heterogeneous ruminal fiber pool and development of a mathematical approach for predicting the mean retention time of feeds in goats. **Journal of Animal Science**, v. 92, p. 1099-1109, 2014b.
- REIS, C.S. **Sistemas de alimentação de vacas em lactação, utilizando volumosos associados a concentrados com diferentes níveis de degradação ruminal da proteína**. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 2003.
- RESENDE, K. T.; FERNANDES, M. H. M. R.; TEIXEIRA, I. A. M. A. Exigências nutricionais de caprinos e ovinos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 42, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia, GO: SBZ, 2005. p. 114-135.
- RESENDE, K. T.; SILVA, H. G. O.; LIMA, L. D. DE; TEIXEIRA, I. A. M. DE A. Avaliação das exigências nutricionais de pequenos ruminantes pelos sistemas de alimentação recentemente publicados. **Revista Brasileira de Zootecnia** 37:161-177, 2008.
- RUSSELL, J. B.; O'CONNOR, J. D.; FOX, D. G.; VAN SOEST, P. J.; SNIFFEN, C. J. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, v. 70, p. 3551-3561, 1992.
- SCHOFIELD, P.; PELL, A. N., Measurement and kinetic analysis of the neutral detergent-soluble carbohydrate fraction of legumes and grasses. **Journal of Animal Science**, v. 73, p. 3455-3463, 1995.
- Silva, D. J.; Queiroz, A. C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. 3.ed. Viçosa, MG: UFV, 2009.
- 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**, v. 70, n. 2, p. 425-441, 1987.

SNIFFEN, C. J.; O' CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J.; FOX, D. G.; RUSSEL, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. 2. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v. 70, p. 3562-3577, 1992.

STEFANON, B.; PELL, A. N.; SCHOFIELD, P. Effect of maturity on digestion kinetics of water-soluble and water-insoluble fractions of alfalfa and brome hay. **Journal of Animal Science**, v.74, p. 1104-1115, 1995.

STERMAN, J. D. All models are wrong: reflecting on becoming a system scientist. **System Dynamics Review**, v. 18, p. 501-531, 2002.

SUTHERLAND, T. M. Particle Separation in the Fore stomach of Sheep. In: DOBSON, A.; DOBSON, M.H. (Ed.) **Aspects of Digestive Physiology of Ruminants**. Ithaca: Cornell University Press. 1989. p.43-73.

TEDESCHI, L. O. Assessment of the Adequacy of Mathematical Modelo. In: WORKSHOP ON MODEL EVALUATION, Sassari, Italy, 2004.

TEDESCHI, L.O; FOX, D.G; SAINZ, R.D; BARIONI, L.G; MEDEIROS, S.R; BOIN, C. Using mathematical models in ruminant nutrition. **Scientia Agricola**, v. 62, p.76–91, 2005b.

TEDESCHI, L. O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agricultural Systems**, v. 89, p. 225-247, 2006.

TEDESCHI, L. O.; CANNAS, A.; FOX, D. G. A nutrition mathematical model to account for dietary supply and requirements of energy and other nutrients for domesticated small ruminants: the development and evaluation of the Small Ruminant Nutrition System. **Small Ruminant Research**. v. 89, p. 174-184, 2010.

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

Vieira, R. A. M.; Tedeschi, L. O.; Cannas, A. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in the ruminoreticulum: 1. Estimating parameters of digestion. **Journal of Theoretical Biology**, v. 255, p. 345-356, 2008a.

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

Vieira, R. A.; Fernandes, A. M. A importância de estudos quantitativos associados à fibra para a nutrição e a alimentação de ruminantes. In:REUNIÃO

ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa, PB: SBZ, 2006. p. 258-290.

WALDO, D. R.; SMITH, L. W.; COX, E. L. Model of cellulose disappearance from the rumen. **Journal of Dairy Science**, v.55, p. 125-129, 1972.

APÊNDICES

- 1- Dieta completa, formulada pelo SRNS, para o grupo de cabras com produção leiteira até 1,5 kg·dia⁻¹

Output modelo grupo 1

RELATÓRIO GERAL MECANICISTA						
Informações dos animais						
Tipo dos animais:	Cabras em lactação	Sistema de manejo:	Estabulação completa			
Grupamento genético:	Aptidão leiteira					
Idade (meses):	48	Dias em lactação:	80			
Massa corporal (kg):	51.00	Produção diária de leite (L.dia-1)	1.50			
Ganho de massa (g.dia-1):	0.00	Teor de gordura do leite (%):	3.30			
Score corporal:	3	Teor de proteína (%):	3.00			
Ingredientes da dieta						
Nome do alimento	Categoria	MS		MN		
		g	%	g	%	
Farelo de soja	Concentrado	170.03	10.52	190.24	3.61	
Farelo de trigo	Concentrado	35.30	2.18	39.73	0.75	
Fubá de milho	Concentrado	200.37	12.39	228.08	4.33	
Silagem de milho	Volumoso	1192.70	73.77	4788.05	90.95	
Mineral capril	Mineral	18.43	1.14	18.62	0.35	
Custo da dieta R\$.kg MS⁻¹		1.13	TOTAL	1616.84	100.00	5264.71
Balanco de nutriente da dieta						
Exigência	EM (kcal.dia-1)	PM (g.dia-1)	Ca (g.dia-1)	P (g.dia-1)		
Mantença	2337.44	55.05	3.09	1.50		
Gestação	0.00	0.00	0.00	0.00		
Lactação	1565.05	64.69	4.67	2.31		
Crescimento	0.00	0.00	0.00	0.00		
Total exigido	3902.50	119.74	11.57	3.81		
Total fornecido	3821.01	126.37	6.25	6.05		
Balanco	-81.48	6.63	-5.32	2.24		
Desempenho animal		Estimativa do desempenho animal baseado no nutriente limitante				
CMS atual (g.dia-1)	1616.84	Produção de leite a partir da energia metabolizável disponível (L.dia-1)				1.42
CMS recomendado (g.dia-1)	1640.73	Produção de leite a partir da proteína metabolizável disponível (L.dia-1)				1.65
Produção de leite (L.dia-1)	1.50					
GMD (g.dia-1)	0.00					

(Continuação)

RELATÓRIO GERAL MECANICISTA					
Especificação da dieta					
CMS, g/dia	1616.84	Frações dos nutrientes		Ca, %MS	0.39
CMS, %PV	3.17	na ração		P, %MS	2.62
VOLUMOSO, %MS	73.77	A PB, g.kg-1	20.30	Mg, %MS	0.22
CONC. %MS	26.23	B1 PB, g.kg-1	62.35	K, %MS	1.22
NDT, % MS	66.70	B2 PB, g.kg-1	11.57	Na, %MS	0.18
[EM] Ração, Mcal.kg MS-1	2.36	C PB, g.kg-1	7.26	Cl, %MS	0.15
[PM] Ração, % MS	7.82	A CHT, g.kg-1	13.02	S, %MS	0.17
MM, %MS	6.67	B1 CHT, g.kg-1	347.26	Co, mg/kg	0.14
PB, %MS	10.15	B2 CHT, g.kg-1	323.32	Cu, mg/kg	9.92
EE, %MS	2.28	C CHT, g.kg-1	123.69	I, mg/kg	0.02
CT, %MS	80.73			Fe, mg/kg	154.15
CNF, %MS	36.03			Mn, mg/kg	38.09
CF, %MS	44.70			Se, mg/kg	0.05
CF_fef, %MS	33.45			Zn, mg/kg	27.48
Coefficiente de digestibilidade dos nutrientes, kg.kg-1			Crescimento microbiano		
Extrato etéreo	0.83		NH3 ruminal, g.dia-1	Positivo	0.13
Proteína bruta	0.58		Mic CF, g.dia-1		94.25
Carboidratos totais	0.70		Mic CNF, g.dia-1		196.50
Carboidratos não fibrosos	0.89				
Carboidratos fibrosos	0.49				
Matéria seca	0.65		Total, g.dia-1		290.75
Taxa de passagem			Energia		
kp para forragem	0.0385		CEM (kcal.dia-1)		3821.01
kp para concentrado	0.0716		CEM/EMm		1.63
kp para fluidos	0.1187		L		0.63
Proteína			Produção fecal		
Ingestão de PB (g.dia-1)	164.08				
Ingestão de PM (g.dia-1)	126.37				
PM a partir de Mic (g.dia-1)	109.03				
PM a partir dos alimentos (g.dia-1)	17.34				
Concentração de PDR (%PB)	79.59				
Proteína solúvel (%PB)	19.44				
Custo de uréia (kcal.dia-1)	48.41				
Custos da alimentação dos animais					
Custo por animal (R\$.dia-1)	1.83				
Receita por animal (R\$.dia-1)	1.85				
% Alimentação na receita do leite	99.10				

2 - Dieta completa, formulada pelo SRNS, para o grupo de cabras com produção leiteira até 2,5 kg·dia⁻¹

