

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

KARLA RODRIGUES DE LIMA

**AVALIAÇÃO DE MODELOS PARA PREDIÇÃO DE DESEMPENHO DE VACAS
LEITEIRAS A PASTO**

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

2017

KARLA RODRIGUES DE LIMA

**AVALIAÇÃO DE MODELOS PARA PREDIÇÃO DE DESEMPENHO DE VACAS
LEITEIRAS A PASTO**

Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Ciência Animal, na área de concentração Nutrição e Produção Animal.
Nutrição e Produção
Animal

ORIENTADOR: PROF. ALBERTO MAGNO FERNANDES

CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ

2017

FICHA CATALOGRÁFICA

Preparada pela Biblioteca do CCH / UENF

018/2017

L732 Lima, Karla Rodrigues de.

Avaliação de modelos para predição de desempenho de vacas leiteiras a pasto / Karla Rodrigues de Lima – Campos dos Goytacazes, RJ, 2017.
73 f. : il.

Área de concentração: Nutrição e Produção Animal.

Orientador: Alberto Magno Fernandes.

Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias, 2017.

Bibliografia: f. 48 – 51.

1. Sistemas NRC e CNCPS – Avaliação Empírica. 2. Nutrição do Gado Leiteiro. 2. Forragem Tropical. 3. Poder Preditivo. I. Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro. II. Título.

CDD – 636.2085

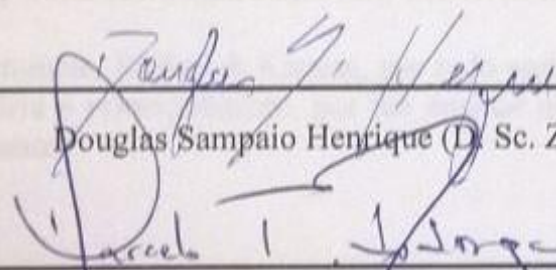
KARLA RODRIGUES DE LIMA

**AVALIAÇÃO DE MODELOS PARA PREDIÇÃO DE DESEMPENHO DE
VACAS LEITEIRAS A PASTO**

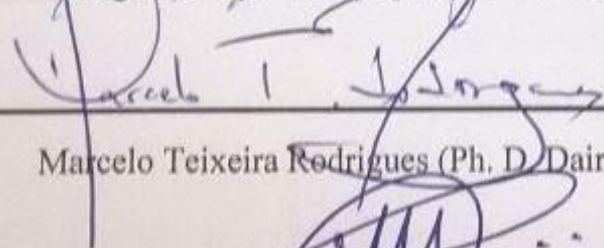
Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutora em Ciência Animal, na área de concentração Nutrição e Produção Animal.

Aprovada em 31 de Março de 2017

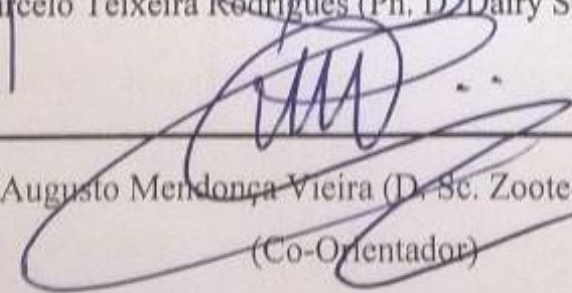
BANCA EXAMINADORA



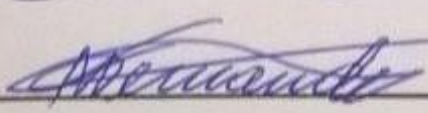
Douglas Sampaio Henrique (D. Sc. Zootecnia – UFTPR)



Marcelo Teixeira Rodrigues (Ph. D. Dairy Science - UFV)



Ricardo Augusto Mendonça Vieira (D. Sc. Zootecnia – LZO-UENF)
(Co-Orientador)



Alberto Magno Fernandes (D. Sc. Zootecnia – LZO-UENF)

ORIENTADOR

Dedico

A minha mãe Creuza Lagasse, por ser meu exemplo de força e coragem. A você, todo o meu agradecimento pelo amor e incentivo incondicional. Alcançamos juntas mais um objetivo. Amo Você!

Ofereço

Flavio Henrique, meu amor, por ser meu companheiro, incentivador e porto seguro nessa louca caminhada de pós-graduação e na vida.

A duas pessoas muito queridas que Deus colocou em meu caminho, Rita de Cássia e Dario. Agradeço imensamente todo carinho, apoio e cuidado que dedicaram a mim todos esses anos e por me acolherem como filha nessa família linda.

A Antoinette Rizkallah Kanaan, por todo carinho, confiança e incentivo durante toda minha trajetória e principalmente, por me ensinar que o conhecimento é o maior bem que podemos possuir.

AGRADECIMENTOS

A Deus, meu refúgio e fortaleza, por conceder-me força e saúde para superar todas as dificuldades e concretizar mais um objetivo;

Ao Professor Alberto Magno Fernandes pela oportunidade de orientação, confiança, amizade, dedicação e ensinamentos durante a condução deste trabalho;

Ao meu co-orientador Ricardo Augusto Mendonça Vieira pelos ensinamentos, confiança, amizade e principalmente, por ter aguentado minhas crises e loucuras rsrs;

A Jovana por ser uma mãe para todos nós pós-graduandos, nos socorrendo sempre e ajudando em tudo que precisamos;

Aos coordenadores da pós-graduação, Olney e Ricardo, a secretária Jovana e ao meu amigo Raphael dos Santos por me ajudarem no momento mais difícil dessa caminhada. Sei que sem vocês não teria conseguido. Muito Obrigada!

Agradeço aos grandes amigos que fiz durante essa estadia na UENF, por fazerem parte da minha vida e por me apoiarem na conquista de mais esse objetivo, Laila, Elizabeth, Renata, Natália, Verônica, Geórgia, Raphael, Jhone, Marcelo, Tadeu e Davi;

A minha querida amiga Andreia Knod por todo carinho e apoio e também pelo chimarrão e conversas que acalmavam meu coração. Deus foi muito generoso por colocar em meu caminho uma pessoa tão especial. Adoro você!

As famílias Vidal e Azevedo pelo carinho e orações;

Aos amigos de Itaguaí pelo apoio, confiança e força que me fizeram seguir sempre em frente;

Aos meus familiares por todo carinho, apoio e confiança;

A CAPES, pela concessão da bolsa de estudos durante o curso de Doutorado.

E a todos que não foram citados, mas que direta ou indiretamente contribuíram na realização deste trabalho.

A todos vocês minha gratidão!

RESUMO

LIMA, Karla Rodrigues, D. Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, maio de 2011. Avaliação de modelos para predição de desempenho de vacas leiteiras a pasto. Orientador: Alberto Magno Fernandes.

Objetivo deste estudo foi avaliar empiricamente o NRC, CNCPS e uma versão modificada do CNCPS para gado leiteiro manejado em pastagens tropicais durante a época das chuvas. Foi realizada uma meta-análise de oito estudos, e como inputs foram considerados o consumo de matéria seca, produção de leite, condição de escore corporal (BCS), gordura e proteína do leite, e dados ambientais. Os modelos foram comparados segundo as avaliações empíricas quadrado médio do erro de predição, viés médio, fator de eficiência do modelo, coeficiente de determinação do modelo, fator de correção de viés, coeficiente de correlação de concordância. Os modelos avaliados apresentaram um baixo poder preditivo para as condições de vacas leiteiras a pasto. O NRC subestima o aporte de energia líquida disponível para a lactação e o CNCPS e o CNCPS modificado superestimam a quantidade de energia líquida disponível para a lactação. Os três modelos superestimam a proteína metabolizável disponível para a lactação. O consumo de matéria seca pelos três modelos é superestimada quando as comparamos com as estimativas de consumo de vacas leiteiras a pasto. Considerando que as estimativas de consumo de vacas leiteiras a pasto não explicam a produção leiteira observada, é razoável esperar que tais estimativas não funcionem bem como inputs para os modelos nutricionais avaliados.

Palavras-chave: Avaliação empírica, forragens tropicais, poder preditivo

ABSTRACT

LIMA, Karla Rodrigues, D. Sc., Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, maio de 2011. Evaluation of models for performance prediction of dairy cows to pasture. Orientador: Prof. Dr. Alberto Magno Fernandes.

Objective of this study was to empirically evaluate the NRC, CNCPS and a modified version of the CNCPS for dairy cattle handled in tropical pastures during the rainy season. A meta-analysis of eight studies was performed, and inputs were considered dry matter intake, milk production, body scoring condition, fat and protein milk, and environmental data. The models were compared according to the empirical evaluations the mean square error of prediction, the magnitude of the possible mean bias, the model efficiency factor, the coefficient of determination, and accuracy of each model. The evaluated models presented a low predictive power for the conditions of dairy cows to pasture. The NRC underestimates the net energy input available for lactation and the CNCPS and the modified CNCPS overestimate the amount of net energy available for lactation. All three models overestimate the metabolizable protein available for lactation. The dry matter intake of the three models is overestimated when compared to estimates of dairy cow consumption. Considering that estimates of dairy cow intake do not explain dairy production observed, it is reasonable to expect that such estimates will not work as well as inputs for the nutritional models evaluated.

Key words: empirical evaluation, predictive power, tropical forages

Sumário

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	OBJETIVO	11
3.	REVISÃO DE LITERATURA	12
3.1	GRAMÍNEAS TROPICAIS.....	12
3.1.1	Gênero <i>Urochloa</i>	12
3.1.2	Gênero <i>Cynodon</i>	13
3.3	CONSUMO DE MATÉRIA SECA	13
3.3	VALOR NUTRITIVO.....	15
3.4	DEGRADAÇÃO RUMINAL	18
3.4.1	Dinâmica de <i>pool</i> único do conteúdo fibroso no rúmen	19
3.4.2	Dinâmica de <i>pool</i> heterogêneo do conteúdo fibroso no rúmen.....	19
3.5	SISTEMA CNCPS (CORNELL NET CARBOHYDRATE AND PROTEIN SYSTEM)	22
3.6	NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC).....	25
4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	28
5	CAPÍTULO I	33
1.	Introduction	36
2.	Material and methods	37
2.1	Studys	41
2.2.	Model adequacy.....	42
3.	Results	42
4.	Discussion	44
5.	Conclusions	48
6.	References	48

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de produção de leite no Brasil têm como base, principalmente, a pastagem como fonte principal de nutriente para o gado. Contudo, grande parte das revisões sobre sistemas de leite a pasto faz referência a baixas produções, inferindo uma baixa eficiência do pasto em suprir as exigências energéticas dos animais de alto potencial genético. Van Soest (1994) atribuiu esse baixo desempenho à qualidade das forragens oferecidas, uma vez que a ingestão está abaixo da necessária para suprir as demandas energéticas dos animais. Esse fato ocorre em forrageiras de baixa qualidade nutricional, que apresentam elevados teores de fibra que podem limitar a ingestão de matéria seca pelo fator físico de enchimento ruminal.

Somente a partir do conhecimento quantitativo do consumo de matéria seca, poderão ser balanceadas dietas que resultem em maior eficiência dos sistemas de produção, por minimizar os custos com a alimentação e as perdas em nutrientes (RUSSELL et al., 1992; SNIFFEN et al., 1992). Sendo assim, a rentabilidade, competitividade e a sustentabilidade da atividade depende da redução nos custos com alimentação por kg de leite produzidos (FOX et al., 2003).

Especificamente para a nutrição de ruminantes, a modelagem vem sendo usada para compreender e prever em diferentes condições genéticas, alimentares e de meio sobre consumo de alimentos, exigências nutricionais, valor nutricional de alimentos, desempenho animal e excreção de nutrientes. Desta forma, representa uma poderosa ferramenta de entendimento da produção animal o que possibilita melhorar o desempenho produtivo, reduzir os custos de produção e minimizar a excreção de nutrientes (SOUZA, 2013). No entanto, a aplicação de tais modelos em condições tropicais necessita de ajustes para sua otimização, considerando que foram desenvolvidos em sistemas de produção de regiões temperadas.

Diante do exposto, e frente à relativa escassez de dados na literatura nacional referentes a modelos que indiquem com acurácia o desempenho de vacas leiteiras pastando forrageiras tropicais, se faz necessária à busca e o aprimoramento de metodologias que se adequem a esta demanda. Assim, o objetivo com o presente trabalho foi avaliar o poder preditivo dos modelos matemáticos NRC (2001), CNCPS V. 6.5 e um modelo alternativo para vacas leiteiras manejadas em pastagens tropicais.

2. OBJETIVO

O objetivo deste estudo foi avaliar empiricamente os modelos nutricionais NRC, CNCPS e uma versão modificada do CNCPS com base em atributos cinéticos de estratificação de fibras, digestão e passagem no rúmen-retículo.

3. REVISÃO DE LITERATURA

3.1 GRAMÍNEAS TROPICAIS

Em sistemas de produção de exploração pecuária com base na utilização de pastagens, a planta forrageira assume papel importante, uma vez que tanto a rentabilidade quanto a sustentabilidade do sistema dependem da escolha correta da forrageira (FONSECA et al., 2010).

De maneira geral, as forrageiras de clima tropical tem valor nutricional inferior àquelas de clima temperado. Entretanto, essa afirmativa não pode ser considerada exclusivamente para escolha de uma forrageira durante a implantação de pastagens, uma vez que forrageiras tropicais apresentam maior produção de biomassa em comparação àquelas de clima temperado. É importante dizer também que essa potencialidade depende de questões relacionadas ao manejo adequado. Assim, entende-se que o potencial de produtividade da maioria das gramíneas de clima tropical é elevado, e a utilização de forrageiras do grupo fotossintético C₄ é um dos fatores responsáveis pela elevada produção de forragem (CORREA et al., 2001; CÂNDIDO, 2003). Isso possibilita a obtenção de altas taxas de lotação e consequentemente elevada produção por área (JANK et al., 2013).

As principais gramíneas utilizadas em pastagens no Brasil são, em geral, as cultivares do gênero *Pennisetum*, *Urochloa* e *Cynodon*.

3.1.1 Gênero *Urochloa*

As gramíneas do gênero *Urochloa* constituem os capins mais cultivados no Brasil devido a sua boa adaptação a diversas condições de solo e clima. Dentro as espécies utilizadas destacam-se a *Urochloa decumbens*, *Urochloa brizantha*, *Urochloa ruziziensis*, *Urochloa maxima* cv. Mombaça, *Urochloa* cv. Tânzania, *Urochloa* cv. Massai.

O gênero *Urochloa brizantha* destaca-se na pecuária nacional pela alta produtividade e elevado número de cultivares disponíveis no mercado de sementes (JANK et al., 2013). Entre os cultivares de *Urochloa brizantha*, o Marandu é o mais utilizado na formação de pastagens

e o mais estudo. Esse cultivar apresenta elevada produção de massa seca e boa distribuição da produção ao longo do ano, com exigência em fertilidade do solo de média a alta. É uma gramínea de rápido estabelecimento e resistente a cigarrinhas das pastagens.

O gênero *Urochloa maxima* é conhecido mundialmente por sua alta produtividade, qualidade e adaptação a diferentes condições edafoclimáticas. A espécie é a forrageira tropical mais produtiva propagada por sementes que apresenta elevada produção de folhas longas e boa aceitabilidade pelos animais (JANK et al., 2010).

Urochloa maxima cv. Tanzânia foi inicialmente selecionada pela Embrapa Gado de Corte, e lançado comercialmente em 1991, e tem mostrado grande eficiência na produção de massa seca total e foliar, maior ganho de peso diário por animal e maior taxa de lotação das pastagens. Assim, tem recebido grande aceitação pelos agropecuaristas brasileiros na implantação de novas pastagens (JANK, 1994).

3.1.2 Gênero *Cynodon*

O gênero *Cynodon* representa um pequeno grupo de gramíneas, apresentando oito espécies de acordo com sua distribuição geográfica. Os capins do gênero *Cynodon* dividem-se em dois grupos as “gramas” ou “bermudas” e as “estrelas”. As plantas do primeiro grupo apresentam rizomas e estolões, *Cynodon dactylon*, e as do segundo apresentam apenas estolão, *Cynodon plectostachyus*, *Cynodon aethiopicus* e *Cynodon nlemfuensis* (PEDREIRA, 2010). São forrageiras com grande potencial de produção e exigentes em fertilidade.

Há duas variedades botânicas de grama estrela. A variedade botânica *robustus* é caracterizada por plantas robustas, com racemos longos e delgados. Já a variedade *nlemfuensis* tende a ser mais delgada, menos robustas, com racemos mais curtos e geralmente, mais adaptados a temperaturas mais altas e ao estresse hídrico. Além das diferenças morfológicas, as duas variedades também diferem geneticamente entre si (PEDREIRA, 2010).

3.3 CONSUMO DE MATÉRIA SECA

O consumo de matéria seca (CMS) é de fundamental importância na nutrição, pois estabelece a quantidade de nutrientes disponíveis para a saúde e produção do animal, sendo

fortemente influenciado pela interação dieta, animal e ambiente de alimentação (NRC, 2001; MERTENS, 1987).

A ingestão de MS é controlada por fatores físicos, fisiológicos e psicogênicos. O mecanismo físico refere-se à distensão física do rúmen-retículo; o fisiológico é regulado pelo balanço energético ou nutricional resultante do estágio fisiológico (manutenção, crescimento, gestação e lactação), o tamanho, a forma do corpo e da saúde do animal; e a regulação psicogênica, como os fatores ambientais como temperatura ambiente e fotoperíodo e os fatores que envolvem o comportamento animal em resposta a fatores inibidores ou estimuladores no alimento ou no manejo alimentar que não são relacionados ao valor energético do alimento, nem ao efeito de enchimento.

Além da composição química, a disponibilidade de forragem e as características do relvado, como, altura da forragem, relação folha: colmo e densidade volumétrica da forragem podem influenciar o consumo. Em pastagens, deve-se trabalhar numa situação de oferta de forragem não limitante, para avaliação consistente do consumo (MERTENS, 1994).

Estimar o consumo voluntário de matéria seca (MS) em animais a pasto consiste em um dos desafios à nutrição animal, uma vez que os métodos empregados apresentam limitações e podem induzir os pesquisadores a resultados não confiáveis. A estimativa do consumo voluntário de pasto, a partir da relação entre a produção fecal e a digestibilidade da dieta, é feita com auxílio de marcadores.

Entre os indicadores existentes, o óxido crômico (Cr_2O_3) é o mais comumente empregado na determinação da excreção fecal (VAN SOEST, 1994), apresentando as vantagens de ser barato, facilmente incorporado à dieta e analisado com relativa facilidade (Titgemeyer, 1997). O procedimento tradicional de utilização consiste na aplicação de duas doses diárias, de mesmo peso, em intervalos de tempo definidos, com coletas concomitantes sendo necessário um período de adaptação de 5 a 7 dias, anterior ao início das coletas fecais, a fim de se atingir o ponto de equilíbrio (Steady state). Contudo, ao se trabalhar com animais em pastejo, para o fornecimento do indicador os animais precisam ser contidos, o que acaba estressando o animal, podendo afetar seu comportamento em pastejo, gerando resultados com muita variação.

