

DOUGLAS SAMPAIO HENRIQUE

**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM MODELO MATEMÁTICO  
PARA PREDIÇÃO DO VALOR NUTRICIONAL DE RAÇÕES PARA  
BOVINOS SUJEITO ÀS RESTRIÇÕES DA MASSA DE FIBRA NO RÚMEN**

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

VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2007

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

T

H519d  
2007

Henrique, Douglas Sampaio, 1977-

Desenvolvimento e avaliação de um modelo matemático para predição do valor nutricional de rações para bovinos sujeito às restrições da massa de fibra no rúmen / Douglas Sampaio Henrique. – Viçosa : UFV, 2007.  
xvii, 89f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui apêndice.

Orientador: Rogério de Paula Lana.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa.

Referências bibliográficas: f. 65-73.

1. Bovino - Alimentação e rações - Modelos matemáticos.
  2. Rações - Composição. 3. Bovino - Nutrição - Necessidades.
  4. Fibras na nutrição animal. I. Universidade Federal de Viçosa.
- II. Título.

CDD 22.ed. 636.2085

DOUGLAS SAMPAIO HENRIQUE

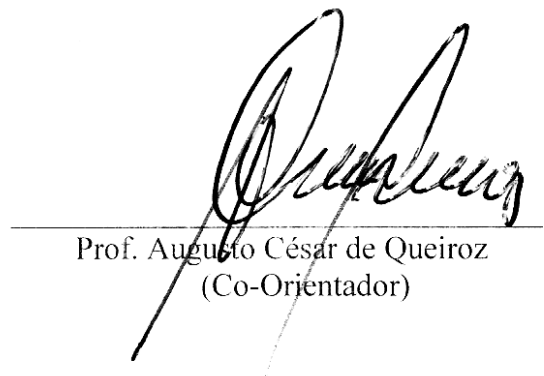
**DESENVOLVIMENTO E AVALIAÇÃO DE UM MODELO MATEMÁTICO  
PARA PREDIÇÃO DO VALOR NUTRICIONAL DE RAÇÕES PARA  
BOVINOS SUJEITO ÀS RESTRIÇÕES DA MASSA DE FIBRA NO RÚMEN**

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

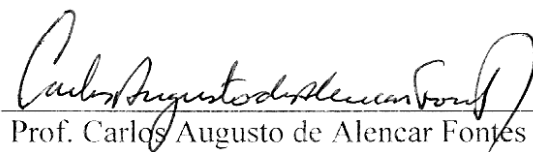
APROVADA: 16 de fevereiro de 2007.




Prof. Ricardo Augusto Mendonça Vieira  
(Co-Orientador)



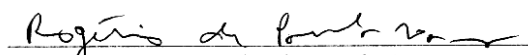
Prof. Augusto César de Queiroz  
(Co-Orientador)



Prof. Carlos Augusto de Alencar Fontes



Prof. José Carlos Pereira



Prof. Rogério de Paula Lana  
(Orientador)

## DEDICATÓRIA

Ao saudoso amigo André Luigi Gonçalves.  
Ao meu pai Roberto Henrique (*in memoriam*).  
À minha mãe Leila Sampaio Henrique.  
À minha esposa Katia Atoji Henrique.  
Ao meu filho Gabriel Atoji Henrique.

“A vitória é para aquele que antes do combate  
não pensa em si mesmo.”

Um monge taoísta

## AGRADECIMENTO

À Universidade Federal de Viçosa, especialmente ao Departamento de Zootecnia, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão da bolsa de estudos.

Aos amores da minha vida, Katia e Gabriel por tornarem a caminhada de minha existência menos extenuante.

À minha mãe Leila, ao meu sogro Yochiyuki e à minha sogra Satie que além do apoio moral, contribuíram financeiramente para que eu, minha esposa e meu filho tivéssemos uma vida digna durante essa fase de nossas vidas. Meu débito com essas três pessoas será eterno.

Ao amigo André Luigi Gonçalves (*in memoriam*) que me acolheu quando cheguei na cidade de Viçosa e foi um grande conselheiro durante todo o tempo de nossa convivência.

Ao professor Rogério de Paula Lana pela orientação e pela presteza apresentada em todos os momentos em que precisei dele.

Aos professores Augusto César de Queiroz e José Carlos Pereira pelos conselhos e pela agradável convivência.

Ao professor, amigo e mentor Ricardo Augusto Mendonça Vieira por me fazer enxergar a imprescindibilidade dos aspectos quantitativos para a ciência.

Ao professor Carlos Augusto de Alencar Fontes que me lançou desafios importantes para minha formação acadêmica.

Ao professor e amigo Pedro Antônio Muniz Malafaia por ter estimulado meu ingresso na carreira acadêmica e cujas aulas e palestras foram determinantes em minha escolha por estudar o fascinante mundo da nutrição de ruminantes.

Ao professor Marcelo Teixeira Rodrigues pela oportunidade de trabalhar no setor de caprinocultura da UFV durante o tempo precedente à minha entrada no curso de doutorado.

Aos professores Dilermando Miranda da Fonseca, Maria Ignez Leão, Paulo Roberto Cecon, Adair José Regazzi, Sebastião C. Valadares Filho, Rita Flávia M.

Oliveira, Aloísio Soares Ferreira, Ricardo Frederico Euclides e Valéria Monteze Guimarães por terem contribuído imensamente à minha formação acadêmica.

Aos funcionários do Departamento de Zootecnia, principalmente ao Adilson à Celeste e à Márcia pela presteza e gentileza com que me atenderam em todos os momentos em que solicitei.

Aos funcionários do setor de Caprinocultura da UFV, companheiros de trabalho que se tornaram amigos para o resto da vida.

Aos colegas de curso Fernando (Rufião), Marcone, Zé Antônio (Mané Putêncio) e Marinaldo que acabaram se tornando grandes amigos.

Aos casais Daniel e Janaína, Renius e Fernanda, Robson e Polliana com os quais compartilhamos problemas e soluções, alegrias e tristezas.

Aos pequeninos em estatura (por enquanto), mas gigantes em inteligência, capacidade de realizar travessuras e nos divertir, mesmo nas fases mais estressantes, Miguel, Guilherme, Felipe, Artur e Gabriel.

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

## **BIOGRAFIA**

DOUGLAS SAMPAIO HENRIQUE, filho de Roberto Henrique e Leila Sampaio Henrique, nasceu em Valença, Rio de Janeiro, no dia 22 de maio de 1977.

Ingressou no curso de Zootecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro em 1995, obtendo o título de graduação em 2000.

Em março de 2001 iniciou o curso de Mestrado em Zootecnia da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro submetendo-se à defesa de tese em julho de 2002.

Em agosto de 2003 iniciou o curso de Doutorado em Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa concentrado seus estudos na área de nutrição de ruminantes.

## SUMÁRIO

LISTA DE SÍMBOLOS .....	vii
RESUMO .....	xvi
ABSTRACT .....	xvii
INTRODUÇÃO .....	1
REVISÃO DE LITERATURA .....	3
MATERIAL E MÉTODOS .....	17
RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	53
CONCLUSÕES .....	64
REFERÊNCIAS .....	65
APÊNDICE .....	73



## LISTA DE SÍMBOLOS

Abreviação	Unidade	Descrição
A	g/kg	Teor de nitrogênio não protéico no alimento
A'	g/kg	Teor de carboidratos solúveis em detergente neutro no alimento
B1	g/kg	Teor de proteína solúvel em detergente neutro no alimento
B1'	g/kg	Teor de carboidratos não fibrosos, porém, insolúveis em detergente neutro no alimento
B2	g/kg	Teor de proteína potencialmente degradável, porém, insolúvel em detergente neutro, no alimento
B2'	g/kg	Teor de carboidratos fibrosos potencialmente degradáveis no alimento
C	g/kg	Teor de compostos nitrogenados indegradáveis no alimento
C'	g/kg	Teor de carboidratos não degradáveis no alimento
[Ca]	g/kg	Teor de Cálcio no alimento
[Cl]	g/kg	Teor de cloro no alimento
[Co]	mg/kg	Teor de cobalto no alimento
CT	g/kg	Teor de carboidratos do alimento
[Cu]	mg/kg	Teor de cobre no alimento
[EL <sub>t</sub> ]	MJ/kg	Teor de energia líquida total da ração
F	g/kg	Teor de fibra no alimento
[Fe]	mg/kg	Teor de ferro no alimento
FE	adimensional	Teor de fibra fisicamente efetiva da ração
GB	g/kg	Teor de gordura bruta no alimento
[I]	mg/kg	Teor de iodo no alimento
[K]	g/kg	Teor de potássio no alimento
[Mg]	g/kg	Teor de magnésio no alimento
MM	g/kg	Teor de matéria mineral no alimento
[Mn]	mg/kg	Teor de manganês no alimento
[Na]	g/kg	Teor de sódio no alimento
[P]	g/kg	Teor de fósforo no alimento
PB	g/kg	Teor de proteína bruta no alimento
[PM]	adimensional	Teor de proteína metabolizável da ração total
[S]	g/kg	Teor de enxofre no alimento
[Se]	mg/kg	Teor de selênio no alimento
[TNAD]	adimensional	Teor do total de nutrientes aparentemente digeríveis da ração
[Zn]	mg/kg	Teor de zinco no alimento

Abreviação	Unidade	Descrição
AGV	g/d	Quantidade de ácidos graxos voláteis produzidos à partir do alimento
BACNFpepup	g/d	Quantidade de peptídeos retidos pelas bactérias que utilizam carboidratos não fibrosos
BACT	g/d	Biomassa de células produzidas a partir da disponibilidade ruminal total de carboidratos fornecidos pelo alimento
BACTCF	g/d	Biomassa de células microbianas produzidas a partir da disponibilidade ruminal dos carboidratos fibrosos fornecidos pelo alimento
BACTCFrazão	adimensional	Proporção de bactérias que utilizam carboidratos fibrosos em relação ao total de bactérias
BACTCFred	g/d	Redução na quantidade de bactérias que utilizam carboidratos fibrosos devido à deficiência de nitrogênio no rúmen
BACTNF	g/d	Biomassa de células produzidas a partir da disponibilidade ruminal dos carboidratos não fibrosos fornecidos pelo alimento
BACTNFmass	g	Biomassa de bactérias que utilizam carboidratos não fibrosos
BACTred	g/d	Redução na quantidade de bactérias devido à deficiência de nitrogênio no rúmen
BNAR	g/d	Balço do nitrogênio amoniacal ruminal
CA'	g/d	Quantidade de fração A' fornecida pelo alimento
CB1'	g/d	Quantidade de fração B1' fornecida pelo alimento
CB2'	g/d	Quantidade de fração B2' fornecida pelo alimento
CC'	g/d	Quantidade da fração C' fornecida pelo alimento
cd	adimensional	Coefficiente de digestibilidade intestinal da fração B1'
CED	MJ/d	Montante de energia digerível disponível ao animal, provida pela ração
CEM	MJ/d	Montante de energia metabolizável disponível ao animal, provido pela ração
CEM/UTM	MJ/kg <sup>0,75</sup>	Montante de energia metabolizável disponível ao animal corrigida para a unidade de tamanho metabólico
CF	g/d	Quantidade de carboidratos fibrosos fornecida pelo alimento
CF%M	%	CF/kg corrigido para a % da massa corporal do animal
CF/kg	kg/d	CF corrigido para kg/d

Abreviação	Unidade	Descrição
CFred	g/d	Quantidade da fração B2' não degradada pelas bactérias que utilizam carboidratos fibrosos
CFredRazão	adimensional	Razão entre CFred e o total de DRB2'
Cinzas	g/d	Quantidade de cinzas fornecida pelo alimento
Cl	g/d	Quantidade de cloro fornecida pelo alimento
CNF	g/d	Quantidade de carboidratos não fibrosos fornecida pelo alimento
Co	mg/d	Quantidade de cobalto fornecida pelo alimento
CPEPUP	g/d	Quantidade de peptídeos degradados que foram utilizados pelas bactérias mais os peptídeos que escaparam do rúmen
Crescimento	h	Tempo necessário para o crescimento bacteriano admitindo a taxa de passagem de líquidos
CT	g/d	Quantidade de carboidratos totais fornecida pelo alimento
Cu	mg/d	Quantidade de cobre fornecida pelo alimento
Desaparecimento	h	Tempo necessário para o desaparecimento das bactérias e dos peptídeos
DIANM	g/d	Digestibilidade intestinal dos ácidos nucléicos microbianos
DIB1	g/d	Digestibilidade intestinal da fração B1 que escapa à degradação ruminal
DIB2	g/d	Digestibilidade intestinal da fração B2 que escapa à degradação ruminal
DICA	g/d	Digestibilidade intestinal dos carboidratos oriundos do alimento
DICM	g/d	Digestibilidade intestinal dos carboidratos microbianos
DIG	g/d	Digestibilidade intestinal da gordura total
DIGA	g/d	Digestibilidade intestinal da gordura oriunda do alimento
DIGM	g/d	Digestibilidade intestinal da gordura microbiana
DIP	g/d	Digestibilidade intestinal da proteína
DIPA	g/d	Digestibilidade intestinal total da proteína de origem alimentar
DIPVM	g/d	Digestibilidade intestinal da proteína verdadeira de origem microbiana
DITC	g/d	Digestibilidade intestinal do total de carboidratos
dM/dt	kg/d	Taxa de ganho de massa corporal pelo animal

Abreviação	Unidade	Descrição
DRA	g/d	Disponibilidade ruminal da fração A fornecida pelo alimento
DRA'	g/d	Disponibilidade ruminal da fração A' fornecida pelo alimento
DRB1	g/d	Disponibilidade ruminal da fração B1 fornecida pelo alimento
DRB1'	g/d	Disponibilidade ruminal da fração B1' fornecida pelo alimento
DRB1 aj	g/d	Disponibilidade ruminal da fração B1 ajustada devido ao escape ruminal de peptídeos
DRB2	g/d	Disponibilidade ruminal da fração B2 fornecida pelo alimento
DRB2'	g/d	Disponibilidade ruminal da fração B2' fornecida pelo alimento
DRB2 aj	g/d	Disponibilidade ruminal da fração B2 ajustada devido ao escape ruminal de peptídeos
DRB2'aj	g/d	Disponibilidade ruminal da fração B2' ajustada devido à deficiência ruminal de nitrogênio
DRPEP	g/d	Disponibilidade ruminal de peptídeos fornecidos pelo alimento
DRPEPh	g/h	Taxa de disponibilização dos peptídeos no rúmen
EBACTrazão	adimensional	Proporção de bactérias produzidas a partir do íésimo alimento em relação ao total de bactérias produzidas
EL <sub>g</sub>	MJ/d	Exigência em energia líquida para o ganho em massa corporal
EL <sub>m</sub>	MJ/d	Montante de energia líquida exigido para o desempenho do processo de manutenção do animal
EL <sub>t</sub>	MJ/d	Exigência total em energia líquida
EPEPUP	g/d	Escape ruminal de peptídeos
ERA'	g/d	Escape ruminal da fração A' fornecida pelo alimento
ERANM	g/d	Escape ruminal de ácidos nucléicos microbianos
ERB1	g/d	Escape ruminal da fração B1 fornecida pelo alimento
ERB1'	g/d	Escape ruminal da fração B1' fornecida pelo alimento
ERB1aj	g/d	Escape ruminal da fração B1 ajustada devido ao escape de peptídeos do rúmen
ERB2	g/d	Escape ruminal da fração B2 fornecida pelo alimento
ERB2'	g/d	Escape ruminal da fração B2' fornecida pelo alimento

Abreviação	Unidade	Descrição
ERB2aj	g/d	Escape ruminal da fração B2 ajustada devido ao escape de peptídeos do rúmen
ERB2'aj	g/d	Escape ruminal da fração B2' ajustada devido à deficiência de nitrogênio no rúmen
ERC	g/d	Escape ruminal da fração C fornecida pelo alimento
ERC'	g/d	Escape ruminal da fração C' fornecida pelo alimento
ERCinzasM	g/d	Escape ruminal de cinzas associadas à biomassa microbiana
ERCTM	g/d	Escape ruminal de carboidratos totais microbianos
ERGB	g/d	Escape ruminal de gordura
ERGM	g/d	Escape ruminal de gordura microbiana
ERPBM	g/d	Escape ruminal de proteína bruta microbiana
ERPPCM	g/d	Escape ruminal de proteínas ligadas à parede celular microbiana
FE	g/d	Quantidade de fibra fisicamente efetiva fornecida pelo alimento
Fe	mg/d	Quantidade de ferro fornecida pelo alimento
fef	adimensional	Fator de efetividade física da fibra contida no alimento, ( $0 \leq fef \leq 1$ )
Fibra	g/d	Quantidade de fibra fornecida pelo alimento
G	g/d	Quantidade de gordura fornecida pelo alimento
I	mg/d	Quantidade de iodo fornecida pelo alimento
IMP	%	Acréscimo porcentual no rendimento devido à disponibilidade de peptídeos em relação às frações A' e B1'
K	g/d	Quantidade de potássio fornecida pelo alimento
ka	$h^{-1}$	Taxa de disponibilização das frações nitrogenadas para o ataque microbiano
ka'	$h^{-1}$	Taxa de disponibilização das frações fibrosas para o ataque microbiano
kd1	$h^{-1}$	Taxa de digestão da fração B1
kd1'	$h^{-1}$	Taxa de digestão da fração A
kd2	$h^{-1}$	Taxa de digestão da fração B2
kd2'	$h^{-1}$	Taxa de digestão da fração B1'
kd3'	$h^{-1}$	Taxa de digestão da fração B2'
ke	$h^{-1}$	Taxa de escape ruminal das partículas fibrosas para o restante do TGI
k <sub>r</sub>	$h^{-1}$	Taxa de diluição de líquidos no rúmen

Abreviação	Unidade	Descrição
$k_{mg}$	adimensional	Eficiência total de utilização da energia metabolizável da ração pelo animal para efetuar os processo de manutenção e ganho em massa corporal
$k_{m1}$	adimensional	taxa de manutenção das bactérias que utilizam os carboidratos fibrosos
$k_{m2}$	adimensional	taxa de manutenção das bactérias que utilizam os carboidratos não fibrosos
$k_r$	$h^{-1}$	Taxa de passagem das partículas fibrosas longas recém ingeridas para as porções ventrais do rúmen
$k_{up}$	g peptídeo/ g células/ h	Taxa de utilização de peptídeos pelas bactérias que fermentam carboidratos não fibrosos
$k_{upi}$	g peptídeo/ g células/ h	Taxa de utilização de peptídeos corrigida em função da oferta de ionóforos na ração
M	kg	Massa corporal do animal
$MCV_g$	kg	Massa corporal isenta de conteúdo gastrointestinal geral (para zebuínos e mestiços)
$MCV_m$	kg	Massa corporal isenta de conteúdo gastrointestinal para animais mestiços
$MCV_z$	kg	Massa corporal isenta de conteúdo gastrointestinal para animais zebuínos
Mg	g/d	Quantidade de magnésio fornecida pelo alimento
Mn	mg/d	Quantidade de manganês fornecida pelo alimento
MRF	g/kg de massa corporal do animal	Massa ruminal de fibra
$MRF_{Máx}$	g/kg de massa corporal do animal	Capacidade máxima de retenção de fibra no rúmen
MSI	g/d	Quantidade de matéria seca indigerível
N BACTCF	g/d	Quantidade de nitrogênio contido na biomassa produzida no rúmen a partir dos carboidratos fibrosos
N BACTNF	g/d	Quantidade de nitrogênio contido na biomassa produzida no rúmen a partir dos carboidratos não fibrosos fornecidos pelo alimento
Na	g/d	Quantidade de sódio fornecida pelo alimento
NAM BACTCF	g/d	Nitrogênio amoniacal retido pelos microrganismos que utilizam os carboidratos fibrosos
NAM BACTNF	g/d	Nitrogênio amoniacal retido pelos microrganismos que utilizam os carboidratos não fibrosos

Abreviação	Unidade	Descrição
NPEPUP	g/d	Nitrogênio contido nos peptídeos assimilados pelos microrganismos que utilizam os carboidratos não fibrosos
NPEPUPaj	g/d	Nitrogênio contido nos peptídeos retidos pelos microrganismos que utilizam os carboidratos não fibrosos ajustado para o escape ruminal de peptídeos
NperBACT	g/d	Crescimento microbiano permitido pela disponibilidade ruminal de nitrogênio
P	g/d	Quantidade de fósforo fornecida pelo alimento
PA	g/d	Quantidade da fração A fornecida pelo alimento
PB	g/d	Quantidade de proteína bruta fornecida pelo alimento
PB1	g/d	Quantidade da fração B1 fornecida pelo alimento
PB2	g/d	Quantidade da fração B2 fornecida pelo alimento
PC	g/d	Quantidade da fração C fornecida pelo alimento
PD	g/d	Exigência em proteína metabolizável para suprir os processos de síntese para substituição dos tecidos em processo contínuo de descamação
PDR	g/d	Total de proteína verdadeira degradável no rúmen
PEPUP	g/d	Montante de peptídeos assimilados pelos microrganismos
PEPUPaj	g/d	Montante de peptídeos assimilados pelos microrganismos ajustado devido ao escape de peptídeos do rúmen
PFB1'	g/d	Perdas fecais da fração B1'
PFB2	g/d	Perdas fecais da fração B2
PFB2'	g/d	Perdas fecais da fração B2'
PFBACT	g/d	Perdas fecais de massa microbiana
PFC	g/d	Perdas fecais da fração C
PFC'	g/d	Perdas fecais da fração C'
PFCinzas	g/d	Perdas fecais de cinzas oriundas do alimento
PFCinzasM	g/d	Perdas fecais de cinzas de origem microbiana
PFCM	g/d	Perdas fecais relativas ao total de carboidratos microbianos
PFCTA	g/d	Perdas fecais de carboidratos totais oriundos do alimento
PFECinzas	g/d	Perdas fecais endógenas de cinzas
PFEG	g/d	Perdas endógenas de gordura relativas ao consumo de alimento

Abreviação	Unidade	Descrição
PFEP	g/d	Perdas fecais endógenas de proteína relativas ao consumo de alimentos
PFGM	g/d	Perdas fecais de gordura microbiana
PFM	g/d	Exigência em proteína metabolizável para suprir as perdas protéicas de origem metabólica nas fezes
PFPA	g/d	Perdas fecais de proteína alimentar
PFPCM	g/d	Perdas fecais de parede celular microbiana
PFPM	g/d	Perdas fecais relativas ao total de proteína microbiana
PL <sub>g</sub>	g/d	Exigência líquida diária em proteína para o ganho de massa corporal esperado
PM	g/d	Quantidade de proteína metabolizável disponível ao animal pelo fornecimento da ração
PM <sub>g</sub>	g/d	Exigência em proteína metabolizável para o processo de ganho em massa corporal isenta de conteúdo gastrintestinal
PM <sub>m</sub>	g/d	Exigência em proteína metabolizável para manutenção
PU	g/d	Exigência em proteína metabolizável para suprir as perdas nitrogenadas urinárias
RATIO	adimensional	Disponibilidade de peptídeos em relação às frações A' e B1' de carboidratos
RNPEPUP	g/d	Retenção do nitrogênio pelos microrganismos que utilizam os carboidratos não fibrosos
S	g/d	Quantidade de enxofre fornecida pelo alimento
Se	mg/d	Quantidade de selênio fornecida pelo alimento
T <sub>F</sub>	h <sup>-1</sup>	Turnover ruminal da fibra
TMR	h	Tempo médio de retenção da fibra fornecida pelo alimento no rúmen
TNAD	g/d	Total de nutrientes aparentemente digeríveis
TPFCinzas	g/d	Total de perdas fecais de cinzas oriundas do alimento
TPFCT	g/d	Total de perdas fecais em carboidratos oriundos do alimento
TPFG	g/d	Total de perdas fecais de gordura oriunda do alimento
TPFPROT	g/d	Total de perdas fecais em proteínas oriundas do alimento
U	adimensional	Efeito de repleção da fibra no rúmen
x	g/d	Quantidade do i-ésimo ingrediente da ração total otimizada
X	%	Variável que representa o teor de proteína bruta da dieta



Abreviação	Unidade	Descrição
Y	g/d	Reciclagem endógena de nitrogênio amoniacal
Y1	g células/g carboidrato fibroso digerido	Eficiência de crescimento de microrganismos que utilizam carboidratos fibrosos (fração B2') fornecidos pelo alimento
Y2	g células/g carboidrato não fibroso digerido	Eficiência de crescimento dos microrganismos que utilizam os carboidratos não fibrosos (fração A') fornecidos pelo alimento
Y2'	g células/g carboidrato não fibroso digerido	Eficiência de crescimento microbiano corrigida em função de IMP
Y3	g células/g carboidrato não fibroso digerido	Eficiência de crescimento dos microrganismos que utilizam os carboidratos não fibrosos (fração B1') fornecidos pelo alimento
Y3'	g células/g carboidrato não fibroso digerido	Eficiência de crescimento microbiano corrigida em função de IMP
YG1	g células/g carboidratos fibrosos	Rendimento teórico máximo para o crescimento de microrganismos ruminais que utilizam os carboidratos fibrosos dos alimentos
YG2	g células/g carboidratos não fibrosos	Rendimento teórico máximo para o crescimento de microrganismos ruminais que utilizam os carboidratos não fibrosos dos alimentos
Zn	mg/d	Quantidade de zinco fornecida pelo alimento

## RESUMO

HENRIQUE, Douglas Sampaio, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2007. **Desenvolvimento e avaliação de um modelo matemático para predição do valor nutricional de rações para bovinos sujeito às restrições da massa de fibra no rúmen.** Orientador: Rogério de Paula Lana. Co-Orientadores: Augusto César de Queiroz e Ricardo Augusto Mendonça Vieira.

Um modelo matemático com base no *Cornell Net Carbohydrate and Protein System* (CNCPS) foi desenvolvido e adaptado para avaliar rações para bovinos de corte em situações de clima tropical. O sistema apresentado difere do CNCPS em relação à modelagem dos atributos cinéticos de digestão e passagem das partículas insolúveis no rúmen, o que permitiu estimar a massa ruminal de fibra e seus efeitos no desempenho animal. As equações para calcular as exigências de proteína metabolizável e energia líquida para ganho de massa corporal, assim como a exigência de energia líquida para manutenção e a eficiência total de utilização da energia metabolizável foram obtidas em artigos científicos publicados no Brasil. Nesses trabalhos a estimativa dos parâmetros das equações de regressão foram feitas a partir de informações referentes a animais zebuínos e seus mestiços mantidos em condições tropicais. O modelo foi avaliado usando-se 368 informações originalmente publicadas em 11 teses de doutorado, 14 dissertações de mestrado e quatro artigos científicos. Destas informações 107 foram selecionadas para uma comparação com o CNCPS. As saídas (*outputs*) do modelo foram consideradas satisfatórias e as predições do ganho de massa corporal foram mais verossímeis do que as do CNCPS, principalmente nos níveis de maior consumo de fibra.