Output modelo grupo 2

RELATÓRIO GERAL MECANICISTA							
Informações dos animais							
Tipo dos animais:	Cabras em lactação	Sistema de manejo:	Estabulação completa				
Grupamento genético:	Aptidão leiteira						
Idade (meses):	48	Dias em lactação:	80				
Massa corporal (kg):	55.00	Produção diária de leite (L.dia-1)	2.50				
Ganho de massa (g.dia-1):	0.00	Teor de gordura do leite (%):	3.30				
Score corporal:	3	Teor de proteína (%):	3.00				
Ingredientes da dieta							
Nome do alimento	Categoria	MS		MN			
		g	%	g	%		
Farelo de soja	Concentrado	262.15	11.23	293.30	4.25		
Farelo de trigo	Concentrado	45.15	1.93	50.81	0.74		
Fubá de milho	Concentrado	509.22	21.81	579.65	8.39		
Silagem de milho	Volumoso	1481.57	63.46	5947.70	86.10		
Mineral capril	Mineral	36.42	1.56	36.79	0.53		
Custo da dieta R\$.kg MS ⁻¹		1.60	TOTAL	2334.52	100.00	6908.25	100.00
Balanco de nutriente da dieta							
Exigência	EM (kcal.dia-1)	PM (g.dia-1)	Ca (g.dia-1)	P (g.dia-1)			
Mantença	2419.68	72.34	4.21	2.14			
Gestação	0.00	0.00	0.00	0.00			
Lactação	2608.42	107.81	7.78	3.85			
Crescimento	0.00	0.00	0.00	0.00			
Total exigido	5028.10	180.15	17.97	5.98			
Total fornecido	5587.04	182.36	9.42	9.17			
Balanco	558.94	2.21	-8.55	3.19			
Desempenho animal		Estimativa do desempenho animal baseado no nutriente limitante					
CMS atual (g.dia-1)	2334.52	Produção de leite a partir da energia metabolizável disponível (L.dia-1)		3.04			
CMS recomendado (g.dia-1)	2014.67	Produção de leite a partir da proteína metabolizável disponível (L.dia-1)		2.55			
Produção de leite (L.dia-1)	2.50						
GMD (g.dia-1)	0.00						

(Continuação)

RELATÓRIO GERAL MECANICISTA

Especificação da dieta					
CMS, g/dia	2334.52	Frações dos nutrientes na ração		Ca, %MS	0.40
CMS, %PV	4.24			P, %MS	2.75
VOLUMOSO, %MS	63.46	A PB, g.kg-1	18.56	Mg, %MS	0.21
CONC. %MS	36.54	B1 PB, g.kg-1	67.97	K, %MS	1.14
NDT, %MS	67.43	B2 PB, g.kg-1	11.62	Na, %MS	0.23
[EM] Ração, Mcal.kg MS-1	2.39	C PB, g.kg-1	6.90	Cl, %MS	0.14
[PM] Ração, %MS	7.81	A CHT, g.kg-1	19.71	S, %MS	0.17
MM, %MS	6.47	B1 CHT, g.kg-1	375.31	Co, mg/kg	0.16
PB, %MS	10.51	B2 CHT, g.kg-1	288.59	Cu, mg/kg	9.60
EE, %MS	2.36	C CHT, g.kg-1	120.66	I, mg/kg	0.02
CT, %MS	80.43			Fe, mg/kg	139.19
CNF, %MS	39.50			Mn, mg/kg	34.41
CF, %MS	40.92			Se, mg/kg	0.06
CF_fef, %MS	29.47			Zn, mg/kg	27.75
Coefficiente de digestibilidade dos nutrientes, kg.kg-1			Crescimento microbiano		
Extrato etéreo	0.83		NH3 ruminal, g.dia-1	Positivo	1.28
Proteína bruta	0.60		Mic CF, g.dia-1		116.07
Carboidratos totais	0.71		Mic CNF, g.dia-1		298.50
Carboidratos não fibrosos	0.89				
Carboidratos fibrosos	0.47				
Matéria seca	0.66		Total, g.dia-1		414.57
Taxa de passagem			Energia		
kp para forragem	0.0433		CEM (kcal.dia-1)		5587.04
kp para concentrado	0.0705		CEM/EMm		2.31
kp para fluídos	0.1342		L		1.31
Proteína			Produção fecal		
Ingestão de PB (g.dia-1)	245.25				
Ingestão de PM (g.dia-1)	182.36				
PM a partir de Mic (g.dia-1)	155.46				
PM a partir dos alimentos (g.dia-1)	26.89				
Concentração de PDR (%PB)	79.64				
Proteína solúvel (%PB)	16.92				
Custo de uréia (kcal.dia-1)	16.10				
Custos da alimentação dos animais					
Custo por animal (R\$.dia-1)	3.75				
Receita por animal (R\$.dia-1)	3.32				
% Alimentação na receita do leite	112.97				

3 - Dieta completa, formulada pelo SRNS, para o grupo de cabras com produção leiteira até 3,5 kg·dia⁻¹

Output modelo grupo 3

RELATÓRIO GERAL MECANICISTA						
Informações dos animais						
Tipo dos animais:	Cabras em lactação	Sistema de manejo:	Estabulação completa			
Grupamento genético:	Aptidão leiteira					
Idade (meses):	48	Dias em lactação:	80			
Massa corporal (kg):	55.00	Produção diária de leite (L.dia-1)	3.50			
Ganho de massa (g.dia-1):	0.00	Teor de gordura do leite (%):	3.30			
Score corporal:	3	Teor de proteína (%):	3.00			
Ingredientes da dieta						
Nome do alimento	Categoria	MS		MN		
		g	%	g	%	
Farelo de soja	Concentrado	284.17	9.56	317.94	3.85	
Farelo de trigo	Concentrado	100.77	3.39	113.41	1.37	
Fubá de milho	Concentrado	828.88	27.88	943.52	11.43	
Silagem de milho	Volumoso	1698.34	57.12	6817.89	82.59	
Mineral capril	Mineral	61.36	2.06	61.98	0.75	
Custo da dieta R\$.kg MS⁻¹		2.01	TOTAL	2973.52	100.00	8254.73
Balanco de nutriente da dieta						
Exigência	EM (kcal.dia-1)	PM (g.dia-1)	Ca (g.dia-1)	P (g.dia-1)		
Mantença	2394.68	86.84	5.20	2.70		
Gestação	0.00	0.00	0.00	0.00		
Lactação	3651.79	150.94	10.89	5.38		
Crescimento	0.00	0.00	0.00	0.00		
Total exigido	6046.46	237.77	24.17	8.08		
Total fornecido	7120.12	234.66	12.96	12.34		
Balanco	1073.66	-3.11	-11.21	4.26		
Desempenho animal		Estimativa do desempenho animal baseado no nutriente limitante				
CMS atual (g.dia-1)	2973.52	Produção de leite a partir da energia metabolizável disponível (L.dia-1)			4.53	
CMS recomendado (g.dia-1)	2319.67	Produção de leite a partir da proteína metabolizável disponível (L.dia-1)			3.43	
Produção de leite (L.dia-1)	3.50					
GMD (g.dia-1)	0.00					

(Continuação)

RELATÓRIO GERAL MECANICISTA					
Especificação da dieta					
CMS, g/dia	2973.52	Frações dos nutrientes		Ca, %MS	0.44
CMS, %PV	5.41	na ração		P, %MS	2.90
VOLUMOSO, %MS	57.12	A PB, g.kg-1	17.47	Mg, %MS	0.20
CONC. %MS	42.88	B1 PB, g.kg-1	64.57	K, %MS	1.06
NDT, %MS	67.61	B2 PB, g.kg-1	11.74	Na, %MS	0.30
[EM] Ração, Mcal.kg MS-1	2.39	C PB, g.kg-1	6.52	Cl, %MS	0.13
[PM] Ração, %MS	7.89	A CHT, g.kg-1	23.83	S, %MS	0.17
MM, %MS	6.49	B1 CHT, g.kg-1	392.63	Co, mg/kg	0.18
PB, %MS	10.03	B2 CHT, g.kg-1	269.92	Cu, mg/kg	9.11
EE, %MS	2.46	C CHT, g.kg-1	120.77	I, mg/kg	0.03
CT, %MS	80.72			Fe, mg/kg	128.76
CNF, %MS	41.65			Mn, mg/kg	33.35
CF, %MS	39.07			Se, mg/kg	0.07
CF_fef, %MS	27.03			Zn, mg/kg	28.41
Coefficiente de digestibilidade dos nutrientes, kg.kg-1			Crescimento microbiano		
Extrato etéreo	0.84		NH3 ruminal, g.dia-1	Negativo	0.00
Proteína bruta	0.59		Mic CF, g.dia-1 potencial		135.42
Carboidratos totais	0.71		Mic CNF, g.dia-1 potencial		390.16
Carboidratos não fibrosos	0.89		Mic CF, g.dia-1 real		134.71
Carboidratos fibrosos	0.45		Mic CNF, g.dia-1 real		388.13
Matéria seca	0.67		Total, g.dia-1		522.85
Taxa de passagem			Energia		
kp para forragem	0.0445		CEM (kcal.dia-1)		7120.12
kp para concentrado	0.0690		CEM/EMm		2.97
kp para fluidos	0.1430		L		1.97
Proteína			Produção fecal		
Ingestão de PB (g.dia-1)	298.24				
Ingestão de PM (g.dia-1)	234.66				
PM a partir de Mic (g.dia-1)	196.07				
PM a partir dos alimentos (g.dia-1)	38.60				
Concentração de PDR (%PB)	78.28				
Proteína solúvel (%PB)	16.38				
Custo de uréia (kcal.dia-1)	0.00				
Custos da alimentação dos animais					
Custo por animal (R\$.dia-1)	5.97				
Receita por animal (R\$.dia-1)	4.46				
% Alimentação na receita do leite	133.94				