O óxido crômico apresenta incompleta mistura com a digesta ruminal, passagem mais rápida pelo rúmen que o material fibroso e possibilidade de acúmulo em alguma parte do trato digestivo (VAN SOEST, 1994; OWENS e HANSON, 1992). Como citado anteriormente, a metodologia de uso do óxido crômico (infusão contínua), pressupõe o alcance do equilíbrio dinâmico (*steady state*). Entretanto, esse alcance acaba se tornando extremamente teórico,

uma vez que grandes variações são observadas no modelo diário de excreção fecal do óxido crômico (OWENS e HANSON, 1992). Em condições de pastejo, devido à variação no consumo, o "*steady state*" pode nunca ser atingido, levando à ampliação do erro na determinação da excreção fecal (OWENS e HANSON, 1992). Recentemente, o Cr tem sido empregado de forma ligada à parede celular, complexo denominado Cr mordante (VAN SOEST, 1994), cuja técnica de utilização, conhecida como "pulse dose", amplamente empregada em estudos de cinética de trânsito, consiste na aplicação de uma única dose e subsequente amostragem fecal a tempos definidos, com vistas a caracterizar a curva de excreção do indicador nas fezes, posteriormente ajustada por meio de modelos matemáticos não-lineares.

3.3 VALOR NUTRITIVO

O valor nutritivo é convencionalmente classificado pelos nutricionistas de ruminantes em três componentes: digestibilidade, consumo alimentar e eficiência energética. Dentre esses componentes, a digestibilidade é a mais avaliada que a eficiência e o consumo, mesmo que a ingestão e a eficiência sejam mais responsáveis pelas respostas dos animais (VAN SOEST, 1994).

Estudos sistêmicos dos métodos de avaliação de alimentos e predição de exigências nutricionais de animais ruminantes permitiram a compilação e síntese de diversas teorias e apresentadas segundo modelo descrito por Vieira et al. (2005) (Figura 1). Neste modelo é ilustrada, basicamente, a compartimentalização do processo digestório em ruminantes. Lipídeos, minerais e perdas gasosas decorrentes do processo fermentativo foram omitidos para simplificar o modelo.

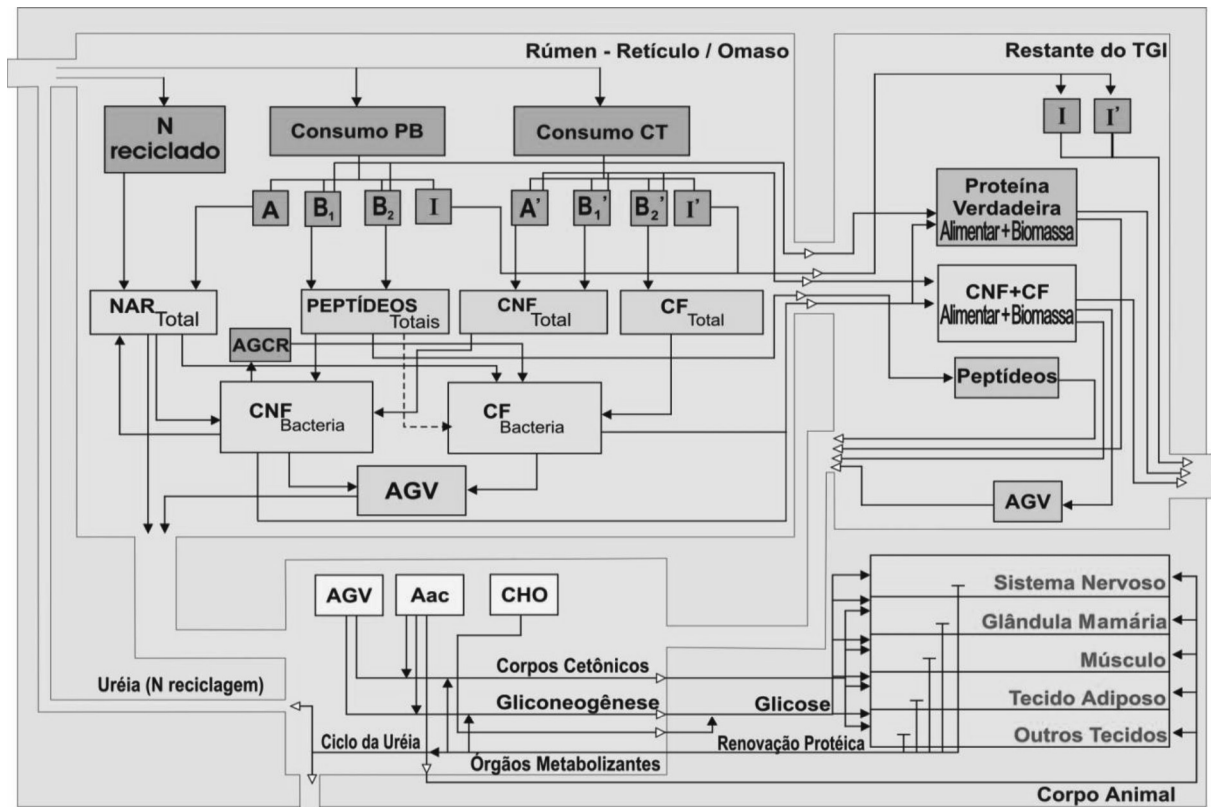


Figura 1. Transformações dos compostos nitrogenados e carboidratos presentes na matéria alimentar consumida por animais ruminantes. (VIEIRA et al., 2005)

A matéria seca (MS) dos alimentos é constituída por compostos nitrogenados, carboidratos, lipídeos (EE), matéria mineral (MM) e água. Proteínas e carboidratos podem ser subdivididos de acordo com sua composição química, características físicas e degradação ruminal (SNIFFEN et al., 1992). A proteína bruta (PB) tem seu fracionamento diferenciado nos diferentes sistemas, podendo ser três (AFRC, 1993; 1997, NRC, 2001), quatro (LUO et al., 2004c) ou até cinco frações (SNIFFEN et al., 1992; NRC, 1996). Para os carboidratos totais (CT) os sistemas adotam diferentes conceitos, baseando-se na quantidade de matéria orgânica digerível, na matéria orgânica fermentescível ou na quantidade de nutrientes digeríveis totais (AFRC, 1993; 1993; 1997; NRC, 1996; 2001), podendo também ser subdivididos em frações (SNIFFEN et al., 1992).

No modelo de Vieira et al. (2005) Os compostos nitrogenados consumidos constituem o compartimento consumo de proteína bruta (consumo PB). As frações que o compõem são: A que representa o montante em nitrogênio não proteico; B1 que reúne os compostos nitrogenados proteicos solúveis em solução detergente neutra; B2 que compreende os compostos nitrogenados insolúveis em solução detergente neutra, mas potencialmente degradáveis; e C que reúne a fração de compostos nitrogenados insolúveis em solução

detergente neutra, porém, indegradáveis. Para o consumo total de carboidratos (consumo CT), as frações que o compõem são: A' onde são agrupados carboidratos de baixo peso molecular (açúcares simples) e solúveis em solução detergente neutra; B1' em que são reunidos compostos de natureza polimérica solúveis em solução detergente neutra, tais como polissacarídeos não amiláceos e amido (VAN SOEST et al., 1991; MERTENS, 1996b); B2' composta por carboidratos fibrosos (insolúveis em solução detergente neutra) potencialmente degradáveis; e C' basicamente, carboidratos fibrosos indegradáveis por formarem emaranhado com a lignina (RODRIGUES e VIEIRA, 2005).

Parte substancial do N consumido é absorvida na forma de amônia pelo epitélio rumino-reticular e omasal. A amônia é posteriormente convertida à ureia no fígado que volta ao rúmen via secreção salivar ou por difusão ($N_{\text{reciclado}}$) através das paredes do órgão. A conservação de nitrogênio é inversamente proporcional ao seu teor dietético, isto é, os mecanismos de conservação são mais eficientes em face de restrições nos teores dietéticos de proteína bruta (RUSSELL et al., 1992; SILANIKOVE, 2000).

A figura 1 demonstra que o processo de degradação dos substratos energéticos disponíveis aos microrganismos anaeróbicos do rúmen resulta na liberação de suas formas mais simples (totais de carboidratos fibrosos CF_{total} , e não fibrosos, CNF_{total} , degradados no rúmen), para que sejam assimilados e fermentados por grupos de microrganismo que utilizam carboidratos fibrosos ($CF_{\text{bactéria}}$) e não fibrosos ($CNF_{\text{bactéria}}$). Simultaneamente, as frações proteicas verdadeiras potencialmente degradáveis (B1 e B2) são desdobradas por enzimas proteolíticas, o que leva à formação de um montante de peptídeos que podem ser assimilados pelas $CNF_{\text{bactéria}}$. Uma vez assimilados, os mesmos podem ser incorporados à proteína microbiana ou desdobrados aos seus monômeros, desaminados e até fermentados. O N amoniacal oriundo da desaminação contribui, juntamente com o N de reciclagem endógena, para a formação do montante de N amoniacal ruminal (NAR_{total}). Além disso, o processo de desaminação também produz ácido graxo de cadeia ramificada (AGCR). Ambos os grupos microbianos se servem do NAR_{total} , no entanto, as $CF_{\text{bactéria}}$ utilizam prioritariamente esta forma de nitrogênio para o seu crescimento e exigem suprimento externo de AGCR, provido pelas $CNF_{\text{bactéria}}$. O resultado deste processo fermentativo que ocorre no interior do rúmen, retículo e omaso é o crescimento microbiano, isto é, produção de biomassa microbiana e de ácidos graxos voláteis (AGV). A biomassa microbiana e a matéria alimentar que escapa ao processo de degradação ruminal formam os totais de proteína verdadeira e de carboidratos fibrosos e não fibrosos que sofrerão as ações digestoras do restante do trato gastrointestinal. A

elas somam as frações indegradáveis (ou indigeríveis) de compostos nitrogenados e de carboidratos fibrosos.

A proteína verdadeira e os carboidratos, tanto de origem alimentar como microbiana, são em parte digeridos pelas enzimas do hospedeiro no intestino delgado e por enzimas produzidas por microrganismos anaeróbicos existentes no intestino grosso. De tal processo resultam os montantes em carboidratos simples, ácidos aminados e AVG para serem assimilados pelo epitélio intestinal, bem como excretados nas fezes na forma de resíduos de carboidratos e proteínas não digeridos e indigeríveis de origem alimentar, microbiana e endógena.

Os nutrientes absorvidos em nível de intestino (ácidos aminados, peptídeos, carboidratos e AVG) somam-se aos AGV absorvidos pelo epitélio rumino-reticular e omasal. Todas essas substâncias são utilizadas em parte pelas paredes do trato digestório e transportadas aos órgãos metabolizantes (fígado e rins) para transformação em corpos cetônicos (cetogênese), em glicose (gliconeogênese), em proteínas de exportação (proteínas globulares), ureia e em demais compostos nitrogenados destinados à excreção por via urinária. O tecido nervoso, mamário, muscular, adiposo e outros tecidos do ruminante, têm a mesma demanda por glicose que os tecidos de animais não ruminantes. A biossíntese em nível tecidual e a renovação proteica demandam as substâncias exportadas pelos órgãos metabolizantes. A renovação e a mobilização de reservas corporais proteicas promovem a disponibilização e a drenagem de ácidos aminados e metabólitos nitrogenados que retornam aos órgãos metabolizantes para transformação em produtos de excreção e reciclagem endógena.

3.4 DEGRADAÇÃO RUMINAL

A degradação dos alimentos no rúmen é determinada por meio de ensaios de digestibilidade. Essas técnicas de avaliação dos parâmetros cinéticos de degradação compreendem estudos sobre desaparecimento da massa da amostra incubada ou a quantificação dos produtos finais da atividade microbiana durante o período de incubação com os microrganismo ruminais (PELL et al., 1994).

3.4.1 Dinâmica de *pool* único do conteúdo fibroso no rúmen

A digestão do alimento fibroso por ruminantes é dependente da permanência do alimento no órgão de fermentação rúmen-retículo (RR), dessa forma, são afetados pela passagem e consumo de alimento pelo animal. Deste modo, o modelo que representa o pool único de fibra considera que a absorção de nutriente a partir da degradação se dá pela competição entre a digestão da fração potencialmente degradável e seu escape, conforme ilustrado na figura 3.

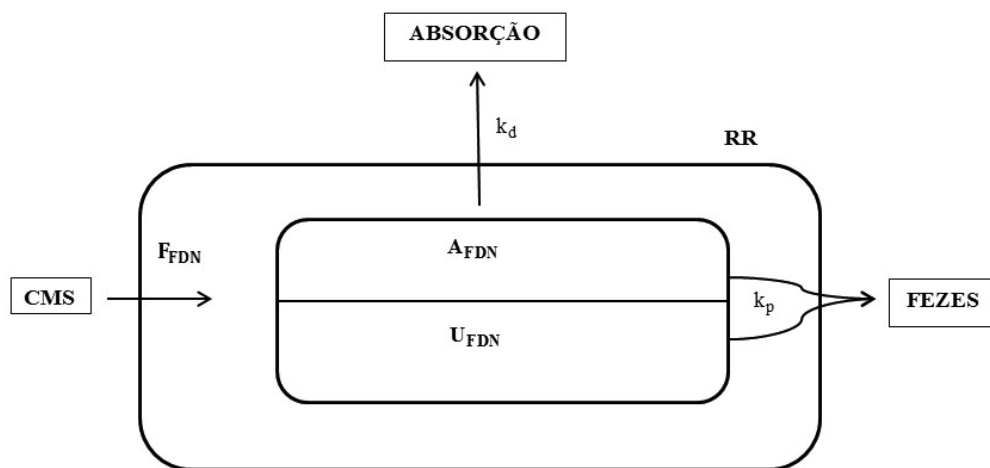


Figura 3. Compartimentalização da massa ruminal de fibra e as forças que atuam sobre a saída das partículas do referido compartimento (Adaptado de ALLEN e MERTENS, 1988). Em que: F_{FDN} , consumo, A_{FDN} , frações digestíveis, U_{FDN} , frações indigestíveis, k_d taxas específicas de degradação e k_p taxas específicas de escape.

3.4.2 Dinâmica de *pool* heterogêneo do conteúdo fibroso no rúmen

Nestes modelos foram propostas alternativas para a descrição matemática dos perfis de degradação, tomando como base os fenômenos de retardo em dois compartimentos (ELLIS et al., 1994; DHANOA et al., 1985). Os referidos modelos compartimentados têm a não linearidade como proposta na interpretação dos perfis de degradação, assim, possibilitam melhor interpretação de fenômenos biológicos inerentes ao processo de digestão e de cinética

de trânsito de carboidratos fibrosos no rúmen (VIEIRA et al., 2008ab; VIEIRA e FERNANDES, 2006).

Para Hungate (1966), o fluxo das partículas pelo TGI também depende da natureza dos alimentos, não apenas dos fenômenos de retenção, pois a retenção pode ocorrer em qualquer seguimento anatômico do TGI, desde que haja retardo e misturas entre partículas recém-ingeridas com partículas já existentes (conturbação do fluxo das partículas). Contudo, o autor achou suficiente a concepção de existência de dois compartimentos no rúmen, dividindo os compartimentos com base em conhecimentos empíricos em que o primeiro contempla partículas maiores que ainda serão ruminadas, pois ainda não tem o tamanho suficiente para passar através do orifício retículo-omasal e um segundo compartimento constituído por pequenas partículas dispersas na fase líquida, aptas para o escape do rúmen.

O emaranhado de partículas recém-ingeridas, juntamente com partículas já existentes, com tamanho grosseiro e baixa densidade, formam o sobrenadante aqui denominado *raft*. À medida que as partículas de alimento potencialmente digerível (A_{FDN}) sofrem ações enzimáticas da digestão e mecânicas de mastigação vão reduzindo de tamanho e migrando para o segundo compartimento. O segundo compartimento, conhecido como *pool* de partículas escapáveis, se forma junto à fase líquida na porção ventral do RR. Com relação às partículas indigestíveis (U_{FDN}) à medida que reduzem de tamanho, por processos mecânicos, seguem o mesmo caminho migrando do *raft* para o *pool* de partículas escapáveis. As resultantes desses processos de transferência foram agregadas em uma taxa de transferência simples (λ), e assume-se que este processo apresenta uma distribuição gama tempo dependente. Os processos que envolvem a cinética de digestão (Figura 4) são descritos pela taxa de digestão (k_d) exponencialmente distribuída pelo tempo (VIEIRA et al., 2008b). No segundo compartimento a fração A_{FDN} passa a ter duas possibilidades o escape imediato ou seguem sendo digeridas até que ocorra o escape. Em relação às partículas U_{FDN} , no segundo compartimento, se mantem inalteradas aguardando o momento de escape. A essa taxa de escape final de ambas as partículas do segundo compartimento é representada por k_p (VIEIRA et al., 2008b).

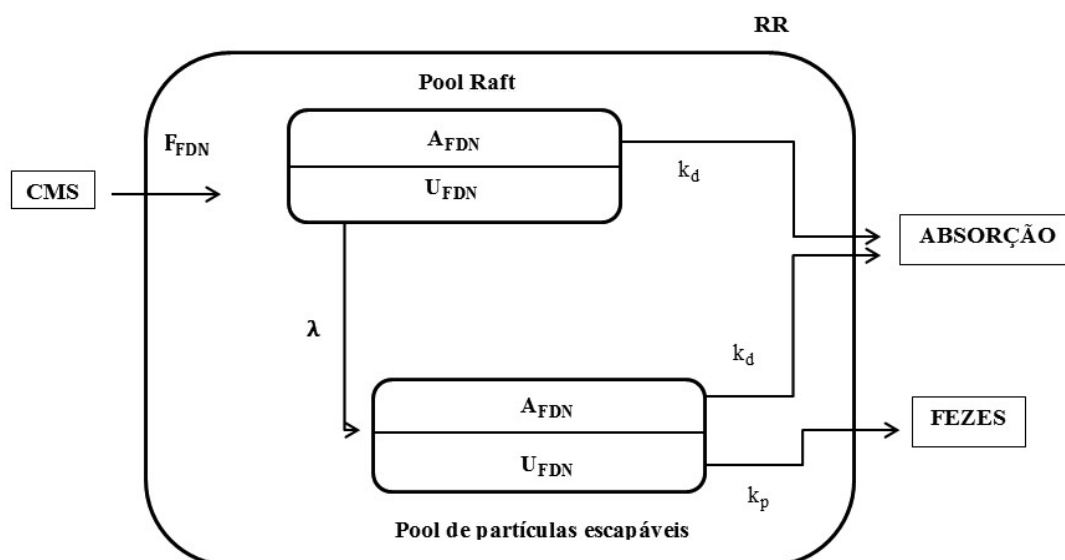


Figura 4. Representação esquemática dos processos que envolvem o *pool* heterogêneo no rúmen-retículo (Adaptado de VIEIRA et al., 2008b).

Para Mertens (1977), o início da degradação das partículas fibrosas sofre um atraso inicial (fenômenos *lag*) associado ao tempo de colonização das partículas. A digestão da fibra no rúmen ocorre pela ação das enzimas bacterianas, e para tal, é necessário à formação do biofilme de bactéria ao redor da partícula fibrosa. Sua formação é principalmente dependente de restrições físicas tais como a superfície de contato disponível e acessibilidade de micróbios ao interior das células (RUSSELL, 2002; WILSON, 1993). Outros obstáculos ao fenômeno de colonização da partícula fibrosa no rúmen são a necessidade de solubilização de possíveis substâncias (naturais) inibidora de bactérias e a dependência da hidratação das partículas para possibilitar a ação das enzimas. As bactérias necessitam sintetizar enzimas complexas extracelulares para a degradação dos carboidratos estruturais dos vegetais (ELLIS et al., 2005; MERTENS, 1977, 2005). Uma vez estabelecido o início da degradação, ou seja, superado o *lag time*, a digestão do material fibroso pode ser explicada por uma função exponencial de primeira ordem.