## ABSTRACT

HENRIQUE, Douglas Sampaio, D. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2007. **Development and evaluation of a mathematical model to predict the nutritional value of rations for cattle liable to rumen fiber mass restrictions.** Adviser: Rogério de Paula Lana. Co-Advisers: Augusto César de Queiroz e Ricardo Augusto Mendonça Vieira.

A mathematical model based on Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS) was developed and adapted to evaluate beef cattle rations at tropical climate conditions. The presented system differs from CNCPS in the modelling of insoluble particles digestion and passage kinetics, which allowed to estimate ruminal fiber mass and its effects on animal performance. The equations used to estimate metabolizable protein and net energy requirements for gain, net energy requirement for maintenance and total efficiency of metabolizable energy utilization were obtained from scientific articles published in Brazil. The parameters of the regression equations in these papers were estimated using data from *Bos indicus* purebred and crossbred animals raised under tropical conditions. The model was evaluated by using a 368 information database originally published on 11 Doctoral thesis, 14 Master of Science dissertations and 4 scientific articles. From this database, 107 information were selected in order to compare the proposed system with CNCPS. Outputs of the model were considered adequate, and its predictive power was superior than CNCPS, mainly on higher levels of fiber intake.

## INTRODUÇÃO

A importância das questões relacionadas ao processo decisório e à alocação de recursos aumentou consideravelmente no setor agropecuário após as mudanças ocorridas na política econômica brasileira em meados da década de oitenta (Resende Filho, 1997). Atualmente, com o advento inexorável da globalização, essas questões recebem atenção ainda maior por parte de todos os setores envolvidos no agronegócio. A possibilidade de concorrer com produtos originários de qualquer parte do globo terrestre intensifica as consequências de uma decisão incorreta, ou de uma decisão tomada a partir de informações não confiáveis.

Na pecuária de corte, as decisões concernentes ao manejo nutricional dos animais são de grande importância para o sucesso do empreendimento. Essa importância é devida à grande parcela dos custos de produção preenchida pelos gastos com alimentação e aos efeitos da nutrição sobre o desempenho dos animais.

A complexidade do problema da dieta para o gado estimulou o desenvolvimento de numerosas pesquisas e ferramentas computacionais que auxiliassem a decidir qual combinação de alimentos atenderia a demanda dos animais por nutrientes, a fim de reduzir custos para o produtor. Em 1961 Waugh aplicou técnicas de programação linear ao problema de minimização do custo de alimentação de vacas leiteiras (Agrawal e Heady, 1972). Posteriormente, vários modelos foram criados e aperfeiçoados para representar os sistemas de alimentação dos ruminantes de interesse zootécnico (AFRC, 1993; NRC, 1996; NRC, 2001; Fox et al., 2004). Estes modelos tornaram-se mais complexos ao longo do tempo devido ao acúmulo de informações científicas acerca das relações entre animal, alimento e ambiente e a inevitável incorporação de variáveis cuja interpretação matemática é baseada em funções não-lineares.

Atualmente, os modelos matemáticos implementados (ainda por meio de programação linear) permitem apenas o balanceamento de rações de custo mínimo. Para acomodar a necessidade de uma melhor avaliação do valor nutricional da ração otimizada, faz-se necessário que a solução alcançada seja submetida a um outro modelo que simule o valor nutritivo da mesma em condições específicas.

Com o intuito de calibrar as restrições, os programas existentes exigem que o processo seja repetido até que uma combinação satisfatória de alimentos produza o resultado esperado (Fox et al., 1999; 2004; NRC, 1996; 2001). Além disso, estes sistemas foram elaborados em condições distintas das existentes nos trópicos e devido às suas propriedades mistas, pois são formados por equações matemáticas com características mecanicistas e empíricas, suas respostas nem sempre são satisfatórias quando os mesmos são aplicados em situações diferentes das quais foram criados.

O sistema desenvolvido na Universidade Cornell – CNCPS (*Cornell Net Carbohydrate and Protein System*) é um modelo matemático para avaliar a dieta e o desempenho de bovinos leiteiros e de corte, sendo utilizado e aprimorado desde sua publicação no meio científico em 1992 (Fox et al., 2004). O referido sistema pode ser considerado como uma grande inovação na forma de determinar as transformações que os nutrientes ingeridos sofrem no rúmen. Seu conjunto de equações, muitas das quais com base mecanicista, ajudou a quantificar melhor os processos de degradação e escape das diferentes frações de carboidratos e compostos nitrogenados no rúmen e permitiu estimar o crescimento microbiano de forma mais acurada do que os sistemas que o precederam (Fox et al., 1992). Entretanto, o CNCPS apresenta as mesmas limitações dos outros modelos ao ser utilizado fora das regiões de clima temperado.

O objetivo do presente trabalho é desenvolver e avaliar um sistema para verificar a qualidade de rações para bovinos de corte com base no CNCPS, porém com algumas modificações em relação às propriedades cinéticas de degradação e escape dos nutrientes no rúmen, às exigências de proteína e energia e à eficiência de utilização da energia metabolizável. As modificações no sistema foram feitas com o intuito de melhorar as predições em situações de clima tropical.

## REVISÃO DE LITERATURA

### *Consumo Voluntário*

Os animais domésticos são alimentados *ad libitum*, ou seja, dispõem de oferta de alimento praticamente em tempo integral. Isto é verdade quer os animais sejam mantidos em sistemas de criação intensivos, onde o suprimento de alimento está inteiramente sob o controle do tratador, quer manejados extensivamente, onde o pasto disponível varia em quantidade e qualidade conforme a época do ano. Apesar deste livre acesso ao alimento existem situações em que os animais apresentarão baixa ou excessiva ingestão alimentar, o que torna o consumo voluntário e os fatores que o governam de grande relevância à produção animal (Forbes, 1995). Neste contexto, predições mais exatas do consumo são de fundamental importância para a formulação de rações objetivando prevenir a baixa ou a excessiva ingestão alimentar e promover maior eficiência de utilização dos nutrientes. Isto evita a limitação do desempenho nos casos de baixo consumo, ou a excessiva perda em nutrientes para o ambiente e o aumento nos custos de produção nos casos de consumo alimentar luxuriante. Em ambas as situações podem ocorrer prejuízos à saúde e ao bem-estar animal (NRC, 2001).

A preocupação com a predição do consumo voluntário não é recente. Balch e Campling (1962), em abrangente revisão sobre o assunto, citaram vários autores e suas contribuições para a construção das principais teorias sobre a regulação do consumo alimentar em ruminantes. Estes autores relataram a provável existência de mecanismos reguladores que dependem da integração de estímulos pelo sistema nervoso central. Aspectos ligados à percepção do alimento e às diferenças de palatabilidade foram analisados e, levantadas evidências da ocorrência de efeito de repleção sobre o trato gastrintestinal em função da substituição de rações ricas em energia por alimentos volumosos de maior conteúdo fibroso.

Nesta revisão também foram abordadas as teorias termostática e quimiostática de regulação do consumo no curto prazo. A primeira foi baseada na idéia de que os animais ingerem o alimento para manter o calor corporal e interrompem sua ingestão para prevenir a hipertermia. A segunda hipótese foi construída pelo fato de a infusão

de produtos finais do metabolismo microbiano ruminal na corrente sangüínea, nas quantidades normalmente absorvidas pelo órgão, causar a redução do consumo. Outro mecanismo regulador relatado, que atuaria em longo prazo, foi concebido a partir da hipótese lipostática, que exigia a postulação de algum sistema de quantificação do tamanho das reservas corporais pelo sistema nervoso central.

Pode-se deduzir, portanto, que as informações colhidas nos diferentes órgãos e tecidos envolvidos devem ser integradas pelo sistema neuro-endócrino para definir o montante de alimentos a ser consumido, de forma a atender às demandas das funções de manutenção, de produção e de reprodução dos ruminantes.

O consumo voluntário é uma função crítica para a sobrevivência e para a produção animal, o que torna lógica a hipótese de que complexos mecanismos de sua regulação desenvolveram-se ao longo do processo evolutivo das espécies de ruminantes. A hipótese de um sistema regulador mais simples deixaria os animais tão susceptíveis a mudanças ambientais ou fisiológicas que restringiria sua capacidade de sobrevivência (Mertens, 1996).

As teorias sobre a regulação do consumo voluntário supra citadas foram concebidas a partir do isolamento de fatores ditos determinantes, ou seja, em favor de determinado mecanismo e em detrimento de outros que poderiam atuar no processo. Entretanto, existem evidências experimentais de que tanto a repleção ruminal como a ação de ácidos graxos voláteis (por meio de infusão venosa) atuem de forma aditiva sobre o consumo, mas estes mecanismos não têm sido considerados nos modelos de regulação (Forbes, 1995).

### *Predição do consumo*

Existem dois métodos gerais para se estimar o consumo voluntário: os estudos empíricos e os estudos mecanicistas; todavia, deve-se ressaltar que a divisão entre eles não é tão evidente.

### *Método empírico*

O método empírico é utilizado para a quantificação do consumo (variável dependente) a partir de várias outras que se relacionem às características dos animais em questão, ao seu ambiente físico e às características inerentes aos alimentos de que dispõem (variáveis independentes). Definidas as variáveis envolvidas, pode-se selecioná-las estatisticamente com o objetivo de se estabelecer relações funcionais entre as mesmas.

Via de regra, os cientistas reúnem informações publicadas em teses, periódicos e boletins de pesquisa e são efetuados levantamentos pormenorizados das características dos animais utilizados, do período experimental, do manejo alimentar e do ambiente físico, para que os dados sejam agrupados segundo critérios preestabelecidos (AFRC, 1993; Forbes, 1995; NRC, 1996; NRC, 2001). Neste contexto, os animais podem ser divididos quanto ao tipo racial, tipo zootécnico e em diferentes categorias (crescimento, terminação, lactação e gestação); são levantadas as características do manejo alimentar (recursos forrageiros, demais alimentos constituintes e sua composição bromatológica) e do ambiente físico (sistemas de criação, condições de manejo e bioclimatologia).

As variáveis referentes às características do animal (produção de leite, demanda energética e alteração da massa corporal) são analisadas isoladamente ou associadas às características da ração (composição bromatológica, conteúdo energético, teor de nitrogênio amoniacal e digestibilidade da matéria orgânica). Por meio de técnicas de análise de regressão, são selecionadas as variáveis mais importantes, cuja associação ao consumo é descrita por uma equação que apresente o melhor ajuste aos dados. As informações relativas ao ambiente físico são utilizadas como fatores de correção do consumo predito face às condições de manejo e às adversidades do clima, como a quantidade de lama nos confinamentos, a temperatura efetiva do ambiente, o regime de criação, se no pasto ou em confinamento, além de correções para aditivos às rações ou implantes anabolizantes (NRC, 1996; 2001).



### *Método mecanicista*

O método mecanicista é substanciado pela incorporação de princípios teóricos na construção de funções que descrevem as relações entre as variáveis envolvidas na regulação do consumo. Tal método é menos preciso, mas sua aplicação permite ampla generalização (Mertens, 1987; Forbes, 1995).

Mertens (1987) e Forbes (1995) apresentaram teorias semelhantes envolvendo a energostasia e a repleção ruminal em modelos para a predição do consumo voluntário. Nestas aproximações supõe-se que os animais devam ingerir certa quantidade de energia alimentar para o atendimento às demandas de suas funções produtivas, a menos que fatores físicos associados à repleção intervenham para restringir o consumo. Conforme estas teorias, quando alimentados com uma mesma ração e nas mesmas condições de meio, os animais apresentam variações no consumo que podem ser explicadas pelas diferenças genotípicas, determinantes do potencial produtivo dos animais (Mertens, 1996).

O desenvolvimento de modelos mecanicistas para a descrição em termos quantitativos dos processos relacionados ao consumo, degradação e retenção dos alimentos pelos ruminantes, tem alicerce nos estudos cinéticos iniciados por Dale R. Waldo (Mertens, 1993) com várias outras contribuições (Mertens, 1977; Ørskov e McDonald, 1979; McDonald, 1981; Dhanoa et al., 1985; Van Milgen et al., 1991). Tais modelos permitem a identificação da fração indigerível da fibra, que contribui consideravelmente para retenção de material fibroso no rúmen-retículo (Waldo et al., 1972; Allen e Mertens, 1988; Vieira et al., 1997a).

A regulação do consumo, segundo Mertens (1994), envolve sinais que operam através de vários mecanismos neuroendócrinos, tanto no curto quanto no longo prazo. É consensual a idéia de que os animais consomem o alimento para atender à demanda energética. Entretanto, quando dietas de baixa qualidade são fornecidas, o animal consome apenas a quantidade de alimento que esteja de acordo com a capacidade do seu trato gastrintestinal em armazená-la e processá-la (Mertens, 1987; 1994 e Forbes, 1995).

Com base nas observações de Lehman (citado por Balch e Campling, 1962 e por Forbes, 1995) e no desdobramento conceitual da celulose proposto por Waldo et al. (1972), Vieira et al. (1997b) e Gonçalves et al. (2004) argumentaram que o papel do resíduo indigerível da fibra, cuja estimativa pode ser obtida tanto *in vitro* como *in*

*situ*, é marcante sobre o efeito de repleção ruminal. Teoricamente, a capacidade de consumo de fibra pode ser substituída pela capacidade de retenção de fibra, corrigida para a proporção de fibra efetiva que atua na manutenção da estabilidade do ecossistema ruminal.

A importância da fibra indigerível na regulação do consumo (Allen e Mertens, 1988; Vieira et al. 1997b) foi confirmada com novilhos a pasto, que apresentaram consumo de fibra indigerível constante e da ordem de 0,6% do peso vivo, ou seja, independente da estação do ano (chuvosa ou seca) ou do grau de maturidade do pasto (Vieira et al., 2000). Com isso, estudos para a caracterização do papel que os atributos cinéticos da fibra exercem na regulação do CMS são extremamente necessários para o balanceamento de rações em programas de formulação, principalmente quando se trata de animais com elevada demanda por nutrientes (Van Soest, 1994; Gonçalves et al., 2004).

#### *Disponibilidade ruminal de nutrientes*

A digestibilidade é dependente do espaço de tempo que o alimento permanece no trato digestivo para hidrólise e, conseqüentemente, tanto as taxas de degradação como as de passagem estão relacionadas com o consumo voluntário (Figura 1), termo comumente utilizado para designar o limite máximo do apetite. As variações no consumo resultam de uma interação complexa, a qual inclui a dieta (composição bromatológica e estruturas anatômicas), os microrganismos do rúmen (condições para um crescimento ótimo), o hospedeiro (idade, tamanho, sexo e estado fisiológico) (Mertens, 1987; Thiago e Gill, 1990 e Mertens, 1994) e, ainda, os mecanismos psicogênicos que integram o hospedeiro ao meio (Mertens, 1987; 1994).

A fase sólida do rúmen, constituída basicamente pelas partículas fibrosas, pode ser descrita por meio de um sistema (Figura 1), baseado em cinética seqüencial de primeira ordem para a transferência de massa entre compartimentos ( $k_a$ ,  $k_d$ ,  $k_r$  e  $k_e$ ), sendo acomodadas as etapas iniciais de preparo ( $k_a$ ) das partículas recém ingeridas (UND e UNI) para o processo de degradação, a retenção seletiva ( $k_r$ ) dentro do subcompartimento ruminal de partículas recém ingeridas (AND e ANI) prontas para a degradação ( $k_d$ ), e o subcompartimento de pequenas partículas (AED e AEI) elegíveis ao escape final ( $k_e$ ) do rúmen-retículo. Estes processos são resultantes

da competição entre os processos químicos e físicos da digestão no rúmen. A concepção do modelo por Allen e Mertens (1988) corrobora os conceitos propostos por Hungate (1966, citado por Ellis et al., 1979), e reafirmados por Ellis et al. (2002).

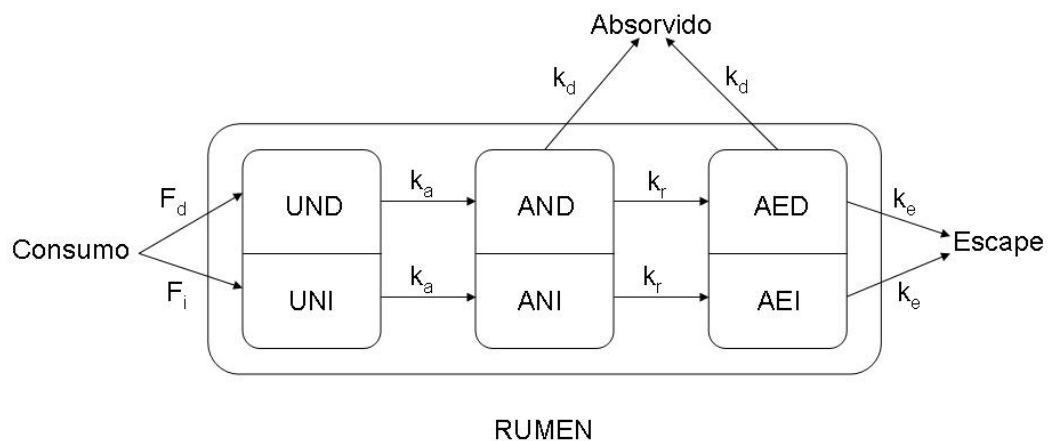


Figura 1 – Modelo da dinâmica ruminal das frações alimentares insolúveis. Partículas não disponíveis (U) e disponíveis para a digestão microbiana (A). Partículas elegíveis (E) e não elegíveis ao escape do rúmen (N). Fração alimentar insolúvel potencialmente degradável (D) e não degradável (I). Fração degradável ( $F_d$ ) e não degradável ( $F_i$ ) em proporção ao total ingerido. Taxa de transformação das partículas de uma forma não disponível em uma forma disponível ao processo de degradação ( $k_a$ ). Taxa de degradação da fração potencialmente digerível ( $k_d$ ). Taxa de passagem de partículas fibrosas longas recém ingeridas para as porções ventrais do rúmen ( $k_r$ ). Taxa de escape ruminal para o restante do trato gastrointestinal ( $k_e$ ). Fonte: Allen e Mertens (1988).

### *Modelo sistêmico*

O estudo sistêmico dos métodos de avaliação de alimentos e predição de exigências nutricionais de animais ruminantes permitiu compilar e sintetizar diversas teorias e apresentá-las segundo modelo que constitui a Figura 2, apresentada em

Vieira et al. (2005). Nesta, é ilustrada a compartimentalização do processo digestório em bovinos, sendo válida esta representação para demais espécies de animais ruminantes. Lipídeos, minerais e perdas gasosas decorrentes do processo fermentativo microbiano no rúmen e no intestino grosso dos ruminantes foram omitidos para simplificar o modelo.

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 protéico. B1, em que são reunidos os compostos nitrogenados protéicos solúveis em solução detergente neutra, agrupados desta forma devido à sua uniformidade nutricional (Van Soest, 1967; Broderick, 1994; Rodrigues e Vieira, 2005); B2 em que estão compreendidos os compostos nitrogenados insolúveis em solução detergente neutra, mas potencialmente degradáveis; e C, por reunir a fração de compostos nitrogenados insolúveis em solução detergente neutra, porém, indegradáveis.

O mesmo conceito de uniformidade nutricional foi considerado no fracionamento do total de carboidratos representado na Figura 2 pelo compartimento denominado consumo total de carboidratos (consumo CT). As frações que o compõem são: A', em que são agrupados carboidratos de baixo peso molecular (açúcares simples) e carboidratos não fibrosos solúveis em solução detergente neutra; B1', na qual são reunidos compostos de natureza polimérica não fibrosos, tais como polissacarídeos não amiláceos e amido (VanSoest et al., 1991; Mertens, 1996; Hall, 2003); 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, 2006).

O compartimento que representa o montante de nitrogênio reciclado pelo corpo do animal (Nreciclado, Figura 2) merece destaque devido ao seu papel na conservação de nitrogênio em ruminantes. Parte substancial do nitrogênio consumido é absorvido na forma de amônia pelo epitélio rumino-reticular e omasal. A amônia é posteriormente convertida à uréia no fígado. Por seu turno, a uréia retorna ao rúmen via secreção salivar ou por difusão através das paredes do órgão.

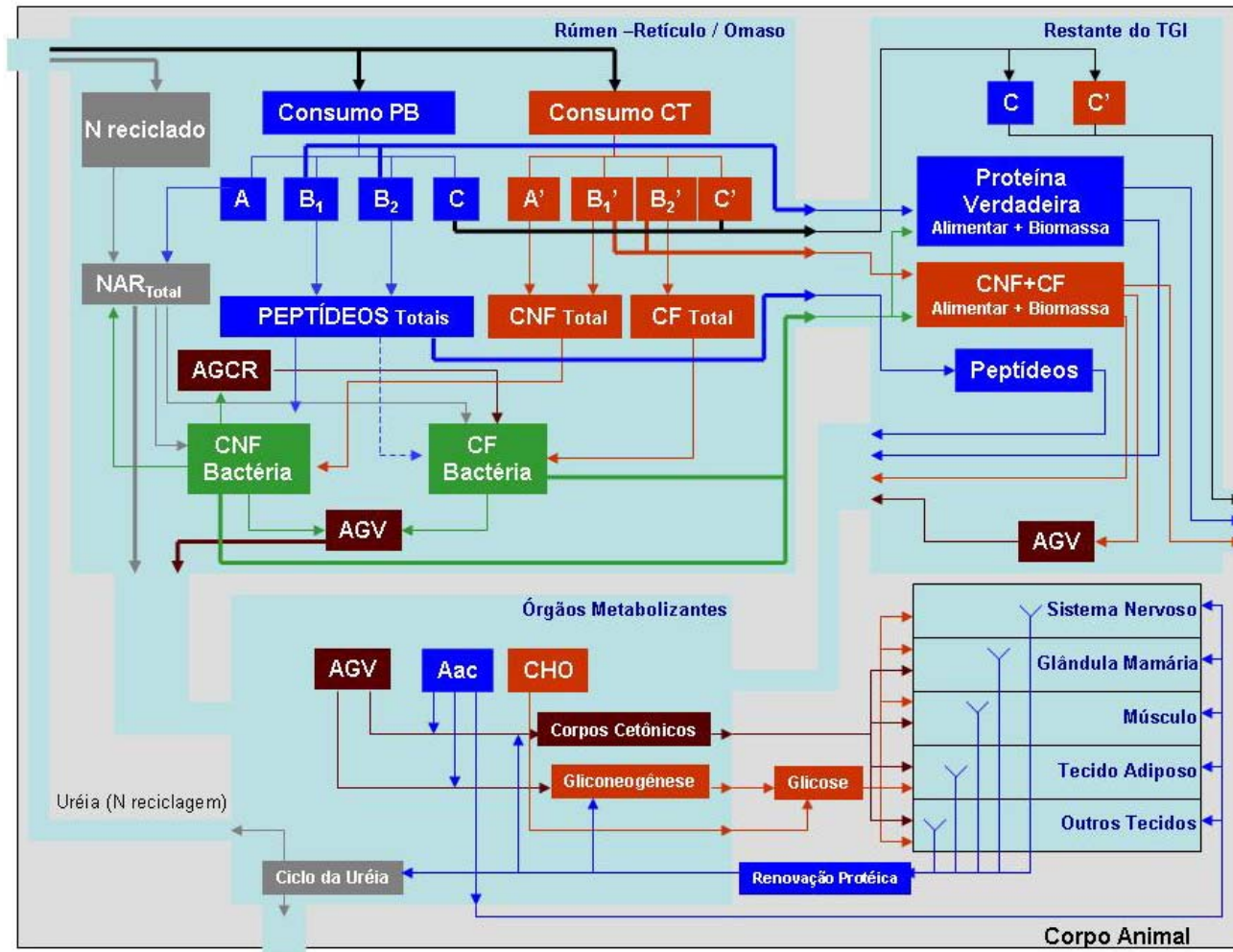


Figura 2 – Transformações por que passam os compostos nitrogenados e os carboidratos presentes na matéria alimentar consumida por bovinos e demais espécies de animais ruminantes. Explicações no texto.

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). O papel de tal mecanismo de conservação de nitrogênio por meio da reciclagem de uréia pode explicar o sucesso de sobrevivência da espécie caprina comparativamente a ovinos e bovinos em ambientes inóspitos, como regiões áridas e semi-áridas do planeta (Silanikove, 2000; Vieira et al., 2005).

O processo de degradação dos substratos energéticos disponíveis aos microrganismos anaeróbios do rúmen, conforme esquematizado na Figura 2, resulta na liberação de suas formas mais simples (totais de carboidratos fibrosos, CFtotal, e não fibrosos, CNFtotal, degradados no rúmen), para que sejam assimiladas e fermentadas por grupos de microrganismos que utilizam carboidratos fibrosos (CFbactéria) e não fibrosos (CNFbactéria). Simultaneamente, as frações protéicas 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 CNFbactéria. Uma vez assimilados, os mesmos podem ser incorporados à proteína microbiana ou desdobrados aos seus monômeros, desaminados e fermentados. O nitrogênio amoniacal oriundo da desaminação contribui, juntamente com o nitrogênio de reciclagem endógena, para a formação do montante de nitrogênio amoniacal ruminal (NARtotal). Além disso, o processo de desaminação também produz ácidos graxos de cadeia ramificada (AGCR). Ambos os grupos microbianos se servem do NARtotal, no entanto, as CFbactéria utilizam prioritariamente esta forma de nitrogênio para seu crescimento e exigem suprimento externo de AGCR, provido pelas CNFbactéria. O resultado deste processo fermentativo que ocorre no interior do rúmen, retículo e omaso é o crescimento microbiano, isto é, a produção de biomassa microbiana (CFbactéria + CNFbactéria) e de ácidos graxos voláteis (AGV, Figura 2). A biomassa microbiana e a matéria alimentar que escapa ao processo de degradação ruminal formam os totais de proteína (que inclui peptídeos originários da degradação do alimento e ácidos nucléicos microbianos) e de carboidratos fibrosos e não fibrosos que sofrerão as ações digestoras do restante do trato gastrointestinal. A elas se somam as frações indegradáveis (ou indigeríveis) de compostos nitrogenados e de carboidratos fibrosos, que podem ser isolados na fibra indigerível dos alimentos, na qual encontra-se também a lignina (Vieira et al., 2005).

Ainda, conforme se depreende da Figura 2, 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 anaeróbios existentes no intestino grosso. De tal processo resultam os montantes em carboidratos simples, ácidos aminados e AGV 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 AGV, Figura 2) somam-se ao AGV absorvidos pelo epitélio rumino - reticular e omasal. Todas estas 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), uréia e em demais compostos nitrogenados destinados à excreção por via urinária. Os tecidos 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 protéica demandam substâncias exportadas pelos órgãos metabolizantes. A renovação e a mobilização de reservas corporais protéicas 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 (Silva e Leão, 1979; Van Soest, 1994; NRC, 1996; AFRC, 1997).