4 - Consumo dos alimentos e matéria seca total consumida por animal

Animal	Grupo	Alimento (g·dia ⁻¹)					CMS total
		Soja	Trigo	Milho	Silagem	Mineral	
4080	1	73,49	15,23	86,56	515,36	7,96	698,6
4425	1	128,94	26,72	151,86	904,20	13,97	1225,7
4703	1	100,80	20,89	118,72	706,86	10,92	958,2
4798	1	114,31	23,69	134,63	801,58	12,39	1086,6
4815	1	123,21	25,53	145,11	863,99	13,35	1171,2
4894	1	134,68	27,91	158,62	944,40	14,59	1280,2
4942	1	115,90	24,02	136,50	812,72	12,56	1101,7
4952	1	112,20	23,25	132,14	786,76	12,16	1066,5
5169	1	122,63	25,41	144,43	859,94	13,29	1165,7
5173	1	121,02	25,08	142,53	848,65	13,11	1150,4
4260	2	182,26	31,32	353,98	1029,96	25,32	1623,0
4393	2	166,57	28,63	323,51	941,30	23,14	1483,3
4361	2	189,34	32,54	367,72	1069,94	26,30	1686,0
4609	2	177,42	30,49	344,58	1002,60	24,65	1579,9
4749	2	166,02	28,53	322,44	938,19	23,06	1478,4
4884	2	123,54	21,23	239,93	698,12	17,16	1100,1
4940	2	135,53	23,29	263,22	765,90	18,83	1206,9
5001	2	160,75	27,63	312,19	908,37	22,33	1431,4
5011	2	169,89	29,20	329,94	960,02	23,60	1512,8
5079	2	179,42	30,84	348,46	1013,90	24,92	1597,7
4487	3	176,22	62,49	513,91	1052,89	37,97	1843,3
4530	3	168,50	59,75	491,39	1006,74	36,31	1762,5
4625	3	163,55	58,00	476,97	977,21	35,24	1710,8

4890	3	187,74	66,57	547,51	1121,72	40,45	1963,8
4917	3	208,39	73,90	607,73	1245,10	44,90	2179,8
5012	3	190,18	67,44	554,62	1136,29	40,98	1989,3
5014	3	188,37	66,80	549,35	1125,49	40,59	1970,4
5032	3	138,74	49,20	404,62	828,98	29,90	1451,3
5122	3	166,70	59,11	486,14	996,00	35,92	1743,7
5151	3	168,30	59,68	490,83	1005,60	36,27	1760,5

†: valores médios usando BLUP, CMS: consumo de matéria seca.

5 - Valores observados e preditos (por animal) utilizados para avaliação do poder preditivo do modelo com *Model Evaluatin System*

Animais	CEM	CEM	PL	PL	CMS	CMS
	obs (Mcal·dia ⁻¹)	pred (Mcal·dia ⁻¹)	obs (kg·dia ⁻¹)	pred (kg·dia ⁻¹)	Obs (g·dia ⁻¹)	pred (g·dia ⁻¹)
4080	1,85	1,63	0,32	0	698,600	1348,576
4425	3,32	2,84	0,82	0,53	1225,700	1426,363
4703	2,59	2,23	0,59	0,16	958,200	1256,623
4798	2,93	2,69	1,09	0,72	1086,600	1342,000
4815	3,26	2,72	1,22	0,28	1171,200	1637,396
4894	3,26	3,14	1,21	0,79	1280,200	1480,196
4942	2,88	2,56	1,23	0	1101,700	1723,939
4952	2,94	2,48	0,56	0,19	1066,500	1359,594
5169	3,96	2,71	1,10	0,59	1165,700	1419,348
5173	3,37	2,67	1,14	0,50	1150,400	1446,028
4260	4,78	4,05	2,16	1,11	1623,000	1909,263
4393	4,35	3,58	1,69	1,04	1483,300	1786,017
4361	4,13	4,06	2,15	1,07	1686,000	2107,199
4609	3,28	3,81	1,67	1,02	1579,900	1830,141
4749	3,77	3,57	1,78	0,96	1478,400	1798,655
4884	3,77	2,66	1,78	0,35	1100,100	1730,652
4940	4,36	2,91	1,83	0,05	1206,900	2054,236
5001	3,77	3,60	1,78	1,09	1431,400	1654,580
5011	3,79	3,79	2,02	1,13	1512,800	1794,629
5079	3,56	4,00	1,91	1,12	1597,700	1740,284
4487	5,25	4,49	2,84	1,37	1843,300	2276,163
4530	5,71	4,43	3,19	1,55	1762,500	2223,242
4625	5,56	4,31	3,57	1,51	1710,800	2311,536
4890	5,76	4,78	3,32	1,33	1963,800	2568,314
4917	4,07	5,48	2,17	2,09	2179,800	1821,161
5012	4,87	4,99	2,57	1,97	1989,300	2038,752
5014	5,01	4,93	2,83	1,84	1970,400	2191,064
5032	5,09	3,55	2,63	0,76	1451,300	2242,695

5122	5,09	4,40	2,63	1,56	1743,700	1987,468
5151	5,09	4,46	2,63	1,59	1760,500	1896,770

CEM: consumo de energia metabolizável, PL: produção de leite, CMS: consumo de matéria seca, †: valores médios com BLUP.

6 - Valores observados e preditos da digestibilidade da MS, PB e CF utilizados para avaliação do poder preditivo do modelo com *Model Evaluatin System*

Animal	DMS	DMS	DPB	DPB	DCF	DCF
	predita (kg.kg ⁻¹)	observada (kg.kg ⁻¹)	predita (kg.kg ⁻¹)	observada (kg.kg ⁻¹)	predita (kg.kg ⁻¹)	observada (kg.kg ⁻¹)
4080	64,35	64,02	62,96	61,19	46,59	54,22
4425	63,86	65,25	63,52	62,51	45,70	55,90
4703	64,02	64,56	63,26	61,26	45,96	56,35
4798	68,94	64,71	60,85	59,75	56,20	56,04
4815	63,84	65,23	63,53	63,66	45,67	55,34
4894	68,13	63,37	61,38	59,88	54,60	55,05
4942	63,85	63,66	63,50	62,34	45,68	54,24
4952	63,92	64,99	63,40	61,41	45,80	56,72
5169	63,91	63,59	63,42	59,93	45,78	53,46
5173	63,91	63,86	63,42	62,46	45,78	54,32
4260	69,37	68,65	62,87	65,47	51,92	59,23
4393	66,73	66,25	64,07	60,03	45,69	56,80
4361	66,54	68,93	64,35	65,81	45,36	61,51
4609	66,66	68,10	64,18	65,02	45,57	59,28
4749	66,74	67,83	64,05	63,87	45,70	60,50
4884	67,03	69,11	63,66	64,04	46,25	60,07
4940	66,84	67,59	63,91	60,88	45,90	59,94
5001	70,11	67,02	62,35	62,77	53,53	57,17
5011	69,76	68,46	62,59	65,26	52,77	60,22
5079	69,72	67,53	62,64	65,71	52,69	58,81
4487	67,94	69,97	62,35	68,45	44,96	57,11
4530	70,51	72,01	60,92	70,67	51,29	60,10
4625	70,65	70,65	60,80	66,07	51,62	58,22
4890	67,81	67,57	62,58	64,83	44,74	52,93
4917	70,44	67,34	61,10	65,32	51,20	54,47
5012	70,24	70,18	61,19	66,76	50,71	56,74
5014	70,04	72,48	61,33	70,21	50,23	59,81
5032	68,15	69,87	61,99	65,90	45,31	57,26

5122	70,73	70,04	60,76	68,84	51,81	56,30
5151	71,05	70,50	60,54	66,44	52,56	56,62

DMS: digestibilidade da matéria seca, DPB: digestibilidade da proteína bruta, DCF: digestibilidade dos carboidratos fibrosos.

7 - Valores observados e preditos da taxa de passagem da fibra utilizados para avaliação do poder preditivo do modelo com MES

Animal	Grupo	kpv pred	kpv obs	kpc pred	kpc obs	kpl pred	kpl obs
4080	1	0,029	0,043	0,074	0,060	0,064	0,054
4815	1	0,035	0,043	0,072	0,060	0,069	0,054
5001	2	0,037	0,041	0,070	0,041	0,072	0,042
5011	2	0,038	0,041	0,070	0,041	0,073	0,042
4890	3	0,046	0,033	0,073	0,043	0,080	0,053
5012	3	0,042	0,033	0,070	0,043	0,078	0,053

kpv: taxa de passagem da fibra do volumoso, kpc: taxa de passagem da fibra do concentrado, kpl: taxa de passagem da fibra associada à fase líquida, Pred: valores preditos, Obs: valores observados.