O processo de transferência de massa entre compartimentos no rúmen pode ser descrito por meio de um sistema com base na cinética de trânsito onde são acomodadas às etapas iniciais de preparação (λ_a) das partículas recém-ingeridas (\tilde{A}_{FDN} , e U_{FDN}) para degradação, a retenção seletiva (λ_r) da passagem da fibra do *raft* para o compartimento de partículas elegíveis ao escape e o escape final (k_p) das partículas aptas a passar pelo orifício retículo-omasal (Figura. 5).

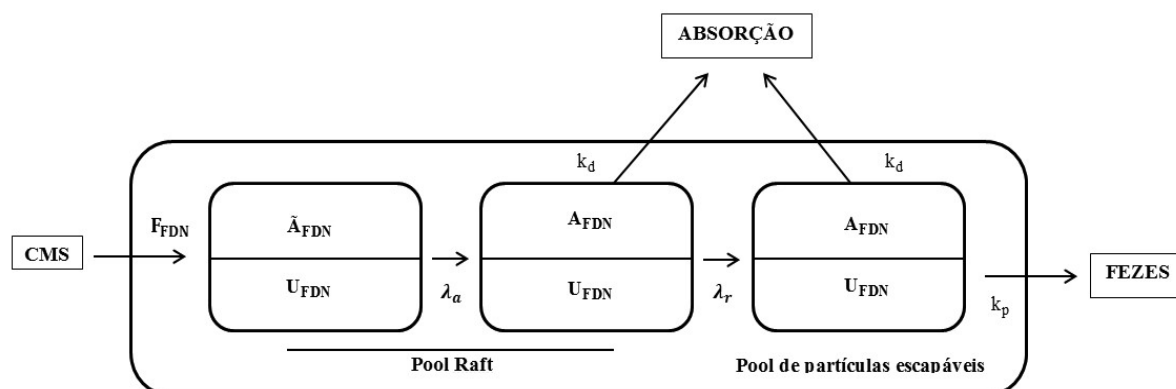


Figura 5. Modelo da dinâmica ruminal das frações alimentares incluindo o “lag” de preparo e colonização do substrato (Adaptado de ALLEN e MERTENS, 1988).

Com o esquema exposto na Figura 5 é possível idealizar a competição entre os processos químicos (enzimas microbianas) e físicos (mastigação, ruminação e motilidade) decorrente da digestão no rúmen. Esses processos atuam disponibilizando o substrato para a digestão, reduzindo o tamanho das partículas e liberando os nutrientes para a microbiota ou para o hospedeiro. Dessa forma, essas forças envolvidas no processo atuam para digerir, misturar e propelar a digesta pelo restante do TGI. No entanto, existem ações que proporcionam resistência, tais como a menor densidade das partículas recém-ingeridas e o aumento de sua capacidade de flutuação pela produção de gases retidos no interior dos fragmentos, fatos estes, que agregam tempo de retardo à passagem das partículas (Hungate, 1966).

3.5 SISTEMA CNCPS (CORNELL NET CARBOHYDRATE AND PROTEIN SYSTEM)

O CNCPS é um modelo matemático desenvolvido com o propósito de avaliar e prever o desempenho do rebanho a partir dos princípios básicos de função ruminal, crescimento microbiano, fisiologia animal, digestão e fluxo dos alimentos. Este sistema considera ainda, características de manejo, condições climáticas e caracterização dos alimentos e dos animais (FOX et al., 2004).

O sistema foi publicado pela primeira vez em 1992 e 1993 com quatro artigos (FOX et al., 1992; RUSSELL et al., 1992; SNIFFEN et al., 1992; O’CONNOR et al., 1993), mas o modelo tem sido continuamente aperfeiçoado e melhorado ao longo dos últimos anos (FOX et

al., 2004; TYLUTKI et al., 2008), com o objetivo de melhorar a acurácia do modelo em prever o desempenho animal.

O CNCPS é dividido em submodelos com níveis diferentes de agregação que qualificam o conteúdo de carboidratos e de proteínas disponíveis na dieta, os processos de fermentação e de síntese de proteína microbiana e as necessidades energéticas e proteicas dos bovinos (SNIFFEN et al., 1992; RUSSELL et al., 1992; FOX et al., 1992). O sistema apresenta também um submodelo para prever o fornecimento e o atendimento das exigências em aminoácidos essenciais para bovinos (O'CONNOR et al., 1993).

Alguns modelos são mecanicistas, enquanto outros são empíricos (FOX et al., 2004). Estes submodelos podem ser divididos pelas seguintes funções biológicas: manutenção, crescimento, gestação, lactação, reservas, consumo e composição dos alimentos, fermentação ruminal, digestão intestinal, metabolismo e excreção de nutrientes (FOX et al., 1992).

Para melhor avaliação, o CNCPS sugere uma divisão dos microrganismos do ecossistema ruminal em dois grupos de acordo com o substrato energético e a forma do nitrogênio utilizada. Os microrganismos que fermentam os carboidratos estruturais (celulose e hemicelulose) e os que fermentam os carboidratos não estruturais (açúcares solúveis e amido) e a pectina. Segundo Russel et al. (1992) os microrganismos que fermentam os carboidratos estruturais (CE) crescem lentamente e utilizam amônia como principal fonte de nitrogênio (N) para síntese de proteína microbiana. Já os microrganismos que fermentam os carboidratos não estruturais (CNE) crescem mais rapidamente e utilizam amônia, peptídeos e aminoácidos como fonte de N.

Segundo Sniffen et al. (1992) o CNCPS considera que os alimentos são compostos por proteína, carboidrato, gordura, cinzas e água. De acordo com o sistema, a proteína e os carboidratos utilizados na alimentação dos ruminantes podem ser fracionadas em relação à sua composição química, características físicas, degradação ruminal e digestibilidade pós ruminal, permitindo assim, prever valores de energia líquida e de proteína metabolizável para cada alimento, com base nas interações entre essas variáveis.

O pool de carboidratos foi inicialmente subdividido em quatro frações A, B1, B2 e C. A fração A (açúcares solúveis e ácidos orgânicos) prontamente degradados e apresentam alta taxa de digestão; B1 (amido e pectina) com taxa de degradação intermediária; fração B2 (fibra degradável ou disponível) com lenta taxa de degradação; fração C corresponde à fração não degradável da fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) (SNIFFEN et al., 1992). No CNCPS v6, foram incluídas modificações no fracionamento de carboidratos. Os carboidratos foram subdivididos em oito frações: A1 (ácidos acético, propiônico e butírico), A2 (ácido

lático), A3 (ácidos orgânicos), A4 (açúcares), B1 (amido), B2 (fibras solúveis), B3 (FDN disponível) e C (FDN indisponível) (TYLUTKI et al., 2008).

A proteína bruta, segundo o sistema CNCPS é subdividida em cinco frações: Fração A, constituída basicamente por compostos nitrogenados não proteicos (NNP), aminoácidos e peptídeos prontamente solubilizados no rúmen; fração B1, fração de proteínas solúveis e de rápida degradação ruminal; fração B2 e B3, frações de proteínas insolúveis com taxas de degradação intermediária e lenta no rúmen, respectivamente, a degradação da fração B está intimamente relacionada com a interação entre as taxas de degradação e passagem (LANZAS et al., 2007); e fração C, representada por proteínas insolúveis e não digeríveis no rúmen e nos intestinos, por estarem associadas à lignina, complexadas com taninos e produtos da reação de Maillard.

Com a estimativa dos parâmetros cinéticos dessas frações no trato gastrintestinal, é possível adequar o fornecimento de rações, visando à máxima eficiência de síntese de proteína microbiana. Permitindo também reduzir perdas energéticas e nitrogenadas decorrentes da fermentação ruminal

O submodelo relativo ao trato gastrintestinal permite testar quaisquer tipos de dietas balanceadas e desenvolver estratégias que possibilitem a melhor utilização dos alimentos; sendo composto por equações que, a partir de determinações com base em métodos químicos e biológicos, permitem estimar a dinâmica ruminal e pós-ruminal dos nutrientes dietéticos, o crescimento microbiano no rúmen e, conseqüentemente, o aporte de energia e proteína metabolizáveis para o hospedeiro (RUSSELL et al., 1992; SNIFFEN et al., 1992).

O CNCPS tem dois níveis de solução de prever fornecimento de energia e proteína. Nível 1 utilizado quando os alimentos não podem ser bem caracterizado ou o usuário não é experiente o suficiente para usar o modelo ruminal. Neste caso, o sistema usa equações empíricas para calcular PM. A P_{mic} é calculada considerando 130 g de proteína microbiana para cada quilograma de NDT ingerido. Sendo que este NDT é corrigido para consumo acima da manutenção, 64% de disponibilidade, e a FDN_{fe} (fibra em detergente neutro fisicamente efetiva) dietética e a PNDR é descontada para o nível de consumo acima da exigência de energia para manutenção (dPNDR) e 80% de disponibilidade. O CNCPS usa a fibra em detergente neutro (FDN) e tamanho de partícula para prever pH ruminal e seu impacto no crescimento microbiano.

$$PM = dNDT * CMS * 0,13 * fFDN_{fe} + dPNDR * PB * CMS * 0,8$$

$$fFDNfe = 1, se FDNfe \geq 20$$

$$fFDNfe = 1 - (20 - FDNfe) * 0,025, se fFDNfe \leq 20$$

Nível 2 é destinado a usuários que têm informação adequada na composição da alimentação e consumo de matéria seca (CMS) e uma compreensão de como usar o modelo ruminal. Neste caso, o sistema utiliza o fracionamento da proteína, taxas fracionárias de degradação ruminal e a taxa de passagem, P_{mic} usando o submodelo crescimento microbiano, e a digestibilidade intestinal para calcular P_{mic} (RUSSELL et al., 1992; TYLUTKI et al., 2008).

3.6 NATIONAL RESEARCH COUNCIL (NRC)

O NRC é um sistema de avaliação de alimentos e determinação das exigências nutricionais dos animais a partir de características dos animais e do ambiente. Desde 1944, o Conselho Nacional de Pesquisa dos EUA (National Research Council) publicou sete edições das “Exigências Nutricionais para Gado de Leite” (Nutrient Requirements of Dairy Cattle) (NRC, 2001). A última edição do sistema (sétima edição) é constituída de modelos baseados em equações matemáticas que possibilitam a melhor compreensão de fatores de manejo e ambiente, suas exigências nutricionais em diferentes fases da vida, estágios fisiológicos e níveis de produção.

De acordo com o NRC (1989), o sistema de energia líquida (EL) fornece valores de disponibilidade de energia muito mais precisos que os nutrientes digestíveis totais (NDT), mas este sistema ainda permanece porque os valores de EL são de difícil determinação e também porque há grande quantidade de informações disponíveis sobre NDT.

O NRC (2001) modificou o método para se estimar os valores de energia dos alimentos e apresenta novas equações para estimar as exigências de energia de gado leiteiro. Sendo assim, foi proposto um método para estimativa do NDT dos alimentos que diferiu substancialmente das versões anteriores. Neste método, os nutrientes digestíveis totais no alimento, com consumo de matéria seca (MS) em nível de manutenção (NDT_m) são calculados usando a porcentagem de energia produzida pelas frações químicas no alimento (FDN, CNF, lipídeos e proteína bruta) medida ou calculada por meio de análise de laboratório e de suas digestibilidades verdadeiras (valores conhecidos ou calculados através de equações). Os dados

de composição do alimento requeridos para uma descrição precisa do conteúdo de energia incluem: fibra em detergente neutro (FDN), lignina em detergente ácido (LIG), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) e proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN).

A estimação da energia digestível de manutenção (ED_m) dos alimentos sofreu alterações, uma vez que a utilizada na versão anterior, a energia bruta do NDT tinha um valor fixo (4,409 Mcal/kg), não considerando a variação existente entre os alimentos. Sendo assim, a versão atual obtém esse valor multiplicando as concentrações de nutrientes digestíveis estimados por seus calores de combustão. Contudo, como a ED_m se baseia na digestibilidade aparente e as equações para estimativas das frações digestivas referem-se à digestibilidade verdadeira, foi sugerida a subtração do valor 0,3 como correção para energia fecal metabólica.

O sistema acrescenta ainda que a digestibilidade dos alimentos pode ser reduzida em função do aumento no consumo, assim foi proposto um fator de desconto baseado no nível de CMS da dieta proposta, além do nível de manutenção. O fator de desconto deve ser aplicado na ED_m corrigindo-a para o efeito do consumo sobre a digestibilidade, obtendo-se a $ED_{produtiva}$. De acordo com o sistema, o declínio em digestibilidade depende do consumo de matéria seca acima da manutenção e da digestibilidade da dieta na manutenção. Contudo, valores de NDT_m abaixo de 60% este desconto pode ser negligenciado.

No modelo adotado pelo NRC (2001) a proteína dietética foi determinada utilizando o método *in situ* e subdivide-se em três frações (A, B e C). A fração A é a porcentagem da PB total que é composta de NNP (imediatamente degradada) e uma pequena quantidade de proteína verdadeira que rapidamente escapa da bolsa *in situ* por causa da alta solubilidade ou das partículas muito pequenas. A fração C é a porcentagem da PB que é completamente indegradável, esta fração geralmente é determinada como a PB alimentar presente no saco ao final do processo de degradação. Considera-se que toda fração A é degradada e que toda fração C passa para o intestino delgado. A fração B é composta pelo restante da PB e inclui as proteínas que são potencialmente degradáveis. A quantidade da fração B que é degradada depende da competição de duas taxas: a de digestão (k_d) da fração B e a de passagem (k_p) do alimento não digerido.

Após a determinação das frações A, B e C, da taxa de degradação da fração B (k_d) e das taxas de passagem (k_p), podemos calcular a PDR e PNDR dos alimentos com as seguintes fórmulas:

$$PDR = A + B \cdot kd / (kd + kp)$$

$$PNDR = B \cdot k_p / (k_d + k_p) + C$$

Além das três frações da PB do alimento e a taxa de digestão da fração (k_d), o uso da equação requer uma estimativa para taxa de passagem. Três equações foram desenvolvidas para se estimar a taxa de passagem de acordo com a categoria de alimentos: uma para forragens úmidas (1), uma para forragens secas (2) e uma para alimentos concentrados (3). Em todas as equações o consumo de matéria seca é o fator mais importante. Com o aumento do consumo de MS, aumenta a taxa de passagem de todos os alimentos e conseqüentemente menor o tempo de exposição da proteína ao ataque microbiano, aumentando assim a porção de proteína não degradável de um determinado alimento.

$$(1) k_p = 3,054 + 0,614 \cdot X_1$$

$$(2) k_p = 3,362 + 0,479 \cdot X_1 - 0,007 \cdot X_2 - 0,017 \cdot X_3$$

$$(3) k_p = 2,904 + 1,375 \cdot X_1 - 0,020 \cdot X_2$$

Em que:

k_p = Taxa de passagem (%/h);

X_1 = CMS (% PC);

X_2 = Concentrado (% de MS na dieta)

O atual modelo também considera a proteína endógena como fonte de N chegando ao duodeno. Dentre as fontes de proteína endógena atingindo o intestino delgado pode-se incluir a saliva, descamação de células (trato respiratório, boca, esôfago, rúmen, omaso e abomaso) e secreções enzimáticas no abomaso. A equação para predição do N endógeno é $N \text{ (g/d)} = 1,9 \times \text{CMS (kg/d)}$. O valor de 1,9 foi selecionado para uso neste modelo porque produz um desvio significativo mais próximo de zero para predizer o N não microbiano e não amoniacal.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFRC –**The nutrition of goats. Nutrition Abstracts and Reviews (Series B)**, v.67, n.11, 1997. p.765-830.

AFRC. **Energy and protein requirements of ruminants**. Cambridge, UK: CAB International, 1993.

ALLEN, M.S.; MERTENS, D.R. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. **Journal of Nutrition**, v.118, p.261-270, 1988.

CÂNDIDO, M.J.D. **Morfofisiologia e crescimento do dossel e desempenho animal em Panicum maximum cv. Mombaça sob período de lotação intermitente com três períodos de descanso**. Viçosa - MG: Universidade Federal de Viçosa, 2003. 134p. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, 2003.

DHANOVA, M. S.; SIDONS, R. C.; FRANCE, J.; GALE, D. L. A multicompartimental model to describe marker excretion patterns in ruminant faeces. **British Journal of Nutrition**, v.53, p.663-671, 1985.

ELLIS, W. C.; MATIS, J. H.; HILL, T. M.; MURPHY, M. R. **Methodology for estimating digestion and passage kinetics of forages**. In: FAHEY JÚNIOR, C.; COLLINS, M.; MERTENS, D. R.; MOSER, E L. E. Forage Quality, Evaluation, and Utilization G., Madison, WI: American Society of Agronomy, 1994, pp. 682-756.

ELLIS, W.C.; MAHLOOJI, M.; MATIS, J.H. Models for estimating parameters of neutral detergent fiber digestion by ruminal microorganisms. **Journal of Animal Science**, v.83, n.7, p.1591-1601, 2005.

FERRELL, C. L; JENKINS, T. G. Body composition and energy utilization by steers of diverse genotypes fed a high-concentrate diet during the finishing period: II. Angus, Boran, Brahman, Hereford, and Tuli Sires. **Journal of Animal Science**, v.76, p.647-657, 1998.

FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A. **Plantas Forrageiras**. Viçosa: Editora UFV, 2010. 537p.

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, n.12, 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**. 112. p. 29–78. 2004.

FOX, D.G.; TYLUTKI, T.P.; TEDESCHI, L.O.; VAN AMBURGH, M.E.; CHASE, L.E.; PELL, A.N.; OVERTON, T.R.; RUSSELL, J.B. The Net Carbohydrate and Protein System for evaluating herd nutrition and nutrient excretion: Model documentation. Mimeo No. 213. Animal Science Department, Cornell University, Ithaca, NY. 292p, 2003.

GARRETT, W.N. Factors influencing energetic efficiency of beef-production. **Journal of Animal Science**, 51, 1434-144, 1980.

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

JANK, L. Potencial do gênero *Panicum*. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE FORRAGEIRAS E PASTAGENS, 1994, Campinas. **Anais...** Colégio Brasileiro de Nutrição Animal, 1994. p.25-31.

JANK, L.; BRAZ, T.G.S.; MARTUSCELLO, J.A. **Gramíneas de clima tropical**. In: REIS, R.A.; BERNARDES, T.F.; SIQUEIRA, G.R. Forragicultura – Ciência, Tecnologia e Gestão dos Recursos Forrageiros. Joboticabal: Gráfica Multipress, 2013. 714p.

JANK, L.; MARTUSCELLO, J.A.; EUCLIDES, V.P.B.; VALLE, C.B.; RESENDE, R.M.S. ***Panicum maximum***. In: FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A. Plantas Forrageiras. Viçosa: Editora UFV, 2010. 537p.

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

LUO, J.; GOETSCH, A.L.; NS AHLAI, I.V.; SAHLU, T.; FERRELL, C.L.; OWENS, F.N.; GALYEAN, M.L.; MOORE, J.E.; JOHNSON, Z.B. “Metabolizable protein requirements for maintenance and gain of growing goats”. **Small Ruminant Research**, v.53, p.309-326, 2004.

MERTENS, D. R. Rate and extent of digestion. In: Dijkstra, J.; Forbes, J. M.; France, J. (Eds.), **Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism**, second ed. CAB International, Wallingford, 2005, p.13-47.

MERTENS, D.R. **Using fiber and carbohydrate analysis to formulate dairy rations.** In: USDA/USDFRC. INFORMATIONAL CONFERENCE WITH DAIRY AND FORAGE INDUSTRIES. Madison: United States Dairy Forage Research Center, 1996b, p.81-92.