O aproveitamento dos alimentos ou de suas combinações que constituem as dietas depende, portanto, de seus teores em nutrientes, da interação da dieta com o processamento microbiano e com as características do animal hospedeiro e da eficiência de utilização destes atributos pelo corpo animal.

### *Eficiência de utilização da energia*

De acordo com o estabelecido nas leis da termodinâmica a sentença entrópica do universo é inevitável, ou seja, em um determinado período de tempo toda a energia capaz de realizar trabalho será esgotada, pois a entropia do universo sempre

aumenta. Portanto, em toda transformação energética uma parte da energia envolvida se torna indisponível à realização de trabalho ou para ser conservada (Brody, 1945). Sendo a entropia, dentre outras definições, a medida da desordem de um sistema (Stryer, 1996), em uma primeira impressão, o aumento na organização dos sistemas vivos, representada pelo aumento de sua massa corporal, pode nos parecer um contra-senso ou uma negação às leis da termodinâmica. Pois se a entropia de um sistema sempre aumenta, como podem os animais aumentarem sua organização interna ao longo do tempo, sintetizando proteínas e outras moléculas que compõem seu organismo?

Contudo, o aumento na organização interna dos animais só é possível devido à entrada de energia de fora do sistema em questão. Essa energia é proveniente dos alimentos ingeridos pelos animais. Portanto, o que os animais fazem durante a sua curta existência é reduzir sua entropia interna aumentando a entropia dos alimentos que os mesmos consomem. As moléculas dos alimentos ingeridos são desorganizadas pelos processos digestivos e reorganizadas sob a forma de tecido corporal.

Ao se calcular a resultante de todo esse processo, a sentença entrópica do universo pode ser confirmada, pois do total de energia ingerida pelos animais, na forma de alimento, uma parte sempre será transformada em calor durante os processos de digestão, absorção, assimilação e excreção dos nutrientes (Brody, 1945). Além disso, toda essa busca pela redução da entropia interna ocorre apenas por um prazo determinado, depois do qual, as funções biológicas cessam e todo o corpo do animal se desorganiza e retorna para os ciclos do carbono e do nitrogênio.

Na produção animal há interesse em quantificar o quanto da energia alimentar ingerida é “perdida” como excreta (fezes e urina), gases e calor e o quanto foi realmente retido pelo animal na forma de tecido corporal, ou produtos como leite, ovos e lã, ou utilizado nos processos de manutenção da vida. Sendo assim, denominamos eficiência energética a razão entre a energia ingerida e a energia disponível para retenção ou para manutenção (Brody, 1945 e Kleiber, 1975).

A eficiência energética pode ser didaticamente classificada de várias formas, de acordo com os termos da razão utilizada para calculá-la. Por exemplo, se o interesse é determinar a eficiência para manutenção,  $k_m$  (Figura 3), a razão para calculá-la seria: energia líquida de manutenção sobre o consumo de energia metabolizável suficiente para a manutenção da massa corporal, sendo a energia líquida de manutenção



correspondente ao gasto energético de um animal em período pós absorptivo, em ambiente termo-neutro, com o mínimo de atividade física possível e a energia metabolizável igual à energia total contida no alimento descontada das “perdas” nas fezes, urina e gases (Brody, 1945 e Kleiber, 1975). O consumo de energia metabolizável utilizado na situação acima deve ser medido no nível de ingestão de manutenção (equilíbrio energético,  $ER = 0$ , na Figura 3), i.e., em um nível de consumo em que o animal não esteja ganhando (energia retida positiva) ou perdendo massa corporal (energia retida negativa).

Da mesma forma ao se dividir o montante de energia retida (por exemplo, na forma de tecido corporal) pela diferença entre o consumo total de energia metabolizável e o consumo de energia metabolizável de manutenção ( $CEM_m$ ) obtém-se a eficiência de produção, ou mais especificamente, eficiência líquida de ganho,  $k_g$  (Figura 3). Eficiência líquida ou parcial, porque descontou-se o montante de energia metabolizável ingerida que foi utilizada para manutenção (Brody, 1945 e Kleiber, 1975). Outra maneira seria dividir a energia retida pelo consumo total de energia metabolizável, dessa forma estaríamos determinando a eficiência bruta ou total ( $k_{mg}$ ) de utilização da energia (Brody, 1945 e Kleiber, 1975).

Os primeiros sistemas de avaliação de dietas para bovinos em crescimento utilizavam as eficiências parciais de manutenção e ganho para estimar a energia líquida da dieta (Lofgreen e Garrett, 1968). Nesses sistemas, cada alimento possuía duas concentrações de energia líquida distintas: a energia líquida de manutenção e a energia líquida de ganho, que não podem ser somadas diretamente, pois são calculadas a partir de eficiências diferentes (uma para manutenção e outra para ganho), cujos denominadores não são os mesmos. Esse artifício utilizado na década de 60 permitiu calcular por algoritmos lineares um fenômeno de natureza não linear, pois a retenção energética ( $ER$  na Figura 3) em função do consumo de energia metabolizável apresenta comportamento não linear (Figura 3). Entretanto, ao se separar o consumo de energia metabolizável em dois níveis, um acima e outro abaixo da manutenção, as eficiências podem ser representadas pela inclinação de duas retas, uma para cada nível de consumo (Blaxter, 1956).

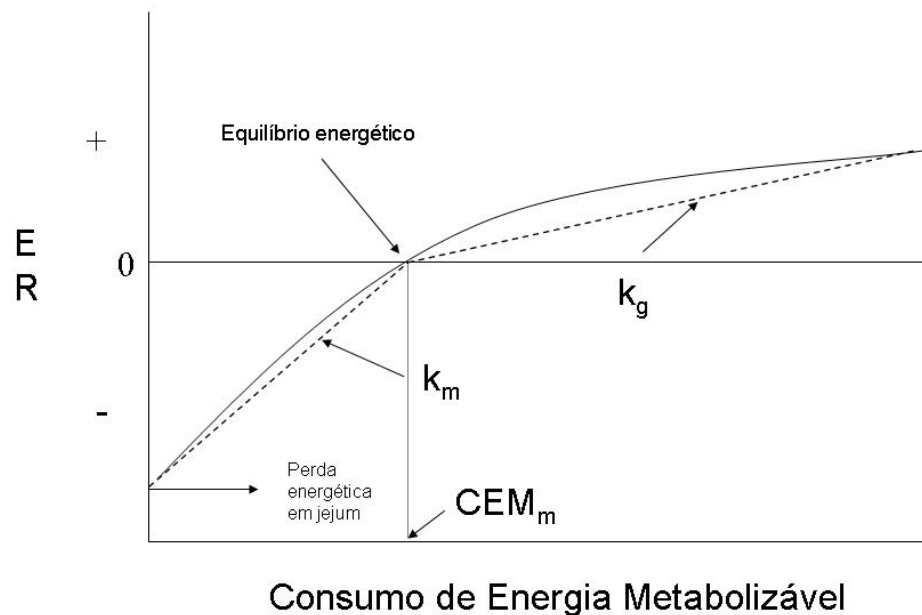


Figura 3 – Relação entre o consumo de energia metabolizável e a energia retida (ER) no corpo do animal. Explicações no texto. Fonte: adaptado do NRC (1981).

Os sistemas atuais baseados em energia líquida ainda utilizam esse artifício (NRC, 1996; Fox et al., 2004). Entretanto, os recursos computacionais existentes permitem a determinação da energia líquida por meio da eficiência total. Henrique et al. (2005) estimaram a eficiência total,  $k_{mg}$ , em função do consumo de energia metabolizável (CEM). Para tanto, utilizaram dados publicados em teses e dissertações desenvolvidas em condições tropicais, com animais zebuínos e seus cruzamentos alimentados em níveis superiores ao de manutenção. A  $k_{mg}$  diminui descrevendo um comportamento não linear à medida em que se aumenta o CEM, como demonstrado na Figura 4. Os parâmetros estimados pelos autores para descrever esse comportamento possibilitariam determinar a concentração de energia líquida total das dietas a partir das características nutritivas das mesmas e obter, por meio de processos de otimização não linear, o consumo de matéria seca necessário ao atendimento de um desempenho pré-estabelecido, ao contrário dos atuais sistemas de avaliação de ração em que o consumo precisa ser conhecido previamente para que o desempenho seja estimado (Gill e Oldham, 1993).

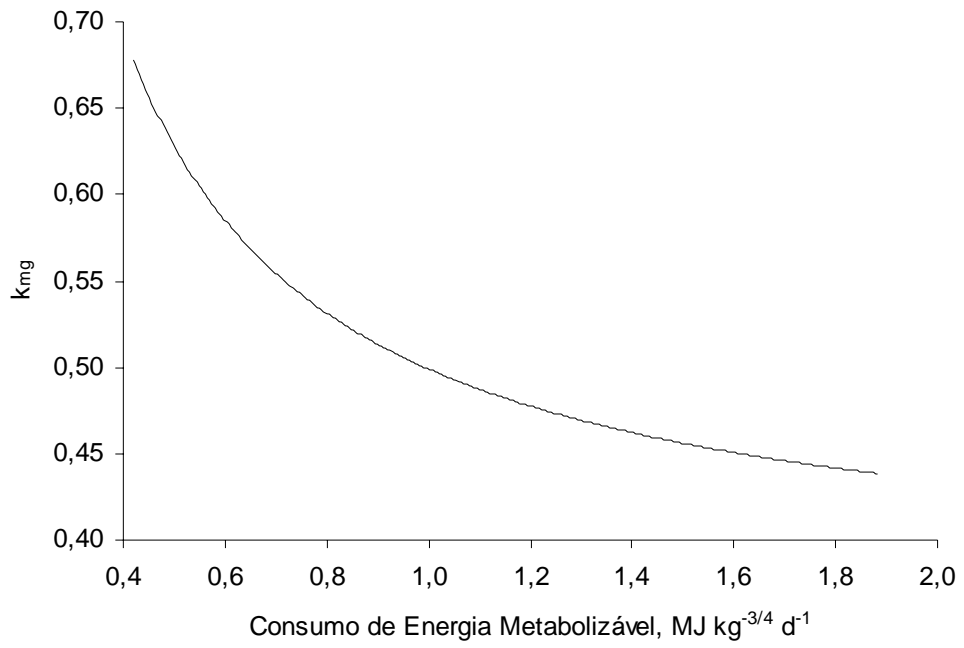


Figura 4 – Comportamento da eficiência bruta ( $k_{mg}$ ) em função do consumo de energia metabolizável.

## MATERIAL E MÉTODOS

### *Descrição do modelo*

O modelo animal foi composto por dois conjuntos de equações. O primeiro refere-se à descrição do valor nutricional dos alimentos enquanto função das características intrínsecas dos mesmos e das funções fisiológicas da categoria animal que o recebe. O segundo conjunto de equações do modelo animal é referente à determinação das exigências nutricionais diárias dos ruminantes, geradas pelas funções produtivas e pelos processos de manutenção. Essas equações foram obtidas a partir de resultados de experimentos realizados no Brasil e no exterior (Russell et al., 1992; Sniffen et al., 1992; Fontes, 1995; Tedeschi et al., 2000; Cannas et al., 2003; Fox et al., 2004 e Henrique et al., 2005).

### *Determinação do valor nutritivo dos alimentos*

A determinação do valor nutritivo dos alimentos foi realizada basicamente por meio das equações matemáticas descritas por Russell et al. (1992) e Sniffen et al. (1992) com algumas modificações quanto à obtenção da taxa de escape ruminal das frações de carboidratos e compostos nitrogenados.

### *Determinação da quantidade de frações de compostos nitrogenados em cada um dos ingredientes da ração total*

A proteína bruta foi dividida, como discutido anteriormente, em quatro frações elementares fundamentais: A, B1, B2 e C, em que  $A_i$ ,  $B1_i$ ,  $B2_i$  e  $C_i$  são, respectivamente, os teores das frações A, B1, B2 e C no  $i$ -ésimo ingrediente. Os montantes dessas frações serão dados por:

$$PA_i = x_i \cdot 0,001 \cdot A_i ;$$

$$PB1_i = x_i \cdot 0,001 \cdot B1_i ;$$

$$PB2_i = x_i \cdot 0,001 \cdot B2_i ;$$

$$PC_i = x_i \cdot 0,001 \cdot C_i .$$

em que  $x_i$  representa a quantidade ( $gd^{-1}$ ) do  $i$ -ésimo ingrediente da ração total otimizada, sendo  $i = 1, 2, \dots m$ .

Dessa forma, a quantidade total de proteína bruta, PB, é idêntica à soma das quatro parcelas anteriores:

$$PB_i = PA_i + PB1_i + PB2_i + PC_i .$$

*Determinação do montante de frações de carboidratos em cada um dos ingredientes da ração total*

Os carboidratos ingeridos pelos ruminantes podem ser classificados nutricionalmente em não fibrosos e fibrosos. Cada uma dessas parcelas, por sua vez, pode ser subdividida em outras duas, frações A' e B1' e frações B2' e C', respectivamente.  $A'_i$ ,  $B1'_i$ ,  $B2'_i$  e  $C'_i$  são, respectivamente, os teores das frações A', B1', B2' e C' nos ingredientes. Os montantes dessas frações serão dados por:

$$CA'_i = x_i \cdot 0,001 \cdot A'_i ;$$

$$CB1'_i = x_i \cdot 0,001 \cdot B1'_i ;$$

$$CB2'_i = x_i \cdot 0,001 \cdot B2'_i ;$$

$$CC'_i = x_i \cdot 0,001 \cdot C'_i .$$

Dessa forma, somando-se as quatro parcelas anteriores é possível obter a quantidade total de carboidratos,  $CT_i$ :

$$CT_i = CA'_i + CBI'_i + CB2'_i + CC'_i.$$

O total de carboidratos não fibrosos é igual à soma das duas parcelas que o compõem:

$$CNF_i = CA'_i + CBI'_i.$$

Da mesma forma, a adição das duas parcelas restantes resulta no total de carboidratos fibrosos,  $CF_i$ , ou seja:

$$CF_i = CB2'_i + CC'_i.$$

Logo, a quantidade total de carboidratos corresponde à soma dos totais de carboidratos fibrosos e não fibrosos:

$$CT_i = CNF_i + CF_i.$$

*Determinação da quantidade dos demais nutrientes em cada um dos ingredientes da ração total*

Sendo  $GB_i$  o teor de gordura bruta, então, o montante de gordura bruta  $G_i$ , contido em cada ingrediente será dado por:

$$G_i = x_i \cdot 0,001 \cdot GB_i.$$

Considerando  $MM_i$  o teor de matéria mineral, então o montante de resíduo mineral ou cinzas,  $Cinzas_i$ , contido em cada ingrediente será dado por:

$$\text{Cinzas}_i = x_i \cdot 0,001 \cdot \text{MM}_i.$$

Sendo  $F_i$ , o teor de fibra (resíduo insolúvel em solução detergente neutra) então o montante de fibra,  $\text{Fibra}_i$ , constante em cada ingrediente será dado por:

$$\text{Fibra}_i = x_i \cdot 0,001 \cdot F_i.$$

A quantidade de fibra fisicamente efetiva,  $\text{FE}_i$ , será dada por:

$$\text{FE}_i = \text{fef}_i \cdot \text{Fibra}_i.$$

onde o termo  $\text{fef}_i \in [0,1]$  é o fator de efetividade física da fibra, atributo do alimento. Este fator representa, basicamente, a fração da quantidade de fibra existente no alimento necessário à manutenção de condições favoráveis de crescimento microbiano no rúmen. Existe uma ampla variabilidade deste fator, a farinha de mandioca possui  $\text{fef}$  igual a zero ( $\text{fef}_{\min}$ ), enquanto que o capim possui  $\text{fef}$  igual a um ( $\text{fef}_{\max}$ ).

Os minerais ou elementos inorgânicos são essenciais ao funcionamento de diversos sistemas multi-enzimáticos que operam em inúmeras funções vitais, tanto dos microrganismos como dos animais ruminantes que os hospedam em seu trato gastrointestinal. E estes os obtêm de seu ambiente por meio do consumo de alimentos. Para caracterizá-los nos alimentos, então, consideremos  $[\text{Ca}]_i$ ,  $[\text{P}]_i$ ,  $[\text{Mg}]_i$ ,  $[\text{K}]_i$ ,  $[\text{Na}]_i$ ,  $[\text{Cl}]_i$ ,  $[\text{S}]_i$ ,  $[\text{Co}]_i$ ,  $[\text{Cu}]_i$ ,  $[\text{I}]_i$ ,  $[\text{Fe}]_i$ ,  $[\text{Mn}]_i$ ,  $[\text{Se}]_i$ ,  $[\text{Zn}]_i$ , respectivamente, os teores dos elementos químicos Ca (Cálcio), P (Fósforo), Mg (Magnésio), K (Potássio), Na (Sódio), Cl (Cloro), S (Enxofre), Co (Cobalto), Cu (Cobre), I (Iodo), Fe (Ferro), Mn (Manganês), Se (Selênio) e Zn (Zinco), então o montante desses elementos químicos nos ingredientes será dado por:

$$Q_i = x_i \cdot 0,001 \cdot [Q]_i.$$

sendo  $[Q]_i$  a concentração do elemento químico no  $i$ ésimo ingrediente da ração total.

*Disponibilidade ruminal das frações de compostos nitrogenados fornecidos pelos ingredientes da ração*

A disponibilidade da fração A,  $DRA_i$ , é exatamente igual ao montante de proteína ingerido na forma desta fração, ou seja:

$$DRA_i = PA_i.$$

A disponibilidade ruminal das frações B1 e B2, respectivamente,  $DRB1_i$  e  $DRB2_i$ , são dadas por:

$$DRB1_i = PB1_i \cdot \frac{k_{d1i}}{k_{d1i} + \frac{1}{TMR_i}};$$

$$DRB2_i = PB2_i \cdot \frac{k_{d2i}}{k_{d2i} + \frac{1}{TMR_i}}.$$

em que, os termos  $k_{d1i}$  e  $k_{d2i}$  são as taxas de digestão das frações B1 e B2, respectivamente. O termo  $TMR_i$  corresponde ao tempo médio de retenção da fibra no rúmen em horas (h), calculado por meio de duas cláusulas:

$$TMR = \begin{cases} \frac{1}{k_{ei}}, & \text{quando } k_{ri} \text{ não se aplicar ao ingrediente } i; \\ \frac{N}{k_{ri}} + \frac{1}{k_{ei}}, & \text{para outros casos.} \end{cases}$$

em que,  $k_{ri}$  é a taxa de passagem de partículas fibrosas longas recém ingeridas para as porções ventrais do rúmen e  $k_{ei}$  é a taxa de escape ruminal das partículas fibrosas para o restante do trato gastrointestinal. Todas as taxas são expressas em unidades recíprocas de tempo ( $h^{-1}$ ). N pode ser 2 ou 3, dependendo do ingrediente alimentar.



A disponibilidade ruminal de peptídeos,  $DRPEP_i$ , é dada pela soma:

$$DRPEP_i = DRB1_i + DRB2_i.$$

#### *Escape ruminal das frações de compostos nitrogenados*

Os escapes ruminais das frações B1 e B2, respectivamente representadas pelas variáveis  $ERB1_i$  e  $ERB2_i$ , são dados pelas diferenças entre o montante de proteína e a disponibilidade ruminal de cada uma das frações, ou seja,

$$ERB1_i = PB1_i - DRB1_i;$$

$$ERB2_i = PB2_i - DRB2_i.$$

O escape ruminal da fração C,  $ERC_i$ , é igual ao montante ingerido desta fração da proteína, ou seja,

$$ERC_i = PC_i.$$

#### *Disponibilidade ruminal das frações de carboidratos*

A disponibilidade ruminal das frações A', B1' e B2', respectivamente,  $DRA'_i$ ,  $DRB1'_i$  e  $DRB2'_i$ , são dadas por:

$$DRA'_i = CA'_i \cdot \frac{k_{d1}'}{k_{d1}' + k_l};$$

$$DRB1'_i = CBI'_i \cdot \frac{k_{d2}'}{k_{d2}' + \frac{1}{TMR_i}};$$

$$DRB2'_i = CB2'_i \cdot \frac{k_{d3}'_i}{k_{d3}'_i + \frac{1}{TMR_i}}$$

onde os termos  $k_{d1}'_i$ ,  $k_{d2}'_i$  e  $k_{d3}'_i$ , são as taxas de digestão das frações A', B1' e B2', respectivamente, e  $k_l$  é a taxa de diluição de líquidos do rúmen, calculada por:

$$k_l = \frac{\sum_{i=1}^m X_i}{\sum_{i=1}^m X_i \cdot TMR_i} \cdot 3.$$

### *Escape ruminal das frações de carboidratos*

Os escapes ruminais das frações A', B1' e B2', respectivamente, representadas pelas variáveis  $ERA'_i$ ,  $ERB1'_i$  e  $ERB2'_i$ , são dados pelas diferenças entre o montante de carboidratos e a disponibilidade ruminal de cada uma das frações, ou seja,

$$ERA'_i = CA'_i - DRA'_i;$$

$$ERB1'_i = CB1'_i - DRB1'_i;$$

$$ERB2'_i = CB2'_i - DRB2'_i.$$

O escape ruminal da fração C',  $ERC'_i$ , é exatamente igual ao montante desta fração de carboidratos ingerido, ou seja,

$$ERC'_i = CC'_i.$$

### *Cálculo do rendimento microbiano em nível de rúmen*

A variável YG1 é o rendimento teórico máximo para o crescimento de microrganismos ruminais que utilizam os carboidratos fibrosos dos ingredientes. É uma constante medida em g de massa de células por g de carboidratos fibrosos e equivale a

$$YG1 = 0,4.$$

A variável YG2 é o rendimento teórico máximo para o crescimento de microrganismos ruminais que utilizam os carboidratos não fibrosos dos ingredientes, medida em g de massa de células por g de carboidratos não fibrosos e calculado através de duas cláusulas:

$$YG2 = \begin{cases} 0,4 & \text{se } \frac{\sum_{i=1}^m \text{fibra}_i}{\sum_{i=1}^m x_i} \geq 0,2 \\ 0,4 \cdot \left\{ 1 - \left[ \left( 20 - \frac{100 \cdot \sum_{i=1}^m \text{fibra}_i}{\sum_{i=1}^m x_i} \right) \cdot 0,025 \right] \right\} & \text{caso contrário} \end{cases}$$

As variáveis,  $Y1_i$ ,  $Y2_i$  e  $Y3_i$  representam a eficiência de crescimento dos microrganismos que utilizam carboidratos fibrosos (fração B2'), carboidratos solúveis (fração A') e carboidratos não fibrosos (fração B1'), respectivamente, e são calculadas da seguinte forma:

$$Y1_i = \frac{k_{d3}' \cdot YG1}{k_{m1} \cdot YG1 + k_{d3}'};$$

$$Y2_i = \frac{k_{d1}' \cdot YG2}{k_{m2} \cdot YG2 + k_{d1}'};$$

$$Y3_i = \frac{k_{d2}' \cdot YG2}{k_{m2} \cdot YG2 + k_{d2}'}$$

onde os termos  $k_{m1}$  e  $k_{m2}$  são as taxas de manutenção das bactérias que utilizam os carboidratos fibrosos e não fibrosos e estas constantes assumem, respectivamente, os valores:

$$k_{m1} = 0,05;$$

$$k_{m2} = 0,15.$$

A disponibilidade de peptídeos em relação às frações A' e B1' de carboidratos,  $RATIO_i$ , é uma grandeza adimensional e calculada por:

$$RATIO_i = \frac{DRPEP_i}{DRPEP_i + DRA'_i + DRB1'_i}$$

O acréscimo percentual no rendimento devido à disponibilidade de peptídeos em relação às frações A' e B1',  $IMP_i$ , é dado pela função exponencial:

$$IMP_i = e^{[0,404 \cdot \ln(100 \cdot RATIO_i) + 1,942]}$$

sendo  $0 \leq IMP_i \leq 18$ .

A biomassa de células produzidas a partir da disponibilidade ruminal dos carboidratos fibrosos,  $BACTCF_i$ , é dada por:

$$BACTCF_i = Y1_i \cdot DRB2'_i$$

As eficiências de crescimento microbiano corrigidas em função do  $IMP_i$ , são:

$$Y2'_i = Y2_i \cdot (1 + IMP_i \cdot 0,01);$$

$$Y3'_i = Y3_i \cdot (1 + IMP_i \cdot 0,01).$$

A biomassa de células produzidas a partir da disponibilidade ruminal dos carboidratos não fibrosos,  $BACTNF_i$ , é dada por:

$$BACTNF_i = Y2'_i \cdot DRA'_i + Y3'_i \cdot DRBI'_i.$$

A biomassa de células produzidas a partir da disponibilidade ruminal total dos carboidratos,  $BACT_i$ , é a soma dos dois termos anteriores, ou seja,

$$BACT_i = BACTCF_i + BACTNF_i.$$

#### *Cálculo do escape de peptídeos*

As equações para o cálculo do escape de peptídeos foram adaptadas das originais descritas por Fox et al. (2004).