8 - Avaliação semanal (S) da massa corporal dos animais (kg)

Animais	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
4080	53,000	53,000	53,100	54,960	55,050	56,100	56,700
4425	50,000	51,850	51,900	49,500	49,800	51,200	51,700
4703	45,200	44,900	45,700	44,800	44,900	45,300	45,390
4798	40,150	39,400	39,650	40,500	41,800	42,100	42,500
4815	56,450	55,800	56,100	55,850	55,200	55,650	56,600
4894	45,600	47,900	46,900	46,900	47,400	47,500	47,050
4942	61,500	60,750	61,150	61,600	59,050	61,050	60,500
4952	51,800	51,850	51,700	52,800	51,850	51,850	52,150
5169	46,150	44,800	45,000	44,050	44,400	45,000	46,600
5173	46,200	45,900	45,200	46,500	46,200	46,800	46,900
4260	54,000	56,100	54,600	53,300	53,500	55,700	56,500
4393	56,100	56,200	56,250	55,700	55,700	56,000	56,900
4361	65,850	66,350	66,100	64,950	65,700	68,300	68,750
4609	59,600	58,350	58,400	57,500	59,700	59,450	59,850
4749	54,700	54,750	54,400	54,900	52,500	56,900	58,050
4884	51,800	52,600	50,600	50,150	50,150	51,350	52,050
4940	69,050	69,200	69,600	70,100	68,950	68,750	71,050
5001	47,100	46,700	46,300	46,050	46,500	47,600	48,350
5011	50,800	51,450	51,500	50,850	51,150	51,300	51,200
5079	51,250	51,300	49,500	50,650	48,850	49,600	48,100
4487	64,800	64,850	64,500	64,300	64,700	64,600	64,200
4530	57,150	55,750	54,400	54,450	54,400	54,900	55,150
4625	52,250	53,500	52,500	53,300	53,350	53,350	54,000
4890	71,400	71,800	72,000	73,400	73,150	74,200	75,500
4917	49,100	47,000	47,300	48,800	50,050	50,500	50,990
5012	54,700	54,000	54,150	56,100	55,200	55,800	54,850
5014	62,450	61,000	59,750	59,300	59,200	60,400	58,400
5032	65,800	64,200	65,000	65,850	64,800	67,350	68,400
5122	51,000	50,300	50,600	52,100	52,250	51,850	52,100
5151	45,050	45,550	45,050	45,500	45,750	46,300	46,800

9 - Relatório *Model Evaluation System* (MES) - Consumo de matéria seca (CMS)

Regular Least-Squares Regression

REGRESSION ANALYSIS: $Y = a + b \times X$ (Neter et al., 1996)

Pearson's r is a parametric coefficient of correlation that measures the association of two continuous.

Random variables

Goodness-of-fit is believable if $Q(\text{Chi}^2) > 0.1$

Estimate $a \pm \text{SD}$: 9.90127 ± 236.12340

Estimate $b \pm \text{SD}$: 0.80295 ± 0.12805

MSE: n/a Root MSE: 234.44046

N: 30 r : 0.76425

r^2 : 0.58407 Adj. r^2 : 0.56922 Resistant r^2 : 0.87529

Adj. Resistant r^2 : 0.86605

Chi^2 : n/a $Q(\text{Chi}^2)$: 1.00000

PARAMETER PROBABILITIES (Neter et al., 1996)

H_0 : $r = 0$ T-value (P-value): 6.27053 (0.00001)

H_0 : $a = 0$ T-value (P-value): 0.04193 (0.96685)

H_0 : $b = 0$ T-value (P-value): 6.27053 (0.00001)

H_0 : $b = 1$ T-value (P-value): -1.53886 (0.13506)

H_0 : $a = 0$ & $b = 1$ F-value (P-value): 31.85341 (0.00001) (Dent and Blackie, 1979)

H_0 : $a = 0$ & $b = 1$ F-value (P-value): 34.12866 (0.00001) (Mayer et al., 1994)

DISTRIBUTION ANALYSES (Shapiro and Wilk, 1965)

SW is the Shapiro-Wilk's W -value (0 to 1) that measures normal distribution in which small values lead

SW's W-value for normality for X (P-value < W): 0.96775 (0.47965)

SW's W-value for normality for Y (P-value < W): 0.97675 (0.73425)

Empirical Distribution Function for Normality

Predicted values (X):

Goodness-of-Fit Analyses (Davis and Stephens, 1989)

Kolmogorov-Smirnov's D statistic: 0.10316

Kuiper's V statistic: 0.16983

Cramér-von Mises's W2 statistic: 0.04110 (P = 0.6616)

Watson's U2 statistic: 0.04038 (P = 0.6194)

Anderson-Darling's A2 statistic: 0.31175 (P = 0.5514)

Shapiro-Wilk's W statistic: 0.96775 (P = 0.4797)

These calculations were not adjusted for Normal distribution. Observed values (Y):

Goodness-of-Fit Analyses (Davis and Stephens, 1989)

Kolmogorov-Smirnov's D statistic :0.11610

Kuiper's V statistic: 0.18113

Cramér-von Mises's W2 statistic: 0.05425 (P = 0.4506)

Watson's U2 statistic: 0.05424 (P = 0.4086)

Anderson-Darling's A2 statistic: 0.32961 (P = 0.5151)

Shapiro-Wilk's W statistic: 0.97675 (P = 0.7343)

These calculations were not adjusted for Normal distribution.

MOMENT ANALYSES (Neter et al., 1996)

X Abs Mean: 271.33276 Y Abs Mean: 295.29067

X Min: 1256.62300 Y Min: 698.60000

X Max: 2568.31400 Y Max: 2179.80000

X Mean: 1813.42947 Y Mean: 1465.99000

X Median: 1809.90800 Y Median: 1498.05000

X Variance: n/a Y Variance: n/a

X Std. Dev.: 339.97776 Y Std. Dev.: 357.19394
X Skewness: 0.18986 Y Skewness : -0.00136
X Kurtosis: 2.10221 Y Kurtosis: 2.12728
X - Y Mean: 347.43947 X - Y Var: n/a
Covariance: n/a

DIVERSE MEASURE ANALYSES

MEF is modeling efficiency; closer to one better it is.

CD is the coefficient of model determination; closer to one better it is.

Mean Bias (Y - X) (MB): -347.43947. Model overprediction (Cochran and Cox, 1954).

Mean Bias, % of X (Predicted): -19.15925.

Mean Bias, % of Y (Observed): -23.69999.

H0: Var Y = Var X, F-value: 1.10384 (P = 0.39601)

H0: MB = 0, T-value (same var.): -3.85907 (P = 0.00029)

H0: MB = 0, T-value (diff. var.): -3.85907 (P = 0.00029)

H0: MB = 0, T-value (paired w/cov.): -7.93227 (P = 0.00001)

H0: MB = 0, T-value (paired diff.): -7.93227 (P = 0.00001)

Mean Absolute Error |Y - X| (MAE): 371.34873

MAE, % of X (Predicted): 20.47770

MAE, % of Y (Observed): 25.33092

MA%E, |Y - X|/Y: 28.13388

MEF: -0.42986 (Loague and Green, 1991; Zacharias et al., 1996)

CD: 0.53059 (Loague and Green, 1991; Zacharias et al., 1996)

Maximum error = Max |Y - X|: 847.33600

CONCORDANCE CORRELATION COEFFICIENT (Lin, 1989; Deyo et al., 1991; Nickerson, 1997; Liao, 2003)

Lin (1998)

Scale shift (v): 1.05064

Location shift (u): -0.99702 Model overprediction

Bias correction (Cb): 0.66745

rc ± SE rc : 0.51010 ± 0.09429

Z-value (P-Value): 5.40964 (0.00001)

Lower - Upper 95% CI: [0.32528, 0.69491]

Inverse hyperbolic tangent transformation to improve normal approximation.

Transformed rc ± SE rc: 0.56286 ± 0.12746

Transformed Z-value (P-Value): 4.41603 (0.00001)

Transformed Lower - Upper 95% CI: [0.31305, 0.81267]

Un-transformed Lower - Upper 95% CI: [0.30321, 0.67106]

Intraclass Correlation Coefficient (ICC)

rc : 0.51280

Liao (2003)

Ar (~ Cb): 0.71201

Gr ± SE Gr (~ rc): 0.54415 ± 0.08501

Z-value (P-Value): 6.40071 (0.00001)

Lower - Upper 95% CI: [0.37753, 0.71077]

Inverse hyperbolic tangent transformation to improve normal approximation.

Transformed Gr ± SE Gr: 0.61003 ± 0.12078

Transformed Z-value (P-Value): 5.05097 (0.00001)

Transformed Lower - Upper 95% CI: [0.37332, 0.84675]

Un-transformed Lower - Upper 95% CI: [0.35689, 0.68937]

RANK ANALYSIS - NONPARAMETRICS (Agresti, 1996, 2002)

Spearman's r is a nonparametric coefficient of correlation that measures the rank of the data values. D is the sum squared difference of ranks. Kendall's Tau is a nonparametric coefficient of correlation that measures the association based on the number of concordances and discordances in paired

observations. KS is the Kolmogorov-Smirnov test that measures if X and Y have the same distribution.