MERTENS, D. R. Dietary fiber components: relationship to the rate and extent of ruminal digestion. **Federation Proceedings**, v. 36, p. 182-192, 1977.

MERTENS, D.R., 1987. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal Animal Science**, v.64, p.1548–1558.

MERTENS, D.R., 1994. **Regulation of forage intake**, In: FAHEY JR., G.C. (Ed.), Forage quality, evaluation and utilization, ASA, Inc., CSSA, Inc., Madison, pp. 450-493.

MERTENS, D.R. Methods in Modelling Feeding Behaviour and Intake in Herbivores. *Annales de Zootechnie* 45, 153-164, 1996.

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

NATIONAL RESEARCH COUNCIL, **Nutrient requirements of dairy cattle.** 7th rev. ed. *Natl. Acad. Sci.*, Washington, DC. 2001.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Effect of environment on nutrient requirements of domestic animal.** *Acad. Sci.*, Washington, DC. 1981.

NRC - National Research Council. **Nutrients Requirements of Beef Cattle.** Seventh Revised Ed., Washington: National Academy Press, 1996, 242p.

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

OWENS, F.N., HANSON, C.F. External and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. **Journal of Dairy Science**, 75, 2605-2617, 1992.

PEDREIRA, C.G.S. **Capins do gênero Cynodon.** In: FONSECA, D.M.; MARTUSCELLO, J.A. Plantas Forrageiras. Viçosa: Editora UFV, 2010. 537p.

PELL, A. N.; SCHOFIELD, P.; STONE, W. C. (1994). **Rates of digestion of feeds measured in vitro with computers**. Cornell Nutrition Conference. Proceedings. Cornell University, p.74-81, 1994.

RODRIGUES, M.T.; VIEIRA, R.A.M. Metodologias aplicadas ao fracionamento de alimentos. In: BERCHIELLI, T.T. In: BERCHIELLI, T.T., PIREZ, A.V., OLIVEIRA, S.G. (Eds.). Nutrição de ruminantes. Jaboticabal: FUNEP, 2006, p. 397–422.

RUSSELL, J. B. **Rumen microbiology and its role in ruminant** nutrition Ithaca, NY, 2002, 119p.

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. Ruminant fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3551-3561, 1992.

SILANIKOVE, N. The physiological basis of adaptation in goats to harsh environments. **Small Ruminant Research**, v.35, p.181-193, 2000.

SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J.; FOX, D.G.; RUSSELL, J.B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, n.12, p.3562-3577. 1992.

SOUZA, H.M. **Modelagem matemática e proposta de resolução do problema da dieta alimentar para gado bovino de corte**. 2006. Tese (Mestrado em engenharia de sistemas e computação) – Rio de Janeiro – RJ, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, 91p. 2006.

TYLUTKI, T.P.; FOX, D.G.; DURBAL, V.M. ; TEDESCHI, L.O. ; RUSSELL, J.B.; VAN AMBURGH, M.E.; OVERTON, T.R. ; CHASE L.E. ; PELL A.N.. Cornell Net Carbohydrate and Protein System: A model for precision feeding of dairy cattle. **Animal Feed Science and Technology** 143 174–202. 2008.

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

VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v. 74, n.10, p.3583-3597, 1991.

VIEIRA, R. A. M.; MALAFAIA, P. A. M.; SILVA, J. F. C. et al. Suplementação na criação de caprinos de corte em pastejo. In: ZOOTEC – VII Congresso Nacional de Zootecnia, 7, **Anais...** Campo Grande, v.1. 2005.

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: SBZ, 2006. p.258-290.

VILELA, D.; LIMA, J.A.; RESENDE, J.C.; VERNEQUE, R.S. Desempenho de vacas da raça Holandesa em pastagem de coastcross. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.555-561, 2006.

WILSON, J.R. Organization of forage plant tissues. In: JUNG, H.G.; BUXTON, D.R.; HATFIELD, R.D. et al. (Eds.) **Forage cell wall structure and digestibility**. Madison: American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., Soil Science Society of America, Inc., 1993, p.1-32.

5 CAPÍTULO I

O capítulo a seguir corresponde a um artigo integrante desta tese submetido como manuscrito a Revista Animal Feed Science and Technology e, como tal sua redação e edição foram realizadas segundo as normas deste periódico, normas estas que constam na rede mundial de computadores conforme o endereço a seguir:

<https://www.elsevier.com/journals/animal-feed-science-and-technology/0377-8401/guide-for-authors>

Cujo acesso se deu no dia 24 de Março de 2017.

**EVALUATION OF MODELS FOR PREDICTION OF PERFORMANCE OF DAIRY
COWS TO PASTURE**

**Karla Rodrigues de Lima¹, Alberto Magno Fernandes², Ricardo Augusto Mendonça
Vieira^{2#}**

¹Graduate Program in Animal Science, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro (UENF), Campos dos Goytacazes, RJ, Brazil.

²Laboratório de Zootecnia, UENF, Av. Alberto Lamego, 2000, Campos dos Goytacazes, RJ, CEP 28013-602, Brazil.

#Corresponding author: UENF/CCTA/LZO, Av. Alberto Lamego, 2000, Campos dos Goytacazes, RJ, CEP 28013-602, Brazil. Tel.: +55 022 2748-6397; fax: +55 022 2739 7194. E-mail addresses: ramvieira@uenf.br, vieira.ram@gmail.com (R.A.M. Vieira).

Summary

Objective of this study was to empirically evaluate the NRC, CNCPS and a modified version of the CNCPS for dairy cattle handled in tropical pastures during the rainy season. A meta-analysis of eight studies was performed, and inputs were considered dry matter intake, milk production, body scoring condition, fat and protein milk, and environmental data. The models were compared according to the empirical evaluations the mean square error of prediction, the magnitude of the possible mean bias, the model efficiency factor, the coefficient of determination, and accuracy of each model. The evaluated models presented a low predictive power for the conditions of dairy cows to pasture. The NRC underestimates the net energy input available for lactation and the CNCPS and the modified CNCPS overestimate the amount of net energy available for lactation. All three models overestimate the metabolizable protein available for lactation. The dry matter intake of the three models is overestimated when compared to estimates of dairy cow consumption. Considering that estimates of dairy cow intake do not explain dairy production observed, it is reasonable to expect that such estimates will not work as well as inputs for the nutritional models evaluated.

Key words: empirical evaluation, predictive power, tropical forages

1. Introduction

Advances in knowledge of the characterization and chemical composition of foods as well as in determining the nutritional requirements of animals were facilitated by the advent of computer technology initiated around 1960. The technology and ability of scientists to describe mathematically biological relationships favored the development of mathematical models with the objective of describing several aspects related to the nutrition and feeding of ruminants (Russell et al., 1992).

Models are mathematical representations of mechanisms that govern natural phenomena that are not fully recognized, controlled or understood and have become indispensable tools to predict nutrient needs and supply based on animal characteristics, diet composition and environmental parameters (Tedeschi, 2006; Allen, 2011). Mathematical models can be used to improve performance, reduce production costs, and reduce nutrient excretion, account for more of the variation in predicting food needs and utilization in each unique production situation (Tedeschi et al., 2005). Great advances in understanding the biology of ruminants have been made over the years. Therefore, the models have become more complex (Allen, 2011; Sauvant, 1994).

Mathematical models are classified as 'deterministic' or 'stochastic', 'dynamic' or 'static', and 'empirical' or 'mechanistic'. A mixture of empirical, mechanistic, static and deterministic model combinations are the most used in ruminant feeding systems of different countries, whose equations are developed based on observed data, which are adjusted to an equation or set of equations, without considering the underlying mechanisms. The AFRC, CSIRO, INRA, NRC, CNCPS and some modified versions of the CNCPS are examples of such models.

The use of pastures is still the main food resource for milk production in Brazil. However, tropical grasses present limitations as to their use, since they present anatomical and chemical characteristics that provide slow digestion and grazing by the ruminant (Nascimento Junior et al., 2013). Thus, it is necessary to characterize the tropical grasses, mainly in relation to the rates of degradation of their carbohydrate fractions and proteins, as well as their rate of passage. Therefore, because of the relative scarcity of data regarding predictive powers of models for dairy cattle grazing on tropical pastures, the purpose of this study was to evaluate empirically the NRC, CNCPS, and a modified version of CNCPS based on kinetic attributes of fiber stratification, digestion and passage in the ruminoreticulum.

2. Material and methods

A meta-analysis from eight studies, namely Chambela Neto (2007; 2011), Fukumoto (2007), Favoreto (2008), Santos (2011), Siqueira (2013), Porto et al. (2009), and Jordão (2015) regarding milk production of crossbred Holstein × Zebu cows in rotational grazing systems of tropical pastures during the rainy season (November to April) between 2003 and 2013. The experiments occurred at the counties of Coronel Pacheco (MG) and Valença (RJ). The first experimental area is located at latitude 21°33'22" S, longitude 43°06'15" W, elevation 714 m, and 1516 mm rainfall, whereas the second area stands at as, latitude 22°21'14" S, longitude 43°42'01" W, elevation 437 m, and 1466 rainfall. The tropical forages used were Star grass (*Cynodon nlemfuensis* Vanderyst - var. Nlemfuensis), guineagrass (*Urochloa maxima* (Jacq.) R. Webster cv Tanzânia) and Palisade grass (*Urochloa brizantha* (Hochst. Ex. A. Rich.) R. Webster, cv Marandu).

We collected milk yield (MY) and composition (protein and fat), dry matter intake (DMI), and body condition score (BCS) of 154 dairy cows from each study (Table 1). In all studies, the DMI was estimated as environmental data and additional information necessary for the operation of the models CNCPS 6.5, NRC (2001), and modified CNCPS model were used. Because we used crossbred Zebu × Holstein dairy cows, we assumed Milking Shorthorns characteristics for the animals used, an age at first calving and calving interval of 26 and 14 months, respectively, and non-pregnant cows with steady-state body mass, and walking approximately 600 m on flat ground, twice a day, to the milking parlor. To obtain the predicted values we used the MIXED procedure of SAS (SAS, Inc., Cary, NC, USA) to fit the following statistical model:

$$y_{ijklm} = \mu + \alpha_i + \tau_j + \alpha\tau_{ij} + a_k + \alpha a_{ik} + \tau a_{jk} + \alpha\tau a_{ijk} + e_{m(ijk)} \quad \text{Eq. 1}$$

In which y_{ijklm} correspond to the record of the k-th cow grazing on the i-the forage species at the j-the year. The combinations of letters are the interaction effects. In Eq. (1), Greek lower case letters represent fixed effects of forage species (α_i) and year (τ_j), and the Latin lower case letters represent the random effects of the cow (a_k) and the error term ($e_{m(ijk)}$).

The simulations were performed using the mathematical equation models of the NRC (2001), using the software that accompanies this publication, the CNCPS v.6.5 (Tylutki et al., 2008), and an alternative system of equations adapted from the most recent published versions

of CNCPS (Fox et al., 2004 and Tylutki et al., 2008). Nevertheless, we included formulas from other versions of CNCPS that we are better suited for predictions and some adaptations and different concepts about the dynamics of fiber in the rumen and the rest of the gastrointestinal tract of the ruminant (Vieira et al., 2008a,b), as well as corrections for peptide use. For this purpose, i.e., to compute predictions based on the modified CNCPS, spreadsheets have been prepared in Microsoft Excel® 2010 (Table 3).

The equations used to compute ruminal digestible amounts and escape, as well as the equations to adjust the digestible amount of B₂ carbohydrate fraction for ruminal pH according to Fox et al. (2004). The steady-state pool size mass and digestibility of fiber in the ruminoreticulum were modeled according to Vieira et al. (2008a,b), and the in situ fiber degradation rates (k_d) for forages we obtained from Vieira et al. (2012), whereas for other feedstuffs we used rate values from Sniffen et al. (1992).

The equations used to predict microbial growth in the rumen taken from Fox et al. (2004) and from Russel et al. (1992), Sniffen et al. (1992), and Tedeschi et al. (2000), as well as necessary definitions are described in Tables 2 and 3.

We reformulated the equation to estimate PEPUP (Russel et al., 1992) because after challenging the original equation to a dimensional analysis, the intended result (grams of peptides per day) is not obtainable. In the original equation, NFCbacteria was a rate, whereas, in fact, it should be a pool mass of bacteria (Figure 1). Therefore, according to this correction, we have the derivation as follows.

The protein degradation process feeds the pool of peptides in the ruminoreticulum as

$$dRPEP_t/dt = dRDPEP_t/dt - k_l \cdot RDPEP_t - k_{up} \cdot NFCB_t \cdot RDPEP_t \quad \text{Eq. 2}$$

Whereas the peptide uptake rate is defined as

$$dPEPUP_t/dt = k_{up} \cdot NFCB_t \cdot RDPEP_t. \quad \text{Eq. 3}$$

Then, under steady-state conditions, we have: $dRPEP_t/dt = 0$; $dRDPEP_t/dt = \overline{RDPEP}$;

$dPEPUP_t/dt = \overline{PEPUP}$, $RPEP_t = RPEP$, and $NFCBact_t = NFCBact$. Therefore,

$$0 = \overline{RDPEP} - (k_l + k_{up} \cdot NFCBact)RPEP \quad \text{Eq 4}$$

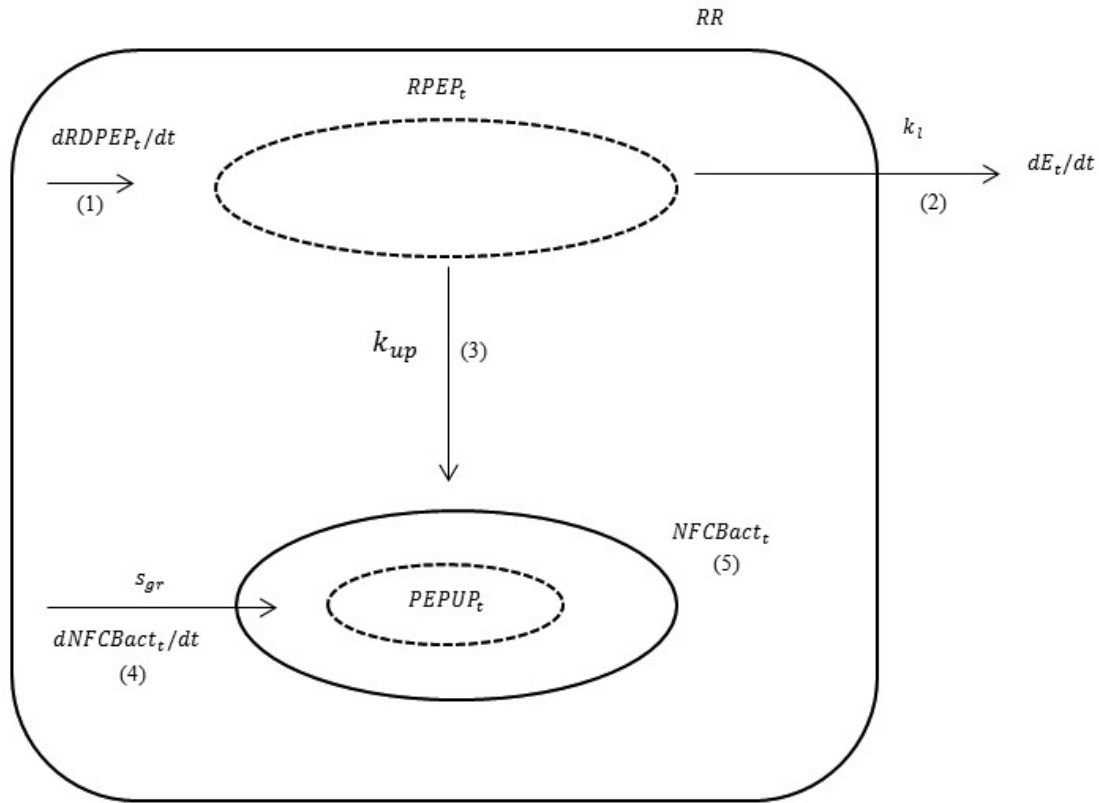


Figure 1. Schematic representation of the digestion of peptides in the ruminoreticulum (RR, outer solid line). (1) Protein degradation process; (2) Peptide escape (E_t) process; (3) Specific peptide uptake rate (k_{up}); (4) Growth rate of $NFCBact_t$; and (5) Ruminal $NFCBact_t$ mass (pool). The larger dashed line form represent the peptide pool in the rumen ($RDPEP_t$, g), the smaller dashed line represent the pool of peptide uptakes by the pool mass of $NFCBact_t$ (inner solid line).

$$\therefore RPEP = RDPEP / (k_l + k_{up} \cdot NFCBact), \quad \text{Eq. 5}$$

and

$$\overline{PEPUP} = k_{up} \cdot NFCBact \cdot RPEP. \quad \text{Eq. 6}$$

By substituting (5) in (6), we have Eq. (7) as follows:

$$\therefore \overline{PEPUP} = \overline{RDPEP} (k_{up} \cdot NFCBact / k_l + k_{up} \cdot NFCBact) \quad \text{Eq. 7}$$

Applying the Pirt (1965) derivation to account for $NFCBact$ mass, and assuming $S_{gr} = k_d$, in which k_{d1} and k_{d2} are the degradation rates of fraction A' and B'_1 , respectively, and the growth rate of NFC bacteria is the sum

$$dNFCBact_t/dt = dNFCBact_1/dt + dNFCBact_2/dt, \text{ and} \quad \text{Eq. 8}$$

$$dNFCBact_t/dt = Y_2RDCA' + Y_3RDCB1'. \quad \text{Eq. 9}$$

Because

$$Y_2 = kd_1YG_2/k_mYG_2 + kd_1, \text{ and} \quad \text{Eq. 10}$$

$$Y_3 = kd_2YG_2/k_mYG_2 + kd_2, \quad \text{Eq. 11}$$

we have,

$$dNFCBact_1/dt = kd_1NFCBact_1, \text{ and} \quad \text{Eq. 12}$$

$$dNFCBact_2/dt = kd_2NFCBact_2; \quad \text{Eq. 13}$$

$$\therefore NFCBact_1 = dNFCBact_1/dt/kd_1 \quad \text{Eq. 14}$$

$$NFCBact_2 = dNFCBact_2/dt/kd_2 \quad \text{Eq. 15}$$

$$NFCBact_t = NFCBact_1 + NFCBact_2, \text{ and} \quad \text{Eq. 16}$$

$$\therefore NFCBact_t = dNFCBact_1/dt/kd_1 + dNFCBact_2/dt/kd_2. \quad \text{Eq. 17}$$

Under steady-state conditions,

$$NFCBact = Y_2RDCA'/kd_1 + Y_3RDCB1'/kd_2, \quad \text{Eq. 18}$$

and from Eq. 7, we have:

$$\overline{PEPUP} = \overline{RDPEP} (k_{up}(Y_2RDCA'/kd_1 + Y_3RDCB1'/kd_2)/k_l + k_{up}(Y_2RDCA'/kd_1 + Y_3RDCB1'/kd_2)) \quad \text{Eq. 19}$$

One can easily show by dimensional analysis that \overline{PEPUP} scales in $g d^{-1}$.

We computed the metabolizable protein intake (MPI) as the amount of peptide escaping the rumen (PeptidePass) according to the following formula:

$$MPI = MP + PeptidePass \quad \text{Eq. 20}$$

The equations to estimate the protein and energy requirements for maintenance, lactation and voluntary feed intake were taken from Fox et al. (2004) with appropriate updates taken from Tylutki et al. (2008).