A quantidade de nitrogênio contido na biomassa produzida no rúmen a partir dos carboidratos fibrosos e não fibrosos, respectivamente,  $NBACTCF_i$  e  $NBACTNF_i$ , correspondem a 10% de suas biomassas, ou seja,

$$NBACTCF_i = 0,1 \cdot BACTCF_i;$$

$$NBACTNF_i = 0,1 \cdot BACTNF_i.$$

O montante de peptídeos assimilados pelos microrganismos,  $PEPUP_i$ , correspondem a:

$$PEPUP_i = \frac{k_{up} \cdot NBACTNF_i}{k_{up} \cdot NBACTNF_i + k_l} \cdot DRPEP_i,$$

onde o termo  $k_{up}$  é a taxa de utilização de peptídeos pelas bactérias que usam carboidratos não fibrosos para o seu crescimento, assumida como constante e igual a:

$$k_{up} = 0,07 .$$

Se os animais recebem ionóforos na ração, uma condição especial de arraçamento, então uma nova taxa de utilização de peptídeos ( $k_{upi}$ ) deve ser utilizada, que corresponde a 66% da taxa anterior, ou seja,

$$k_{upi} = k_{up} \cdot 0,66 .$$

Os microrganismos que fermentam carboidratos fibrosos (BACTCF) utilizam amônia como fonte preferencial de nitrogênio. Em contraste, os microrganismos que fermentam carboidratos não-fibrosos (BACTNF) utilizam amônia e aminoácidos como fonte de nitrogênio. Portanto, para se determinar a quantidade de peptídeos que escapa do rúmen é necessário calcular primeiramente a massa total deste último tipo de microrganismo,  $BACTNFmass_i$ , que é dada pela seguinte fórmula:

$$BACTNFmass_i = \frac{BACTNF_i}{\frac{24}{TMR_i}} .$$

O total de peptídeos retidos por esses microrganismos é obtido pela equação:

$$BACTNFpepup = \sum_{i=1}^m BACTNFmass_i \cdot k_{up} .$$

A taxa de disponibilização de peptídeos no rúmen pode ser calculada utilizando-se a equação abaixo:

$$DRPEPh = \frac{\sum_{i=1}^m DRPEP_i}{24} .$$

O tempo necessário para o crescimento bacteriano, admitindo a taxa de passagem de líquidos é obtido por:

$$\text{Crescimento} = \frac{1}{1 - k_1}.$$

O tempo necessário para o desaparecimento das bactérias e dos peptídeos corresponde a:

$$\text{Desaparecimento} = \frac{1}{3600} \cdot \left\{ \frac{\log \left[ \frac{(\text{crescimento} - 1) \div 3600 \cdot \text{DRPEPh}}{\text{BACTNFpepup} \div 3600} + 1 \right]}{\log [1 + (\text{crescimento} - 1) \div 3600]} \right\}.$$

Então, o montante de peptídeos assimilados pelos microrganismos pode ser ajustado por meio das cláusulas abaixo:

$$\text{PEPUPaj} = \text{DRPEPh} \cdot 24 \quad \text{se } \text{BACTNFpepup} \cdot \text{desaparecimento} > \text{DRPEPh};$$

$$\text{PEPUPaj} = \text{BACTNFpepup} \cdot \text{desaparecimento} \cdot 24 \quad \text{caso contrário.}$$

A partir do PEPUPaj e da disponibilidade ruminal de peptídeos é possível determinar o escape de peptídeos do rúmen, EPEP, ou seja,

$$\text{EPEP} = \sum_{i=1}^m \text{DRPEP}_i - \sum_{i=1}^m \text{PEPUPaj}_i.$$

O cômputo do total de peptídeos, CPEP, será obviamente igual à:

$$\text{CPEP} = \sum_{i=1}^m \text{PEPUPaj}_i + \text{EPEP}.$$

O total de nitrogênio contido nos peptídeos retidos pelos microrganismos que utilizam os carboidratos não fibrosos deverá ser ajustado devido ao escape ruminal de peptídeos:

$$\text{NPEPUPaj} = \frac{\text{PEPUPaj}}{6,25}.$$

*Ajuste da degradação ruminal de proteína devido ao escape de peptídeos.*

A degradação ruminal das frações B1 e B2 são ajustadas devido ao escape de peptídeos do rúmen usando as seguintes fórmulas, adaptadas a partir das equações originais publicadas por Fox et al. (2004):

$$\text{DRB1aj}_i = \text{Máximo} \left\{ 0, \text{DRB1}_i - \left[ \text{EPEP} \cdot \left( \frac{\text{DRB1}_i}{\sum_{i=1}^m (\text{DRB1}_i + \text{DRB2}_i)} \right) \right] \right\};$$

$$\text{DRB2aj}_i = \text{Máximo} \left\{ 0, \text{DRB2}_i - \left[ \text{EPEP} \cdot \left( \frac{\text{DRB2}_i}{\sum_{i=1}^m (\text{DRB1}_i + \text{DRB2}_i)} \right) \right] \right\}.$$

*Cálculo do balanço do nitrogênio amoniacal ruminal (BNAR)*

O nitrogênio contido nos peptídeos assimilado pelas bactérias que utilizam os carboidratos não fibrosos,  $\text{NPEPUP}_i$ , equivale a seguinte fração do  $\text{PEPUP}_i$ :

$$\text{NPEPUP}_i = \frac{\text{PEPUP}_i}{6,25}.$$



A retenção do nitrogênio pelas bactérias que utilizam os carboidratos não fibrosos,  $RNPEPUP_i$ , é calculada através de duas cláusulas:

$$RNPEPUP_i = \begin{cases} NPEPUP_i & \text{se } NBACTNF_i \geq \frac{NPEPUP_i}{0,66} \\ 0,66 \cdot NBACTNF_i & \text{se } NBACTNF_i < \frac{NPEPUP_i}{0,66} \end{cases}.$$

O nitrogênio amoniacal retido pelas bactérias que utilizam os carboidratos fibrosos e não fibrosos,  $NAMBACTCF_i$  e  $NAMBACTNF_i$ , correspondem, respectivamente, a:

$$NAMBACTCF_i = NBACTCF_i;$$

$$NAMBACTNF_i = NBACTNF_i - RNPEPUP_i.$$

Considere  $X$  uma variável que representa o teor de proteína bruta da dieta, sendo calculada pela seguinte expressão:

$$X = \frac{100 \cdot \sum_{i=1}^m (PA_i + PB1_i + PB2_i + PC_i)}{\sum_{i=1}^m X_i};$$

onde  $X \in [3,2;56]$ .

A conservação de nitrogênio em animais ruminantes decorre da utilização de reservas corporais, drenadas para os órgãos metabolizantes onde ocorre produção de uréia, a qual é parcialmente excretada para o meio e parte é reciclada via saliva ou difunde-se diretamente para o interior do rúmen. Esta reciclagem endógena ( $Y$ ) pode ser empiricamente estimada, com base na seguinte equação:

$$Y = 12,7 - 12,01X + 0,325X^2.$$

Uma vez que o total de proteína verdadeira degradável no rúmen, PDR, é expresso por:

$$PDR = \sum_{i=1}^m (DRB1a_j_i + DRB2a_j_i),$$

finalmente, o balanço do nitrogênio amoniacal ruminal, BNAR, pode ser então calculado com base na seguinte expressão:

$$BNAR = \frac{Y}{100} \cdot \frac{PB}{6,25} + \frac{PDR}{6,25} + \frac{\sum_{i=1}^m PA_i}{6,25} - \sum_{i=1}^m RNPEPUP_i - \sum_{i=1}^m NAMBACTNF_i - \sum_{i=1}^m NAMBACTCF_i .$$

*Ajuste do escape ruminal de proteína devido ao escape de peptídeos*

O escape ruminal das frações B1 e B2, é ajustado devido ao escape de peptídeos do rúmen usando as seguintes:

$$ERB1a_j_i = PB1_i - DRB1a_j_i ;$$

$$ERB2a_j_i = PB2_i - DRB2a_j_i .$$

*Ajuste da produção microbiana e do escape ruminal da fração de carboidratos fibrosos potencialmente degradáveis devido à deficiência ruminal de nitrogênio*

O crescimento da população microbiana no rúmen é dependente da disponibilidade de energia e compostos nitrogenados neste compartimento. Portanto, o primeiro limitante entre os dois substratos (carboidratos ou nitrogênio) é que determinará o montante de células microbianas produzidas. Nas situações em que o balanço de nitrogênio amoniacal ruminal (BNAR) for nulo ou positivo o modelo

permite estimar o rendimento microbiano em função da disponibilidade de carboidratos degradáveis no rúmen e em caso oposto ( $BNAR < 0$ ) os seguintes procedimentos são executados para ajustar o rendimento microbiano e a quantidade de carboidratos fibrosos que escapa do rúmen, conforme adaptado de Tedeschi et al. (2000) e Fox et al. (2004):

O crescimento bacteriano permitido pela quantidade de nitrogênio disponível,  $N_{perBACT}$ , é calculado usando a expressão abaixo:

$$N_{perBACT} = \frac{\sum_{i=1}^m NPEPUPaj_i + \frac{\sum_{i=1}^m DRA_i}{6,25} + Y}{0,1}.$$

A proporção de bactérias produzidas a partir do  $i$ ésimo alimento em relação ao total de bactérias produzidas,  $EBACTrazão_i$ , pode ser determinada pela fórmula:

$$EBACTrazão_i = \frac{BACTCF_i + BACTNF_i}{\sum_{i=1}^m (BACTCF_i + BACTNF_i)}.$$

O efeito da deficiência de nitrogênio na produção microbiana gerada a partir de cada ingrediente da ração é, então, determinado a partir dos dois termos calculados anteriormente:

$$N_{perBACT}_i = N_{perBACT} \cdot EBACTrazão_i.$$

A diferença entre a massa de microrganismos que pode ser produzida a partir da energia disponível e do nitrogênio disponível nos permite calcular a redução na produção microbiana,  $BACTred_i$  quando o nitrogênio é o primeiro limitante:

$$BACTred_i = (BACTCF_i + BACTNF_i) - N_{perBACT}_i.$$

A redução na quantidade de bactérias que utilizam carboidratos fibrosos,  $BACTCFred_i$ , devido à deficiência de nitrogênio no rúmen é computada para cada alimento a partir da redução na produção microbiana e da proporção de bactérias que utilizam carboidratos fibrosos em relação ao total de bactérias,  $BACTCFrazão_i$ :

$$BACTCFrazão_i = \frac{BACTCF_i}{BACTCF_i + BACTNF_i};$$

$$BACTCFred_i = BACTred_i \cdot BACTCFrazão_i.$$

A limitação de nitrogênio no rúmen reduz a fermentação dos carboidratos fibrosos devido à diminuição da população de bactérias responsáveis pela degradação desta fração. Para contabilizar esta redução utiliza-se a seguinte equação:

$$CFred_i = \frac{BACTCFred_i}{Y1_i};$$

em que,  $CFred_i$  é a redução na fermentação de carboidratos fibrosos para cada alimento.

Em consequência aos fenômenos biológicos descritos anteriormente a degradabilidade e o escape ruminal da fração B2' precisa ser ajustada, como a seguir:

$$DRB2'_{aj_i} = DRB2'_i - CFred_i;$$

$$ERB2'_{aj_i} = ERB2'_i + CFred_i.$$

### *Cálculo dos nutrientes contidos na biomassa microbiana*

As variáveis  $ERPBM_i$ ,  $ERPPCM_i$ ,  $ERANM_i$ ,  $ERCTM_i$ ,  $ERGM_i$ ,  $ERCinzasM_i$ , representam respectivamente, os escapes ruminais de proteína bruta, proteínas ligadas à parede celular, ácidos nucléicos, carboidratos totais, gordura e cinzas, todas associadas à biomassa microbiana. Essas variáveis são frações da  $BACT_i$  quando o BNAR é positivo e da  $NperBACT_i$  caso contrário, sendo calculadas por (Fox et al., 2004):

$$ERPBM_i = 0,60 \cdot 0,625 \cdot \text{Mínimo}(BACT_i, NperBACT_i) ;$$

$$ERPPCM_i = 0,25 \cdot 0,625 \cdot \text{Mínimo}(BACT_i, NperBACT_i) ;$$

$$ERANM_i = 0,15 \cdot 0,625 \cdot \text{Mínimo}(BACT_i, NperBACT_i) ;$$

$$ERCTM_i = 0,21 \cdot \text{Mínimo}(BACT_i, NperBACT_i) ;$$

$$ERGM_i = 0,12 \cdot \text{Mínimo}(BACT_i, NperBACT_i) ;$$

$$ERCinzasM_i = 0,044 \cdot \text{Mínimo}(BACT_i, NperBACT_i) ;$$

### *Absorção intestinal dos nutrientes*

Ocorrido o processamento do alimento ingerido e retido no rúmen, tanto a biomassa microbiana produzida sobre os substratos degradados quanto a matéria alimentar que escapou ao processo de degradação, bem como os ácidos graxos voláteis produzidos, tornam-se substrato para a absorção em locais específicos do TGI dos ruminantes. Desta forma, pode-se estimar a absorção intestinal dos nutrientes com base nas equações a seguir, adaptadas de Russell et al. (1992) e Sniffen et al. (1992).

As digestibilidades intestinais das frações B1 e B2 que escapam à degradação ruminal são dadas respectivamente por:

$$DIB1_i = ERB1aj_i ;$$

$$DIB2_i = 0,80 \cdot ERB2aj_i .$$

Assim a digestibilidade intestinal total da proteína de origem alimentar,  $DIPA_i$ , é a soma das duas parcelas anteriores, ou seja,

$$DIPA_i = DIB1_i + DIB2_i .$$

As digestibilidades intestinais da proteína verdadeira e dos ácidos nucléicos microbianos, respectivamente,  $DIPVM_i$  e  $DIANM_i$ , são exatamente iguais a seus respectivos escapes ruminais microbianos, ou seja,

$$DIPVM_i = ERPBM_i ;$$

$$DIANM_i = ERANM_i .$$

A digestibilidade intestinal da proteína,  $DIP_i$ , corresponde à soma dos três termos anteriores, ou seja,

$$DIP_i = DIPA_i + DIPVM_i + DIANM_i .$$

#### *Absorção de carboidratos pelo trato gastrintestinal*

A quantidade de ácidos graxos voláteis,  $AGV_i$ , é dada pela soma das disponibilidades ruminais das frações de carboidratos, ou seja,

$$AGV_i = DRA'_i + DRB1'_i + DRB2'_i aj_i .$$

A digestibilidade intestinal dos carboidratos,  $DICA_i$ , é calculada pela seguinte expressão:

$$DICA_i = ERA'_i + cd_i \cdot ERBI'_i + 0,2 \cdot ERB2'_i a_j_i,$$

onde, o coeficiente 0,2 corresponde à digestibilidade intestinal da fração B2' e o termo  $cd_i$  é o coeficiente de digestibilidade intestinal da fração BI'.

A digestibilidade intestinal dos carboidratos microbianos,  $DICM_i$ , é calculada sobre o escape total de carboidratos microbianos,  $ERCTM_i$ , dada por:

$$DICM_i = 0,95 \cdot ERCTM_i.$$

Portanto, a digestibilidade do total de carboidratos que fluem para o intestino,  $DITC_i$ , é dada pela soma dos três termos anteriores, ou seja,

$$DITC_i = AGV_i + DICA_i + DICM_i.$$

#### *Absorção intestinal da gordura*

Analogamente aos carboidratos, as gorduras alimentares e microbiana também são digeridas intestinalmente. Portanto, o escape ruminal de gordura,  $ERGB_i$ , é a quantidade de gordura bruta constante neste ingrediente, ou seja,

$$ERGB_i = G_i,$$

e a digestibilidade intestinal da gordura e da gordura microbiana, respectivamente,  $DIGA_i$  e  $DIGM_i$ , são dadas por:

$$DIGA_i = ERGB_i;$$

$$DIGM_i = 0,95 \cdot ERGM_i.$$

A digestibilidade intestinal da gordura total,  $DIG_i$ , é dada pela soma dos dois termos anteriores, ou seja,

$$DIG_i = DIGA_i + DIGM_i.$$

*Perdas fecais do ingrediente e microbianas*

O balanço de matéria correspondente ao que é absorvido pelos animais depende das perdas fecais, tanto de origem alimentar (ingrediente da dieta) como da biomassa microbiana que escapam às ações digestoras do TGI dos ruminantes. Assim, as perdas fecais, a começarem pelas frações B2 e C, respectivamente,  $PFB2_i$  e  $PFC_i$ , são dadas por:

$$PFB2_i = (1 - 0,80) \cdot ERB2_{aj_i};$$

$$PFC_i = ERC_i.$$

As perdas fecais de proteínas,  $PFPA_i$ , são iguais a soma dos dois termos anteriores, ou seja,

$$PFPA_i = PFB2_i + PFC_i.$$

As perdas fecais das frações B1', B2' e C', respectivamente,  $PFBI'_i$ ,  $PFB2'_i$  e  $PFC'_i$ , são expressas por:

$$PFBI'_i = (1 - cd_i) \cdot ERBI'_i;$$

$$PFB2'_i = (1 - 0,20) \cdot ERB2'_{aj_i};$$

$$PFC'_i = ERC'_i.$$



As perdas fecais do total de carboidratos,  $PFCTA_i$ , são iguais a soma dos três termos anteriores, ou seja,

$$PFCTA_i = PFBI'_i + PFB2'_i + PFC'_i.$$

As perdas fecais de cinzas,  $PFCinzas_i$ , são dadas por:

$$PFCinzas_i = Cinzas_i.$$

As perdas fecais de parede celular microbiana,  $PFPCM_i$ , são dadas por:

$$PFPCM_i = ERPPCM_i.$$

As perdas fecais relativas ao total de proteína microbiana,  $PFPM_i$ , são exatamente iguais ao termo anterior,

$$PFPM_i = PFPCM_i.$$

As perdas fecais microbianas de carboidratos, gorduras e cinzas, respectivamente,  $PFCM_i$ ,  $PFGM_i$  e  $PFCinzasM_i$  são dadas por:

$$PFCM_i = (1 - 0,95) \cdot ERCTM_i;$$

$$PFGM_i = (1 - 0,95) \cdot ERGM_i;$$

$$PFCinzasM_i = ERCinzasM_i.$$

As perdas fecais de massa microbiana são iguais à soma dos quatro termos anteriores, ou seja,

$$PFBACT_i = PFPM_i + PFCM_i + PFGM_i + PFCinzasM_i.$$

### *Perdas fecais endógenas*

As perdas fecais endógenas correspondem às secreções digestivas (bile, sucos gástrico e pancreático, enzimas e muco) elaboradas pelo trato gastrintestinal, bem como às descamações do epitélio ruminal e intestinal. Estas perdas são basicamente compostas por proteínas, gorduras e cinzas. Assim, as perdas fecais endógenas,  $PFEP_i$ ,  $PFEG_i$  e  $PFECinzas_i$  são respectivamente, dadas por:

$$PFEP_i = 0,0387 \cdot PB_i ;$$

$$PFEG_i = 0,017 \cdot G_i ;$$

$$PFECinzas_i = 0,0119 \cdot Cinzas_i .$$

### *Total de perdas fecais*

O total de perdas fecais em proteínas, carboidratos, gordura e cinzas, respectivamente,  $TPFPROT_i$ ,  $TPFCT_i$ ,  $TPFG_i$ ,  $TPFCinzas_i$  são expressas pelas equações:

$$TPFPROT_i = PFPA_i + PFPM_i + PFEP_i ;$$

$$TPFCT_i = PFCTA_i + PFCM_i ;$$

$$TPFG_i = PFGM_i + PFEG_i ;$$

$$TPFCinzas_i = PFCinzas_i + PFCinzasM_i + PFECinzas_i .$$

Desta forma, pode-se estimar a quantidade de matéria seca indigerível,  $MSI_i$ , dada pela soma das quatro parcelas anteriores, ou seja,

$$MSI_i = TPFPROT_i + TPFCT_i + TPFG_i + TPFCinzas_i.$$

#### *Total de nutrientes aparentemente digeríveis*

O total de nutrientes aparentemente digeríveis,  $TNAD_i$ , é representado pela seguinte expressão:

$$TNAD_i = (PB_i - TPFPROT_i) + (CT_i - TPFCT_i) + 2,25 \cdot (G_i - TPFG_i).$$

O teor do total de nutrientes aparentemente digeríveis da ração,  $[TNAD]_i$ , é dada por:

$$[TNAD]_i = \frac{TNAD_i}{\sum_{i=1}^m X_i}.$$

#### *Cálculo da energia metabolizável*

O montante de energia digerível disponível ao animal, CED, provida pelos ingredientes da ração, medido em  $MJd^{-1}$  é calculado pela fórmula adaptada do NRC (1996):

$$CED = 0,001 \cdot 4,409 \cdot 4,184 \cdot \sum_{i=1}^m TNAD_i.$$

A energia metabolizável corresponde ao calor de combustão do total de compostos orgânicos oxidáveis pelo corpo do animal. Este montante de energia

metabolizável disponível ao animal, CEM, medido em  $\text{MJd}^{-1}$ , é calculado pela seguinte expressão:

$$\text{CEM} = \text{CED} \cdot 0,82 .$$

#### *Consumo de proteína metabolizável*

A proteína metabolizável corresponde ao total de ácidos aminados disponíveis à circulação sistêmica após a absorção, o que exige correção para o total de ácidos nucléicos absorvidos. Esta quantidade de proteína metabolizável disponível ao animal,  $\text{PM}_i$ , é calculada da seguinte forma, segundo Sniffen et al. (1992):

$$\text{PM}_i = \text{DIP}_i - \text{DIANM}_i .$$

O teor de proteína metabolizável da ração total otimizada,  $[\text{PM}]$ , é, evidentemente, dado por:

$$[\text{PM}] = \frac{\sum_{i=1}^m \text{PM}_i}{\sum_{i=1}^m X_i} .$$

#### *Conservação de energia metabolizável em energia líquida de produção*

As estimativas abaixo são constantes medidas em  $\text{MJkg}^{-3/4}\text{d}^{-1}$ . Os valores dos parâmetros e o modelo para calcular a energia líquida total foram publicados por Henrique et al. (2005).

A estimativa da exigência de energia líquida (energia livre) para os processos de manutenção,  $\alpha$ , assume o seguinte valor constante,

$$\alpha = 0,305 .$$

A estimativa do parâmetro que representa o coeficiente linear entre a retenção de energia pelo corpo do animal e o consumo de energia metabolizável,  $\gamma$ , assume o seguinte valor constante:

$$\gamma = -0,176$$

A estimativa da eficiência líquida de utilização da energia metabolizável para o ganho em massa corporal,  $\delta$ , assume o seguinte valor constante e adimensional:

$$\delta = 0,37.$$

A eficiência total de utilização da energia metabolizável da ração pelo animal, para efetuar os processos de manutenção e ganho em massa corporal,  $k_{mg}$ , é uma grandeza adimensional, calculada pela seguinte equação:

$$k_{mg} = \frac{0,305}{CEM \div M^{3/4}} - \frac{0,176}{CEM \div M^{3/4}} + 0,37,$$

onde o termo  $M$  representa a massa corporal do animal expressa em kg.

O montante de energia líquida total (manutenção e ganho),  $EL_t$ , disponível para o animal, medida em  $MJd^{-1}$ , a partir da ração, é calculado por:

$$EL_t = k_{mg} \cdot CEM.$$

O teor de energia líquida total da ração,  $[EL_t]$ , é dado pela seguinte fórmula:

$$[EL_t] = \frac{EL_t}{\sum_{i=1}^m X_i}.$$

### *Exigências nutricionais*

#### *Determinação da massa de corpo vazio ou massa corporal isenta de conteúdo gastrintestinal*

A massa corporal isenta de conteúdo gastrintestinal de animais zebuínos e mestiços,  $MCV_Z$  e  $MCV_M$ , respectivamente, expressa em kg, é estimada por meio de expressões empíricas, obtidas através de regressões estatísticas (Fontes, 1995):

$$MCV_Z = -19,61 + 0,92 \cdot M ;$$

$$MCV_M = -34,34 + 0,92 \cdot M ,$$

onde M é a massa do animal, medida em kg.

A massa corporal isenta de conteúdo gastrintestinal para animais em geral,  $MCV_G$ , utilizada na determinação das exigências em minerais (como será demonstrado mais adiante) é calculada da seguinte forma (Fontes, 1995):

$$MCV_G = -29,4292 + 0,92585 \cdot M .$$

#### *Determinação da exigência líquida de proteína para os processos de manutenção*

A exigência em proteína metabolizável necessária para suprir os processos de síntese para substituição dos tecidos em processo contínuo de descamação, representada pela variável PD, é calculada pela seguinte fórmula (NRC, 1996):

$$PD = \frac{2,75 \cdot M^{0,5}}{0,67} .$$

A exigência em proteína metabolizável para suprir as perdas endógenas de nitrogênio urinário, representadas pela variável PU, é calculada pela seguinte fórmula (NRC, 1996):

$$PU = \frac{0,2 \cdot M^{0,6}}{0,67} .$$

A exigência em proteína metabolizável para suprir as perdas protéicas de origem metabólica nas fezes, representada pela variável, PFM é calculada pela seguinte fórmula (NRC, 1996):

$$PFM = 0,09 \cdot MSI .$$

Portanto, a exigência total em proteína metabolizável para manutenção, PM<sub>m</sub>, é idêntica à soma dos três termos anteriores, ou seja,

$$PM_m = PD + PU + PFM .$$

*Determinação da exigência líquida de proteína para acúmulo de massa corporal e conversão desta exigência para proteína metabolizável*

A taxa de ganho em massa corporal isenta de conteúdo gastrintestinal, dMCV/dt, expressa em kgd<sup>-1</sup> segundo Fontes (1995), corresponde a:

$$\frac{dMCV}{dt} = 0,92 \cdot \frac{dM}{dt} .$$

onde dM/dt, é a taxa de ganho em massa desejada, expressa em kgd<sup>-1</sup>, e t é o tempo, expresso em dias.

Assim, a exigência líquida diária em proteína para o ganho esperado, é calculada pelas seguintes formulas empíricas, segundo Fontes (1995):

$$PL_g(ZEB) = 0,453 \cdot MCV_Z^{-0,184} \cdot 1000 \cdot \frac{dMCV}{dt};$$

$$PL_g(MES) = 0,631 \cdot MCV_M^{-0,236} \cdot 1000 \cdot \frac{dMCV}{dt}$$

em que  $PL_g(ZEB)$  e  $PL_g(MES)$ , representam a exigência em proteína líquida de ganho para animais zebuínos e mestiços, respectivamente, expressa em  $gd^{-1}$ .

A exigência em proteína metabolizável para o processo de acúmulo de massa corporal isenta de conteúdo gastrointestinal, considerado a taxa de ganho bruto desejada, é calculada da seguinte forma (Fontes, 1995):

$$PM_g(ZEB) = \frac{PL_g(ZEB)}{\beta_g};$$

$$PM_g(MES) = \frac{PL_g(MES)}{\beta_g}$$

onde  $PM_g(ZEB)$  e  $PM_g(MES)$  representam as exigências em proteína metabolizável para ganho de massa corporal em animais zebuínos e mestiços, respectivamente, e o termo  $\beta_g$  é a eficiência (adimensional) de utilização da proteína metabolizável para o processo de ganho em massa corporal. Os valores de  $\beta_g$  estão expressos na tabela abaixo.

Tabela 1 – Eficiência de utilização da proteína metabolizável

Massas dos animais (M)	$\beta_g$
$M \leq 181$	0,75
$181 \leq M \leq 363$	0,50
$M > 363$	0,41



### *Determinação da exigência líquida de energia para manutenção*

O montante de energia líquida para o desempenho do processo de manutenção do animal,  $EL_m$ , medido em  $MJd^{-1}$  é calculado conforme adaptado de Henrique et al. (2005):

$$EL_m(\text{ZEB}) = 0,305 \cdot MCV_Z^{3/4};$$

$$EL_m(\text{MES}) = 0,305 \cdot MCV_M^{3/4}.$$

onde  $EL_m(\text{ZEB})$  e  $EL_m(\text{MES})$  representam as exigências em energia líquida para a manutenção de animais zebuínos e mestiços, respectivamente.