Spearman's r: 0.81001 H0: $r = 0$, T-value (P-value): 7.30912 (0.00001)

D: 854.0 H0: $D = 0$, Z-value (P-value): -4.36204 (0.00001)

Tau: 0.62759 H0: $\text{Tau} = 0$, Z-value (P-value): 4.87060 (0.00001)

KS: 0.40000 H0: $dX = dY$, N-value (P-value): 15.00000 (0.01131)

Mann-Whitney: -227.50000 H0: $WD = 0$, Z-value (1-sided P-value): 3.36346 (0.00038)

MEAN SQUARE ERROR OF PREDICTION (Bibby and Toutenburg, 1977)

Mean Square Error of Prediction: n/a

Variance of MSEP: n/a

Standard deviation of MSEP: n/a

Coefficient of variation of MSEP, %: 104.24126

Square root of MSEP (RMSEP): 419.94152

RMSEP, % of mean X: 23.15731

RMSEP, % of mean Y: 28.64559

MSEP Decomposition I:

Mean bias ==> Mean X <> Mean Y: n/a (68.451 %)

Unequal variances ==> S_x <> S_y : 286.51685 (0.162 %)

Incomplete (co) variation ==> r <> 1: 55350.17767 (31.386 %)

MSEP Decomposition II:

Mean bias ==> Mean X <> Mean Y: n/a (68.451 %)

Systematic bias ==> b <> 1: 4338.51889 (2.460 %)

Random errors ==> r^2 <> 1: 51298.17563 (29.089 %)

Regular Least-Squares Regression

REGRESSION ANALYSIS: $Y = a + b \times X$ (Neter et al., 1996)

Pearson's r is a parametric coefficient of correlation that measures the association of two continuous. Goodness-of-fit is believable if $Q(\text{Chi}^2) > 0.1$.

Estimate $a \pm \text{SD}$: 0.83367 ± 0.18881

Estimate $b \pm \text{SD}$: 1.11142 ± 0.17018

MSE: 0.29797 Root MSE: 0.54587

N: 30 r : 0.77698

r^2 : 0.60370 Adj. r^2 : 0.58955

Resistant r^2 : 0.65540 Adj. Resistant r^2 : 0.62988

Chi^2 : 8.34322 $Q(\text{Chi}^2)$: 1.00000

PARAMETER PROBABILITIES (Neter et al., 1996)

$H_0: r = 0$ T-value (P-value): 6.53099 (0.00001)

$H_0: a = 0$ T-value (P-value): 4.41545 (0.00014)

$H_0: b = 0$ T-value (P-value): 6.53099 (0.00001)

$H_0: b = 1$ T-value (P-value): 0.65472 (0.51799)

$H_0: a = 0 \ \& \ b = 1$ F-value (P-value): 41.59765 (0.00001) (Dent & Blackie, 1979).

$H_0: a = 0 \ \& \ b = 1$ F-value (P-value): 44.56891 (0.00001) (Mayer et al., 1994)

DISTRIBUTION ANALYSES (Shapiro & Wilk, 1965).

SW is the Shapiro-Wilk's W-value (0 to 1) that measures normal distribution in which small values lead to the rejection of the null hypothesis of normality.

SW's W-value for normality for X (P-value < W): 0.96411 (0.39258)

SW's W-value for normality for Y (P-value < W): 0.97532 (0.69211)

Empirical Distribution Function for Normality

Predicted values (X):

Goodness-of-Fit Analyses (Davis & Stephens, 1989)

Kolmogorov-Smirnov's D statistic: 0.08520

Kuiper's V statistic: 0.16156

Cramér-von Mises's W2 statistic: 0.03876 (P = 0.7048)

Watson's U2 statistic: 0.03875 (P = 0.6518)

Anderson-Darling's A2 statistic: 0.27500 (P = 0.6611)

Shapiro-Wilk's W statistic: 0.96411 (P = 0.3926)

These calculations were not adjusted for Normal distribution.

Observed values (Y):

Goodness-of-Fit Analyses (Davis & Stephens, 1989)

Kolmogorov-Smirnov's D statistic: 0.11092

Kuiper's V statistic: 0.20156

Cramér-von Mises's W2 statistic: 0.04218 (P = 0.6415)

Watson's U2 statistic: 0.04190 (P = 0.5904)

Anderson-Darling's A2 statistic: 0.25836 (P = 0.7170)

Shapiro-Wilk's W statistic: 0.97532 (P = 0.6921)

These calculations were not adjusted for Normal distribution.

MOMENT ANALYSES (Neter et al., 1996)

X Abs Mean: 0.48869 Y Abs Mean: 0.68573

X Min: 0.00000 Y Min: 0.32000

X Max: 2.09000 Y Max: 3.57000

X Mean: 0.94233 Y Mean: 1.88100

X Median: 1.0550 Y Median: 1.87000

X Variance: 0.35480 Y Variance: 0.72596

X Std. Dev.: 0.59565 Y Std. Dev.: 0.85203

X Skewness: 0.06103 Y Skewness: 0.09235

X Kurtosis: 1.96731 Y Kurtosis: 2.07941
X - Y Mean: -0.93867 X - Y Var: 0.29210
Covariance: 0.38118

DIVERSE MEASURE ANALYSES

MEF is modeling efficiency; closer to one better it is. CD is the coefficient of model determination; closer to one better it is.

Mean Bias (Y - X) (MB): 0.93867. Model underprediction (Cochran and Cox, 1954).

Mean Bias, % of X (Predicted): 99.61089

Mean Bias, % of Y (Observed): 49.90253

H0: VarY = VarX, F-value : 2.04613 (P = 0.02928)

H0: MB = 0, T-value (same var.): 4.94547 (P = 0.00002)

H0: MB = 0, T-value (diff. var.) : 4.94547 (P = 0.00002)

H0: MB = 0, T-value (paired w/cov.): 9.51273 (P = 0.00001)

H0: MB = 0, T-value (paired diff.): 9.51273 (P = 0.00001)

Mean Absolute Error |Y - X| (MAE): 0.93867

MAE, % of X (Predicted): 99.61089

MAE, % of Y (Observed): 49.90253

MA%E, |Y - X|/Y: 52.69240

MEF: -0.65791 (Loague & Green, 1991; Zacharias et al., 1996)

CD: 0.57330 (Loague & Green, 1991; Zacharias et al., 1996)

Maximum error = Max |Y - X|: 2.06000

CONCORDANCE CORRELATION COEFFICIENT (Lin, 1989; Deyo et al., 1991; Nickerson, 1997; Liao, 2003)

Lin (1998)

Scale shift (v): 1.43043

Location shift (u): 1.31761. Model underprediction.

Bias correction (Cb): 0.51738

rc \pm SE rc: 0.40200 \pm 0.08395

Z-value (P-Value): 4.78826 (0.00001)

Lower - Upper 95% CI: [0.23745, 0.56654]

Inverse hyperbolic tangent transformation to improve normal approximation.

Transformed rc \pm SE rc: 0.42603 \pm 0.10014

Transformed Z-value (P-Value): 4.25446 (0.00002)

Transformed Lower - Upper 95% CI: [0.22976, 0.62229]

Un-transformed Lower - Upper 95% CI : [0.22580, 0.55272]

Intraclass Correlation Coefficient (ICC)

rc : 0.40400

Liao (2003)

Ar (\sim Cb): 0.54035

Gr \pm SE Gr (\sim rc): 0.41984 \pm 0.10451

Z-value (P-Value): 4.01726 (0.00006)

Lower - Upper 95% CI: [0.21501, 0.62467]

Inverse hyperbolic tangent transformation to improve normal approximation.

Transformed Gr \pm SE Gr: 0.44750 \pm 0.12687

Transformed Z-value (P-Value): 3.52715 (0.00042)

Transformed Lower - Upper 95% CI: [0.19883, 0.69616]

Un-transformed Lower - Upper 95% CI: [0.19625, 0.60193]

RANK ANALYSIS - NONPARAMETRICS (Agresti, 1996, 2002)

Spearman's r is a nonparametric coefficient of correlation that measures the rank of the data values. D is the sum squared difference of ranks. Kendall's Tau is a nonparametric coefficient of correlation that measures the association based on the number of concordances and discordances in paired observations. KS is the Kolmogorov-Smirnov test that measures if X and Y have the same distribution.

Spearman's r: 0.80303 H0: $r = 0$, T-value (P-value): 7.13030 (0.00001)
D: 884.5 H0: $D = 0$, Z-value (P-value): -4.32444 (0.00002)
Tau: 0.59329 H0: $\tau = 0$, Z-value (P-value): 4.60443 (0.00001)
KS: 0.56667 H0: $dX = dY$, N-value (P-value): 15.00000 (0.00006)
Mann-Whitney: 285.50000 H0: $WD = 0$, Z-value (1-sided P-value): 4.22160 (0.00001)

MEAN SQUARE ERROR OF PREDICTION (Bibby & Toutenburg, 1977)

Mean Square Error of Prediction: 1.16346

Variance of MSEP: 1.48478

Standard deviation of MSEP: 1.21851

Coefficient of variation of MSEP, %: 104.73188

Square root of MSEP (RMSEP): 1.07864

RMSEP, % of mean X: 114.46459

RMSEP, % of mean Y: 57.34386

MSEP Decomposition I:

Mean bias ==> Mean X <> Mean Y: 0.88110 (75.731 %)

Unequal variances ==> S_x <> S_y : 0.06354 (5.461 %)

Incomplete (co) variation ==> r <> 1: 0.21882 (18.808 %)

MSEP Decomposition II:

Mean bias ==> Mean X <> Mean Y: 0.88110 (75.731 %)

Systematic bias ==> b <> 1: 0.00426 (0.366 %)

Random errors ==> r^2 <> 1: 0.27811 (23.903 %)

11 - Relatório *Model Evaluation System* (MES) - Consumo de energia metabolizável (CEM)

Regular Least-Squares Regression

REGRESSION ANALYSIS: $Y = a + b \times X$ (Neter et al., 1996)

Pearson's r is a parametric coefficient of correlation that measures the association of two continuous.