2.1 Studys

Favoreto (2008): Ten dairy cows were grazed on Star grass. The performance of the animals was evaluated by the daily production of milk and for that, two milking per day were performed in which the animals received 2 kg of feed per day individually (Concentrate I; Table 3), with 1 kg each milking

Chambela Neto (2007): Thirty dairy cows were grazed on Tanzania, Marandu and Star grass pastures, and ten cows per grass. The performance of the animals was evaluated by the daily production of milk and for that purpose, two milking per day were performed in which the animals received 2 kg of feed per day individually, with 1 kg per milking. Feed ingredients: Ground corn (65%); Cotton meal (20%); Wheat bran (10%); Calcitic limestone (2%); mineral mix (2%); urea (1%).

Fukumoto (2007): Twenty-four dairy cows were grazed on Tanzania, Marandu and Star pastures, and eight cows per grass. The performance of the animals was evaluated by the daily production of milk and for that purpose, two milking per day were performed in which the animals received 2 kg of feed per day individually (Concentrate II; Table 3), with 1 kg per milking.

Porto et al. (2009): Twenty-four dairy cows were grazed on Tanzania, Marandu and star pastures, and eight cows per grass. The performance of the animals was evaluated by the daily production of milk and for that purpose, two milking per day were performed in which the animals received 1 kg of feed per day individually (Concentrate II; Table 3), with 0.5 kg per milking.

Santos (2011): Ten dairy cows were grazed on Tanzania grass. The performance of the animals was evaluated by the daily production of milk and for that, two milking per day were performed in which the animals received 2 kg of maize grain milled per day individually, with 1 kg each milking.

Chambela Neto (2011): Twenty dairy cows were grazed on Tanzania grass. The performance of the animals was evaluated by the daily production of milk and for that, two milking per day were performed in which the animals received 2 kg of maize grain milled per day individually, with 1 kg each milking.

Siqueira (2011): Sixteen dairy cows were grazed on Tanzania grass. The performance of the animals was evaluated by the daily production of milk and for that, two milking per day were performed in which the animals received 2 kg of maize grain milled per day individually, with 1 kg each milking.

Jordão (2015): Twenty dairy cows were grazed on Tanzania grass. The performance of the animals was evaluated by the daily production of milk and for that purpose, two milking per day were performed in which the animals received 2 kg of feed per day individually, with 1 kg per milking. Feed ingredients: Ground corn (70%); Soybean meal (25%); urea (1%); mineral mix (4%).

2.2. Model adequacy

The measures used to evaluate the predictive power of the models were computed according to the procedures suggested by Tedeschi (2006). They include the comparison between observed and predicted values by means of the mean square error of prediction (MSEP), the magnitude of the possible mean bias (MB), the model efficiency factor (MF), the coefficient of determination (CD) and accuracy of each model (C_b). The Model Evaluation System was used to compute these measures of model adequacy (<http://nutritionmodels.com/mes.html>).

3. Results

When evaluating the data for DMI, net energy (NE) and metabolizable protein (MP) required and provided for maintenance and lactation, as well as NE and PM available for lactation, we observed that the NRC model presented the lowest amplitudes of the predicted data for all variables evaluated (Table 5). The amplitudes of all variables evaluated were intermediate for the Modified model, excepting the NE_1 and total NE supplied by the diet. The NRC outputs presented a smaller coefficient of variation for DMI, MP_1 , NE supplied, and MP available for lactation as the standard deviation (SD) to the mean ratio, i.e., $100 \times SD/\bar{y}$. The CNCPS and the Modified models presented very high values regarding the $100 \times SD/\bar{y}$ for NE supplied by the diet. Nonetheless, by computing the \tilde{y}/\bar{y} ratio one can see that, excepting for MP_m , the CNCPS systematically presented higher values for this quotient than the other two models (Table 5).

We compared the DMI predicted by the CNCPS, modified CNCPS, and NRC models according to the measures of model adequacy, and the modified CNCPS model presented the best fit. The modified CNCPS was also the only one for which the joint hypothesis for the intercept and the slope was not rejected (Table 6). Nonetheless, in spite of a better predictive

power presented by the modified model in relation to the other models evaluated, this result was not satisfactory, because the measures about the evaluation of the three models were far from the ideal ones, such as the MB that presents values far from zero.

The DMI predicted by the modified model provided an overlapping regression with the unit line at lower intakes, and one can easily verify that the distance from the unity line increased as the dry matter intake increased (Figure 2c). The NRC and CNCPS models presented larger departures from the unity line (Figure 3a and 3b). Although the models presented different adherences to the unit line, we can observe a great overall dispersion in the evaluation plots, which are indicative of possible problems with DMI estimation. As revealed by the other measures of model adequacy, particularly the low CCC and MEF, the models presented a poor overall agreement between observed and predicted values (high dispersion), and thus representing indicative of the poor precision of DMI prediction regardless of the model used (Table 6 and Figure 2).

Despite the poor agreement between observed and predicted values regarding the NE allowable for milk production, the NRC model presented an overall better fit based on the measures MSEP, MEF, CD, and C_b if compared to the other models. However, all models presented strong evidence against the general joint hypothesis $H_0: a = 0 \text{ e } b = 1$ (Table 7). The estimated measures of model adequacy once again revealed poor model predictions regardless of the model.

The models were not able to predict both accurately and precisely the NE allowable for milk (Figure 3). Despite the estimated slope of the NRC model predictions close to one, clearly the model outputs were over predicted NE availability at low milk yields, and under predicted the NE availability at high ones (Figure 3a). The outputs of the other two models followed this pattern (Figure 3b and 3c). The lines generated from the predictions of the CNCPS and Modified models showed significant distances from the unit line, which allowed us to conclude that the models presented severely biased and imprecise predictions (Figure 3).

The allowable MP for milk production presented the same behavior as the available NE for milk, in which NRC demonstrated the highest predictive power for this variable. We also observed the same limitation of rejection of the general hypothesis H_0 for the availability of MP for milk production (Table 8). The behavior of the no intercept regression lines at higher values moved far from the unit line for all predictions (Figure 4). Although the NRC presented a better predictive power based on the evaluation tools used, the adjustment along the unit line was inefficient for all models, showing a biased and dispersed availability of MP for milk synthesis. The poor relationship between the observed NE_1 and the observed DMI are

indicatives that the DMI estimated in pasture studies are of poor information value as model inputs (Figure 5).

The metabolizable protein from microbial origin ($MP_{\text{bacterial}}$) predicted by the CNCPS and Modified CNCPS are closely related, with values very close to the unit line (Figure 6c). However, we observed that the values predicted by the NRC model departures from those predicted by both CNCPS and modified CNCPS models (Figure 6a and 6b).

4. Discussion

Regarding milk production, despite the variations and low predictive power observed in the models during the evaluations, we highlight that the yields obtained per animal are similar to those found in published scientific articles with tropical grasses. Research indicates that, in tropical pastures, dairy cows can produce from 6.0 to 19.0 kg day⁻¹ of milk depending on the management and grasses used (Fonseca et al., 1998; Deresz, 2001; Vilela et al., 2006; Voltolini et al., 2014). In grazing systems, generally higher milk yield is obtained with the use of concentrate to supplement the animals' diet, since productivity is related to nutrient intake and conversion efficiency. Nutrient intake is determined by feed intake and feed concentration (Hodgson, 1990). According to Mertens (1994), 60 to 90% of the variations in performance are related to intake and 10 to 40% with variations in digestibility, therefore, productivity depends on the quality of the pasture and nutritional environment of the forage plant (Nascimento Júnior et al., 2013).

Tropical grasses present anatomical disadvantages in relation to the temperate ones that interfere in the intake and its digestibility. Temperate grasses have 80-85% of tissues that are rapidly digested in their leaf blade, whereas tropical ones have only 30-35% of total tissues (Nascimento Júnior et al., 2013). Thus, the slow digestion and passage of fodder by the rumen may increase rumen distention and decrease feed intake (Allen, 2011). However, we cannot predict the relationship between NDF and DMI digestion characteristics because it differs with milk production level, diet NDF concentration and other factors (Allen, 2011).

Feed intake is critical to nutrition and its estimation becomes critical to establishing the amount of nutrients available for animal health and production (Van Soest, 1994; NRC, 2001). However, under grazing conditions the precise estimation is much more difficult, and indirect methods have to be applied as the indicator technique (Van Soest, 1994).

The estimation of pasture intake by the indicator technique has been widely used and chromic oxide (Cr_2O_3) has been the most used indicator, due to the low cost of the reagent, its ease of incorporation in the diet and relative ease of analysis (Titgemeyer, 1997). However, in researches in the literature it is noticed that the majority of the works evaluating the excretion pattern of Cr_2O_3 was carried out with a small number of animals, being these in confinement.

According to Allen (2001), this behavior is due to the observed differences between the animals (selectivity). Thus, there is a possibility that cows grazing on the same pasture consume diets that vary widely in quality (Hopper et al., 1978). The methodology of estimation of intake by Cr_2O_3 assumes the reach of the steady state, but under grazing conditions this equilibrium is probably not reached due to the variations in intake mentioned above (Owens and Hanson, 1992).

Other problems have been reported with the use of this technique as incomplete mixing with rumen digest, faster passage through the rumen than fibrous material (Owens and Hanson, 1992; Van Soest, 1994) and primary problems such as weighing and manufacturing of the “bullets”, administration of Cr_2O_3 for animals and period of adaptation. Lambourne (1957) discussed theoretical considerations that the pattern of Cr_2O_3 excretion would depend on the rate of passage and, therefore, the level of feed intake and digestibility.

In relation to DMI we highlight the modified model because it presents greater prediction capacity based on the evaluation indicators of the models. However, although the models presented lines close to the unit line (Figure 2), we observed that the values of intake are much dispersed, which allowed demonstrating that the estimation of pasture intake has limitations. The mean value of observed intake, despite being within the average of that found in the literature of $12 \text{ kg DM day}^{-1}$ (Gomide et al., 2001; Lima et al., 2001; Vilela et al., 2006; Silva et al., 2009), we observed a great variation in the data with very low values, reaching 1.2% BW and high values reaching 4.3% BW.

Mathematical models are representations of reality and are used to predict nutrient requirements based on animal characteristics and diet composition (Russell et al., 1992, NRC 2001, Fox et al., 2004, Tylutki et al. 2008). However, models have been continually improved in their ability to describe metabolic transactions and their resulting effect on nutrient requirements with the aim of efficiently raising livestock (McNamara, 2004; Allen, 2011). Formulation of adequate diets to avoid super or undernourishment; such conditions, in turn, may have adverse effects on animal health and cost (NRC, 2001). However, these advances in the models end up making them increasingly complex, such as predicting the supply of amino

acids, fatty acids, as well as variations in genetic and environmental resources. Thus, basic structural faults or inaccurate inputs limit their usefulness for formulating diets for an adequate prediction of performance (McNamara, 2004). Another limitation of the models is the disregard for the importance of accurate and precise estimates of voluntary intake and the partitioning of dietary energy in the formulation of diets (Allen, 2011). Sauvant (1994) mentions the high complexity and high control of biological systems and stresses the importance of developing models that integrate the events of the digestive and metabolic systems with the endocrine system.

The models differ in their predictions. The NRC (2001) is characterized by requiring simpler information on the environment and animals. The model also differs in terms of fractionation, working only with protein, which is divided into only three fractions (A, B and C). In this model, fraction A corresponds to NPN and a small amount of true protein; Fraction C corresponds to PB that is completely undegradable or unavailable; and fraction B represents the remainder of the PB, assumed to be potentially digestible or degradable in the rumen. The CNCPS stands out because it is a very complex model regarding the information requirements regarding the environment, animals and food. Originally, PB in the CNCPS was divided into five fractions (Sniffen et al., 1992) and thus was maintained (Fox et al., 2004; Tylutki et al., 2008) and the carbohydrates, from the four original fractions established for carbohydrates (Sniffen et al., 1992), four more fractions were added, being thus defined: A1'(acetic, propionic and butyric acids), A2' (lactic acid), A3'(organic acids), A4' (sugars), B1'(starch), B2' (soluble fibers), B3' '(available NDF) and C', which corresponds to the unavailable FDN (Tylutki et al. 2008). In the CNCPS, PB is subdivided into five fractions, where fraction A consists basically of NNP, amino acids and small peptides readily solubilized in the rumen; The fraction B1 represents soluble proteins and of rapid ruminal degradation; The fractions B2 and B3 contain insoluble proteins with rumen degradation rates varying from intermediate to slow, respectively; And by fraction C represented by insoluble and no digestible proteins in the rumen and intestines. The new CNCPS model also includes a model for fatty acids, where the equations allow to estimate the fatty acids consumed and to predict those produced by ruminal microorganisms, biohydrogenation of mono- and polyunsaturated fatty acids in the rumen, passage to the small intestine and Intestinal digestion of fatty acids from lipolysis of diet fats. For the modified CNCPS model, the differences presented are limited to the rumen fiber dynamics (Vieira et al., 2008a, b) and protein fractionation, which was subdivided into four fractions, namely (Vieira et al., 2000): A, representing the non-protein fraction in short peptides; B1 or true neutral detergent soluble protein, grouped as such because of their

nutritional uniformity (Van Soest, 1967; Broderick, 1994; Huhtanen et al., 2006); Fraction B2 or neutral detergent insoluble but potentially degradable protein; And fraction C or true indigestible protein. Carbohydrate fractionation was performed according to Sniffen et al. (1992). Effect of ruminal pH and nitrogen scarcity on the rumen on microbial growth and on the possible reduction on digestion of potentially digestible fibrous carbohydrates (Tedeschi et al., 2000, Tylutki et al., 2008).

Although the intake information limits the accuracy of the results, the evaluated models allowed identifying a general tendency that the available nutrients are well below that required for lactation, which would lead to a drop in milk production or considerable weight loss of the Animals. However, this prediction did not match reality, since milk production was consistent with data from the literature for tropical grasses (Fonseca et al., 1998; Deresz, 2001; Vilela et al., 2006; Voltolini et al., 2004) and, according to information from A. M. Fernandes (by personal communication), the body mass of the animals remained approximately constant during the experiments. In general, the models underestimated the nutrients available for lactation. However, this behavior may have occurred due to the problem related to the estimation of pasture intake, as discussed previously. Although there is evidence that the CNCPS and the modified model operate well also in tropical conditions for cattle and goats (Tylutki et al., 2008; Regadas Filho et al., 2014), there is still a need for a more comprehensive demonstration of its power predictive for such circumstances.

The NRC (2001) and the CNCPS present satisfactory results in their own evaluations, with small variations in relation to the observed data. The models were used to predict the behavior of variables of animals in confinement conditions and receiving food ad libitum, however, known. This seems to have favored the results obtained, since the knowledge of the intake allows us to estimate more accurately the demands and the animal productivity. However, according to Allen (2011) and Sauvant (1994), the use of DMI as input for these estimates is not correct, since intake is among the most important factors affecting milk production and is driven by homeostatic and homeorhetic, ultimately makes it also a variable to be predicted. The problem is that these intake prediction equations do not take these factors into account.

5. Conclusions

Considering that estimates of dairy cow intake do not explain dairy production observed, it is reasonable to expect that such estimates will not work as well as inputs for the nutritional models evaluated. However, the behavior of observed and predicted values for metabolizable protein and liquid energy variables available for lactation present similar trends in terms of prediction of these values that reflect dairy performance of cows to pasture. In general, the NRC underestimates the available net energy intake for lactation and the CNCPS and the modified CNCPS overestimate the amount of net energy available for lactation. All three models overestimate the metabolizable protein available for lactation. The prediction of dry matter intake by the three models is overestimated when we compare them with estimates of dairy cow intake. The low accuracy of predictions is a feature common to all three models. Estimates of voluntary dry matter intake of dairy cows on Tanzania, Marandu and star grass pastures under rotational grazing conditions, in turn, are not related to recorded dairy production.

6. References

- Allen, M.S., 2011. Mind over models, In: Eastridge, M.L. (Ed.), Tri-State Dairy Nutrition Conference, Michigan State University, the Ohio State University, and Purdue University, West Lafayette, pp. 29-44.
- Bibby, J., Toutenburg, H., 1977. Prediction and Improved Estimation in Linear Models. Wiley, Berlin.
- Broderick, G.A., 1994. Quantifying forage protein quality, In: Fahey Jr., G.C. (Ed.), Forage quality, evaluation and utilization, ASA, Inc., CSSA, Inc., SSSA, Inc., Madison, pp. 200-228.
- Chambela Neto, A. Avaliação Nutricional de Três Gramíneas Tropicais e do Desempenho de Vacas Leiteiras sob Pastejo Rotativo. 2007. 49f. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – RJ.
- Chambela Neto, A. Produção, qualidade da forragem e desempenho de vacas em pastagens de *Urochloa maxima* cv. Tanzânia, submetidas a intervalo de desfolha fixo ou em função da interceptação luminosa. 2007. 81f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – RJ.
- Cochran, W.G., Cox, G.M., 1957. Experimental Design. Wiley, New York.
- Deresz, F., 2001. Influência do período de descanso da pastagem de capim-elefante na produção de leite de vacas mestiças Holandês x Zebu. Revista Brasileira de Zootecnia 30, p.461-469.
- Favoreto, M.G.; Deresz, F.; Fernandes, A.M.; Vieira, R.A.M.; Fontes, C.A.A., 2008. Avaliação nutricional da grama-estrela cv. Africana para vacas leiteiras em condições de pastejo. Revista Brasileira de Zootecnia 37, p.319-327.

- Fonseca, D.M.; Salgado, L.T.; Queiroz, D.S.; Coser, A.C.; Martins, C.E.; Bonjour, C.S. de M., 1998. Produção de leite em pastagem de capim-elefante sob diferentes períodos de ocupação dos piquetes. *Revista Brasileira de Zootecnia* 27, p.848-856.
- 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., 2004. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. *Animal Feed Science and Technology* 112, 29-78.
- Fukumoto, N. M. Desempenho Produtivo de Vacas Holandês x Zebu em Pastagens de Gramíneas Tropicais sob Lotação Rotacionada. 2007. 74f. Tese (Doutorado em Zootecnia) Universidade Estadual de Maringá, Maringá – PR, 2007.
- Gomide, J.A.; Wendling, I.J. Bras, S.P.; Quadros, H.B., 2001 Consumo e produção de leite de vacas mestiças em pastagem de *Brachiaria decumbens* manejada sob duas ofertas diárias de forragem. *Revista Brasileira de Zootecnia* 30, p.1194-1199.
- Hogson, J. *Grazing management: Science into practice*. New York: John Wiley, 1990. 203 p.
- Hopper, J.T.; Holloey, J.W. Butts Jr, W.T, 1978. Animal variation in chromium sesquioxide excretion patterns of grazing cows. *Journal of Animal Science* 46, 1096-1102.
- Huhtanen, P., Nousiainen, J., Rinne, M., 2006. Recent developments in forage evaluation with special reference to practical applications. *Agricultural and Food Science* 15, 293-323.
- Jordão, A.R. Características do pasto e desempenho produtivo de vacas leiteiras mantidas sob duas estratégias de manejo de pastejo. 2015. 86f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – RJ.
- Lima, M.L.P.; Berchielli, T.T. Nogueira, J.R.; Ruggieri, A.C.; Aroeira, L.J.M.; Salman, A.K.D.; Soares, J.P.G., 2001. Estimativa do consumo voluntário do capim-tanzânia (*Panicum maximum*, jacq. cv. Tanzânia) por vacas em lactação sob pastejo rotacionado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 30, p.1919-1924.
- Lin, L.I.-K., 1989. A concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. *Biometrics* 45, 255–268.
- Loague, K., Green, R.E., 1991. Statistical and graphical methods for evaluating solute transport models: Overview and application. *Journal of Contaminant Hydrology* 7, 51–73.
- Mayer, D.G., Stuart, M.A., Swain, A.J., 1994. Regression of real-world data on model output: an appropriate overall test of validity. *Agricultural Systems* 45, 93–104.
- McNamara, J.P., 2004. Research, improvement and application of mechanistic, biochemical, dynamic models of metabolism in lactating dairy cattle. *Animal Feed Science and Technology* 112, 155-176.
- Nascimento Júnior, D.; Vilela, H.H.; Sousa, B.M.L.; Silveira, M.C.T. 2013. Fatores que afetam a qualidade de plantas forrageira, In: Reis, R.A.; Bernardes, T.F.; Siqueira, G.R. (Eds.), *Forragicultura: ciência, tecnologia e gestão de recursos forrageiros*, Multipress, Jaboticabal, pp. 29-59.
- NRC, 2001. *Nutrient requirements of dairy cattle*. National Academy of Sciences, Washington, DC.
- Owens, F.N., Hanson, C.F., 1992. External and internal markers for appraising site and extent of digestion in ruminants. *Journal of Dairy Science* 75, 2605-2617.
- Porto, P. P.; Deresz, F.; Santos, G. T., Lopes F.C.F., Cecato, U., Coser, A.C, 2009. Produção e composição química do leite, consumo e digestibilidade de forragens tropicais manejadas em sistema de lotação intermitente. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38, p.1422-1431.
- Regadas Filho, J.G.L., Tedeschi, L.O., Cannas, A., Vieira, R.A.M., Rodrigues, M.T., 2014. 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* 97, 7185-7196.