### *Determinação da exigência de energia líquida para o ganho em massa corporal*

As variáveis  $EL_g(\text{ZEB})$  e  $EL_g(\text{MES})$  representam a exigência de energia líquida para o ganho em massa de animais zebuínos e mestiços, respectivamente, expressa em  $MJd^{-1}$ , e calculada da seguinte forma (Fontes, 1995):

$$EL_g(\text{ZEB}) = 0,158 \cdot MCV_Z^{0,568} \cdot 4,184 \cdot \frac{dMCV}{dt};$$

$$EL_g(\text{MES}) = 0,216 \cdot MCV_M^{0,479} \cdot 4,184 \cdot \frac{dMCV}{dt}.$$

O montante de energia líquida total (manutenção e ganho),  $EL_t$ , pode também ser representado pela soma da energia líquida para manutenção e ganho:

$$EL_t = EL_m + EL_g.$$

### *Determinação das exigências nutricionais em minerais*

As equações para a determinação das exigências de minerais utilizadas foram originalmente publicadas no NRC (1996).

As exigências para manutenção em cálcio ( $Ca_m$ ), fósforo ( $P_m$ ) e magnésio ( $Mg_m$ ) são dadas, respectivamente, pelas seguintes frações da massa do animal:

$$Ca_m = 15,4 \cdot 10^{-3} \cdot M ;$$

$$P_m = 16 \cdot 10^{-3} \cdot M ;$$

$$Mg_m = 3 \cdot 10^{-3} \cdot M .$$

As exigências para o ganho em massa corporal, isenta de conteúdo gastrointestinal, em cálcio ( $Ca_g$ ), fósforo ( $P_g$ ) e magnésio ( $Mg_g$ ) são dadas, respectivamente, pelas seguintes fórmulas:

$$Ca_g = 75,4 \cdot MCV_G^{-0,3032} \cdot \frac{dMCV}{dt} ;$$

$$P_g = 45,0 \cdot MCV_G^{-0,3055} \cdot \frac{dMCV}{dt} ;$$

$$Mg_g = 1,5 \cdot MCV_G^{-0,2435} \cdot \frac{dMCV}{dt} .$$

As exigências diárias em cálcio, fósforo e magnésio correspondem às somas das exigências para manutenção e ganho:

$$Ca = Ca_m + Ca_g ;$$

$$P = P_m + P_g ;$$

$$Mg = Mg_m + Mg_g.$$

As exigências diárias para os demais minerais correspondem às suas respectivas restrições nutricionais, e serão tratadas na próxima seção.

*Determinação da massa ruminal de fibra e da capacidade máxima de material fibroso no rúmen*

A fibra ou fibra insolúvel, em Nutrição de Ruminantes, corresponde ao montante de compostos parcial e lentamente digeríveis que ocupam espaço no trato gastrointestinal dos ruminantes. O efeito de repleção da fibra, nada mais é do que o preenchimento dos espaços ruminais vazios por este nutriente, o que pode restringir o consumo diário de energia líquida, pois são inversamente relacionados (Van Soest, 1994).

O efeito de repleção da fibra no rúmen,  $U_i$ , é uma função das propriedades cinéticas de degradação e passagem do material fibroso no órgão que possibilita a estimação da massa ruminal de fibra.  $U_i$  é uma grandeza adimensional, que é calculada pela seguinte expressão:

$$U_i = \frac{1}{k_{a_i}' + k_{r_i}} \cdot \left\{ 1 + \frac{k_{r_i}}{k_{a_i}' + k_{e_i}} + k_{a_i}' \cdot \left[ \frac{0,001 \cdot B2_i'}{(k_{d3_i}' + K_{r_i})} + \frac{C_i'}{1000 \cdot k_{r_i}} + \frac{B2_i'}{1000} \right] \right. \\ \left. \cdot \frac{k_{r_i}}{k_{d3_i}' + k_{e_i}} \cdot \left( \frac{k_{d3_i}' + k_{r_i} + k_{a_i}' + k_{e_i}}{[k_{a_i}' + k_{e_i}] \cdot [k_{d3_i}' + k_{r_i}]} \right) + \frac{C_i'}{1000} \cdot \frac{k_{r_i}}{k_{e_i}} \cdot \frac{k_{r_i} + k_{a_i}' + k_{e_i}}{k_{r_i} \cdot (k_{a_i}' + k_{e_i})} \right\}$$

onde o termo  $k_{a_i}'$  é a taxa ou razão de disponibilização da fração  $B2'$ . Em outras palavras,  $k_{a_i}'$  corresponde à taxa de transformação das partículas fibrosas de uma forma não disponível em uma forma disponível ao processo de degradação.  $k_{d3_i}'$  representa a taxa de degradação da fração potencialmente digerível das partículas fibrosas. As razões  $k_{a_i}'$ ,  $k_{r_i}$ ,  $k_{d3_i}'$  e  $k_{e_i}$  devem ser multiplicadas por 24 para conversão da unidade  $h^{-1}$  para  $d^{-1}$ .

A massa ruminal de fibra é um atributo inerente ao animal, MRF, é medida em  $\text{gkg}^{-1}$  e calculada por:

$$\text{MRF} = \left[ \sum_{i=1}^m (\text{fibra}_i \cdot U_i) \right] \div M.$$

A quantidade máxima de fibra no rúmen do animal,  $\text{MRF}_{\text{max}}$ , expressa em g de massa de fibra por kg de massa corporal é dada pela seguinte fórmula adaptada de Cannas et al. (2003):

$$\text{MRF}_{\text{max}} = \frac{\left[ 23,84 - 10,26 \cdot \ln \left( \frac{\sum_{i=1}^m \text{fibra}_i + M}{10} \right) \right]}{24} \cdot \frac{\sum_{i=1}^m \text{fibra}_i}{M}.$$

#### *Avaliação do modelo*

O presente modelo foi avaliado a partir de informações obtidas em 11 teses de doutorado e 14 dissertações de mestrado desenvolvidas na Universidade Federal de Viçosa (Barbosa, 1978; Margon, 1981; Galvão, 1991; Estrada, 1996; Gesualdi Júnior, 1999; Resende, 1999; Backes, 2003; Magalhães, 2003; Miranda, 2005 e Obeid, 2005), Universidade Estadual Paulista (Arrigoni, 1995; Henrique, 2002; Leão, 2002; Mendes, 2003 e Faturi, 2005), Universidade de São Paulo (Pereira, 2002; Putrino, 2002; Aferri, 2003 e Oliveira, 2004), Universidade Federal de Lavras (Fontes, 1993), Universidade Federal de Minas Gerais (Languidey, 1975 e Pacola, 1977) e Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz (Bulle, 2000; Fernandes, 2004 e Almeida, 2005), além de quatro artigos publicados na Revista Brasileira de Zootecnia (Fernandes et al., 2004; Chizzotti et al., 2005; Silva et al., 2005 e Pereira et al., 2006). Destas informações 275 eram relativas a dados individuais obtidos nos apêndices das teses e dissertações e 93 referiam-se às médias de tratamentos específicos, totalizando 368 dados. A descrição geral das informações encontra-se na Tabela 2. As informações utilizadas relativas aos animais foram: massa corporal média no período estudado, grupo genético, taxa de ganho de massa corporal e consumo total de matéria seca. Os dados concernentes aos alimentos como a

proporção de cada ingrediente na ração total acompanhado, na maioria dos trabalhos, de sua composição nutricional, também foram usados. As informações necessárias para o cômputo das frações de proteína e carboidratos utilizadas no modelo matemático não estavam descritas de forma completa em todos os trabalhos. Essas lacunas foram, então, preenchidas utilizando informações contidas em tabelas de composição de alimentos para bovinos, publicadas pelo NRC (1996), por Fox et al. (1999) e por Valadares Filho et al. (2006). As frações de alguns alimentos cuja composição nessas tabelas também não era completa foram calculadas utilizando as informações referentes a alimentos com características nutricionais semelhantes.

A partir das informações obtidas estimou-se o montante de energia, proteína, fibra e minerais ingeridos pelos animais e as exigências nutricionais dos mesmos.

A avaliação do modelo consistiu em comparar graficamente os valores de energia líquida e proteína metabolizável fornecidos pela ração e exigidos pelos animais. Outra avaliação foi baseada na comparação entre os valores preditos e observados para a taxa de ganho de massa corporal ( $dM/dt$ ). Para tanto, foram estimados valores de  $dM/dt$  a partir da energia líquida fornecida pela ração por meio das equações abaixo adaptadas do NRC (1996):

$$EL_m = \frac{\alpha \cdot MCV^{3/4}}{4,184} ;$$

$$ER = \frac{EL_t}{4,184} - EL_m ;$$

$$\frac{dM}{dt} = \frac{12,341 \cdot ER^{0,9116} \cdot MCV^{0,6837}}{0,956} .$$

em que,  $\alpha$  é a estimativa da produção de calor do animal em jejum  $Mcal \cdot kg^{-3/4} \cdot d^{-1}$ ,  $EL_t$  corresponde ao total de energia líquida fornecida pela ração em  $MJd^{-1}$ ,  $ER$  representa a energia retida no corpo do animal expressa em  $Mcal d^{-1}$  e  $EL_m$  é a exigência em energia líquida para manutenção expressa em  $Mcal d^{-1}$ .

Os valores de  $dM/dt$  observados e preditos foram comparados graficamente e analisados por meio de seus resíduos padronizados, conforme sugerido por Draper e Smith (1966) e Montgomery (2005).

Entre os trabalhos mencionados acima, cinco (Gesualdi Júnior, 1999; Bulle, 2000; Henrique, 2002; Backes 2003 e Miranda 2005) foram selecionados para uma comparação entre o presente modelo e o modelo Cornell Net Carbohydrate and Protein System (CNCPS), totalizando 107 informações. A razão para a escolha destes trabalhos foi a presença nos mesmos da massa e da composição corporal dos animais ao abate, principalmente, o teor de gordura. A composição corporal dos animais utilizados por Miranda (2005) foi obtida na tese de Gesualdi Júnior (2003), uma vez que os autores trabalharam com os mesmos animais e apenas o último analisou o teor de proteína e gordura no corpo. Essas informações são necessárias como entradas no CNCPS, para que a estimativa do ganho diário,  $dM/dt$ , seja mais exata.

Os valores de  $dM/dt$  observados e preditos por ambos os modelos foram comparados graficamente, seus resíduos padronizados foram analisados conforme Draper e Smith (1966) e Montgomery (2005) e a decomposição do quadrado médio dos desvios realizada segundo Kobayashi e Salam (2000).

Tabela 2 – Descrição das informações utilizadas para avaliação do modelo

Grupo genético	n	Condição sexual	M <sup>1</sup> (kg)	dM/dt <sup>2</sup> (kg/d)	CMS <sup>3</sup> (g/d)	Referência
3/4 Europeu-Zebu	3	castrado	394	1,160	8937	Aferri (2003)
1/2 Angus-Nelore	1	não-castrado	427	1,566	9741	Almeida (2005)
1/2 Canchim-Nelore	1	não-castrado	408	1,368	9086	Almeida (2005)
1/2 Simental-Nelore	1	não-castrado	434	1,491	9622	Almeida (2005)
Nelore	3	não-castrado	365	1,021	7651	Almeida (2005)
Nelore-Simental	3	não-castrado	265	0,899	4950	Arrigoni (1995)
1/2 Holandês-Zebu	16	castrado	337	1,126	8268	Backes (2003)
Nelore	8	castrado	321	1,106	7536	Backes (2003)
5/8 Holandês-Zebu	3	castrado	379	0,960	9365	Barbosa (1978)
3/4 Europeu-Zebu	3	não-castrado	346	1,267	7307	Bulle (2000)
Nelore	4	castrado	410	0,968	8425	Chizzotti et al. (2005)
1/2 Nelore-Angus	1	não-castrado	525	1,430	10660	Estrada (1996)
Nelore	1	não-castrado	463	1,150	8800	Estrada (1996)
1/2 Nelore-Holandês	1	não-castrado	527	1,410	10650	Estrada( 1996)
1/2 Nelore-Normando	1	não-castrado	532	1,550	10750	Estrada( 1996)
1/2 Nelore-Angus	4	castrado	407	1,284	10117	Faturi (2005)
Nelore e Canchim	5	não-castrado	347	1,286	9333	Fernandes (2004)
1/2 Caracu-Zebu	2	não-castrado	337	0,926	7545	Fernandes et al. (2004)
1/2 Holandês-Zebu	2	não-castrado	339	1,103	7660	Fernandes et al. (2004)
Nelore	2	não-castrado	333	1,122	7210	Fernandes et al. (2004)
Holandês-Zebu	4	não-castrado	224	0,983	6375	Fontes (1993)
1/2 Nelore-Limousine	12	não-castrado	427	1,238	9667	Galvão (1991)
1/2 Nelore-Marchigiana	12	não-castrado	417	1,218	10268	Galvão (1991)
Nelore	12	não-castrado	348	0,864	7970	Galvão (1991)
Santa Gertrudes	4	não-castrado	379	1,530	8000	Henrique (2002)
1/2 Nelore-Limousine	40	não-castrado	406	1,065	7781	Gesualdi Júnior (1999)
Holandês-Zebu	5	não-castrado	315	0,650	7004	Languidey (1975)
Guzerá	75	não informou	472	1,019	8749	Leão (2002)
Holandês-Zebu	8	castrado	314	1,238	8571	Magalhães (2003)
Zebu	32	castrado	384	0,462	7596	Margon (1981)
3/4 Simental-Nelore	3	não informou	420	1,150	10543	Mendes (2003)
Caracu	16	não-castrado	473	0,799	6654	Miranda (2005)
Nelore	28	não-castrado	415	0,901	5817	Miranda (2005)
Zebu	4	não informou	440	1,363	9218	Obeid (2005)
Nelore	3	castrado	431	1,141	10180	Oliveira (2004)
Zebu	2	não informou	336	1,109	10422	Pacola (1977)
Nelore	3	castrado	350	1,460	7923	Pereira (2002)
Holandês-Zebu	4	castrado	478	1,400	10925	Pereira et al (2006)
5/8 Angus-Nelore	4	não-castrado	320	1,132	5793	Putrino (2002)
Nelore	4	não-castrado	254	0,905	3378	Putrino (2002)
5/8 Europeu-Zebu	24	castrado	367	1,068	10095	Resende (1999)
Holandês-Zebu	4	castrado	389	0,583	7348	Silva et al. (2005)

<sup>1</sup>Massa corporal, <sup>2</sup>ganho diário de massa corporal; <sup>3</sup>Consumo de matéria seca.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

O fornecimento de minerais foi adequado, na grande maioria dos casos e não limitou o desempenho dos animais. Este resultado era esperado, uma vez que todos os dados utilizados para avaliação do modelo foram provenientes de experimentos realizados com animais confinados, recebendo suplementação mineral.

O comportamento das principais variáveis do modelo está ilustrado na Figura 5, da qual se depreende que a quantidade fornecida de energia líquida (Figura 5a) e de proteína metabolizável (Figura 5b) foi suficiente para atender as demandas dos animais. De maneira geral as rações tinham 16% (Figura 5a) e 8% (Figura 5b) de sobra nos níveis de energia líquida e proteína metabolizável, respectivamente. Esta margem de segurança é recomendada para evitar uma deficiência nutricional (AFRC, 1993), desde que não seja muito alta a ponto de tornar a ração antieconômica ou de causar danos ambientais devido à excreção exagerada dos nutrientes que não foram assimilados pelos animais (NRC, 2001).

O consumo de matéria seca, a composição nutricional das rações e o ganho em massa corporal eram dados observados que foram usados como entrada no modelo. Por isso, se a partir da análise das respostas obtidas (*outputs*) a conclusão fosse de que a quantidade de nutrientes não foi suficiente para atender as exigências, então o modelo seria considerado impróprio. No entanto, os resultados foram condizentes com o desempenho dos animais e conseqüentemente o modelo foi considerado adequado para a avaliação nutricional de rações.

O modelo também foi testado quanto à sua capacidade de prever o desempenho dos animais a partir do consumo de matéria seca observado e da composição nutricional da dieta fornecida. Essa avaliação foi feita comparando-se o ganho em massa corporal ( $dm/dt$ ) predito pelo modelo com os valores observados e analisando seus desvios padronizados. Como pode ser observado na Figura 5c a média dos valores preditos foi bastante próxima dos valores observados, apesar dos mesmos estarem muito dispersos. A dispersão dos resíduos padronizados em função da massa corporal, apresentada na Figura 5d, foi aleatória em torno do eixo correspondente ao valor zero e não apresentou qualquer tipo de tendência. Esses resultados são indicativos de que o modelo pode ser considerado adequado para a



predição do ganho em massa corporal, apesar de ainda necessitar de alguns ajustes devido à grande dispersão dos resíduos (Figura 5d). Mesmo com a dispersão alta, 95% dos valores dos resíduos padronizados estão compreendidos entre -2 e 2.

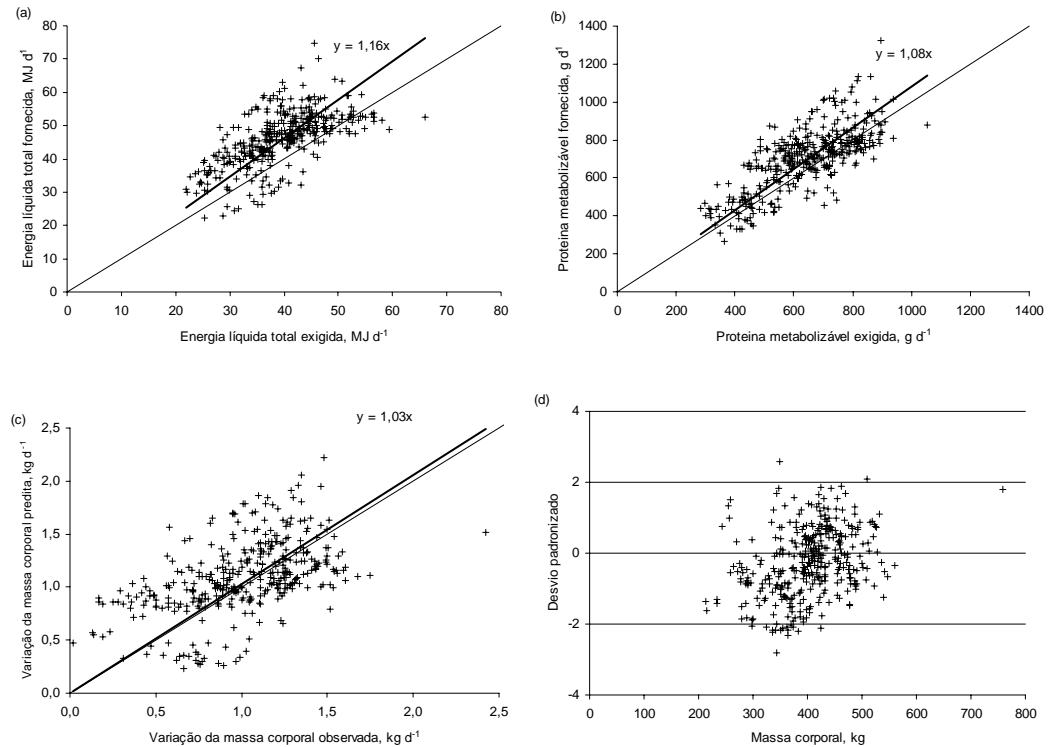


Figura 5 – Dispersão dos valores de fornecimento sobre a exigência de energia líquida (a) e proteína metabolizável (b), dos valores preditos sobre os observados para o ganho de massa corporal (c) e dos desvios padronizados do ganho de massa corporal sobre a massa corporal (d).

Na Figura 6 estão representadas as relações da massa ruminal de fibra (MRF) com a capacidade máxima de retenção de fibra no rúmen,  $MRF_{max}$ , (Figura 6a) e com a eficiência bruta de utilização da energia metabolizável,  $k_{mg}$ , (Figura 6c). Também consta da Figura 6 o comportamento da diferença entre  $MRF_{max}$  e MRF em função do consumo de fibra corrigido para a massa corporal (Figura 6b). A partir da observação da Figura 6a percebe-se que a massa ruminal de fibra (MRF) aumentou com a capacidade máxima de retenção de fibra no rúmen ( $MRF_{max}$ ) e que a relação entre essas duas variáveis foi descrita por uma equação alométrica. Este tipo de equação é utilizado na biologia por mais de um século, e desde 1890 tem sido aplicada para descrever o crescimento (em volume ou massa) de uma parte (ou

órgão) do corpo em relação ao todo (Brody, 1945). Por meio da equação alométrica, Brody e Kleiber determinaram, na década de 1930, expoentes para reduzir o efeito da

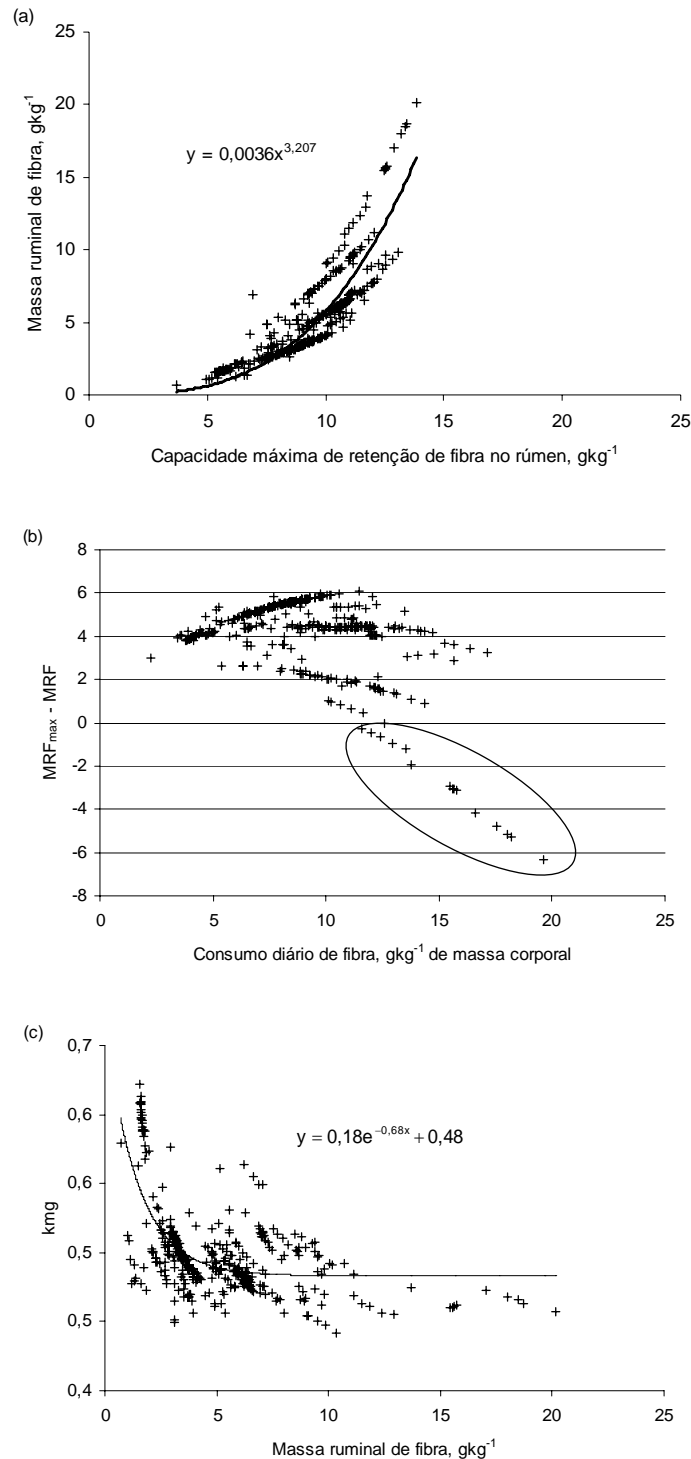


Figura 6 – Dispersões da massa ruminal de fibra, MRF, sobre a capacidade máxima de retenção de material fibroso no rúmen,  $\text{MRF}_{\text{max}}$ , (a), da diferença entre  $\text{MRF}_{\text{max}}$  e MRF sobre o consumo de fibra corrigido para a massa corporal (b) e da eficiência bruta de utilização da energia metabolizável,  $\text{kmg}$ , sobre a MRF (c).

massa corporal em comparações entre o metabolismo energético de animais de espécies diferentes. No Terceiro Simpósio sobre Metabolismo Energético, em 1964, foi decidido utilizar o valor proposto por Kleiber (elevar a massa corporal a  $\frac{3}{4}$  de potência) para calcular a massa metabólica dos animais (Blaxter, 1965). No presente trabalho, a MRF e a  $MRF_{max}$  foram corrigidas pela massa corporal elevada ao expoente 1 (um), ou seja, foram consideradas diretamente proporcionais à massa corporal. A proporcionalidade entre massa corporal, MRF e  $MRF_{max}$  é devida à relação dessas variáveis com o volume ruminal, que por seu turno é diretamente proporcional à massa corporal do animal (Van Soest, 1994). O volume do rúmen e as propriedades cinéticas de degradação e passagem do material fibroso nesse compartimento são determinantes da MRF, enquanto a  $MRF_{max}$  é, conceitualmente, um atributo inerente ao animal. Porém, o modelo utilizado para calcular a  $MRF_{max}$  foi adaptado do apresentado por Cannas et al. (2003) para determinar o *turnover* ruminal da fibra e as estimativas desse modelo são influenciadas, principalmente, pelas características do alimento (como o teor de fibra). O ideal seria que a  $MRF_{max}$  fosse estimada por meio de um modelo desenvolvido a partir das características físicas do animal, mas durante a realização do presente trabalho não foram encontradas informações que possibilitassem a concepção de tal modelo.

A diferença entre  $MRF_{max}$  e MRF em função do consumo diário de fibra corrigido para a massa corporal é apresentada na Figura 6b. Quando essa diferença assume valores negativos significa que a MRF foi superior à  $MRF_{max}$ , ou seja, o nível em que ocorre efeito de repleção no rúmen foi atingido (Vieira e Fernandes, 2006). As informações referentes às situações em que houve repleção estão destacadas por uma elipse na Figura 6b. Estas informações foram obtidas a partir de 15 dados pertencentes à tese de Resende (1999) e referem-se aos tratamentos em que foram fornecidos de 55 a 85% de feno de tanzânia na matéria natural. O feno de tanzânia utilizado possuía em torno de 75% de fibra e devido aos atributos cinéticos de degradação e passagem dessa fibra, provavelmente, houve a repleção. Nos outros casos a repleção não aconteceu. Quando são fornecidas aos animais dietas com alto teor de fibra e, concomitantemente baixos teores de energia, a ingestão é limitada pela capacidade física do animal em reter o alimento no rúmen e torna-se uma função das características dietéticas como a concentração de fibra na ração (Mertens, 1987). O oposto ocorre quando rações com baixos níveis de fibra e altas concentrações energéticas são fornecidas. Nesses casos, o consumo é controlado pelas demandas

fisiológicas de energia e é primariamente uma função das características do animal (Mertens, 1987). Apenas no caso das 15 informações em que os valores de  $MRF_{max} - MRF$  foram negativos o consumo foi restringido pela capacidade física de retenção de fibra no rúmen. Segundo Waldo e Jorgensen (1981, citados por Mertens, 1987), o consumo de matéria seca é a principal variável a afetar o desempenho do animal. Esse efeito pode ser exemplificado pelo índice de conversão alimentar (I.C.A.) que no caso dos animais que receberam ração com altos teores de fibra foi, em média, igual a 11, ou seja, eles precisaram consumir 11 kg de ração para cada kg de ganho em massa corporal, enquanto o I.C.A. dos animais usados na mesma tese, mas que receberam menores proporções de fibra na dieta foi em média igual a oito, o que significa que consumiram três quilogramas a menos de ração para atingir o mesmo desempenho.