Goodness-of-fit is believable if $Q(\text{Chi}^2) > 0.1$

Estimate $a \pm \text{SD}$: 1.05729 ± 0.45360

Estimate $b \pm \text{SD}$: 0.83428 ± 0.12248

MSE: 0.39219 Root MSE: 0.62625

N: 30 r : 0.78972

R^2 : 0.62366 Adj. r^2 : 0.61021

Resistant r^2 : 0.76020 Adj. Resistant r^2 : 0.74244

Chi^2 : 10.98120 $Q(\text{Chi}^2)$: 1.00000

PARAMETER PROBABILITIES (Neter et al., 1996)

$H_0: r = 0$ T-value (P-value): 6.81175 (0.00001)

$H_0: a = 0$ T-value (P-value): 2.33089 (0.02719)

$H_0: b = 0$ T-value (P-value): 6.81175 (0.00001)

$H_0: b = 1$ T-value (P-value): -1.35312 (0.18684)

$H_0: a = 0 \ \& \ b = 1$ F-value (P-value): 8.51788 (0.00129) (Dent & Blackie, 1979)

$H_0: a = 0 \ \& \ b = 1$ F-value (P-value): 9.12630 (0.00089) (Mayer et al., 1994)

DISTRIBUTION ANALYSES (Shapiro & Wilk, 1965)

SW is the Shapiro-Wilk's W-value (0 to 1) that measures normal distribution in which small values lead to the rejection of the null hypothesis of normality.

SW's W-value for normality for X (P-value < W): 0.97090 (0.56408)

SW's W-value for normality for Y (P-value < W): 0.96750 (0.47331)

Empirical Distribution Function for Normality

Predicted values (X):

Goodness-of-Fit Analyses (Davis & Stephens, 1989)

Kolmogorov-Smirnov's D statistic: 0.12777

Kuiper's V statistic: 0.21348

Cramér-von Mises's W2 statistic: 0.07124 (P = 0.2695)

Watson's U2 statistic: 0.07123 (P = 0.2354)

Anderson-Darling's A2 statistic: 0.41870 (P = 0.3276)

Shapiro-Wilk's W statistic: 0.97090 (P = 0.5641)

These calculations were not adjusted for Normal distribution.

Observed values (Y):

Goodness-of-Fit Analyses (Davis & Stephens, 1989)

Kolmogorov-Smirnov's D statistic: 0.10123

Kuiper's V statistic: 0.20200

Cramér-von Mises's W2 statistic: 0.06079 (P = 0.3694)

Watson's U2 statistic: 0.06058 (P = 0.3327)

Anderson-Darling's A2 statistic: 0.37220 (P = 0.4206)

Shapiro-Wilk's W statistic: 0.96750 (P = 0.4733)

These calculations were not adjusted for Normal distribution.

MOMENT ANALYSES (Neter et al., 1996)

X Abs Mean: 0.78800 Y Abs Mean: 0.83049

X Min: 1.63000 Y Min: 1.85000

X Max: 5.48000 Y Max: 5.76000

X Mean: 3.58400 Y Mean: 4.04733

X Median: 3.69500 Y Median: 4.01500

X Variance: 0.90156 Y Variance: 1.00616
X Std. Dev.: 0.94950 Y Std. Dev.:1.00307
X Skewness: 0.00958 Y Skewness: -0.00813
X Kurtosis: 2.01238 Y Kurtosis: 2.07992
X - Y Mean: -0.46333 X - Y Var: 0.40342
Covariance: 0.72707

DIVERSE MEASURE ANALYSES

MEF is modeling efficiency; closer to one better it is. CD is the coefficient of model determination; closer to one better it is.

Mean Bias (Y - X) (MB): 0.46333. Model underprediction (Cochran & Cox, 1954).

Mean Bias, % of X (Predicted): 12.92783

Mean Bias, % of Y (Observed): 11.44787

H0: VarY = VarX, F-value : 1.11602 (P = 0.38478)

H0: MB = 0, T-value (same var.): 1.83737 (P = 0.07129)

H0: MB = 0, T-value (diff. var.): 1.83737 (P = 0.07128)

H0: MB = 0, T-value (paired w/cov.): 3.99552 (P = 0.00040)

H0: MB = 0, T-value (paired diff.): 3.99552 (P = 0.00040)

Mean Absolute Error |Y - X| (MAE): 0.63000

MAE, % of X (Predicted): 17.57813

MAE, % of Y (Observed): 15.56580 MA%E, |Y - X|/Y: 15.15876

MEF: 0.37832 (Loague & Green, 1991; Zacharias et al., 1996)

CD: 0.89545 (Loague & Green, 1991; Zacharias et al., 1996)

Maximum error = Max |Y - X|: 1.54000

CONCORDANCE CORRELATION COEFFICIENT (Lin, 1989; Deyo et al., 1991; Nickerson, 1997; Liao, 2003)

Lin (1998)

Scale shift (v): 1.05642

Location shift (u): 0.47477. Model underprediction.

Bias correction (Cb): 0.89750

rc \pm SE rc: 0.70877 \pm 0.08447

Z-value (P-Value): 8.39108 (0.00001)

Lower - Upper 95% CI: [0.54322, 0.87432]

Inverse hyperbolic tangent transformation to improve normal approximation.

Transformed rc \pm SE rc: 0.88471 \pm 0.16973

Transformed Z-value (P-Value): 5.21232 (0.00001)

Transformed Lower - Upper 95% CI: [0.55204, 1.21739]

Un-transformed Lower - Upper 95% CI: [0.50205, 0.83888]

Intraclass Correlation Coefficient (ICC)

rc: 0.71329

Liao (2003)

Ar (\sim Cb): 0.91266

Gr \pm SE Gr (\sim rc): 0.72074 \pm 0.07899

Z-value (P-Value): 9.12425 (0.00001)

Lower - Upper 95% CI: [0.56592, 0.87556]

Inverse hyperbolic tangent transformation to improve normal approximation.

Transformed Gr \pm SE Gr: 0.90919 \pm 0.16438

Transformed Z-value (P-Value): 5.53086 (0.00001)

Transformed Lower - Upper 95% CI: [0.58700, 1.23137]

Un-transformed Lower - Upper 95% CI: [0.52773, 0.84298]

RANK ANALYSIS - NONPARAMETRICS (Agresti, 1996, 2002)

Spearman's r is a nonparametric coefficient of correlation that measures the rank of the data values. D is the sum squared difference of ranks. Kendall's

Tau is a nonparametric coefficient of correlation that measures the association based on the number of concordances and discordances in paired observations. KS is the Kolmogorov-Smirnov test that measures if X and Y have the same distribution.

Spearman's r: 0.79011 H0: $r = 0$, T-value (P-value): 6.82080 (0.00001)

D: 942.5 H0: $D = 0$, Z-value (P-value): -4.25489 (0.00002)

Tau: 0.59793 H0: $\text{Tau} = 0$, Z-value (P-value): 4.64047 (0.00001)

KS: 0.26667 H0: $dX = dY$, N-value (P-value): 15.00000 (0.20033)

Mann-Whitney: 116.50000 H0: $WD = 0$, Z-value (1-sided P-value): 1.72265 (0.04248)

MEAN SQUARE ERROR OF PREDICTION (Bibby & Toutenburg, 1977)

Mean Square Error of Prediction: 0.60465

Variance of MSEP: 0.51605

Standard deviation of MSEP: 0.71837

Coefficient of variation of MSEP, %: 118.80664

Square root of MSEP (RMSEP): 0.77759

RMSEP, % of mean X: 21.69628

RMSEP, % of mean Y: 19.21252

MSEP Decomposition I:

Mean bias ==> Mean X <> Mean Y: 0.21468 (35.504 %)

Unequal variances ==> S_x <> S_y : 0.00277 (0.459 %)

Incomplete (co) variation ==> r <> 1: 0.38720 (64.037 %)

MSEP Decomposition II:

Mean bias ==> Mean X <> Mean Y: 0.21468 (35.504 %)

Systematic bias ==> b <> 1: 0.02394 (3.959 %)

Random errors ==> r^2 <> 1: 0.36604 (60.537 %)

12 - Intervalos de confiança preditos (95% IC) para consumo de matéria seca, matéria orgânica e nutrientes em cada plano nutricional.

Variável	IC 95% predito para cada plano nutricional			
	L = 1	L = 1,63 (1)	L = 2,31 (2)	L = 2,97 (3)
CMS ^a	37,9±7,7	63,5±6	68,8±6	87,6±6
CPB ^a	5,6±0,9	6,8±0,7	8±0,7	10±0,7
CEE ^a	1,4±0,2	1,5±0,1	1,6±0,1	1,7±0,1
C _{cinzas} ^a	1,8±0,4	3,6±0,3	3,8±0,3	4,9±0,3
C _{FDN} ^b	4,2±1,3	11,3±1	10,6±1	12,3±1
CCNF ^a	17,8±3,4	23,7±2,7	28,8±2,7	39,6±2,7
C _{MO} ^a	36±7,3	60±5,7	65±5,7	82,8±5,7

^a Consumo de matéria seca (CMS), proteína bruta (CPB), extrato etéreo (CEE), cinzas (C_{cinzas}), carboidratos não-fibrosos (CCNF), matéria orgânica (C_{MO}) expressos como g/(d X kg^{3/4}).