- Rodrigues, M.T., Vieira, R.A.M., 2011. Metodologias aplicadas ao fracionamento de alimentos, In: Berchielli, T.T., Pires, A.V., Oliveira, S.G. (Eds.), *Nutrição de Ruminantes*, FUNEP, Jaboticabal, pp. 29-59.
- Russell, J.B., O'connor, J.D., Fox, D.G., Van Soest, P.J., Sniffen, C.J., 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. 1. Ruminant fermentation. *Journal of Animal Science* 70, 3551-3561.
- Santos, C. O. Valor Nutricional do capim Tanzânia (*Urochloa mamima*) para vacas em Lactação sob Pastoreio Rotacionado. 2011. 45p. Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – RJ.
- Sauvant, D., 1994. Modelling homeostatic and homeorhetic regulations in lactating animals. *Livestock Production Science* 39, 105-113.
- Silva, C.V.; Lana, R.P.; Campos, J.M.S.; Queiroz, A.C.; Leão, M.I.; Abreu, D.C., 2009. Consumo, digestibilidade aparente dos nutrientes e desempenho de vacas leiteiras em pastejo com dietas com diversos níveis de concentrado e proteína bruta. *Revista Brasileira de Zootecnia* 38, p.1372-1380.
- Siqueira, J. Características do pasto e produção leiteiras de vacas mestiças em pastagens de capim-Tanzânia, submetida a duas estratégias de manejo de pastejo. 2013. 74f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes – RJ.
- Sniffen, C.J., Oconnor, J.D., Vansoest, P.J., Fox, D.G., Russell, J.B., 1992. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. 2. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science* 70, 3562-3577.
- Tedeschi, L.O., 2006. Assessment of the adequacy of mathematical models. *Agricultural Systems* 89, 225-247.
- Tedeschi, L.O., Fox, D.G., Russell, J.B., 2000. Accounting for the effects of a ruminal nitrogen deficiency within the structure of the Cornell Net Carbohydrate and Protein System. *Journal of animal science* 78, 1648-1658.
- Tedeschi, L.O., Fox, D.G., Sainz, R.D., Barioni, L.G., Medeiros, S.R.d., Boin, C., 2005. Mathematical models in ruminant nutrition. *Scientia Agricola* 62, 76-91.
- Titgemeyer, E.C., 1997. Design and interpretation of nutrient digestion studies. *Journal of Animal Science* 75, 2235-2247.
- Tylutki, T.P., Fox, D.G., Durbal, V.M., Tedeschi, L.O., Russell, J.B., Van Amburgh, M.E., Overton, T.R., Chase, L.E., Pell, A.N., 2008. Cornell Net Carbohydrate and Protein System: A model for precision feeding of dairy cattle. *Animal Feed Science and Technology* 143, 174-202.
- Van Soest, P.J., 1967. Development of a comprehensive system of feed analyses and its application to forages. *Journal of Animal Science* 26, 119-128.
- Van Soest, P.J., 1994. *Nutritional ecology of the ruminant*. Cornell University Press, Ithaca.
- Vieira, R. A. M., Tedeschi, L. O., Cannas, A., 2008a. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in the ruminoreticulum: 1. Estimating parameters of digestion. *Journal of Theoretical Biology* 255, p. 345-356.
- Vieira, R. A. M., Tedeschi, L. O., Cannas, A., 2008b. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in the ruminoreticulum: 2. Integrating digestion and passage. *Journal of Theoretical Biology* 255, p. 357-368.
- Vieira, R.A.M., Pereira, J.C., Malafaia, P.A.M., Queiroz, A.C.d., Gonçalves, A.L., 2000. Fracionamento e cinética de degradação in vitro dos compostos nitrogenados da extrusa de bovinos a pasto. *Revista Brasileira de Zootecnia* 29, 880-888.
- Vilela, D., Lima, J.A., Resende, J.C., Verneque, R.S., 2006. Desempenho de vacas da raça Holandesa em pastagem de coastcross. *Revista Brasileira de Zootecnia* 35, p.555-561.

Voltolini, T.V., Santos, F.A.P., Martinez, J.C., Imaizumi, H., Clarindo, R.L., Penati, M.A., 2010. Produção e composição do leite de vacas mantidas em pastagens de capim-elefante submetidas a duas frequências de pastejo. *Revista Brasileira de Zootecnia* 39, p.121-127.

Zacharias, S., Heatwole, C.D., Coakley, C.W., 1996. Robust quantitative techniques for validating pesticide transport models. *Transactions of the ASAE (American Society of Agricultural Engineers)* 39, 47-54.

Table 1. Minimum (Min), maximum (Max), mean (\bar{y}), median (\tilde{y}), and standard deviation (SD) of model Inputs

Variables	Min	Max	\bar{y}	\tilde{y}	SD
Study I					
BW (kg)	453.4	547.7	522.0	526.6	29.75
MY (kg day ⁻¹)	11.0	12.4	11.8	11.7	0.46
DMI (g day ⁻¹)	8913.8	12742.5	10516.7	10391.6	1134.73
Fat _{Milk} (g day ⁻¹)	-	-	33.9	-	-
Milk protein (g day ⁻¹)	-	-	32.5	-	-
BCS	-	-	3.5	-	-
Study II					
BW (kg)	386.1	556.6	479.5	486.5	48.58
MY (kg day ⁻¹)	11.0	15.3	12.9	12.6	1.24
DMI (g day ⁻¹)	6094.0	14511.8	9692.5	9100.5	2172.15
Fat _{Milk} (g day ⁻¹)	31.0	36.4	35.7	36.2	1.16
Milk protein (g day ⁻¹)	31.6	32.7	32.0	32.1	0.16
BCS	2.3	3.0	2.6	2.7	0.14
Study III					
BW (kg)	435.5	607.7	496.2	486.1	45.46
MY (kg day ⁻¹)	10.0	12.1	11.0	11.0	0.52
DMI (g day ⁻¹)	11412.2	17473.2	14247.5	13976.9	1654.21
Fat _{Milk} (g day ⁻¹)	34.1	41.9	36.4	36.1	1.43
Milk protein (g day ⁻¹)	31.6	32.1	31.9	32.1	0.20
BCS	2.4	2.8	2.6	2.6	0.13
Study IV					
BW (kg)	396.0	502.6	446.6	447.7	30.64
MY (kg day ⁻¹)	6.4	12.8	9.0	9.1	1.50
DMI (g day ⁻¹)	9906.5	17473.2	13034.8	12661.1	2041.34
Fat _{Milk} (g day ⁻¹)	33.9	42.9	38.4	38.3	1.98
Milk protein (g day ⁻¹)	26.9	29.9	28.4	28.5	0.76
BCS	2.2	2.5	2.4	2.4	0.08

Table 1. (Continued).

Variables	Min	Max	\bar{y}	\tilde{y}	SD
Study V					
BW (kg)	426.5	576.2	489.4	490.4	42.74
MY (kg day ⁻¹)	11.3	16.5	12.9	13.1	1.85
DMI (g day ⁻¹)	6742.1	18300.4	10855.4	10117.9	3258.25
Fat _{Milk} (g day ⁻¹)	33.6	46.9	38.1	36.9	4.24
Milk protein (g day ⁻¹)	27.1	31.7	29.1	28.8	1.44
BCS	3.0	3.4	3.1	3.1	0.12
Study VI					
BW (kg)	409.9	538.1	466.3	470.6	34.23
MY (kg day ⁻¹)	9.2	14.2	12.2	12.5	1.53
DMI (g day ⁻¹)	6273.5	10465.3	8555.6	8376.7	1182.29
Fat _{Milk} (g day ⁻¹)	33.7	47.0	38.9	38.4	4.06
Milk protein (g day ⁻¹)	28.5	33.0	30.3	29.9	1.20
BCS	2.6	2.9	2.7	2.6	0.08
Study VII					
BW (kg)	473.7	588.0	517.2	508.0	35.34
MY (kg day ⁻¹)	12.5	17.4	14.5	14.4	1.47
DMI (g day ⁻¹)	8031.5	20139.9	14998.4	15042.4	3064.82
Fat _{Milk} (g day ⁻¹)	33.7	46.9	38.2	38.0	3.68
Milk protein (g day ⁻¹)	26.7	31.4	28.7	28.4	1.42
BCS	3.0	3.4	3.2	3.2	0.08
Study VIII					
BW (kg)	401.3	555.3	485.1	484.8	42.92
MY (kg day ⁻¹)	9.5	14.5	12.3	12.2	1.26
DMI (g day ⁻¹)	13016.3	16281.8	14618.5	14786.6	926.68
Fat _{Milk} (g day ⁻¹)	31.1	47.4	38.3	37.9	3.42
Milk protein (g day ⁻¹)	30.5	35.2	32.8	32.6	1.15
BCS	3.6	4.1	3.9	3.9	0.11

Where: I = Favoreto (2008), II = Chambela Neto (2007), III Fukumoto (2007), IV Porto et al. (2009), V Santos (2011), VI = Chambela Neto (2011), Siqueira (2011) e Jordão (2015).

Table 2. Description and units of the acronyms used in this paper.

Acronym ^a	Description (dimension)
[peNDF]	Content of physically effective fiber (% NDF)
λ	Asymptotic age-dependent fractional rate for transference of particles from the raft to the escapable pool (h^{-1})
ADICP	Acid detergent insoluble crude protein (g kg^{-1})
ADF	Acid detergent insoluble fibre (g kg^{-1})
Ash _j	Amount of ash for each feed (g kg^{-1})
BactNBalance	Ruminal bacteria N balance (g day^{-1})
BactRed	Reduction in bacteria due to N deficiency (g day^{-1})
CA' _j	Amount of A' for each feed (g kg^{-1})
CB1' _j	Amount of B1' for each feed (g kg^{-1})
CB2' _j	Amount of B2' for each feed (g kg^{-1})
CC _j	Amount of C' for each feed (g kg^{-1})
CF	Amount of crude fat for each feed (g kg^{-1})
CP	Amount of crude protein for each feed (g kg^{-1})
DB1 _j	Degradability of B1 protein (g day^{-1})
DB2 _j	Degradability of B2 protein (g day^{-1})
DCA' _j	Degradability of A' carbohydrate (g day^{-1})
DCB1' _j	Degradability of B1' carbohydrate (g day^{-1})
DCB2' _j	Degradability of B2' carbohydrate (g day^{-1})
DE _j	Digestible energy (MJ kg^{-1})
DigBC _j	Digested bacterial carbohydrate (g day^{-1})
DigBF _j	Digestible bacterial fat (g day^{-1})
DigBN _j	Digestible bacterial nucleic acids (g day^{-1})
DigBTP _j	Digestible bacterial true protein (g day^{-1})
DigC _j	Digestible carbohydrate (g day^{-1})
DigF _j _i	Intestinally digested feed carbohydrate (g day^{-1})
DigFF _j	Digestible feed fat (g day^{-1})
DigF _j	Digestible fat (g day^{-1})
DigFP _j	Digestible feed protein (g day^{-1})
DigPB1 _j	Digestible B1 protein (g day^{-1})
DigPB2 _j	Digestible B2 protein (g day^{-1})
DigP _j	Digestible protein (g day^{-1})
dmls	Dimensionless
dNFCBact _t /dt	Growth rate of NFCbacteria (g day^{-1})
dPEPUP _t /dt	Peptide uptake rate by NFCbacteria (g day^{-1})
dRDPEP _t /dt	Peptide production rate in the rumen by the protein degradation process (g day^{-1})
dRPEP _t /dt	Rate of change in the ruminal peptide pool (g day^{-1})
EAllowableBact _j	Total bacteria growth allowable by ruminal available energy (g day^{-1})

EActRatio _j	Proportion of total bacteria (g g^{-1})
EFCBact _j	Amount of FC bacteria when energy is limiting (g day^{-1})

Table 2. (Continued).

Acronym ^a	Description (dimension)
EFCBactRatio _j	Proportion of FC bacteria of total bacteria (g g^{-1})
ENFCBact _j	Amount of NFC bacteria when energy is limiting (g day^{-1})
F _{Ashj}	Amount of ash intake (g day^{-1})
F _{CA'j}	Amount of CA' intake (g day^{-1})
F _{CB1'j}	Amount of B1' intake (g day^{-1})
F _{CB2'j}	Amount of B2' intake (g day^{-1})
F _{CC'j}	Amount of CC' intake (g day^{-1})
F _{Fatj}	Amount of CF intake (g day^{-1})
F _{FCj}	Amount of FC intake (g day^{-1})
F _{NFCj}	Amount of NFC intake (g day^{-1})
F _{PAj}	Amount of PA intake (g day^{-1})
F _{PBj}	Amount of PB intake (g day^{-1})
F _{PB1j}	Amount of PB1 intake (g day^{-1})
F _{PB2j}	Amount of PB2 intake (g day^{-1})
F _{PCj}	Amount of PC intake (g day^{-1})
FCAMMNR	FC bacteria ammonia N retained (g day^{-1})
FCBACT _j	Yield of fiber carbohydrate bacteria (g day^{-1})
FCBACTN _j	Bacterial N of bacteria fermenting FC (g day^{-1})
FCBactRed _j	Amount of FC bacteria reduction (g day^{-1})
FC _j	Amount of fibrous carbohydrates for each feed (g day^{-1})
FCRed _j	Total fiber carbohydrate not degraded due to fiber carbohydrate bacteria reduction growth (g day^{-1})
FCRedRatio	Proportion of fiber carbohydrate not degraded because of N (%)
FEASH _i	Amount of ash in feces (g day^{-1})
FEBACT _j	Amount of bacteria in feces (g day^{-1})
FEBASH _j	Amount of bacterial ash in feces (g day^{-1})
FEBC _j	Amount of bacterial carbohydrate in feces (g day^{-1})
FEBCP _j	Amount of fecal bacterial protein (g day^{-1})
FEBCW _j	Amount of fecal bacterial cell wall protein (g day^{-1})
FEBF _j	Amount of bacterial fat in feces (g day^{-1})
FECB1 _j	Amount of feed starch in feces (g day^{-1})
FECB2 _j	Amount of feed available fiber in feces (g day^{-1})
FECC _j	Amount of feed unavailable fiber in feces (g day^{-1})
FECHO _j	Amount of carbohydrate in feces (g day^{-1})
FEENGF _j	Amount of endogenous fat in feces (g day^{-1})
FEENGA _j	Amount of endogenous ash in feces (g day^{-1})
FEENGP _j	Amount of endogenous protein in feces (g day^{-1})
FEFA _i	Amount of undigested feed ash in feces (g day^{-1})

FEFAT _j	Amount of fat in feces (g day ⁻¹)
FEFC _j	Amount of feed carbohydrate in feces (g day ⁻¹)

Table 2. (Continued).

Acronym ^a	Description (dimension)
FEFF _j	Amount of undigested feed fat in feces (g day ⁻¹)
FEFP _j	Amount of feed protein in feces (g day ⁻¹)
FEPB2 _j	Amount of feed B2 protein fraction in feces (g day ⁻¹)
FEPC _j	Amount of feed protein fraction C in feces (g day ⁻¹)
FEPROT _j	Amount of fecal protein (g day ⁻¹)
Fiber _j	Amount of fiber intake (g day ⁻¹)
IDM _j	Indigestible dry matter intake (g day ⁻¹)
IMP _j	Percentage growth improvement due to the availability of peptides in relation to fractions A' and B1' (%)
k _{d3'} _j (GNG1)	Rate of digestion of fraction B2' (h ⁻¹) of model
k _{d3'} _d	Rate of digestion of fraction B2' (h ⁻¹) of database of studies
k _{d3'} _{tb}	Rate of digestion of fraction B2' (h ⁻¹) tabulated
k _{d3'} (pH)	Rate of digestion of fraction B2' (h ⁻¹) adjusted pH
k _e	Ruminal escape rate of fibrous particles to the remainder of the gastrointestinal tract (h ⁻¹)
kl	Liquid or fluid dilution rate in the rumen (d ⁻¹)
KM1	Maintenance rate of the fiber CHO bacteria, 0.05 (g g ⁻¹ h ⁻¹)
kpf	Passage rate of forages (d ⁻¹)
k _{up}	Specific peptide uptake rate, 1.68 g ⁻¹ d ⁻¹ , which means 1.68 units of non-fibrous carbohydrates per gram of NFC bacterial mass per day. In the presence of ionophores, this value is reduced by 1/3, which becomes equal to $\frac{2}{3}k_{up}$.
LIG	Amount of lignina for each feed (g kg ⁻¹)
ME _j	Dietary content of metabolizable energy (MJ kg ⁻¹)
MP _j	Metabolizable protein (g day ⁻¹)
MPI	Metabolizable protein intake (g day ⁻¹)
MTR _j	Retention time of fiber in the rumen (h ⁻¹)
N	Positive integer order of time dependency for transferring a particle from the raft to the escapable pool (dmls)
k _e	Ruminal escape rate of fibrous particles to the remainder of the gastrointestinal tract (h ⁻¹)
kl	Liquid or fluid dilution rate in the rumen (d ⁻¹)
KM1	Maintenance rate of the fiber CHO bacteria, 0.05 (g g ⁻¹ h ⁻¹)
kpf	Passage rate of forages (d ⁻¹)
k _{up}	Specific peptide uptake rate, 1.68 g ⁻¹ d ⁻¹ , which means 1.68 units of non-fibrous carbohydrates per gram of NFC bacterial mass per day. In the presence of ionophores, this value is reduced by 1/3, which becomes equal to $\frac{2}{3}k_{up}$.
LIG _j	Amount of lignina for each feed (g kg ⁻¹)

ME _j	Dietary content of metabolizable energy (MJ kg ⁻¹)
MP _j	Metabolizable protein (g day ⁻¹)

Table 2. (Continued).