O inverso do I.C.A. é a eficiência alimentar que é o desempenho (ganho em massa corporal) dividido pelo consumo. Se o consumo de matéria seca e o desempenho, expressos em  $kgd^{-1}$ , forem substituídos, respectivamente, pelo consumo de energia metabolizável e pela soma entre a retenção de energia no corpo e a energia gasta para manutenção, expressas em  $Mcald^{-1}$ , pode-se calcular a eficiência energética com que a ração está sendo utilizada pelo animal,  $k_{mg}$ . A relação entre  $k_{mg}$  e a massa ruminal de fibra foi descrita por uma função não linear decrescente (Figura 6c). Entretanto, pode haver um confundimento nessa relação, devido aos seguintes fatos: 1) a  $k_{mg}$  reduz-se não linearmente com o aumento do consumo de energia metabolizável (Figura 4); 2) a MRF aumenta em função do consumo de matéria seca, uma vez que a mesma é determinada a partir do consumo de fibra que é igual ao produto entre consumo e teor de fibra. Portanto, o efeito da MRF sobre  $k_{mg}$  poderia ser na verdade a influência do aumento de consumo sobre a  $k_{mg}$ . Para conferir se a MRF realmente afeta a eficiência energética realizou-se uma análise de regressão entre  $k_{mg}$  e MRF dividida pelo consumo de matéria seca (MRF/CMS). A referida regressão foi altamente significativa (valor  $-p < 0,0001$ ) apesar da correlação ( $r = -0,22$ ) não ter sido tão alta. A partir desses resultados pôde-se concluir que a MRF realmente influencia a  $k_{mg}$ , independentemente do efeito do consumo sobre a eficiência energética.

Van Soest (1994) discute sobre o declínio da eficiência energética (medida como a razão entre a energia líquida total e o total de nutrientes aparentemente

digestíveis contidos na ração) em função do aumento na concentração de fibra da dieta. Segundo o autor este efeito foi notado originalmente por Kellner em 1912 e desde então várias hipóteses foram levantadas para explicá-lo, dentre elas, o aumento na proporção de ácido acético no rúmen em razão do acréscimo dos níveis de forragem na dieta e a maior produção de calor (incremento calorífico) gerado nos processos de mastigação, ruminação e fermentação dos alimentos fibrosos. Blaxter realizou diversos estudos em que foram quantificados os efeitos da mudança nas proporções dos ácidos graxos voláteis (AGV) sobre a eficiência energética (Blaxter, 1969). Proporções de ácido acético variando de 30 a 90% reduziram a eficiência energética de manutenção de 87 para 85% (Blaxter, 1969). Apesar do autor não ter analisado estatisticamente a significância destas diferenças, pode-se notar que a diferença na eficiência (em torno de dois pontos percentuais) é baixa. Com base nesses resultados, Blaxter conclui que a eficiência com que a energia alimentar é utilizada para manutenção não sofre grandes influências da proporção ruminal de AGV. O mesmo não ocorre em relação à eficiência energética para o acúmulo de gordura corporal em animais adultos (observado nos níveis de consumo superiores ao de manutenção). Nesse caso, a eficiência reduziu de 58 para 32% quando a proporção de ácido acético aumentou de 50 para 68% (Blaxter, 1969). Em relação ao acúmulo de proteína e gordura em animais em crescimento, Blaxter (1989, citado por Johnson et al., 2003) reportou eficiência energética de 30% quando alimentos fibrosos foram utilizados e atribuiu a baixa eficiência ao alto incremento calorífico (medida da ineficiência energética) gerado pelo uso metabólico do ácido acético como fonte de energia. Apesar dessas evidências, utilizações mais eficientes do ácido acético para o crescimento animal foram reportadas em vários outros experimentos (Johnson, 1972 e Orskov et al., 1979; citados por Johnson et al., 2003) e os mecanismos responsáveis pelo alto incremento calorífico da utilização de alimentos fibrosos para crescimento e acúmulo de gordura continuam indecifrados (Van Soest, 1994; Johnson et al., 2003).

A eficiência energética, medida com as mesmas unidades usadas por Van Soest (1994), ou seja, a razão entre a energia líquida total e o total de nutrientes aparentemente digestíveis contidos na ração multiplicada por cem, não sofreu influência significativa da concentração de fibra na dieta ( $r = -0,05$  e valor  $-p = 0,31$ ) quando esta análise foi feita usando os resultados obtidos com o modelo proposto no atual trabalho. Portanto, as respostas do modelo apresentado não

podem ser usadas para corroborar a teoria de que a concentração de fibra isoladamente influenciaria a eficiência energética. Entretanto, como discutido anteriormente e ilustrado na Figura 6c, a MRF que depende da concentração de fibra e dos atributos cinéticos de digestão e passagem do material fibroso no rúmen causou uma redução na eficiência total de utilização da energia metabolizável ( $k_{mg}$ ).

O modelo proposto foi comparado com o CNCPS (versão 5.0) quanto à capacidade de prever o ganho em massa corporal quando o consumo de matéria seca observado e a composição das dietas fornecidas foram usados como dados de entrada nos modelos. Os resultados dessa comparação foram apresentados nas Figuras 7, 8 e 9 e na Tabela 3. Na Figura 7 foram ilustradas as dispersões dos ganhos preditos em função dos ganhos observados (Figura 7a,b) e dos resíduos padronizados em função da massa corporal (Figura 7c,d). As predições do modelo proposto foram mais próximas dos valores observados (Figura 7a,c), enquanto o CNCPS subestimou o ganho em massa corporal (Figura 7b,d).

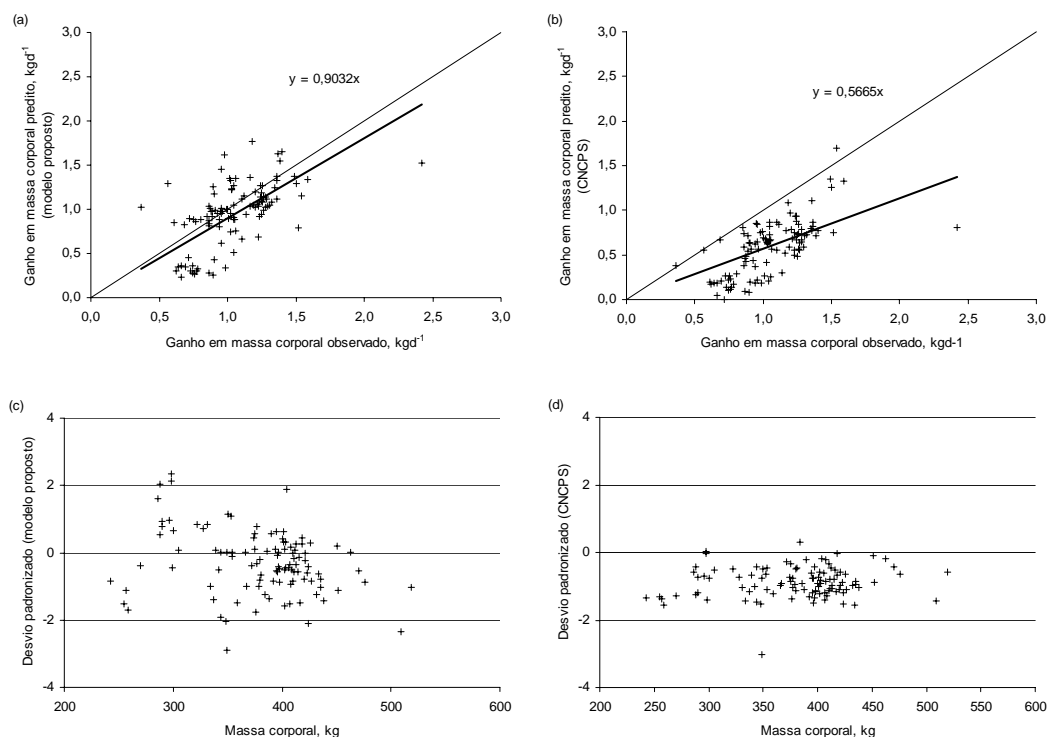


Figura 7 – Dispersões dos ganhos preditos sobre os observados para o modelo proposto (a) e para o CNCPS (b) e dos desvios padronizados sobre a massa corporal para o modelo proposto (c) e para o CNCPS (d).

Kobayashi e Salam (2000) apresentam um método para comparar valores simulados e observados por meio do quadrado médio dos desvios (MSD) e seus

componentes: quadrado do viés (SB), quadrado da diferença entre os desvios-padrão (SDSD), falta de correlação ponderada pelo desvio padrão (LCS) e quadrado médio da variação (MSV). Segundo esses autores, quanto menor o valor do MSD, menor a diferença entre os valores preditos e observados. A decomposição do MSD resulta nos termos SB, SDSD e LCS, cuja soma é igual ao valor do MSD. A adição do SDSD com o LCS fornece o valor do MSV. O SB representa a diferença entre as médias dos valores observados e preditos, o SDSD mede a diferença na magnitude de flutuação entre esses valores, o LCS refere-se ao padrão de flutuação desses valores e o MSV quantifica a capacidade do modelo em simular a variação em torno da média. Portanto, quanto menor o valor de cada um desses termos melhor terá sido o desempenho preditivo do modelo.

O MSD e seus componentes determinados para o modelo apresentado e para o CNCPS foram apresentados graficamente na Figura 8 e seus valores descritos na Tabela 3.

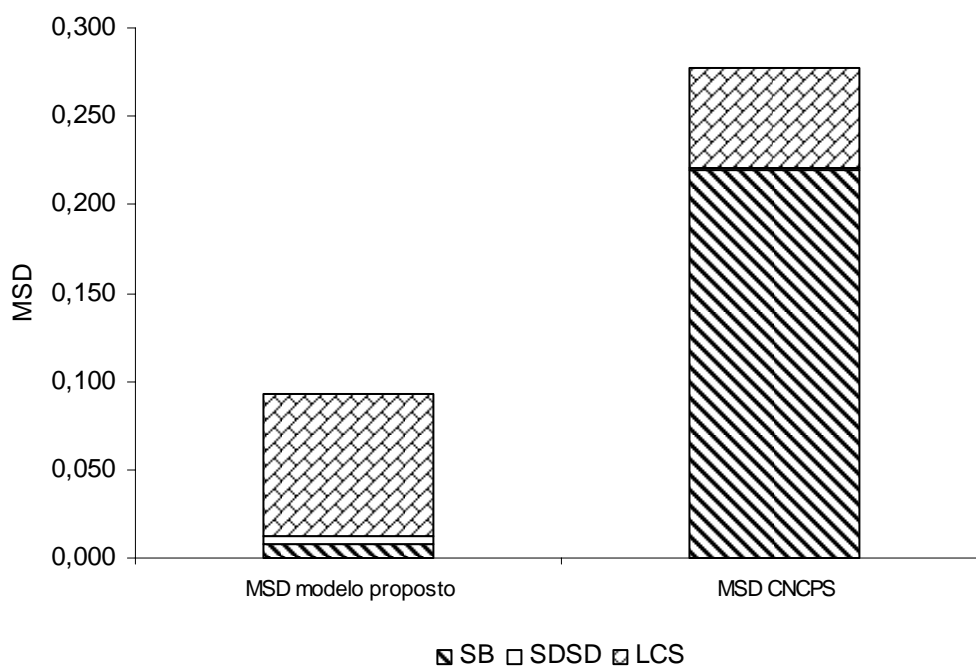


Figura 8 – Quadrado médio dos desvios (MSD) e seus componentes quadrado do viés (SB), quadrado da diferença entre os desvios-padrão (SDSD) e falta de correlação ponderada pelo desvio padrão (LCS) calculados para o modelo proposto e para o CNCPS.

O MSD e o SB do modelo proposto foram menores do que o do CNCPS, mas o SDSD, o LCS e o MSV do CNCPS foram menores (Figura 8 e Tabela 3).

Entretanto, a diferença entre o SB dos dois modelos foi tão alta que o melhor desempenho apresentado pelo CNCPS nos outros três fatores (SDSD, LCS e MSV) não foi suficiente para contrabalançar a diferença no SB. Por isso, o MSD que é a soma dos termos SB, SDSD e LCS, foi menor para o modelo apresentado. Esses resultados indicam superioridade do modelo proposto em relação ao CNCPS para prever o ganho em massa corporal. Porém, o CNCPS predisse com melhor precisão a flutuação dos valores observados. Este efeito pode ser visualizado ao se comparar a dispersão dos resíduos padronizados do modelo proposto e do CNCPS na Figura 7c,d. Na referida figura é possível notar que a dispersão dos resíduos padronizados do CNCPS (Figura 7d) é menor do que a do modelo proposto (Figura 7c), apesar de quase todos os seus resíduos situarem-se abaixo do eixo zero (Figura 7d).

Tabela 3– Quadrado médio dos desvios e seus componentes numa comparação entre o presente modelo e o CNCPS.

Componentes	Modelo atual	CNCPS
Quadrado do vies (SB)	0,008	0,220
Quadrado da diferença entre os desvios-padrão (SDSD)	0,005	0,001
Falta de correlação ponderada pelo desvio padrão (LCS)	0,081	0,057
Quadrado médio da variação (MSV)	0,085	0,058
Quadrado médio dos desvios (MSD)	0,093	0,277

O efeito do teor de fibra na dieta sobre a eficiência energética foi testado usando os valores calculados para essas variáveis pelos dois modelos (Figura 9a,b). A eficiência foi calculada conforme proposto por Van Soest (1994). O teor de fibra não influenciou a eficiência energética calculada com as equações do modelo proposto ( $r = -0,14$  e valor  $-p = 0,14$ ). No entanto, a eficiência determinada utilizando o CNCPS foi influenciada pela concentração dietética de fibra ( $r = -0,60$  e valor  $-p < 0,0001$ ).

Na Figura 9, encontram-se também as dispersões dos resíduos padronizados relativos ao ganho em massa corporal observado e predito em função do teor de fibra na ração fornecida, obtidas com o presente modelo (Figura 9c) e com o CNCPS (Figura 9d). Analisando essas figuras visualmente nota-se que em maiores níveis de fibra na dieta as predições do modelo proposto foram mais próximas aos valores observados (Figura 9c – os resíduos padronizados encontram-se mais próximos do eixo zero quando o teor de fibra está acima de 0,40). O oposto ocorreu em relação ao



CNCPS, à medida que o teor de fibra aumentou, os resíduos padronizados se distanciaram do eixo zero (Figura 9d).

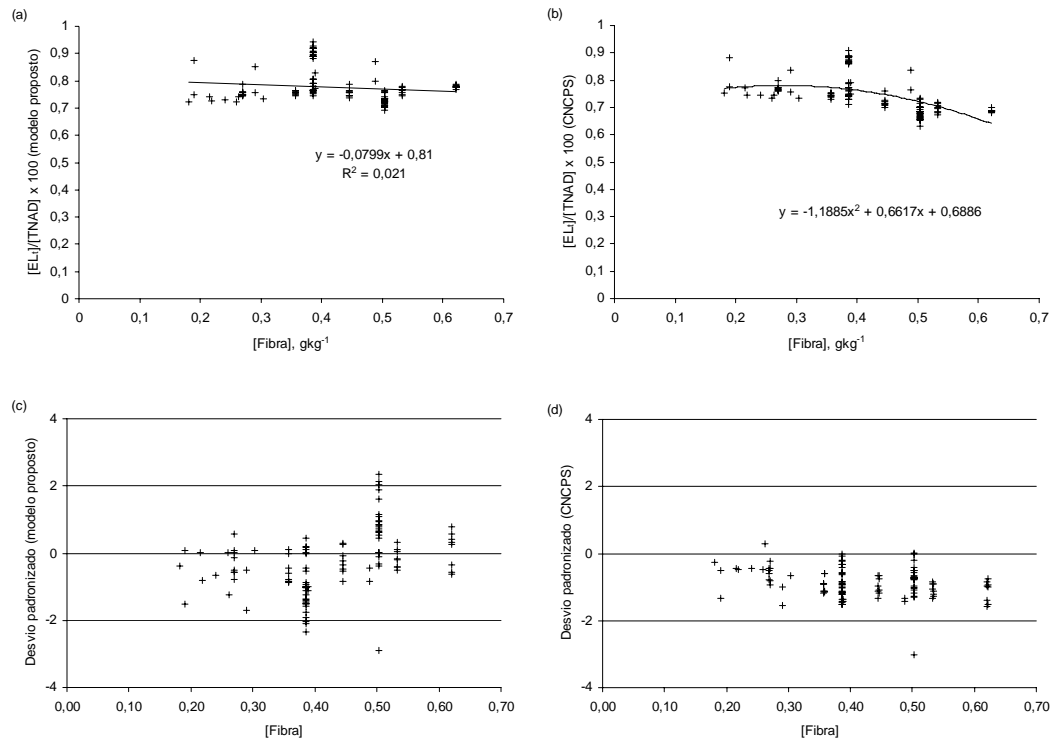


Figura 9 – Relação entre a eficiência energética,  $[EL_t]/[TNAD] \times 100$ , e o teor de fibra,  $[Fibra]$ , calculada com o modelo proposto (a) e com o CNCPS (b) e dispersão dos desvios padronizados do ganho predito e observado em função da  $[Fibra]$  para o modelo proposto (c) e para o CNCPS (d).

A amplitude dos níveis de fibra (18 a 62%) seria suficiente para causar algum efeito na eficiência, como foi observado com os resultados relacionados ao CNCPS. No entanto, a partir das respostas obtidas com o presente modelo concluiu-se que nas situações estudadas o mesmo não foi sensível ao teor de fibra isoladamente (Figura 9a). Contudo, quando os atributos cinéticos de degradação e escape do material fibroso no rúmen são considerados (como para calcular a MRF), o modelo foi capaz de prever a queda na eficiência energética (Figura 6c).

A superioridade do modelo apresentado em relação ao CNCPS, provavelmente, foi uma consequência das modificações propostas para calcular: 1) a cinética de degradação e passagem dos nutrientes pelo rúmen; 2) as exigências de energia líquida e proteína metabolizável (com base nas equações propostas por Fontes, 1995) e 3) a eficiência bruta de utilização da energia metabolizável consumida (estimada a partir de informações geradas em situações de clima tropical).

As modificações relativas à cinética ruminal da fibra tiveram como base os conceitos detalhadamente discutidos por Allen e Mertens (1987) e Van Soest (1994). A característica mecanicista dessa parte do modelo pode ter melhorado as predições nas situações em que o teor de fibra na dieta era mais elevado. Segundo Van Soest (1994), modelos mecanicistas possuem aplicabilidade mais ampla do que os modelos empíricos, por serem conceitualizados a partir de relações de causa e efeito e não apenas correlações entre variáveis. Em contrapartida, as equações utilizadas no cálculo das exigências de energia e proteína e da eficiência de utilização da energia metabolizável são de natureza empírica (tanto no modelo proposto quanto no CNCPS). De acordo com Mertens (1987), equações empíricas predizem bem, apenas quando a situação a ser predita é similar àquela na qual os parâmetros foram estimados e no modelo apresentado as estimativas foram obtidas com informações geradas em condições de clima e manejo mais próximas às do conjunto de dados usados na avaliação dos modelos, o que também justificaria seu melhor poder preditivo.

## CONCLUSÕES

As diferenças do modelo proposto em relação ao CNCPS resultaram em melhores previsões em condições de clima tropical, principalmente quando são fornecidas rações com maiores teores de fibra.

Os princípios teóricos apresentados podem ser utilizados para conceber sistemas para avaliar rações fornecidas para vacas leiteiras e outras espécies de ruminantes domésticos como caprinos e ovinos. Para tanto, o banco de dados de alimentos precisa ser ampliado e mais pesquisas devem ser realizadas focando a cinética de degradação e passagem dos nutrientes no rúmen, para melhorar a previsão da massa ruminal de fibra e da capacidade máxima de retenção de material fibroso no rúmen.

A otimização de rações usando o presente modelo só poderá ser efetuada após a implementação de um algoritmo capaz de solucionar os problemas de natureza não linear intrínsecos ao mesmo. Se algum dia esse objetivo for atingido será possível obter como resposta (*output*) o consumo de matéria seca de cada alimento para que sejam supridas as demandas nutricionais dos animais de forma a atender um desempenho pré-estabelecido. Esta característica se opõe aos atuais paradigmas da otimização de rações para animais domésticos em que o consumo e a concentração de nutrientes nos alimentos são entradas (*inputs*) com as quais os sistemas obtêm como resposta o desempenho do animal.

## REFERÊNCIAS

- AFERRI, G. **Desempenho e características da carcaça de novilhos alimentados com dietas contendo diferentes fontes de gordura**. Pirassununga, SP: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo –USP, 2003. 49p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 2003.
- AGRAWAL, R.C.; HEADY, E.O. **Operations research methods for agricultural decisions**. Iowa: The Iowa State University Press, 1972. 303p.
- AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. **Energy and protein requirements of ruminants**. Oxon: CAB International, 1993, 159p.
- AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL. **The nutrition of goats**. Nutrition Abstracts and Reviews (Series B), v.67, n.11, p.765-830, 1997.
- ALLEN, M.S.; MERTENS, D.R. Evaluating constraints on fiber digestion by rumen microbes. **Journal of Nutrition**, v.118, p.261-270, 1988.
- ALMEIDA, R. **Consumo e eficiência alimentar de bovinos em crescimento**. Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo – ESALQ, USP, 2005. 181p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2005.
- ARRIGONI, M.B. **Efeito da restrição alimentar sobre o desempenho, área e tipos de fibras musculares em bovinos jovens confinados**. Jaboticabal, SP: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista–UNESP, 1995. 73p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual paulista, 1995.
- BACKES, A.A. **Composição corporal e exigências de energia, proteína e macroelementos minerais, para bovinos mestiços leiteiros e zebu, castrados, em fase de recria e engorda, em confinamento**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 2003. 97p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- BALCH, C.C.; CAMPLING, R.C. Regulation of voluntary food intake in ruminants. **Nutrition Abstracts and Reviews** (Series-B), v.32, n.2, p.669-689, 1962.

- BARBOSA, C.A.N. **Rações com três níveis de energia para novilhos mestiços em confinamento**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 1978. 33p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1978.
- BLAXTER, K.L. The nutritive value of feeds as sources of energy: a review. **Journal of Dairy Science**, v.39, p.1396-1424, 1956.
- BLAXTER, K. L. (ed.) **Energy metabolism**: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> symposium held at Troon, Scotland, May 1964. London: Academic Press Inc., 1965. 450 p.
- BLAXTER, K. L. **The energy metabolism of ruminants**. 3. ed. London: Hutchinson & Co., 1969. 332 p.
- BRODERICK, G.A. Quantifying forage protein quality. In: FAHEY JR., G.C.; COLLINS, M.; MERTENS, D.R.; MOSER, L.E. (Eds). **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, Inc., Crop Science Society of America, Inc., 1994, p.200-228.
- BRODY, S. **Bioenergetics and growth with special reference to the efficiency complex in domestic animals**. New York: Reinhold Publishing Corporation, 1945. 1023 p.
- BULLE, M.L.M. **Desempenho, composição corporal e exigências líquidas de energia e proteína de tourinhos de dois tipos genéticos alimentados com dietas de alto teor de concentrado**. Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo – ESALQ, USP, 2000. 50p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2000.
- CANNAS, A.; VAN SOEST, P.J.; PELL, A.N. Use of animal and dietary information to predict rumen turnover. **Animal Feed Science and Technology**, v.106, p.95-117, 2003.
- CHIZZOTTI, F.H.; PEREIRA, O.G.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Consumo, digestibilidade total e desempenho de novilhos nelore recebendo dietas contendo diferentes proporções de silagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e de sorgo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34(supl.), p.2427-2436, 2005.
- DHANOVA, M.S.; SIDDON, R.C.; FRANCE, J. et al. A multicompartimental model to describe marker excretion patterns in ruminant faeces. **British Journal of Nutrition**, v.53, n.3, p.663-671, 1985.
- DRAPER, N.R.; SMITH, H. **Applied regression analysis**. New York: John Wiley & Sons, 1966. 407p.

- ELLIS, W.C.; MATIS, J.H.; HILL, TH. Quantitating ruminal turnover. **Fed---. Proc-----.**, v.38, p.2702-2706, 1979.
- ELLIS, W.C.; WYLIE, M.J.; MATIS, J.H. Validity of specifically applied rare earth elements and compartmental models for estimating flux of undigested plant tissue through the gastrointestinal tract of ruminants. **Journal of Animal Science**, v.80, p.2753-2758, 2002.
- ESTRADA, L.H.C. **Composição corporal e exigências de proteína, energia e macromelementos minerais (Ca, P, Mg, Na, K), características da carcaça e desempenho do Nelore e mestiços em confinamento.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 1996. 128p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1996.
- FATURI, C. **Fontes de carboidratos solúveis e níveis de fibra em detergente neutro em dietas para terminação de novilhos em confinamento.** Jaboticabal, SP: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista–UNESP, 2005. 73p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual paulista, 2005.
- FERNANDES, J.J.R. **Farelo de soja em substituição à uréia em dietas para bovinos de corte em crescimento e terminação.** Piracicaba, SP: Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo – ESALQ, USP, 2004. 74p. Tese (Doutorado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, 2004.
- FERNANDES, J.F.; PAULINO, M.F.; MARTINS, R.G.R. et al. Ganho de peso, conversão alimentar, ingestão diária de nutrientes e digestibilidade de garrotes não-castrados de três grupos genéticos em recria e terminação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33 (supl. 3), p.2403-2411, 2004..
- FONTES, A.A. **Níveis de proteína e quantidades de concentrado com silagem no desempenho de novilhos Holandês-Zebu em confinamento.** Lavras, MG: Escola Superior de Agricultura de Lavras - ESAL, 1993. 91p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola Superior de Agronomia de Lavras, 1993.
- FONTES, C.A.A. Composição corporal, exigências líquidas de nutrientes para ganho de peso e desempenho produtivo de animais zebuínos e mestiços europeu-zebu. Resultados experimentais. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE EXIGÊNCIAS NUTRICIONAIS DE RUMINANTES. 1995, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1995. p.419.