^b Consumo de fibra insolúvel em detergente neutro (C_{FDN}) expresso como g/(d X kg).

L=1 (valores obtidos de Alves, 2017)

(1): Grupo 1 de produção de leite, (2): grupo 2 de produção de leite, (3): grupo 3 de produção de leite.

13 - Intervalos de confiança preditos (95% IC) para energia, matéria seca, matéria orgânica e nutrientes digestíveis em cada plano nutricional.

Variável	IC 95% predito para cada plano nutricional			
	L = 1	L = 1,63 (1)	L = 2,31(2)	L = 2,97 (3)
D _{MS} ^a	29,8±5,3	42,3±4,1	47,3±4,2	61,3±4,2
D _{MO} ^a	28,7±5,1	40,9±4	45,7±4	58,8±4,1
D _{PB} ^a	4,5±0,6	4,3±0,5	5,2±0,5	6,8±0,5
D _{EE} ^a	1,3±0,2	1,2±0,1	1,2±0,1	1,2±0,1
D _{FDN} ^b	2,4±0,8	6,6±0,6	6,4±0,6	7,1±0,6
D _{CNF} ^a	16,3±2,8	19,8±2,1	24±2,1	33,8±2,2
ED ^a	0,6±0,1	0,8±0,1	0,9±0,1	1,1±0,1

^a Digestibilidade da matéria seca (D_{MS}), matéria orgânica (D_{MO}), proteína bruta (D_{PB}), extrato etéreo (D_{EE}), carboidratos não-fibrosos (D_{CNF}) e energia digestível (ED), expressos como g/(d X kg^{3/4}) ou MJ/(d X kg^{3/4}).

^b Digestibilidade da fibra insolúvel em detergente neutro (D_{FDN}) expresso como g/(d X kg).

L=1 : valores obtidos de Alves, 2017.

(1): Grupo 1 de produção de leite, (2): grupo 2 de produção de leite, (3): grupo 3 de produção de leite.

14 - Intervalos de confiança preditos (95% IC) do plano nutricional corrigido, metabolizabilidade corrigida, consumo de energia metabolizável, produção de leite e eficiências de utilização de energia metabolizável em cada plano nutricional.

Variável	IC 95% predito para cada plano nutricional			
	L = 1	L = 1,63 (1)	L = 2,31 (2)	L = 2,97(3)
L_c^a	1,15±0,28	1,61±0,22	1,80±0,22	2,50±0,22
q'_m^a	0,733±0,034	0,642±0,026	0,706±0,029	0,654±0,026
EM ^c	0,511±0,083	0,726±0,060	0,807±0,060	1,013±0,060
PL _o ^b	-	1,11±0,13	1,78±0,40	2,63±0,81
K _l ^a	-	0,61±0,09	0,71±0,09	0,60±0,09
k _{m+l} ^a	-	0,68±0,04	0,73±0,04	0,66±0,04

^a Plano nutricional corrigido (L_c), metabolizabilidade corrigida (q'_m), e eficiência líquida (k_l) e eficiência bruta de utilização da energia metabolizável (k_{m+l}) são variáveis adimensionais.

^b Produção de leite obtida (PL_o) expressa como kg/d.

^c Consumo de energia metabolizável (EM) expressed as MJ/(d X kg^{3/4}).

L=1 : valores obtidos de Alves, 2017.

(1): Grupo 1 de produção de leite, (2): grupo 2 de produção de leite, (3): grupo 3 de produção de leite.

15 - Metodologia para marcação de fibra para ruminantes, com utilização de itérbio (Yb), lantânio (La) e cobalto-EDTA (Co-EDTA)

1. Preparação do Cobalto-EDTA

O cobalto EDTA é utilizado para marcação da fibra contida na fração líquida de alimento presente no rúmen.

Método: Úden et al. (1980)

1.1 Preparação dos reagentes necessários

Inicialmente, deve-se proceder ao preparo do reagente acetato de cobalto e de solução de etanol, nas concentrações de 95 e 50%, necessários para as demais etapas do processo. OBS: Utilize luvas de procedimento sempre que trabalhar com reagentes laboratoriais.

Reagentes e utensílios:

- balança de precisão;
- sulfato de cobalto;
- água destilada;
- ácido acético glacial;
- béquer 2000 mL;
- bastão de vidro;
- papel de filtro;
- suporte para funil;
- funil de vidro;
- pilão de louça;
- peneira;
- luvas de procedimento;

- etanol;
- proveta de 2000 mL;
- EDTA-Na;
- hidróxido de Sódio (NaOH);
- peróxido de hidrogênio (H₂O₂).

Preparo

- Pesar 125 g de sulfato de cobalto e transferir para um béquer com capacidade para 2000 mL,
- Acrescentar 1000 mL de água destilada, realizando a diluição do solvente,
- Adicional 1000 mL de ácido acético glacial, mexendo constantemente com auxílio do bastão de vidro até a formação de sedimentos. Cessar agitação e aguardar sedimentação completa,
- Em seguida, realizar a filtração em papel de filtro, que pode ser feita fracionando a filtração em pequenas porções para cada papel de filtro. Após filtração completa de todo o material, levar os filtrados (papel de filtro + resíduo) para a estufa de ventilação forçada (60 – 65 °C) durante 12 horas.
- Após seco, o resíduo deverá ser moído em pilão de louça e peneirado, tornando-se um pó fino, o acetato de cobalto. Esse procedimento gera em torno de 70 g de acetato de cobalto, sendo necessário repetir esse procedimento, quantas vezes forem necessárias, para obtenção da quantidade a ser usada na etapa seguinte.

Etanol 95%

- Adicionar 20 mL de água destilada em uma proveta de 2000 mL. Em seguida, complete seu volume com etanol comercial puro (96%). Reserve.

Etanol 80%

- Adicione 400 mL de água destilada em uma proveta de 2000 mL. Em seguida, complete seu volume com etanol comercial puro (96%). Reserve.

1.2 Preparação do cobalto-EDTA

Inicialmente, é necessário pesar em balança de precisão:

- 141,5 g de acetato de cobalto (feito inicialmente);
- 234,3 g de EDTA-Na;
- 24,6 g de NaOH.

- Esses reagentes devem ser diluídos em 1.231 mL de água destilada, com leve calor (30 °C), mexendo com bastão de vidro até completa diluição.
- Deixar esfriar em temperatura ambiente
- Em seguida, adicionar 123 mL de H₂O₂ (30%) e mexer com bastão de vidro. Acondicionar a mistura em vidro com tampa (com capacidade aproximada para quatro litros), em temperatura ambiente por 12 horas.
- Adicionar 1.846 mL de etanol (95%), mexer com bastão de vidro e acondicionar fechado em geladeira durante 12 horas.
- Ocorrerá formação de sedimento arenoso denso no fundo do recipiente, o que dificulta o uso de agitador magnético nesse procedimento.

- Filtrar a solução em papel filtro com auxílio de funil de vidro. Lavar o resíduo do papel filtro três vezes com solução de etanol (80%). Após a terceira lavagem, levar o papel filtro contendo o filtrado para estufa de ventilação forçada (60 – 65 °C) durante 24 horas.
- Retirar o resíduo do papel, triturar com pilão de louça, peneirar e acondicionar em frasco fechado, em local seco.

Administração aos animais

A dose recomendada para caprinos é de 1-5 gramas de cobalto-EDTA diluídos em 40 mL de água destilada, fornecido via oral com o auxílio de uma seringa de uso hospitalar. A diluição deve ser realizada apenas no momento da administração.

2- Procedimento para marcação de fibra com metais trivalentes (itérbio e lantânio)

Na nutrição de ruminantes, o procedimento de marcação da fibra alimentar com metais trivalentes tem o objetivo de determinar a cinética da fibra no trato gastrintestinal do animal.

A metodologia foi descrita por Ellis & Beever (1984), com modificações de Lira et al. (2000).

Procedimento

O procedimento de marcação da fibra é composto por dois processos. O primeiro consiste na obtenção da fibra, seguido da marcação propriamente dita, com o uso de metais trivalentes, conforme descrito a seguir.

2.1- Extração da fibra com uso de detergente neutro (Ellis & Beever, 1984)

Reagentes e utensílios

Para o detergente:

- lauril sulfato de sódio (30 g/L);
- fosfato de sódio dibásico (14,2 g/L);
- água destilada;
- peagâmetro – aferir o pH da solução detergente (6,95-7,05).

Adicional:

- fogão (necessário para fervura do material);
- peneiras;
- recipiente para fervura (panela grande);
- acetona (um litro)
- estufa de ventilação forçada;
- amostra do alimento seco (ASA, 55 °C/72 horas).

Preparo

- Para cada 100 g de material a ser marcado, é necessário que seja usado um litro de detergente. Portanto, a quantidade de detergente deverá ser calculada de acordo com a quantidade de material a ser marcado (fibra do alimento).
- Respeitando a proporção de detergente/amostra, colocar a amostra juntamente com a respectiva quantidade de solução detergente em um recipiente que possa ser levado ao fogo, como uma panela de uso exclusivo no laboratório.