Acronym ^a	Description (dimension)
MPI	Metabolizable protein intake (g day ⁻¹)
MTR _j	Retention time of fiber in the rumen (h ⁻¹)
N _j	Positive integer order of time dependency for transferring a particle from the raft to the escapable pool (dmls)
NAllowableBact	N allowable bacterial growth (g day ⁻¹)
NDF _j	Neutral detergent insoluble fibre (g kg ⁻¹)
NDICP _j	Neutral detergent insoluble crude protein (g kg ⁻¹)
NE _l	Net energy for lactation (MJ kg ⁻¹)
NFC_NH ₃ _Req	Amount of NH ₃ required by NFC bacteria (g day ⁻¹)
NFCAMMNR	NFC bacteria ammonia N retained (g day ⁻¹)
NFCBACT1 _j	Yield of carbohydrate A bacteria (g day ⁻¹)
NFCBact1pool	Amount of non-fiber carbohydrate A bacteria in the rumen (g)
NFCBACT2 _j	Yield of carbohydrate B1 bacteria (g day ⁻¹)
NFCBact2pool	Amount of non-fiber carbohydrate B1 bacteria in the rumen (g)
NFCBACT _j	Yield of non-fiber carbohydrate bacteria (g day ⁻¹)
NFCBACTN _j	Bacterial N of bacteria fermenting NFC (g day ⁻¹)
NFC _j	Non-fiber carbohydrate for each feed (g day ⁻¹)
NH ₃ _Diet	Amount of NH ₃ from the diet (g day ⁻¹)
NPN _j	Amount of Non-protein nitrogen from the diet (g day ⁻¹)
PA _j	Amount of fraction A for each feed (g kg ⁻¹)
PB _j	Amount of fraction crude protein for each feed (g kg ⁻¹)
PB1 _j	Amount of fraction B1 for each feed (g kg ⁻¹)
PB2 _j	Amount of fraction B2 for each feed (g kg ⁻¹)
PC _j	Amount of fraction C for each feed (g kg ⁻¹)
pef	Factor physical effectiveness of fiber in the feed ($0 \leq Fpe \leq 1$) (dmls)
peFDNintake _j	physically effective fiber intake (g day ⁻¹)
PeptidePass	Amount of peptide escaping the rumen (g day ⁻¹)
PeptideReqN	Amount of N required as peptide (g day ⁻¹)
PeptideUpN	Amount of N in the peptide uptake (g day ⁻¹)
PEPUP _t	Mass (pool) of peptides in the mass of non-fibrous carbohydrates fermenting bacteria (g)
PEPUPN _j	Bacterial peptide N (g day ⁻¹)
PEPUPNR	Bacterial peptide N retained (g day ⁻¹)
RAN	Ruminal ammonia nitrogen (g)
RATJO _j	Ratio of peptides to peptide plus NFC (g day ⁻¹)
RDCA _j	Ruminally-degraded CA (g day ⁻¹)
RDCB1 _j	Ruminally-degraded CB1 (g day ⁻¹)
RDCB2 _j	Ruminally-degraded CB2 (g day ⁻¹)
RDPA _j	Ruminally-degraded PA (g day ⁻¹)

RDPB _{1j}	Ruminally-degraded PB1 (g day ⁻¹)
RDPB _{2j}	Ruminally-degraded PB2 (g day ⁻¹)
RDPEP _j	Ruminally-degraded peptides (g day ⁻¹)

Table 2. (Continued).

Acronym ^a	Description (dimension)
REBASH _j	Ruminally escaped ash (g day ⁻¹)
REBCHO _j	Ruminally escaped carbohydrate (g day ⁻¹)
REBCW _j	Ruminally escaped bacterial cell wall (g day ⁻¹)
REBFAT _j	Ruminally escaped fat (g day ⁻¹)
REBNA _j	Ruminally escaped nucleic acid (g day ⁻¹)
REBTP _j	Bacterial non-cell wall protein at the duodenum (g day ⁻¹)
RECB _{1j}	Ruminally escaped carbohydrate B1 (g day ⁻¹)
RECB _{2j}	Ruminally escaped carbohydrate B2 (g day ⁻¹)
RECC _j	Ruminally escaped carbohydrate C (g day ⁻¹)
Red	Reduction for k_d adjustment due to pH (%)
REFAT _j	Amount of ruminally escaped fat (g day ⁻¹)
RelY	Relative adjustment of bacteria yield to ruminal pH (dmls)
REPB _{1j}	Ruminally escaped protein B1 (g day ⁻¹)
REPB _{2j}	Ruminally escaped protein B2 (g day ⁻¹)
REPC _j	Ruminally escaped protein C (g day ⁻¹)
<i>RPEP_t</i>	Rumen peptide pool (g)
TC	Amount of carbohydrate total for each feed (g kg ⁻¹)
x_j	Intake of the dietary j-th ingredient (g day ⁻¹)
Y^*_j	Efficiency of bacterial yield; g bacteria of CHO digested (g g ⁻¹)
$Y1_j$	Growth efficiency of microorganisms that use carbohydrates (fraction B2') supplied by the feed (g g ⁻¹)
$Y2_j$	Growth efficiency of microorganisms that use non-fiber carbohydrates (fraction A') provided by food (g g ⁻¹)
$Y3_j$	Growth efficiency of microorganisms that use non-fiber carbohydrates (fraction B1') provided by food (g g ⁻¹)
YG1	Theoretical maximum yield of fiber CHO bacteria, 0.4; g of bacteria per g of CHO digested per h (g g ⁻¹ h ⁻¹)
YG2	Theoretical maximum yield of non-fiber CHO bacteria, 0.4; g of bacteria per g of CHO digested per h (g g ⁻¹ h ⁻¹)

^aSubscript *i* means for each feed in the diet. Variable without the subscript *i* implies the sum of the variable with the subscript *i* across all feeds in the diet.

Table 3. Nutrient composition of feedstuffs used in the studies

Feed Name	DM ^a	CP ^a	NDICP ^a	ADICP ^a	CF ^a	NDF ^a	ADF ^a	LIG ^a	ASH ^a	NPN ^b	SUGAR ^a	STARCH ^c
Calcitic limestone ²	990.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1000.0	0.0	0.0	0.0
Concentrate I ³	814.4	199.5	6.7	3.1	35.1	102.0	45.8	8.2	54.6	166.0	18.5	684.0
Concentrate II ³	870.0	227.0	6.7	3.1	35.0	39.0	20.8	8.2	54.6	166.0	18.5	684.0
Cotton meal ¹	905.0	449.0	33.0	18.0	19.0	308.0	199.0	76.0	67.0	182.8	19.0	900.0
Ground corn ¹	881.0	94.0	7.0	3.0	42.0	95.0	34.0	9.0	15.0	30.3	16.6	900.0
Marandu ³	134.5	126.7	28.4	7.5	21.6	643.4	257.6	28.8	117.9	107.1	98.4	60.0
Mineral mix ²	990.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1000.0	0.0	0.0	0.0
Soybean meal ¹	891.0	500.0	7.0	4.0	16.0	149.0	100.0	70.0	66.0	89.1	29.4	0.0
Star grass ³	139.0	143.8	34.1	6.2	18.9	649.4	238.4	46.8	108.1	36.2	17.5	60.0
Tanzânia ³	132.6	138.7	45.9	8.9	16.2	686.7	265.0	39.0	118.6	57.7	105.6	60.0
Urea ²	950.0	2810.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Wheat bran ¹	891.0	173.0	28.0	14.0	43.0	425.0	155.0	30.0	63.0	322.2	171.0	900.0

¹NRC (2001); ²Santos (2011); ³Food Analysis Laboratory – EMBRAPA; ^ag kg⁻¹; ^bg kg CP⁻¹; ^cg kg NDF⁻¹.

Table 3.1. Mineral Composition of feedstuffs used in the studies.

Feed Name	Ca ^d	P ^d	Mg ^d	K ^d	Na ^d	Cl ^d	S ^d	Co ^e	Cu ^e	I ^e	Fe ^e	Mn ^e	Se ^e	Zn ^e
Calcitic limestone ²	1.2	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Concentrate I ³	1.1	4.1	1.5	7.6	0.2	0.9	2.0	7.5	6.7	0.4	78.0	30.4	0.6	54.4
Concentrate II ³	1.1	4.1	1.5	7.6	0.2	0.9	2.0	7.5	6.7	0.4	78.0	30.4	0.6	54.4
Cotton meal ¹	0.2	11.5	6.1	16.4	0.7	0.7	4.0	0.0	14.0	0.0	149.0	24.0	0.3	67.0
Ground corn ¹	0.4	3.0	1.2	4.2	0.2	0.8	1.0	0.0	3.0	0.0	54.0	11.0	0.1	27.0
Marandu ³	5.6	4.4	2.0	33.6	0.2	5.6	2.0	0.0	10.0	0.0	275.0	75.0	0.0	36.0
Mineral mix ²	1.2	40.0	0.0	0.0	0.0	0.0	27.0	750.0	0.0	40.0	0.0	1500.0	10.0	2250.0
Soybean meal ¹	4.0	7.1	3.1	22.2	0.4	1.3	4.6	0.0	22.0	0.0	185.0	35.0	2.1	57.0
Star grass ³	5.6	4.4	2.0	33.6	0.2	5.6	2.0	0.0	10.0	0.0	275.0	75.0	0.0	36.0
Tanzânia ³	5.6	4.4	2.0	33.6	0.2	5.6	2.0	0.0	10.0	0.0	275.0	75.0	0.0	36.0
Urea ²	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Wheat bran ¹	1.3	11.8	5.3	13.2	0.4	1.6	2.1	0.0	11.0	0.0	157.0	122.0	0.5	85.0

Table 3. 2. Digestion rate of feedstuffs used in the studies.

Feed Name	k_d1^*	k_d2^*	k_dCA^*	$k_d1'^*$	$k_d2'^*$	$k_d3'tb^*$	$k_d3'd$	N	λ	ke	pef
Calcitic limestone ²	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0
Concentrate I ³	2.866	0.086	3.000	3.000	0.450	0.050	0.060	1.0	10000.0	0.1	0.3
Concentrate II ³	2.866	0.086	3.000	3.000	0.450	0.050	0.060	1.0	10000.0	0.1	0.3
Cotton meal ¹	0.711	0.063	5.000	3.000	0.100	0.060	0.030	1.0	10000.0	0.1	0.4
Ground corn ¹	0.256	0.024	2.500	3.000	0.350	0.080	0.060	1.0	10000.0	0.1	0.3
Marandu ³	1.350	0.100	1.500	2.500	0.300	0.050	0.073	2.0	0.2	0.0	1.0
Mineral mix ²	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0
Soybean meal ¹	2.866	0.086	3.000	3.000	0.450	0.060	0.060	1.0	10000.0	0.1	0.3
Star grass ³	0.520	0.010	2.500	2.500	0.300	0.030	0.050	2.0	0.4	0.1	1.0
Tanzânia ³	1.350	0.100	1.500	2.500	0.300	0.050	0.073	2.0	0.2	0.0	1.0
Urea ²	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.0	0.0	0.0	0.0
Wheat bran ¹	2.450	0.037	5.000	3.000	0.700	0.060	0.120	1.0	10000.0	0.0	0.0

*for forages we obtained from Vieira et al. (2012), whereas for other feedstuffs we used rate values from Sniffen et al. (1992). Subscript d k_d obtained from database of studies.

Table 4. List of the numbered equations that constitutes the modified CNCPS version.

Eq.	Acronym	Eq. description or Eq. origin	Eq.	Acronym	Eq. description or Eq. origin
(1)	TC _j	$1000 - (CP_j + Ash_j + CF_j)$	(24)	peFDNintake _j	$pef \times Fiber_j$
(2)	NFC _j	$TC_j - NDF_j$	(25)	MTR _j	$((N/\lambda_i + 1/ke_i) \times Fiber_i / \sum Fiber_i)$
(3)	PA _j	NPN_j	(26)	[peNDF]	$0.1 \sum_i peFDNintake_i \times 1000/x_i$
(4)	PB1 _j	$1000 - (NDICP_j + NPN_j)$	(27)	pH	Fox et al. (2004)
(5)	PB2 _j	$1000 - (A_j + B_j + C_j)$	(28)	Y1(pH) _j	Fox et al. (2004)
(6)	PC _j	$ADICP_j$	(29)	KM1' (pH)	Fox et al. (2004)
(7)	CA' _j	$NFC_j - B1'$	(30)	YGI'	Fox et al. (2004)
(8)	CB1' _j	$0.001 \times Starch \times NFC_j$	(31)	ReIY	Fox et al. (2004)
(9)	CB2' _j	$1000 - (A'_j + B'_j + C'_j)$	(32)	Y' _j	Fox et al. (2004)
(10)	CC' _j	$2.4 \times LIG_j$	(33)	k _a 3' _j (pH)	Fox et al. (2004)
(11)	F _{PA_j}	$x_j \times A_j \times 0.001$	(34)	Red	$(k_a3'_{tb} - k_a3'(pH) \times 100/k_a3'_{tb})$
(12)	F _{PB1_j}	$x_j \times B1_j \times 0.001$	(35)	k _a 3' _j (GNG1)	$0.01 \times (100 - Red_j) \times k_a3'_a$
(13)	F _{PB2_j}	$x_j \times B2_j \times 0.001$	(36)	DB1 _j	Vieira et al. (2008b)
(14)	F _{PC_j}	$x_j \times C_j \times 0.001$	(37)	DB2 _j	Vieira et al. (2008b)
(15)	F _{CA_j}	$x_j \times A'_j \times 0.001$	(38)	RDPA _j	Fox et al. (2004)
(16)	F _{CB1_j}	$x_j \times B1'_j \times 0.001$	(39)	RDPB1 _j	$F_{PB1_j} \times DB1_j$
(17)	F _{CB2_j}	$x_j \times B2'_j \times 0.001$	(40)	RDPB2 _j	$F_{PB2_j} \times DB2_j$
(18)	F _{CC_j}	$x_j \times C'_j \times 0.001$	(41)	RDPEP _j	Fox et al. (2004)
(19)	F _{NFC_j}	$F_{CA'_j} + F_{CB1'_j}$	(42)	DCA' _j	Vieira et al. (2008b)
(20)	F _{FC_j}	$F_{B2'_j} + F_{CC'_j}$	(43)	DCB1' _j	Vieira et al. (2008b)
(21)	F _{Fat_j}	$x_j \times CF_j \times 0.001$	(44)	DCB2' _j	Vieira et al. (2008b)
(22)	F _{Ash_j}	$x_j \times Ash_j \times 0.001$	(45)	RDCA _j	$F_{CA'_j} \times DCA'_j$
(23)	Fiber _j	$x_j \times NDF_j \times 0.001$	(46)	RDCB1 _j	$F_{CB1'_j} \times DCB1'_j$

Table 4. (Continued).

Eq.	Acronym	Eq. description or Eq. origin	Eq.	Acronym	Eq. description or Eq. origin
(47)	RDCB2 _j	$F_{CB2j} \times DCB2'_j$	(74)	kl	2.5 × kpf
(48)	REPBl _j	Fox et al. (2004)	(75)	PEPUP _j	Equation 19 of this paper
(49)	REPB2 _j	Fox et al. (2004)	(76)	PEPUPN _j	Russel et al. (1992)
(50)	REPC _j	Fox et al. (2004)	(77)	PEPUPNR	Russel et al. (1992)
(51)	RECA _j	Fox et al. (2004)	(78)	NFCAMMNR	Russel et al. (1992)
(52)	RECB1 _j	Fox et al. (2004)	(79)	FCAMMNR	Russel et al. (1992)
(53)	RECB2 _j	Fox et al. (2004)	(80)	Recycled N	Fox et al. (2004)
(54)	RECC _j	Fox et al. (2004)	(81)	RAN	Russel et al. (1992)
(55)	YG1	Fox et al. (2004)	(82)	PeptidePass	Fox et al. (2004)
(56)	YG2	Fox et al. (2004)	(83)	PeptideReqN	Fox et al. (2004)
(57)	Y1 _j	Fox et al. (2004)	(84)	PeptideUpN	Fox et al. (2004)
(58)	Y2 _j	Fox et al. (2004)	(85)	NFC_NH ₃ _Req	Fox et al. (2004)
(59)	Y3 _j	Fox et al. (2004)	(86)	NH ₃ _Diet	Fox et al. (2004)
(60)	k _{up}	Fox et al. (2004)	(87)	BactNBalance	Fox et al. (2004)
(61)	RATJO _j	Russel et al. (1992)	(88)	NAllowableBact	Tylutki et al. (2008)
(62)	IMP _j	Fox et al. (2004)	(89)	EFCBact _j	Fox et al. (2004)
(63)	FCBACT _j	Fox et al. (2004)	(90)	ENFCBact _j	Fox et al. (2004)
(64)	AdjY2 _j	Fox et al. (2004)	(91)	EAllowableBact _j	Tedeschi et al. (2000)
(65)	AdjY3 _j	Fox et al. (2004)	(92)	BactRed	Fox et al. (2004)
(66)	NFCBACT1 _j	AdjY2 _j × RDCA _j	(93)	EBactRatio _j	Fox et al. (2004)
(67)	NFCBACT2 _j	AdjY3 _j × RDCB1 _j	(94)	NAllowableBact _j	Fox et al. (2004)
(68)	NFCBACT _j	RDCA _j + RDCB1 _j	(95)	BactRed _j	Fox et al. (2004)
(69)	FCBACTN _j	Russel et al. (1992)	(96)	FCBactRed _j	Fox et al. (2004)
(70)	NFCBACTN _j	Russel et al. (1992)	(97)	EFCBactRatio _j	Fox et al. (2004)
(71)	NFCBact1pool	$NFCBACT1j / (24 \times k_d 1')$	(98)	FCRed _j	Fox et al. (2004)
(72)	NFCBact2pool	$NFCBACT2j / (24 \times k_d 2')$	(99)	AdjRDCB2 _j	Fox et al. (2004)
(73)	kpf	1/MTR _j	(100)	AdjRECB2 _j	Fox et al. (2004)

Table 4. (Continued).

Eq.	Acronym	Eq. description or Eq. origin	Eq.	Acronym	Eq. description or Eq. origin
(101)	FCRedRatio	Tedeschi et al. (2000)	(127)	FECB2 _j	Fox et al. (2004)
(102)	REBTP _j	Fox et al. (2004)	(128)	FECC _j	Fox et al. (2004)
(103)	REBCW _j	Fox et al. (2004)	(129)	FEFC _j	Fox et al. (2004)
(104)	REBNA _j	Fox et al. (2004)	(130)	FEFA _j	Sniffen et al. (1992)
(105)	REBCHO _j	Russel et al. (1992)	(131)	FEFF _j	Fox et al. (2004)
(106)	REBFAT _j	Fox et al. (2004)	(132)	FEBCW _j	Fox et al. (2004)
(107)	REBASH _j	Fox et al. (2004)	(133)	FEBCP _j	Fox et al. (2004)
(108)	MP Balance	MPrequired - MP _j	(134)	FEBC _j	Fox et al. (2004)
(109)	DigPB1 _j	Fox et al. (2004)	(135)	FEBF _j	Fox et al. (2004)
(110)	DigPB2 _j	Fox et al. (2004)	(136)	FEBASH _j	Fox et al. (2004)
(111)	DigFP _j	Fox et al. (2004)	(137)	FEBACT _j	Fox et al. (2004)
(112)	DigBTP _j	Fox et al. (2004)	(138)	FEENGP _j	Sniffen et al. (1992)
(113)	DigBNA _j	Fox et al. (2004)	(139)	FEENGF _j	Sniffen et al. (1992)
(114)	DigP _j	Fox et al. (2004)	(140)	FEENGA _j	Sniffen et al. (1992)
(115)	RECB2 _j Adj	FCRed _j ≤ 0; RECB2 _i , <i>otherwise</i> RECB2 _i + FCRed _j	(141)	FEPROT _j	Fox et al. (2004)
(116)	DigFC _j	Fox et al. (2004)	(142)	FECHO _j	Fox et al. (2004)
(117)	DigBC _j	Fox et al. (2004)	(143)	FEFAT _j	Fox et al. (2004)
(118)	DigC _j	Fox et al. (2004)	(144)	FEASH _j	Fox et al. (2004)
(119)	REFAT _j	Sniffen et al. (1992)	(145)	IDM _j	Sniffen et al. (1992)
(120)	DigFF _j	Fox et al. (2004)	(146)	DE _j	$(F_{PB1_j} - FEPROT_j) \times 23.4 + ((F_{NFC_j} + F_{FC_j}) - FECHO_j) \times 17.6 + 39.3 \times (F_{Fat_j} - FEFAT_j)$
(121)	DigBF _j	Fox et al. (2004)			
(122)	DigF _j	Fox et al. (2004)	(147)	ME _j	NRC (2001)
(123)	FEPB2 _j	Fox et al. (2004)	(148)	NE _i	Fox et al. (2004)
(124)	FEPC _j	Fox et al. (2004)	(149)	MP _j	Fox et al. (2004)
(125)	FEFP _j	Fox et al. (2004)			
(126)	FECB1 _j	Fox et al. (2004)			

Table 5. Minimum (Min), maximum (Max), mean (\bar{y}), median (\tilde{y}), and standard deviation (SD) of model outputs.