- FORBES, J.M. **Voluntary food intake and diet selection in farm animals**. Wallingford: CAB International, 1995.
- FOX, D.G.; SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D. et al. 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.; TYLUTKI, T.P.; PELL, A.N. et al. **The net carbohydrate and protein system for evaluating herd nutrition and nutrient excretion: Model documentation**. Cornell University, Ithaca, 1999, 75p.
- FOX, D.G.; TEDESCHI, L.O.; TYLUTKI, T.P. et al. The cornell net carbohydrate and protein system model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. **Animal Feed Science and Technology**, v.112, p.29-78, 2004.
- GALVÃO, J.G.C. **Estudo da eficiência nutritiva, características e composição física da carcaça de bovinos de três grupos raciais, abatidos em três estágios de maturidade**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 1991. 82p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1991.
- GILL, M.; OLDHAM, J.D. Growth. In: FORBES, J. M.; FRANCE, J. **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. Oxon: CAB International, 1993. 515p.
- GESUALDI Jr., A. **Níveis de concentrado na dieta de novilhos F1 Limousin x Nelore em confinamento: desempenho produtivo e características de carcaça**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 1999. 62p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- GESUALDI Jr., A. **Desempenho e características de carcaça de novilhos nelore e caracu selecionados para peso aos 378 dias de idade e avaliação de sistemas de formulação de dietas para bovinos**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 2003. 67p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- GONÇALVES, A.L.; VIEIRA, R.A.M.; HENRIQUE, D.S. et al. Manejo nutricional de caprinos e ovinos. In: ENCONTRO INTERNACIONAL DOS NEGÓCIOS PECUÁRIOS. 2004, Cuiabá. **Anais...** FAMATO, 2004. 23p. CD ROM.
- HALL, M.B. Challenges with nonfiber carbohydrates methods. **Journal of Animal Science**, v.81, n.12, p.3226-3232, 2003.

- HENRIQUE, D.S.; VEIRA, R.A.M.; MALAFAIA, P.A.M. et al. Estimation of metabolizable energy utilization for maintenance and growth by cattle in tropical conditions. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.3, p.1006-1016, 2005.
- HENRIQUE, W. **Utilização de polpa cítrica peletizada para tourinhos em terminação**. Jaboticabal, SP: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista–UNESP, 2002. 82p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual paulista, 2002.
- JOHNSON, D.E.; FERREL, C.L.; JENKINS, T.G. The history of energetic efficiency research: Where have we been and where are we going? **Journal of Animal Science**, v.81 (E. Suppl. 1): E27-E38, 2003.
- KLEIBER, M. **The fire of life. An introduction to animal energetics**. 2. ed. New York: Robert E. Krieger Publishing Company, 1975. 453p.
- KOBAYASHI, K.; SALAM, M. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. **Agronomy Journal**, v.92, p.345-352, 2000.
- LANGUIDEY, P.H. **Melaço de cana e ou mandioca dessecada em rações contendo uréia para novilho de corte**. Belo-Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 1975. 50p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Minas Gerais, 1975.
- LEÃO, R.V. **Efeitos da substituição do grão de milho pelo de milheto (*Pennisetum glaucum* (L.) Br.) na digestibilidade dos nutrientes e no desempenho de bovinos confinados**. Ilha Solteira, SP: Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista–UNESP, 2002. 29p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual paulista, 2002.
- LOFGREEN, G.P.; GARRETT, W.N. A system for expressing net energy requirements and feed values for growing and finishing beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.27, p.793-806, 1968.
- MAGALHÃES, K.A. **Níveis de uréia ou casca de algodão na alimentação de novilhos de origem leiteira em confinamento**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 2003. 90p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2003.
- MARGON, A.L. **Requerimentos de macrominerais (Ca, P, Mg, Na e k) para engorda de novilhos zebu**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV,



1981. 74p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1981.
- McDONALD, P. **The Biochemistry of Silage**. New York: John Willey & Sons, 1981.
- MENDES, A.R. **Fontes energéticas associadas ao farelo de girassol em dietas para bovinos em confinamento**. Jaboticabal, SP: Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista–UNESP, 2003. 103p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual paulista, 2003.
- MERTENS, D.R. Dietary fiber components: relationship to the rate and extent of ruminal digestion. **Federation Proceedings**, v.36, n.2, p.187-192, 1977.
- MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of Animal Science**, v.64, n.6, p.1548-1558, 1987.
- MERTENS, D.R. Rate and extent of digestion. In: FORBES, J.M., FRANCE, J. **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. Wallingford: CAB International, p.13-51, 1993.
- MERTENS, D. R. Regulation of forage intake. In: FAHEY JR., G.C. (ed.). **Forage quality, evaluation and utilization**. Edited by the American Society of Agronomy Inc., Crop Science Society of America Inc., and Soil Science Society of America Inc., Madison, p.450-493, 1994.
- MERTENS, D.R. Methods in modeling feeding behavior and intake in herbivores. **Ann----- Zotech-----**, v.45, suppl.??, p.153-164, 1996.
- MIRANDA, E.N. **Composição corporal e exigências nutricionais de macroelementos minerais (Ca, P, Mg, Na e K) de bovinos nelore e caracu selecionados para peso aos 378 dias de idade**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 2005. 71p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2005.
- MONTGOMERY, D.C. **Design and analysis of experiments**, 6.ed. Nova Iorque: John Wiley & Sons Co., 2005. 643p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutritional energetics of domestic animals & Glossary of energy terms**. 2. ed. Washington: National Academy Press, 1981. 54p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7th. ed. Washington: National Academy Press, 1996. 242p.

- NATIONAL RESEARCH COUNCIL. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7th. ed. Washington: National Academy Press, 2001. 381p.
- OBEID, J.A. **Desempenho e parâmetros nutricionais de bovinos de corte alimentados com dietas contendo diferentes níveis de proteína bruta**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 2005. 60p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2005.
- OLIVEIRA, M.G. **Desempenho de bovinos confinados suplementados com diferentes ionóforos**. Pirassununga, SP: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo –USP, 2004. 55p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 2004.
- ØRSKOV, E.R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **Journal of Agricultural Science**, v.92, n.2, p.499-503, 1979.
- PACOLA, L.J. **Alimentação suplementar de bezerros zebus: influência sobre a idade dos machos ao abate e das fêmeas à primeira cobertura**. Belo-Horizonte, MG: Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 1977. 83p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Minas Gerais, 1977.
- PEREIRA, A.S.C. **Qualidade da carne de bovinos Nelore (*Bos taurus indicus*) suplementados com vitamina E**. Pirassununga, SP: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo –USP, 2002. 83p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 2002.
- PEREIRA, D.H.; PEREIRA, O.G.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Consumo, digestibilidade dos nutrientes e desempenho de bovinos de corte recebendo silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e diferentes proporções de concentrado. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.282-291, 2006.
- PUTRINO, S.M. **Exigências de proteína e energia líquidas para o ganho de peso de tourinhos das raças Nelore e Brangus alimentados com dietas com diferentes proporções de concentrado**. Pirassununga, SP: Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo –USP, 2002. 75p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos, Universidade de São Paulo, 2002.

- RESENDE, F.D. **Avaliação de diferentes proporções de volumoso:concentrado sobre a ingestão, digestibilidade, ganho de peso e conversão alimentar de bovinos mestiços confinados.** Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa - UFV, 1999. 78p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 1999.
- RESENDE FILHO, M.A. **Desenvolvimento de um sistema de apoio ao processo de tomada de decisão em confinamento de bovinos de corte.** 1997. 116p. Tese (Mestrado em Economia Rural)-Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 1997.
- RODRIGUES, M.T.; VIEIRA, R.A.M. Metodologias aplicadas ao fracionamento de alimentos. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. **Nutrição de ruminantes.** Jaboticabal: FUNEP, 2006, 583p.
- RUSSELL, J.B.; O'CONNOR, J.D.; FOX, D.G. et al. 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.
- SILVA, J.F.C.; LEÃO, M.I. **Fundamentos de nutrição de ruminantes.** Piracicaba: Editora Livrocere LTDA, 1979, 380p.
- SILVA, B.C.; PEREIRA, O.G.; PEREIRA, D.H. et al. Consumo e digestibilidade aparente total dos nutrientes e ganho de peso de bovinos de corte alimentados com silagem de *Brachiaria brizantha* e concentrado em diferentes proporções. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.3, p.1060-1069, 2005.
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J. et al. 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.
- STRYER, L. **Biochemistry.** New York: W.H. Freeman and Company, 1996, 4<sup>th</sup> ed., 3<sup>rd</sup>. printing, 1064p.
- TEDESCHI, L.O.; FOX, D.G.; RUSSELL, J.B. Accounting for the effects of a ruminal nitrogen deficiency within the structure of the Cornell net carbohydrate and protein system. **Journal of Animal Science**, v.78, p.1648-1658, 2000.
- THIAGO, L.R.L. de S., GILL, M. **Consumo voluntário: fatores relacionados com a degradação e passagem da forragem pelo rúmen.** EMBRAPA-CNPQC, Campo Grande, MS, 1967, 65p.

- VALADARES FILHO, S.C.; MAGALHÃES, K.A.; ROCHA Jr, V.R. et al. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos**. 2 ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2006, 329p.
- VAN MILGEN, J.; MURPHY, M.R.; BERGER, L.L. A compartmental model to analyze ruminal digestion. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.2515-2529, 1991.
- VAN SOEST, P.J. Development of a comprehensive system o feed analyses and its application to forages. **Journal of Animal Science**, v.26, n.1, p.119-128, 1967.
- 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.11, p.3583-3597, 1991.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.
- VIEIRA, R.A.M.; PEREIRA, J.C.; MALAFAIA, P.A.M. et al. Application of non-linear models in the description of in situ degradation profiles of the elephant grass (*Pennisetum purpureum Schum.*, Mineiro variety). **Animal Feed Science and Technology**, v.66, p.197-210, 1997a.
- VIEIRA, R.A.M.; PEREIRA, J.C.; MALAFAIA, P.A.M. et al. The influence of the elephant grass (*Pennisetum purpureum Schum.*, Mineiro variety) growth on the nutrient kinetics in the rumen. **Animal Feed Science and Technology**, v.67, p.151-161, 1997b.
- VIEIRA, R.A.M.; PEREIRA, J.C.; MALAFAIA, P.A.M. et al. Simulação da dinâmica de nutrientes no trato gastrointestinal: aplicação e validação de um modelo matemático para bovinos a pasto. **Revista Brasileira de Zootecnia** v.29, n.3, p.898-909, 2000.
- VIEIRA, R.A.M.; MALAFAIA, P.A.M.; SILVA, J.F.C. et al. Suplementação na criação de caprinos de corte em pastejo. **ZOOTEC 2005**, 2005.
- VIEIRA, R.A.M.; FERNANDES, A.M. A importância de estudos quantitativos associados à fibra para a nutrição e alimentação de ruminantes. In: SIMPÓSIO DA 43ª REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. 2006, João Pessoa. **Anais...** SBZ, 2006. p.210-237, CD-ROM.
- WALDO, D.R.; SMITH, L.W.; COX, E.L. Model of cellulose disappearance from the rumen. **Journal of Dairy Science**, v.55, p.125, 1972.

## **APÊNDICE**

Tabela 1 – Composição nutricional dos alimentos usados como entrada no modelo

Alimento	PB	GB	MM	F	fef	CT	A	B1	B2	C	A'	B1'	B2'	C'
Milho moído	99	42	16	95	0	843	12	78	8	1	75	673	90	5
Caroço de algodão	235	200	48	500	1	517	24	197	0	14	2	15	200	300
Farelo de algodão	420	19	63	308	0	498	77	319	3	21	22	197	221	58
Farelo de gérmen	128	23	48	325	0	801	6	68	43	10	90	440	252	19
Farelo de girassol	259	30	63	400	0	648	15	185	41	19	25	223	112	288
Farelo de soja	532	11	65	98	0	392	47	431	48	5	29	265	93	5
Farelo de trigo	180	45	50	367	0	725	58	96	21	5	36	322	315	52
Grão de sorgo moído	99	41	17	112	0	843	3	77	15	3	103	647	50	43
Grão de soja	342	179	78	135	1	401	27	248	44	23	146	185	0	68
Mandioca	36	7	33	236	1	924	17	13	1	5	143	552	214	15
MDPS	86	27	18	318	0	869	1	79	4	2	84	474	233	78
Milheto moído	148	55	28	216	0	769	4	107	27	9	18	571	116	64
Milho (quirera)	92	51	13	145	0	844	3	80	6	4	78	630	124	12
Polpa cítrica	72	33	61	240	0	834	20	21	22	9	313	310	167	45
Rolão de milho	75	38	13	318	0	874	1	69	4	2	84	477	234	78
Sabugo de milho	33	6	13	802	1	948	0	30	2	1	22	126	689	111
Soja extrusada	390	199	50	175	0	361	31	292	42	26	19	167	166	9
Soja tostada	370	231	50	175	1	349	29	277	39	24	105	133	47	65
LAC 100	0	820	180	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Melaço em pó	58	2	131	0	0	809	58	0	0	0	809	0	0	0
Óleo de soja	0	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sebo	0	996	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Uréia	2812	0	0	0	0	0	2812	0	0	0	0	0	0	0
Feno braquiária decumbens	65	25	72	723	1	838	6	26	6	27	109	6	544	179
Feno <i>coast-cross</i>	85	18	70	773	1	828	8	28	39	10	30	59	600	139
Feno de alfafa	190	20	100	500	1	690	55	107	10	19	171	19	300	200
Feno de capim gordura	33	6	63	818	1	898	3	7	2	21	10	93	555	240
Feno de colônião	37	16	56	753	1	891	2	15	10	10	150	8	512	222
Feno de tanzânia	79	16	83	747	1	822	2	44	19	13	104	4	581	133
Feno de tyfton 85	100	25	80	680	1	795	17	39	27	17	109	6	540	140
Bagaço de cana	18	9	41	890	1	932	2	2	7	7	5	50	555	322
Cana-de-açúcar	24	21	14	500	1	941	0	19	4	1	437	4	286	214
Capim elefante	104	27	82	700	1	787	1	93	8	2	90	8	439	250
Casca de algodão	82	53	27	780	1	838	1	56	20	4	41	41	479	277
Casca de soja	113	16	54	698	1	817	0	74	30	8	136	22	612	47
Pasto de B. decumbens, chuvas	60	20	110	700	1	810	19	23	11	7	105	6	527	173
Pasto natural, chuvas (ZM-MG)	80	12	111	747	1	797	5	20	37	18	10	40	478	191
Pasto natural, seca (ZM-MG)	50	8	107	784	1	835	6	16	11	17	8	43	434	296
Silagem cana	40	16	59	623	1	885	22	6	4	8	241	34	431	179
Silagem de brizanta	90	13	75	743	1	822	1	44	12	33	118	6	439	259
Silagem de capim tanzânia	58	15	57	660	1	870	29	20	4	5	0	210	508	152
Silagem de <i>coastcross</i>	169	25	80	696	1	726	12	101	45	11	81	5	518	122
Silagem de milheto	97	28	127	656	1	748	38	41	2	16	32	78	546	92
Silagem de milho	85	32	70	540	1	813	43	29	6	8	0	273	415	125
Silagem de sorgo	63	22	48	606	1	867	28	12	11	12	116	167	460	124
Silagem de capim elefante	58	19	74	790	1	849	27	19	4	8	4	65	594	184

Unidade: g kg<sup>-1</sup>. Significado das siglas na lista de símbolos: p. vii-xv.

Tabela 2 – Taxas de degradação dos alimentos usados como entrada no modelo

	$k_{d1}$	$k_a$	$k_{d2}$	$k_{d1}'$	$k_{d2}'$	cd	$k_a'$	$k_{d3}'$	$k_r$	$k_e$
Milho moído	0,2555	$\infty$	0,0243	3	0,35	0,8	$\infty$	0,06	$\infty$	0,06
Caroço de algodão	0,7107	$\infty$	0,0632	3	0,0758	0,75	$\infty$	0,0338	$\infty$	0,025
Farelo de algodão	0,7107	$\infty$	0,0632	3	0,1	0,75	$\infty$	0,03	$\infty$	0,05
Farelo de gérmen	0,2555	$\infty$	0,0243	3	0,35	0,8	$\infty$	0,06	$\infty$	0,06
Farelo de girassol	1,75	$\infty$	0,08	2	0,25	0,75	$\infty$	0,05	$\infty$	0,025
Farelo de soja	2,8664	$\infty$	0,0864	3	0,45	0,75	$\infty$	0,06	$\infty$	0,05
Farelo de trigo	2,4523	$\infty$	0,0371	3	0,7	0,75	$\infty$	0,12	$\infty$	0,03
Gão de sorgo moído	0,2524	$\infty$	0,0585	1,5	0,12	0,75	$\infty$	0,05	$\infty$	0,06
Grão de soja	0,25	$\infty$	0,0025	3	0,45	0,75	$\infty$	0,06	$\infty$	0,05
Mandioca	0,2555	$\infty$	0,0243	3	0,35	0,8	$\infty$	0,06	$\infty$	0,06
MDPS	0,2555	$\infty$	0,0243	3	0,35	0,8	$\infty$	0,06	$\infty$	0,06
Milheto moído	0,2555	$\infty$	0,0243	3	0,35	0,8	$\infty$	0,06	$\infty$	0,06
Milho (quirera)	0,2555	$\infty$	0,0243	3	0,35	0,8	$\infty$	0,06	$\infty$	0,06
Polpa cítrica	3	$\infty$	0,0035	3	0,4	0,75	$\infty$	0,08	$\infty$	0,05
Rolão de milho	0,2555	$\infty$	0,0243	3	0,35	0,8	$\infty$	0,06	$\infty$	0,06
Sabugo de milho	0,2555	$\infty$	0,0243	3	0,35	0,8	$\infty$	0,06	$\infty$	0,06
Soja extrusada	0,25	$\infty$	0,0025	3	0,45	0,75	$\infty$	0,06	$\infty$	0,05
Soja tostada	0,25	$\infty$	0,0025	3	0,45	0,75	$\infty$	0,06	$\infty$	0,05
LAC 100	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Melaço em pó	3,5	$\infty$	0,11	5	0,3	0	$\infty$	0,2	$\infty$	0
Óleo de soja	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Sebo	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Uréia	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Feno braquiária decumbens	1,35	0,3	0,1	2,5	0,3	0,75	0,15	0,04	0,1	0,04
Feno <i>coast-cross</i>	0,5193	0,1	0,0098	2,5	0,3	0,75	0,15	0,05	0,2	0,05
Feno de alfafa	1,5	0,27	0,09	2,5	0,3	0,15	0,15	0,045	0,18	0,06
Feno de capim gordura	1,35	0,3	0,1	2,5	0,3	0,75	0,15	0,04	0,1	0,04
Feno de colômbio	1,35	0,3	0,1	2,5	0,3	0,75	0,15	0,04	0,1	0,04
Feno de tanzânia	0,3	0,1	2,5	0,3	0,75	0,15	0,04	0,1	0,04	0,05
Feno de tyfton 85	0,5193	0,1	0,0098	2,5	0,3	0,75	0,15	0,05	0,2	0,05
Bagaço de cana	0,968	0,24	0,0875	1,6	0,3	0,6	0,1012	0,0988	0,12	0,03
Cana-de-açúcar	0,968	0,24	0,0875	1,6	0,3	0,6	0,1012	0,0988	0,12	0,03
Capim elefante	1,35	0,3	0,1	2,5	0,3	0,75	0,15	0,04	0,1	0,04
Casca de algodão	3	0,3	0,1	2,75	0,25	0,75	0,2	0,06	0,15	0,05
Casca de soja	3	0,3	0,1	2,75	0,25	0,75	0,2	0,06	0,15	0,05
Pasto de B. decumbens, chuvas	1,35	0,3	0,1	2,5	0,3	0,75	0,15	0,04	0,1	0,04
Pasto natural, chuvas (ZM-MG)	2,4	0,2	0,055	2,5	0,25	0,75	0,2	0,09	0,09	0,049
Pasto natural, seca (ZM-MG)	2,1	0,15	0,034	2,5	0,25	0,75	0,2	0,06	0,12	0,043
Silagem cana	0,968	0,24	0,0875	1,6	0,3	0,6	0,1012	0,0988	0,12	0,03
Silagem de brizanta	1,3	0,3	0,028	2,8	0,2	0,75	0,15	0,09	0,1	0,04
Silagem de capim tanzânia	3	0,3	0,1	2,75	0,25	0,75	0,2	0,06	0,15	0,05
Silagem de <i>coastcross</i>	1,5	0,3	0,08	2,75	0,25	0,75	0,2	0,03	0,15	0,05
Silagem de milheto	3	0,3	0,1	2,75	0,25	0,75	0,2	0,06	0,15	0,05
Silagem de milho	3	0,3	0,1	2,75	0,25	0,75	0,2	0,06	0,15	0,05
Silagem de sorgo	3	0,3	0,1	2,75	0,25	0,75	0,2	0,06	0,15	0,05
Silagem de capim elefante	1,5	0,3	0,08	2,75	0,25	0,75	0,2	0,03	0,15	0,05

Unidade: h<sup>-1</sup>. Significado das siglas na lista de símbolos: p. vii-xv.

Tabela 3 – Concentração de minerais dos alimentos usados como entrada no modelo.

Alimento	Ca <sup>1</sup>	P <sup>1</sup>	Mg <sup>1</sup>	K <sup>1</sup>	Na <sup>1</sup>	Cl <sup>1</sup>	S <sup>1</sup>	Co <sup>2</sup>	Cu <sup>2</sup>	I <sup>2</sup>	Fe <sup>2</sup>	Mn <sup>2</sup>	Se <sup>2</sup>	Zn <sup>2</sup>
Milho moído	0,3	3,1	1,1	3,3	0,1	0,6	1,4	0,4	5	0,03	30	6	0,1	24
Caroço de algodão	1,7	6,2	3,8	12,4	0,1	0,0	2,7	0,0	8	0,00	107	131	0,0	38
Farelo de algodão	1,6	7,6	3,5	12,2	0,3	0,0	2,6	0,5	17	0,00	162	27	1,0	74
Farelo de gérmen	0,2	3,1	2,0	5,6	1,0	0,0	0,0	0,0	9	0,00	67	15	0,0	32
Farelo de girassol	4,5	10,2	7,0	12,7	0,3	1,1	3,3	0,0	4	0,00	33	20	2,3	105
Farelo de soja	2,9	7,1	3,3	23,6	0,1	0,8	4,8	0,1	23	0,12	145	41	0,2	63
Farelo de trigo	1,5	10,0	3,8	11,0	0,1	0,4	1,9	0,1	11	0,12	110	128	0,8	109
Gão de sorgo moído	0,4	4,8	2,1	6,0	0,4	0,9	1,2	0,5	5	0,70	60	18	0,2	19
Grão de soja	2,7	5,3	2,0	19,0	0,2	0,0	0,0	0,0	14	0,00	119	29	0,0	43
Mandioca	2,4	0,9	0,1	1,8	0,1	0,0	0,0	0,0	7	0,00	430	40	0,0	104
MDPS	0,4	2,1	1,0	3,4	0,1	0,0	1,0	0,0	0	0,00	0	0	0,0	0
Milheto moído	0,5	2,3	0,9	3,3	0,0	0,0	0,0	0,0	12	0,00	131	21	0,0	37
Milho (quirera)	0,7	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	8	0,00	209	0	0,0	18
Polpa cítrica	18,8	1,3	1,7	7,7	0,8	0,0	0,8	0,1	6	0,00	360	7	0,0	15
Rolão de milho	0,4	2,1	1,0	3,4	0,1	0,0	1,0	0,0	0	0,00	0	0	0,0	0
Sabugo de milho	0,3	0,5	1,0	3,4	0,1	0,0	1,0	0,0	0	0,00	0	0	0,0	0
Soja extrusada	3,6	5,9	2,0	20,0	0,1	0,8	4,8	0,1	23	0,12	145	41	0,2	63
Soja tostada	2,7	5,3	2,0	19,0	0,2	0,0	0,0	0,0	14	0,00	119	29	0,0	43
LAC 100	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00	0	0	0,0	0
Melaço em pó	10,0	1,0	4,2	40,0	2,2	30,4	4,7	1,6	66	2,10	263	59	0,0	21
Óleo de soja	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00	0	0	0,0	0
Sebo	5,7	0,6	0,6	3,2	0,1	0,0	0,0	5,7	150	6,80	4820	470	0,0	420
Uréia	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00	0	0	0,0	0
Feno braquiária decumbens	6,4	1,0	1,8	5,4	0,2	0,0	2,0	0,1	9	0,00	150	0	0,0	20
Feno <i>coast-cross</i>	4,5	1,7	1,4	18,4	0,2	0,0	2,0	0,1	9	0,00	150	0	0,0	20
Feno de alfafa	15,0	3,3	2,1	25,1	1,2	3,4	5,4	0,3	11	0,10	240	47	0,6	37
Feno de capim gordura	3,8	0,8	2,7	3,1	0,4	0,0	2,0	0,1	9	0,00	150	0	0,0	20
Feno de colômbio	4,8	2,0	2,6	24,6	0,0	0,0	1,4	0,0	0	0,00	282	86	0,0	36
Feno de tanzânia	7,1	1,4	3,0	10,7	0,0	0,0	1,0	0,0	5	0,00	152	82	0,0	28
Feno de tyfton 85	3,0	2,0	2,0	15,0	0,0	0,0	2,0	0,1	9	0,00	150	0	0,0	20
Bagaço de cana	1,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0	0,00	0	0	0,0	0
Cana-de-açúcar	0,0	0,2	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0	0,00	2	0	0,0	1
Capim elefante	4,0	1,7	1,8	25,0	0,4	0,0	1,2	0,1	17	0,00	150	33	0,0	33
Casca de algodão	2,1	2,4	3,0	13,5	0,4	0,0	1,0	0,0	4	0,00	604	35	0,0	50
Casca de soja	5,9	2,1	2,3	10,5	0,1	0,0	1,0	0,0	4	0,00	604	35	0,0	50
Pasto de B. decumbens, chuvas	3,0	2,0	2,0	15,0	0,0	0,0	2,0	0,1	9	0,00	150	0	0,0	20
Pasto natural, chuvas (ZM-MG)	3,0	2,0	2,0	15,0	0,0	0,0	2,0	0,1	9	0,00	150	0	0,0	20
Pasto natural, seca (ZM-MG)	5,0	3,0	1,0	13,0	0,0	0,0	2,0	0,1	9	0,00	150	0	0,0	20
Silagem cana	4,6	0,3	0,1	0,2	0,0	0,0	0,1	0,0	0	0,00	2	0	0,0	1
Silagem de brizanta	5,7	0,8	4,3	21,7	0,6	0,0	0,9	0,1	4	0,00	260	110	0,0	28
Silagem de capim tanzânia	3,1	2,7	2,2	12,2	0,3	1,8	1,2	0,1	9	0,00	180	41	0,0	21
Silagem de <i>coastcross</i>	6,2	2,5	0,9	21,2	0,3	0,0	1,7	0,0	6	0,00	224	0	0,0	24
Silagem de milheto	5,6	2,1	2,2	12,2	0,3	1,8	1,2	0,1	9	0,00	180	41	0,0	21
Silagem de milho	3,1	2,7	2,2	12,2	0,3	1,8	1,2	0,1	9	0,00	180	41	0,0	21
Silagem de sorgo	3,0	1,8	2,8	13,0	0,3	1,3	1,2	0,3	9	0,00	383	69	0,0	32
Silagem de capim elefante	3,5	1,3	2,1	1,3	0,2	0,0	1,2	0,1	17	0,00	150	33	0,0	33

Unidades: <sup>1</sup>g kg<sup>-1</sup>; <sup>2</sup>mg kg<sup>-1</sup>. Significado das siglas na lista de símbolos: p. vii-xv.