- Assim que começar a fervura, o recipiente deve ser tampado e colocado sobre a tampa outro recipiente contendo água fria. Esse procedimento fará com que haja refluxo do detergente, sem que o mesmo evapore durante a fervura.
- Deixar em fervura durante uma hora. Periodicamente, há a necessidade de mexer o conteúdo em fervura.
- Após a fervura, o material deverá ser lavado com água destilada quente (fervendo), até que todo o detergente seja extraído (até que a água de lavagem saia limpa e sem vestígios de espuma). O ideal é que esse procedimento seja feito aos poucos, com auxílio de uma peneira, onde pequenas porções de material podem ser lavadas até completa remoção do detergente. Esse procedimento é demorado e não deve ser realizado com pressa, pois o sucesso da marcação irá depender dessa extração inicial.
- Após a correta lavagem, o resíduo deve ser lavado com acetona e levado para estufa de ventilação forçada (55 °C) durante 72 horas para secagem completa. O rendimento de resíduo ao final da extração irá depender do material trabalhado.

2.2- Marcação da fibra

- Os sais de terras raras são vendidos no mercado, porém, seu custo é elevado. Uma alternativa é a aquisição dos óxidos de terras raras (são mais baratos) e a produção, em laboratório, de soluções de acetatos ou cloretos de terras raras com simples diluição em ácido (ácido acético ou clorídrico) desses óxidos.

O problema é que apenas alguns óxidos de terras raras (ex. óxido de lantânio) dissolvem em ácido acético com facilidade (sob aquecimento e agitação constante). O itérbio, uma das terras raras mais utilizadas como indicador, é insolúvel, na forma de óxido, em ácido acético e dificilmente será dissolvido completamente em ácido clorídrico (HCl) 6 N. Nesse caso, o que

pode ser feito é adição paulatina de HCl concentrado até a completa diluição óxido de Itérbio (Yb_2O_3).

- Ex.: Yb_2O_3 (informações contidas no rótulo do produto para realização dos cálculos)

- Massa molar $\text{Yb}_2\text{O}_3 = 394,078 \text{ g/mol}$

- Massa molar Yb = $346,080 \text{ g/mol}$

- Proporção de Yb no $\text{Yb}_2\text{O}_3 = 0,8782$

- Pureza do $\text{Yb}_2\text{O}_3 = 0,999$

- Proporção de Yb no Yb_2O_3 descontando impureza = **0,8791**

- - Teor de Yb que deve ser dosado: **10 a 20 g/kg (fazer os cálculos da quantidade de fibra a ser marcada para saber a quantidade de marcador necessário)**

- Para marcação de um kg de fibra:

Para um kg fibra são necessários 10 g de Yb $\therefore 10/0,8791 = 11,3753 \text{ g}$ de Yb_2O_3 .

Fazer os mesmos cálculos para o óxido de lantânio adquirido.

Material e reagentes:

- balança de precisão;
- fibra após extração com detergente neutro;
- ácido clorídrico;

- óxido de Itérbio/óxido de lantânio;
- ácido acético glacial;
- água destilada;
- agitador magnético;
- capela;
- luvas de procedimento;
- peagâmetro;
- recipientes de vidro com boca larga.

Procedimento - diluição dos marcadores de fibra

- Pesar a quantidade necessária de Yb_2O_3 em um recipiente que possa sofrer aquecimento, com volume aproximado de 250 mL.
- Fazer uma solução de HCl (6N), utilizando HCl puro e água destilada (usar capela).
- Adicionar a solução de HCl (6N) vagarosamente (10 em 10 mL) à quantidade pesada anteriormente do marcador sob aquecimento e agitação até completa diluição (ficar transparente, perdendo aspecto leitoso).
- No caso do Yb_2O_3 , quando chegar em 50 mL de adição de HCl (6N) e não houver diluição completa, adicionar paulatinamente (10 em 10 mL) HCl puro até completa diluição (realizar esse procedimento na capela, pois os gases são extremamente irritantes). Reservar a solução.

Procedimento- marcação da fibra alimentar

- Preparar uma solução de ácido acético 0,01M (lembrando que para uma solução de ácido acético 1,0 M são necessários 57,82 mL diluídos em um litro de água destilada). Proporção de solução a ser preparada: 10 mL de solução/g de amostra.
- Aferir o pH, que deve estar em 3,4 (ajustar o pH com solução de NaOH 40% - 400 g NaOH/L – ou ácido acético concentrado)
- Adicionar a solução que contém a diluição do marcador (realizada inicialmente), fazendo novamente o ajuste do pH para 3,4.
- Colocar a fibra em um recipiente de vidro de boca larga e, em seguida a solução de ácido acético com o marcador. Nesse momento, para facilitar operação, pode-se realizar o fracionamento da fibra a ser marcada em vários vidros menores (pesar para saber quantidade certa em cada vidro).
- Tampar a boca do vidro com papel alumínio e deixar em repouso por 48 horas em temperatura ambiente.
- Após essa imersão, é necessário lavar a fibra em água destilada para tirar todo o Yb não complexado com a fibra.
- Fazer uma solução de ácido acético a 0,1 M (não há necessidade de verificar o pH).
- Imersão da fibra marcada com Yb nessa solução por 2 a 6 horas. A proporção continua sendo de 10 mL da solução ácida/g de ASA de fibra.
- Lavar a fibra em água corrente para tirar todo o Yb não complexado com a fibra.
- Levar para estufa a 55 °C por 72 h (até secar).

- Para ovinos e caprinos (fistulados), a oferta única e individual de 30 a 50 g da fibra marcada com Yb é o suficiente. Para bovinos e bubalinos (fistulados) 100 g é o suficiente (dose administrada diretamente no rúmen). Para animais intactos, 10 - 15 g (via cápsula ou por sonda) são suficientes.
- Em seguida poderá ser realizada a coleta de fezes (diretamente do reto) nos tempos 0, 3, 6, 9, 12, 15, 18, 21, 24, 28, 32, 36, 40, 44, 48, 54, 60, 66, 72, 84, 96, 108, 120 e 144 horas, e congeladas a -20 °C para posterior análise.

2.3- Análise laboratorial dos marcadores

Para a análise da fibra marcada contida nas fezes, é necessário que a amostra fecal seja seca em estufa de ventilação forçada e moída em moinho de facas (1 mm).

A leitura deve ser realizada por espectrometria de emissão óptica por plasma acoplado indutivamente. Portanto, há a necessidade de localização de um laboratório que realize esse tipo de leitura.

Material e reagentes:

- balança de precisão;
- ácido nítrico;
- peróxido de hidrogênio;
- tubos de borossilicato;
- placa digestora com capela;
- suporte para filtração;
- funil de vidro;
- papel de filtro de filtragem rápida;

- água destilada;
- tubos tipo Falcon para armazenamento.

Procedimento

- Pesar 0,3 gramas de amostra (fezes) seca e moída em tubos de borossilicato. Lembre-se de colocar 4 tubos como branco (sem amostra, somente com os reagentes), que serão necessários para zerar o aparelho no momento da leitura.
- Em seguida, adicionar 3 mL de ácido nítrico. As amostras permanecem em descanso por 12 horas, realizando uma pré- digestão.
- Iniciar a digestão por aquecimento em placa digestora, iniciando o aquecimento em 40 °C, aumentando vagarosamente até a temperatura de 120 °C.
- Ao atingir 120 °C, as amostras devem ser retiradas da placa de aquecimento para resfriamento e adicionados 1,5 mL de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) em cada tubo.
- Voltar novamente os tubos ao aquecimento até que a temperatura da placa digestora alcance 190 - 210 °C. Nesse momento é necessária toda a atenção, pois os tubos podem secar, ocasionando explosão. Caso esteja secando, adicionar um mL de ácido nítrico puro (repita a dose se for necessário até completa digestão). Tenha bastante atenção, pois nessa temperatura costumam secar muito rápido.
- O processo de digestão produzirá fumaça vermelha densa, que aos poucos irá se tornar amarelada, branca até cessar completamente. Nesse momento, é necessário deixar o líquido secar até que reste apenas uma gota no fundo do tubo.

- Retirar os tubos da placa digestora, deixar esfriar um pouco e, em seguida, adicionar, aproximadamente, 8 mL de solução de ácido nítrico 0,5%.
- Realizar o processo de filtração em papel de filtro, utilizando a solução de ácido nítrico 0,5% como veículo até que seja completado um balão de 25 mL. Essa transferência deve ser feita com cautela para que todo material contido no tubo seja transferido.
- Armazenar o filtrado em tubos tipo Falcon, acondicionados em geladeira até o momento da leitura. O papel utilizado na filtração pode ser descartado.
- O procedimento para leitura deve ser informado pelo laboratório escolhido. Inclusive, esse procedimento inicial de digestão (abertura das amostras) também é realizado pelos laboratórios, porém, o custo da digestão e leitura é extremamente caro. Por isso, recomenda-se que a abertura das amostras seja feita pelo próprio estudante. Outro ponto importante é se informar sobre a curva padrão de leitura desses marcadores. Caso o laboratório não tenha, será necessário que sejam feitas curvas padrões para leitura, orientada pelo próprio laboratório. Há soluções de uso comercial para esse fim, que podem ser adquiridas.
- No momento da leitura, caso as amostras ultrapassem a curva padrão, é possível realizar nova diluição da amostra inicial acrescentando ácido nítrico 0,5%.