Variables	NRC					CNCPS v. 6.5					MODIFIED MODEL				
	Min	Max	\bar{y}	\tilde{y}	SD	Min	Max	\bar{y}	\tilde{y}	SD	Min	Max	\bar{y}	\tilde{y}	SD
DMI (kg/day)	10.600	16.300	13.364	13.400	1.166	6.995	21.180	12.973	12.938	1.498	9.674	15.529	12.455	12.536	1.204
NE_l^a	20.083	49.371	35.404	35.146	6.128	29.706	76.149	54.645	54.392	9.424	31.380	85.772	55.941	55.647	9.944
PM_l^b	261.0	688.0	513.36	519.0	91.94	255.0	781.30	514.9	520.0	94.8	259.9	764.4	524.2	529.7	97.0
NE_m^c	34.727	49.790	41.471	41.422	3.136	48.953	86.190	61.550	61.505	5.282	48.116	63.597	54.905	55.229	3.444
PM_m^d	282.0	729.0	481.9	493.5	96.9	282.0	798.0	468.6	485.5	97.8	306.3	722.6	491.4	498.3	89.3
NE	38.074	112.131	70.370	72.592	15.602	55.647	90.374	13.124	11.506	32.749	63.597	88.282	7.360	12.552	32.648
PM	487.0	1921.0	1122.7	1167.5	294.4	523.0	2674.0	1209.7	1238.0	337.0	637.7	1896.6	1215.7	1200.2	302.8
NE	-8.786	69.036	28.899	30.125	15.049	-1.255	139.746	67.769	63.178	33.231	0.837	141.419	63.301	65.689	31.752
MP	193.0	1192.0	640.7	666.5	200.1	227.0	2086.0	740.5	723.0	261.6	319.0	1174.0	724.3	692.5	226.8

^aNet energy for lactation (MJ day⁻¹)^bNet energy for maintenance (MJ day⁻¹)^cMetabolizable protein for lactation (g day⁻¹)^dmetabolizable protein for maintenance (g day⁻¹)

Table 6. Measures of model adequacy regarding dry matter intake (DMI, g day⁻¹) of crossbred dairy cows on tropical pastures.

Empirical measures to evaluate the models									
Model	MSEP ¹	MB ² (g d ⁻¹)	MB (% do obs.)	MEF ³	CD4	Cb5	CCC6	Valor P7	H0: a = 0 & b = 1
NRC (2001)	10273238.4	-1164.5	-9.55	-0.137	3.337	0.596	0.125	0.001	
CNCPS	10503572.3	-773.3	-6.34	-0.163	3.192	0.757	0.115	0.001	
Modified	8903692.3	-256.0	-2.10	0.014	5.994	0.685	0.155	0.054	
Best	Modified	Modified	Modified	Modified	CNCPS	CNCPS	Modified	Modified	

¹Mean square error of prediction (Bibby and Toutenburg, 1977).²Mean bias (Cochran & Cox (1954).³Modeling efficiency factor (Loague and Green, 1991; Zacharias et al., 1996).⁴Coefficient of model determination⁵Model accuracy⁶Concordance correlation coefficient (Lin, 1989).⁷Hypothesis of Mayer et al. (1994).

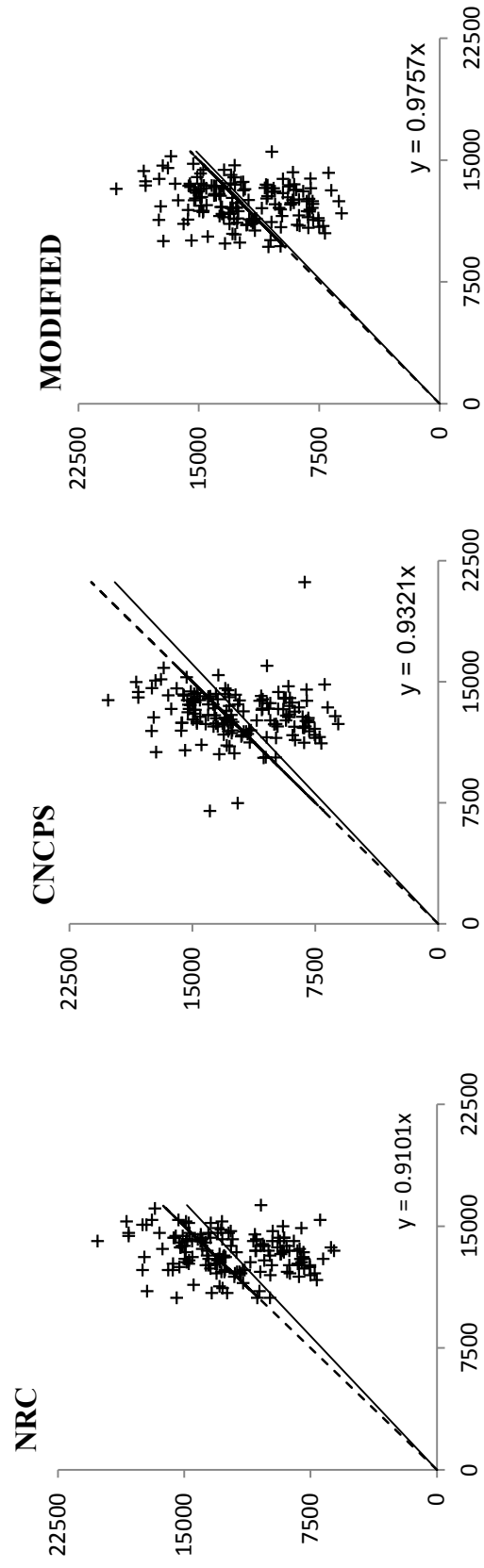


Figure 2. Observed (ordinate) and predicted (abscissa) values for dry matter intake, (g day^{-1}), where the dashed line represents the unit line and, the solid line, the estimation of the NRC, CNCPS, and modified CNCPS models.

Table 7. Measures of model adequacy regarding energy available for lactation (MJ kg⁻¹) of crossbred dairy cows on tropical pastures.

Empirical measures to evaluate the models										
Model	MSEP ¹	MB ² (MJd ⁻¹)	MB (% do obs.)	MEF ³	CD4	Cb5	CCC6	Valor P7	H0: a = 0 & b = 1	
NRC (2001)	296.500	6.567	18.517	-6.902	0.140	0.602	0.030	0.001		
CNCPS	497.579	-7.905	-22.289	-12.260	0.073	0.473	0.094	0.001		
Modified	461.195	-5.299	-14.940	-11.291	0.085	0.519	0.041	0.001		
Best	NRC	Modified	Modified	NRC	NRC	NRC	CNCPS			

¹Mean square error of prediction (Bibby and Toutenburg, 1977).²Mean bias (Cochran & Cox (1954).³Modeling efficiency factor (Loague and Green, 1991; Zacharias et al., 1996).⁴Coefficient of model determination⁵Model accuracy⁶Concordance correlation coefficient (Lin, 1989).⁷Hypothesis of Mayer et al. (1994).

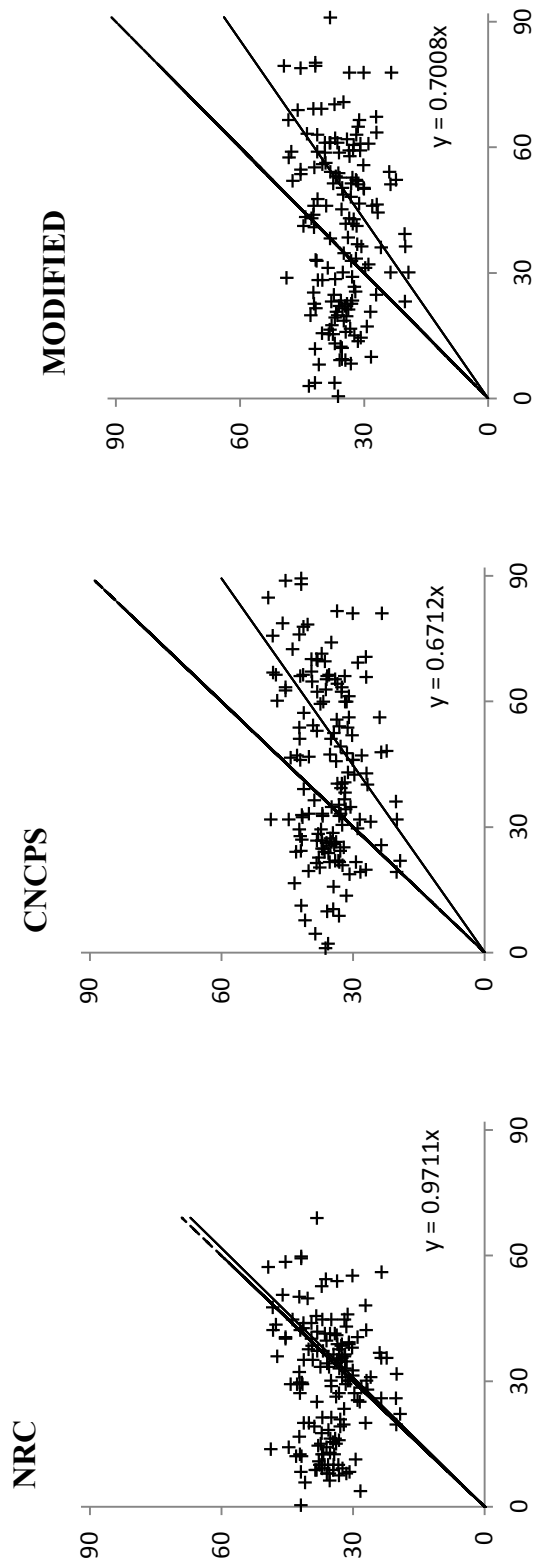


Figure 3. Observed (ordinate) and predicted (abscissa) values for net energy available for milk production, (MJ day^{-1}), where the dashed line represents the unit line and, the solid line, the estimation of the NRC, CNCPS, and modified CNCPS models.

Table 8. Measures of model adequacy regarding protein available for lactation (g day^{-1}) of crossbred dairy cows on tropical pastures.

Model	Empirical measures to evaluate the models							Valor P7 H0: a = 0 & b = 1
	MSEP ¹	MB ² (g d^{-1})	MB (% do obs.)	MEF ³	CD4	Cb5	CCC6	
NRC (2001)	57776.010	-88.659	-16.059	-4.963	0.203	0.686	0.008	0.001
CNCPS	112965.347	-188.400	-34.124	-10.658	0.094	0.455	0.002	0.001
Modified	85045.385	-172.236	-31.197	-7.777	0.120	0.493	0.060	0.001
Best	NRC	NRC	NRC	NRC	NRC	NRC	Modified	

¹Mean square error of prediction (Bibby and Toutenburg, 1977).

²Mean bias (Cochran & Cox (1954).

³Modeling efficiency factor (Loague and Green, 1991; Zacharias et al., 1996).

⁴Coefficient of model determination

⁵Model accuracy

⁶Concordance correlation coefficient (Lin, 1989).

⁷Hypothesis of Mayer et al. (1994).

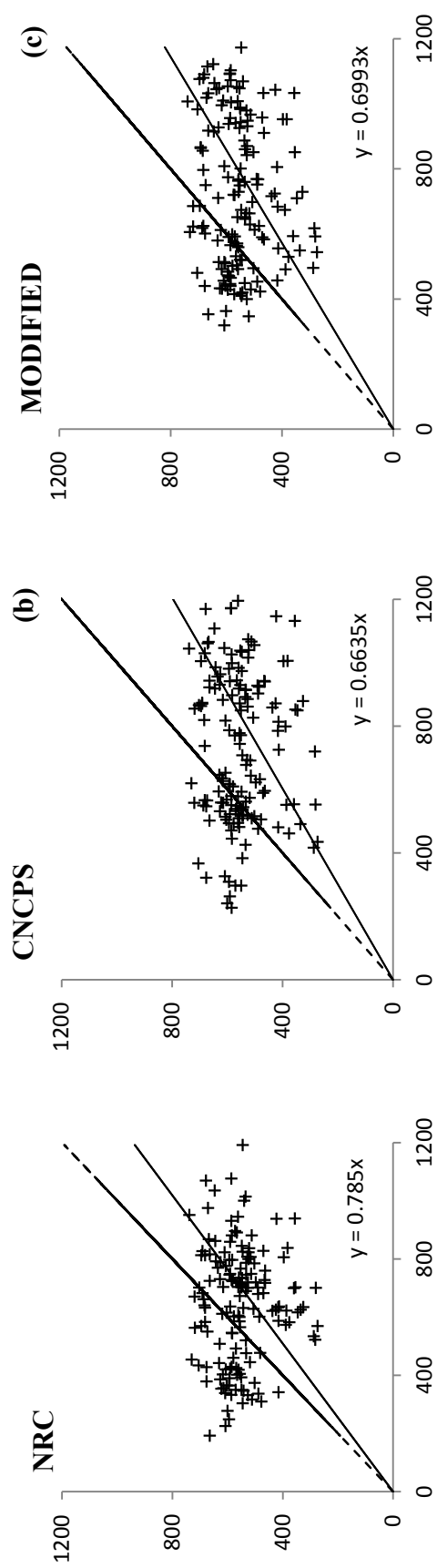


Figure 4. Observed (ordinate) and predicted (abscissa) values for metabolizable protein available for milk production, (g day^{-1}), where the dashed line represents the unit line and, the solid line, the estimation of the NRC, CNCPS, and modified CNCPS models.

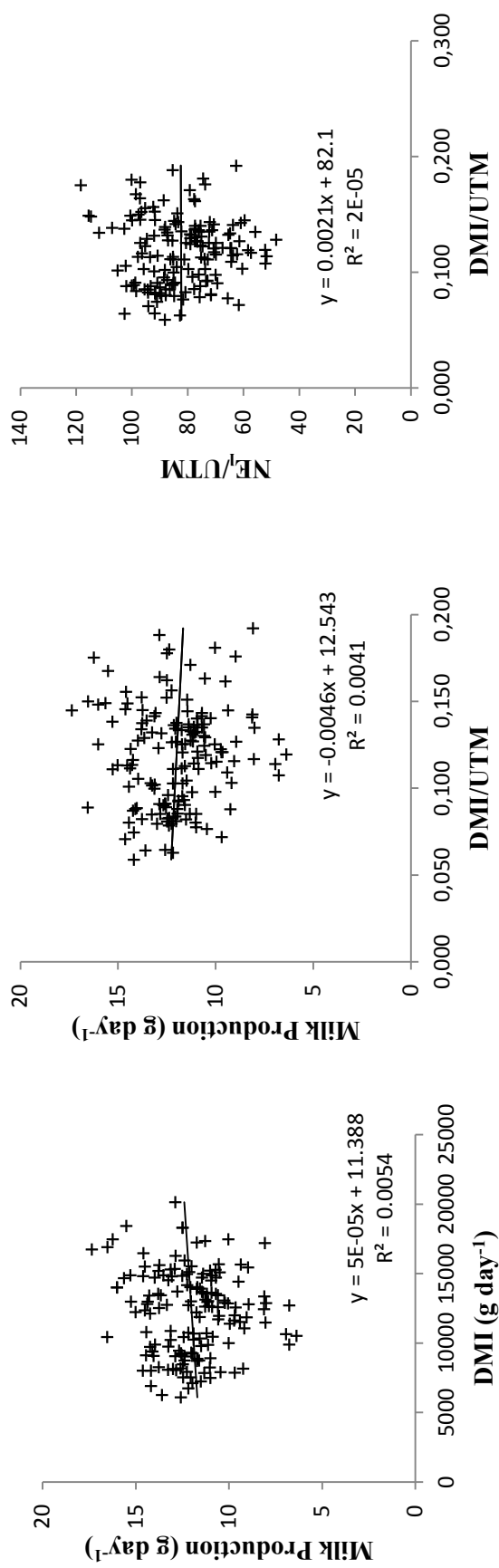


Figure 5. Graphs for relation of DMI with milk production (a), DMI by metabolic size and milk production (b), and net energy by DMI by metabolic size (c).

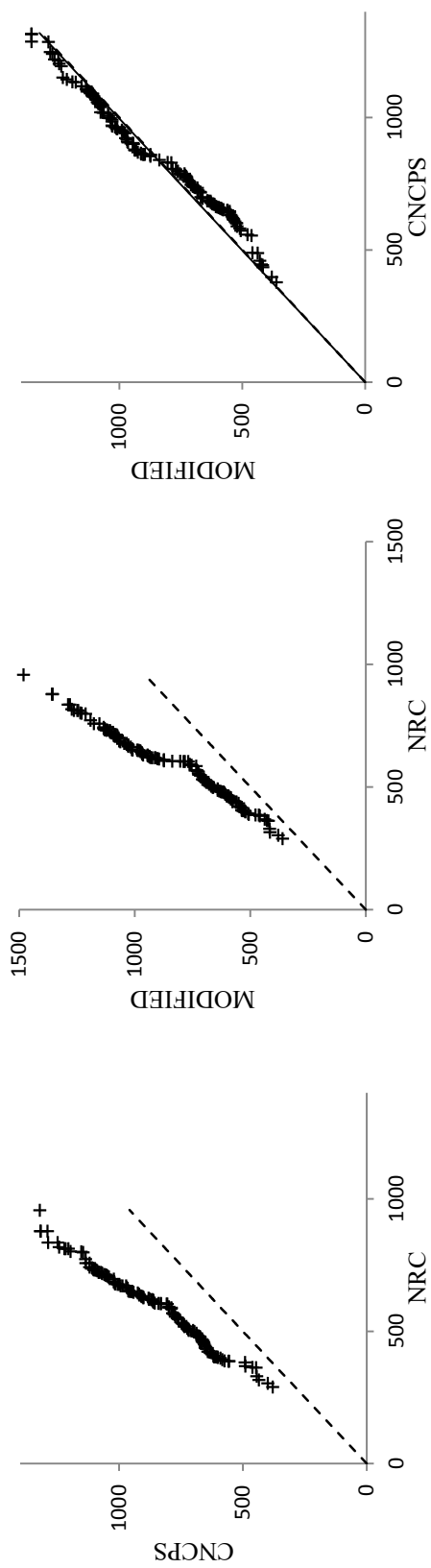


Figure 6. Graphs of observed values for MP from bacterial origin, (g day^{-1}), where the dashed line represents the unit line.