Tabela 4 – Descrição das informações utilizadas para avaliação do modelo

Grupo genético	Condição sexual	M	dM/dt	CMS	Referência
Nelore	não-castrado	348	0,897	6992	Almeida (2005)
Nelore	não-castrado	396	0,986	8136	Almeida (2005)
1/2 Angus-Nelore	não-castrado	427	1,566	9741	Almeida (2005)
1/2 Canchim-Nelore	não-castrado	408	1,368	9086	Almeida (2005)
1/2 Simental-Nelore	não-castrado	434	1,491	9622	Almeida (2005)
Nelore	não-castrado	350	1,180	7825	Almeida (2005)
3/4 Europeu-Zebu	não-castrado	344	1,200	6795	Bulle (2000)
3/4 Europeu-Zebu	não-castrado	354	1,360	7851	Bulle (2000)
3/4 Europeu-Zebu	não-castrado	339	1,240	7274	Bulle (2000)
Nelore e Canchim	não-castrado	289	1,140	7080	Fernandes (2004)
Nelore e Canchim	não-castrado	287	1,260	7490	Fernandes (2004)
Nelore e Canchim	não-castrado	290	1,280	7493	Fernandes (2004)
Nelore e Canchim	não-castrado	427	1,290	12100	Fernandes (2004)
Nelore e Canchim	não-castrado	440	1,460	12500	Fernandes (2004)
Nelore	castrado	398	0,770	6930	Chizzotti (2005)
Nelore	castrado	413	0,960	8590	Chizzotti (2005)
Nelore	castrado	404	1,050	8890	Chizzotti (2005)
Nelore	castrado	424	1,090	9290	Chizzotti (2005)
1/2 Caracu-Zebu	não-castrado	279	0,595	5960	Fernandes et al. (2004)
1/2 Holandês-Zebu	não-castrado	278	0,998	5940	Fernandes et al. (2004)
Nelore	não-castrado	275	1,120	6170	Fernandes et al. (2004)
1/2 Caracu-Zebu	não-castrado	395	1,257	9130	Fernandes et al. (2004)
1/2 Holandês-Zebu	não-castrado	399	1,207	9380	Fernandes et al. (2004)
Nelore	não-castrado	391	1,124	8250	Fernandes et al. (2004)
Holandês-Zebu	castrado	483	1,310	9940	Pereira et al. (2006)
Holandês-Zebu	castrado	474	1,250	10670	Pereira et al. (2006)
Holandês-Zebu	castrado	483	1,540	11730	Pereira et al. (2006)
Holandês-Zebu	castrado	473	1,500	11360	Pereira et al. (2006)
Holandês-Zebu	castrado	375	0,140	5310	Silva et al. (2005)
Holandês-Zebu	castrado	371	0,310	6430	Silva et al. (2005)
Holandês-Zebu	castrado	407	0,930	8130	Silva et al. (2005)
Holandês-Zebu	castrado	404	0,950	9520	Silva et al. (2005)
Holandês-Zebu	não-castrado	216	0,826	5800	Fontes (1993)
Holandês-Zebu	não-castrado	234	1,090	6890	Fontes (1993)
Holandês-Zebu	não-castrado	213	0,883	5590	Fontes (1993)
Holandês-Zebu	não-castrado	234	1,134	7220	Fontes (1993)
Holandês-Zebu	não-castrado	300	0,427	6666	Languidey (1975)
Holandês-Zebu	não-castrado	314	0,667	6850	Languidey (1975)
Holandês-Zebu	não-castrado	308	0,602	6718	Languidey (1975)
Holandês-Zebu	não-castrado	331	0,791	7209	Languidey (1975)
Holandês-Zebu	não-castrado	320	0,763	7575	Languidey (1975)
Zebu	não informou	350	1,142	10709	Pacola (1977)
Zebu	não informou	322,5	1,076	10134	Pacola (1977)
Nelore	castrado	290	1,057	7510	Backes (2003)
Nelore	castrado	270	1,261	6230	Backes (2003)
Nelore	castrado	300	1,031	7230	Backes (2003)
Nelore	castrado	296	1,023	7510	Backes (2003)
1/2 Holandês-Zebu	castrado	288	1,385	7840	Backes (2003)
1/2 Holandês-Zebu	castrado	298	0,564	6980	Backes (2003)
1/2 Holandês-Zebu	castrado	298	0,365	5900	Backes (2003)
1/2 Holandês-Zebu	castrado	286	0,957	7400	Backes (2003)
1/2 Holandês-Zebu	castrado	349	2,421	9170	Backes (2003)
1/2 Holandês-Zebu	castrado	331	1,368	9250	Backes (2003)
1/2 Holandês-Zebu	castrado	290	1,400	8290	Backes (2003)
1/2 Holandês-Zebu	castrado	288	0,979	8110	Backes (2003)
Nelore	castrado	322	0,905	7370	Backes (2003)
Nelore	castrado	366	1,259	8700	Backes (2003)
Nelore	castrado	349	0,966	6920	Backes (2003)
Nelore	castrado	377	1,348	8820	Backes (2003)
1/2 Holandês-Zebu	castrado	353	1,017	8440	Backes (2003)
1/2 Holandês-Zebu	castrado	354	1,358	8330	Backes (2003)
1/2 Holandês-Zebu	castrado	328	1,045	7510	Backes (2003)
1/2 Holandês-Zebu	castrado	350	0,894	7900	Backes (2003)
1/2 Holandês-Zebu	castrado	404	1,184	11830	Backes (2003)
1/2 Holandês-Zebu	castrado	395	1,032	8640	Backes (2003)
1/2 Holandês-Zebu	castrado	374	0,875	7200	Backes (2003)
1/2 Holandês-Zebu	castrado	401	1,169	9490	Backes (2003)
5/8 Holandês-Zebu	castrado	398	1,030	9241	Barbosa (1978)
5/8 Holandês-Zebu	castrado	377	1,140	10489	Barbosa (1978)
5/8 Holandês-Zebu	castrado	362	0,710	8364	Barbosa (1978)
Nelore	não-castrado	463	1,150	8800	Estrada (1996)

Unidades e significado das siglas na lista de símbolos: p. vii-xv.

(cont.) Tabela 4 – Descrição das informações utilizadas para avaliação do modelo

Grupo genético	Condição sexual	M	dM/dt	CMS	Referência
1/2 Nelore-Angus	não-castrado	525	1,430	10660	Estrada (1996)
1/2 Nelore-Holandês	não-castrado	527	1,410	10650	Estrada (1996)
1/2 Nelore-Normando	não-castrado	532	1,550	10750	Estrada (1996)
1/2 Nelore-Marchigiana	não-castrado	420	1,177	10870	Galvão (1991)
1/2 Nelore-Marchigiana	não-castrado	408	0,979	7880	Galvão (1991)
1/2 Nelore-Marchigiana	não-castrado	436	1,387	10640	Galvão (1991)
1/2 Nelore-Marchigiana	não-castrado	433	1,376	10550	Galvão (1991)
1/2 Nelore-Marchigiana	não-castrado	419	1,114	10350	Galvão (1991)
1/2 Nelore-Marchigiana	não-castrado	371	1,157	9130	Galvão (1991)
1/2 Nelore-Marchigiana	não-castrado	440	1,345	11420	Galvão (1991)
1/2 Nelore-Marchigiana	não-castrado	393	1,112	9630	Galvão (1991)
1/2 Nelore-Marchigiana	não-castrado	454	1,178	11370	Galvão (1991)
1/2 Nelore-Marchigiana	não-castrado	471	1,256	11510	Galvão (1991)
1/2 Nelore-Marchigiana	não-castrado	366	1,191	9980	Galvão (1991)
1/2 Nelore-Marchigiana	não-castrado	391	1,342	9890	Galvão (1991)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	462	1,247	9610	Galvão (1991)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	459	1,171	9600	Galvão (1991)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	391	1,325	8300	Galvão (1991)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	468	1,316	11270	Galvão (1991)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	409	1,069	8940	Galvão (1991)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	417	1,280	9800	Galvão (1991)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	434	1,442	9780	Galvão (1991)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	379	1,108	9150	Galvão (1991)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	451	1,194	10350	Galvão (1991)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	421	1,241	10100	Galvão (1991)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	425	1,219	9840	Galvão (1991)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	406	1,243	9270	Galvão (1991)
Nelore	não-castrado	317	0,820	7460	Galvão (1991)
Nelore	não-castrado	385	0,917	9880	Galvão (1991)
Nelore	não-castrado	340	0,948	7940	Galvão (1991)
Nelore	não-castrado	364	0,926	8970	Galvão (1991)
Nelore	não-castrado	353	0,769	8040	Galvão (1991)
Nelore	não-castrado	348	0,896	8130	Galvão (1991)
Nelore	não-castrado	314	0,914	6910	Galvão (1991)
Nelore	não-castrado	393	0,920	8610	Galvão (1991)
Nelore	não-castrado	345	0,861	8300	Galvão (1991)
Nelore	não-castrado	315	0,744	5950	Galvão (1991)
Nelore	não-castrado	337	0,768	6840	Galvão (1991)
Nelore	não-castrado	359	0,887	8610	Galvão (1991)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	413	0,807	8000	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	407	1,007	7960	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	434	1,135	8700	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	375	0,724	7370	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	397	1,266	8839	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	411	0,942	7639	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	386	0,863	7159	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	403	0,877	8049	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	421	1,251	9129	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	418	0,911	7989	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	392	1,295	7789	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	398	1,190	7949	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	403	1,279	8150	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	423	1,226	7930	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	398	1,265	7300	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	420	1,321	8110	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	416	0,863	6370	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	402	1,245	7489	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	411	1,259	7609	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	412	1,102	7799	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	396	1,053	7780	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	401	0,765	7750	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	377	0,609	7250	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	400	0,753	7880	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	380	1,024	7469	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	424	1,163	8709	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	409	1,232	8669	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	402	0,927	7859	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	426	0,889	7930	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	395	1,283	8160	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	413	1,243	8580	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	396	0,864	6710	Júnior (1999)

Unidades e significado das siglas na lista de símbolos: p. vii-xv.

(cont.) Tabela 4 – Descrição das informações utilizadas para avaliação do modelo

Grupo genético	Condição sexual	M	dM/dt	CMS	Referência
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	427	1,305	7900	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	394	0,944	7050	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	410	1,281	7500	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	421	1,002	7560	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	390	0,862	6959	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	397	0,994	6889	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	435	1,362	8029	Júnior (1999)
1/2 Nelore-limousin	não-castrado	415	1,206	7279	Júnior (1999)
Holandês-Zebu	castrado	350	1,130	8650	Magalhães (2003)
Holandês-Zebu	castrado	355	1,240	9200	Magalhães (2003)
Holandês-Zebu	castrado	350	1,230	9090	Magalhães (2003)
Holandês-Zebu	castrado	343	1,100	8930	Magalhães (2003)
Holandês-Zebu	não informou	281	1,270	7800	Magalhães (2003)
Holandês-Zebu	não informou	280	1,380	7980	Magalhães (2003)
Holandês-Zebu	não informou	279	1,210	8770	Magalhães (2003)
Holandês-Zebu	não informou	277	1,340	8150	Magalhães (2003)
Zebu	castrado	432	0,850	9780	Margon (1981)
Zebu	castrado	422	0,830	10030	Margon (1981)
Zebu	castrado	413	0,810	9930	Margon (1981)
Zebu	castrado	356	0,490	7790	Margon (1981)
Zebu	castrado	421	0,960	9360	Margon (1981)
Zebu	castrado	387	0,360	8030	Margon (1981)
Zebu	castrado	455	0,580	10240	Margon (1981)
Zebu	castrado	311	0,390	6900	Margon (1981)
Zebu	castrado	367	0,690	9660	Margon (1981)
Zebu	castrado	431	0,430	8620	Margon (1981)
Zebu	castrado	409	0,950	9430	Margon (1981)
Zebu	castrado	420	0,650	9490	Margon (1981)
Zebu	castrado	335	0,750	7790	Margon (1981)
Zebu	castrado	399	0,440	8240	Margon (1981)
Zebu	castrado	372	0,350	6640	Margon (1981)
Zebu	castrado	374	0,290	7580	Margon (1981)
Zebu	castrado	358	0,440	6790	Margon (1981)
Zebu	castrado	386	0,340	7510	Margon (1981)
Zebu	castrado	393	0,190	7180	Margon (1981)
Zebu	castrado	372	0,280	6270	Margon (1981)
Zebu	castrado	393	0,170	6580	Margon (1981)
Zebu	castrado	406	0,420	7280	Margon (1981)
Zebu	castrado	422	0,720	7990	Margon (1981)
Zebu	castrado	352	0,560	6730	Margon (1981)
Zebu	castrado	362	0,170	6340	Margon (1981)
Zebu	castrado	423	0,490	7420	Margon (1981)
Zebu	castrado	342	0,370	5140	Margon (1981)
Zebu	castrado	337	0,250	5730	Margon (1981)
Zebu	castrado	364	0,190	5710	Margon (1981)
Zebu	castrado	393	0,020	5770	Margon (1981)
Zebu	castrado	317	0,230	5270	Margon (1981)
Zebu	castrado	360	0,130	5840	Margon (1981)
Nelore	não-castrado	509	1,518	8042	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	519	1,234	8970	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	463	0,952	8418	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	476	1,021	7378	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	451	0,853	8019	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	470	1,048	8084	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	438	1,103	6439	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	406	1,048	7299	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	432	0,747	4795	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	452	0,690	4882	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	424	0,988	4579	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	435	0,621	4524	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	417	0,784	4457	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	407	0,772	4233	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	402	0,759	4060	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	344	0,867	3578	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	418	0,683	7014	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	408	0,957	7865	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	410	1,048	8108	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	379	1,060	6140	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	376	1,229	5753	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	375	0,888	6891	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	408	0,641	4483	Miranda (2005)

Unidades e significado das siglas na lista de símbolos: p. vii-xv.

(cont.) Tabela 4 – Descrição das informações utilizadas para avaliação do modelo

Grupo genético	Condição sexual	M	dM/dt	CMS	Referência
Nelore	não-castrado	388	0,733	4108	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	367	0,663	4141	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	359	0,747	3734	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	337	0,663	3331	Miranda (2005)
Nelore	não-castrado	348	0,897	3550	Miranda (2005)
Caracu	não-castrado	539	0,572	9585	Miranda (2005)
Caracu	não-castrado	478	0,627	9464	Miranda (2005)
Caracu	não-castrado	523	1,224	8891	Miranda (2005)
Caracu	não-castrado	520	1,055	8520	Miranda (2005)
Caracu	não-castrado	515	1,338	9322	Miranda (2005)
Caracu	não-castrado	492	1,103	7872	Miranda (2005)
Caracu	não-castrado	461	0,766	7552	Miranda (2005)
Caracu	não-castrado	470	1,241	6486	Miranda (2005)
Caracu	não-castrado	511	0,572	5922	Miranda (2005)
Caracu	não-castrado	452	0,542	4696	Miranda (2005)
Caracu	não-castrado	450	0,474	5124	Miranda (2005)
Caracu	não-castrado	428	0,310	4361	Miranda (2005)
Caracu	não-castrado	440	0,733	4747	Miranda (2005)
Caracu	não-castrado	433	0,807	5104	Miranda (2005)
Caracu	não-castrado	462	0,966	4528	Miranda (2005)
Caracu	não-castrado	401	0,448	4285	Miranda (2005)
Zebu	não informou	421	1,170	8700	Obeid (2005)
Zebu	não informou	446	1,440	9520	Obeid (2005)
Zebu	não informou	444	1,430	9160	Obeid (2005)
Zebu	não informou	447	1,410	9490	Obeid (2005)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	336	0,820	9320	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	342	0,700	8750	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	364	0,830	10220	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	350	1,020	10580	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	344	0,580	9300	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	325	0,960	9270	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	335	0,670	8330	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	386	1,080	10880	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	399	1,060	11170	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	354	0,950	10030	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	344	1,150	10190	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	374	0,950	10160	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	342	1,020	8710	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	383	1,010	10880	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	387	1,240	10180	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	365	1,330	10840	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	367	1,300	10360	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	365	1,100	10400	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	424	1,480	13750	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	370	1,350	11460	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	350	0,890	7240	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	406	1,510	9860	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	433	1,290	10520	Resende (1999)
5/8 Europeu-Zebu	castrado	370	1,350	9890	Resende (1999)
Nelore-Simental	não-castrado	272	1,005	5850	Arrigoni (1995)
Nelore-Simental	não-castrado	264	0,848	4470	Arrigoni (1995)
Nelore-Simental	não-castrado	258	0,844	4530	Arrigoni (1995)
1/2 Nelore-Angus	castrado	406	1,262	10831	Faturi (2005)
1/2 Nelore-Angus	castrado	413	1,459	10660	Faturi (2005)
1/2 Nelore-Angus	castrado	413	1,435	10665	Faturi (2005)
1/2 Nelore-Angus	castrado	394	0,979	8312	Faturi (2005)
Santa Gertrudes	não-castrado	372	1,490	7940	Henrique (2002)
Santa Gertrudes	não-castrado	380	1,590	8160	Henrique (2002)
Santa Gertrudes	não-castrado	381	1,500	8170	Henrique (2002)
Santa Gertrudes	não-castrado	384	1,540	7730	Henrique (2002)
Guzerá	não informou	424	1,428	9360	Leão (2002)
Guzerá	não informou	403	1,250	8460	Leão (2002)
Guzerá	não informou	437	1,250	8610	Leão (2002)
Guzerá	não informou	421	1,514	8420	Leão (2002)
Guzerá	não informou	390	1,321	9130	Leão (2002)
Guzerá	não informou	455	0,821	9140	Leão (2002)
Guzerá	não informou	432	0,857	8160	Leão (2002)
Guzerá	não informou	467	0,892	8360	Leão (2002)
Guzerá	não informou	459	1,000	8130	Leão (2002)
Guzerá	não informou	424	1,072	9120	Leão (2002)
Guzerá	não informou	478	0,893	8890	Leão (2002)

Unidades e significado das siglas na lista de símbolos: p. vii-xv.

(cont.) Tabela 4 – Descrição das informações utilizadas para avaliação do modelo

Grupo genético	Condição sexual	M	dM/dt	CMS	Referência
Guzerá	não informou	460	1,107	8140	Leão (2002)
Guzerá	não informou	488	0,500	8100	Leão (2002)
Guzerá	não informou	488	1,043	8450	Leão (2002)
Guzerá	não informou	456	1,107	8930	Leão (2002)
Guzerá	não informou	420	1,678	8480	Leão (2002)
Guzerá	não informou	423	1,607	9140	Leão (2002)
Guzerá	não informou	419	1,450	9380	Leão (2002)
Guzerá	não informou	422	1,500	9530	Leão (2002)
Guzerá	não informou	431	1,471	8660	Leão (2002)
Guzerá	não informou	455	0,892	8330	Leão (2002)
Guzerá	não informou	459	0,928	9040	Leão (2002)
Guzerá	não informou	456	0,928	9220	Leão (2002)
Guzerá	não informou	460	1,185	9380	Leão (2002)
Guzerá	não informou	759	1,028	8160	Leão (2002)
Guzerá	não informou	474	0,500	8010	Leão (2002)
Guzerá	não informou	477	0,464	8720	Leão (2002)
Guzerá	não informou	479	0,714	8810	Leão (2002)
Guzerá	não informou	480	0,678	9080	Leão (2002)
Guzerá	não informou	490	0,421	7740	Leão (2002)
Guzerá	não informou	435	1,250	8040	Leão (2002)
Guzerá	não informou	424	1,535	9030	Leão (2002)
Guzerá	não informou	481	1,285	9190	Leão (2002)
Guzerá	não informou	443	1,750	9300	Leão (2002)
Guzerá	não informou	454	1,607	9310	Leão (2002)
Guzerá	não informou	459	0,464	8030	Leão (2002)
Guzerá	não informou	461	1,107	9080	Leão (2002)
Guzerá	não informou	457	0,750	7540	Leão (2002)
Guzerá	não informou	477	0,714	8880	Leão (2002)
Guzerá	não informou	497	1,292	9490	Leão (2002)
Guzerá	não informou	466	0,714	7780	Leão (2002)
Guzerá	não informou	490	0,857	9260	Leão (2002)
Guzerá	não informou	476	0,607	7620	Leão (2002)
Guzerá	não informou	501	0,928	8510	Leão (2002)
Guzerá	não informou	528	0,857	9030	Leão (2002)
Guzerá	não informou	430	1,535	8040	Leão (2002)
Guzerá	não informou	493	1,214	9030	Leão (2002)
Guzerá	não informou	486	1,464	9190	Leão (2002)
Guzerá	não informou	487	1,385	9300	Leão (2002)
Guzerá	não informou	427	1,214	9310	Leão (2002)
Guzerá	não informou	487	0,571	8030	Leão (2002)
Guzerá	não informou	513	0,964	9080	Leão (2002)
Guzerá	não informou	441	1,107	7540	Leão (2002)
Guzerá	não informou	541	0,635	8880	Leão (2002)
Guzerá	não informou	484	0,857	9490	Leão (2002)
Guzerá	não informou	486	0,501	7780	Leão (2002)
Guzerá	não informou	561	0,750	9260	Leão (2002)
Guzerá	não informou	462	0,536	7620	Leão (2002)
Guzerá	não informou	535	0,678	8510	Leão (2002)
Guzerá	não informou	547	0,571	9030	Leão (2002)
Guzerá	não informou	441	1,428	9480	Leão (2002)
Guzerá	não informou	465	1,557	9480	Leão (2002)
Guzerá	não informou	450	1,214	8550	Leão (2002)
Guzerá	não informou	453	1,593	9750	Leão (2002)
Guzerá	não informou	440	1,178	8840	Leão (2002)
Guzerá	não informou	482	1,142	8630	Leão (2002)
Guzerá	não informou	502	0,857	9280	Leão (2002)
Guzerá	não informou	477	0,642	8060	Leão (2002)
Guzerá	não informou	489	0,750	10020	Leão (2002)
Guzerá	não informou	467	1,214	8450	Leão (2002)
Guzerá	não informou	508	0,714	9100	Leão (2002)
Guzerá	não informou	522	0,571	8920	Leão (2002)
Guzerá	não informou	496	0,786	8140	Leão (2002)
Guzerá	não informou	510	0,786	9280	Leão (2002)
Guzerá	não informou	500	0,785	8900	Leão (2002)
3/4 Simental-Nelore	não informou	432	1,170	10720	Mendes (2003)
3/4 Simental-Nelore	não informou	410	1,110	10480	Mendes (2003)
3/4 Simental-Nelore	não informou	417	1,170	10430	Mendes (2003)
3/4 Europeu-Zebu	castrado	392	1,107	8120	Aferri (2003)
3/4 Europeu-Zebu	castrado	388	1,169	9490	Aferri (2003)
3/4 Europeu-Zebu	castrado	403	1,204	9200	Aferri (2003)
Nelore	castrado	433	1,198	10400	Oliveira (2004)

Unidades e significado das siglas na lista de símbolos: p. vii-xv.

(cont.) Tabela 4 – Descrição das informações utilizadas para avaliação do modelo

Grupo genético	Condição sexual	M	dM/dt	CMS	Referência
Nelore	castrado	432	1,160	10360	Oliveira (2004)
Nelore	castrado	427	1,066	9780	Oliveira (2004)
Nelore	castrado	350	1,506	8320	Pereira (2002)
Nelore	castrado	352	1,490	7910	Pereira (2002)
Nelore	castrado	349	1,383	7540	Pereira (2002)
5/8 Angus-Nelore	não-castrado	299	0,943	5015	Putrino (2002)
5/8 Angus-Nelore	não-castrado	334	1,249	5971	Putrino (2002)
5/8 Angus-Nelore	não-castrado	342	1,216	6361	Putrino (2002)
5/8 Angus-Nelore	não-castrado	305	1,118	5826	Putrino (2002)
Nelore	não-castrado	243	0,715	3183	Putrino (2002)
Nelore	não-castrado	257	0,956	3856	Putrino (2002)
Nelore	não-castrado	259	1,042	3445	Putrino (2002)
Nelore	não-castrado	255	0,905	3029	Putrino (2002)

Unidades e significado das siglas na lista de símbolos: p. vii-xv.

Tabela 5 – Saídas (*outputs*) geradas pelo modelo a partir das informações de entrada (*inputs*)

ELt fornecida	PMt fornecida	ELt exigida	PMt exigida	MRF	MRFmax	BNAR	Referência
41,88	642,96	35,96	505,41	2,47	7,55	10,07	Almeida (2005)
48,00	738,71	40,96	618,66	2,53	7,66	11,72	Almeida (2005)
52,84	837,34	46,92	864,43	3,53	9,13	42,87	Almeida (2005)
49,74	781,01	42,79	782,72	3,44	9,00	39,98	Almeida (2005)
52,50	827,10	46,39	833,75	3,43	8,98	42,34	Almeida (2005)
43,29	672,61	40,52	601,03	3,46	9,02	34,43	Almeida (2005)
42,27	728,89	35,88	581,64	1,73	5,78	-0,78	Bulle (2000)
46,66	834,88	38,64	659,60	3,09	7,07	6,37	Bulle (2000)
43,01	769,28	36,00	623,00	4,10	7,66	10,21	Bulle (2000)
40,03	662,17	30,97	600,12	3,60	9,11	14,08	Fernandes (2004)
42,46	688,80	32,16	641,56	3,82	9,40	24,48	Fernandes (2004)
43,26	681,19	32,63	640,29	3,77	9,29	33,26	Fernandes (2004)
67,45	1080,00	43,08	796,59	3,12	8,66	-2,95	Fernandes (2004)
70,07	1134,84	46,39	861,78	3,13	8,69	7,67	Fernandes (2004)
37,99	566,46	37,47	579,44	5,56	8,99	-10,47	Chizzotti (2005)
46,02	706,45	41,77	679,96	5,67	9,66	-11,04	Chizzotti (2005)
48,64	751,67	42,64	699,01	4,96	9,63	-9,43	Chizzotti (2005)
52,37	805,51	44,83	701,20	3,92	9,26	-7,86	Chizzotti (2005)
36,15	469,74	24,15	392,93	4,85	10,18	56,92	Fernandes et al. (2004)
36,04	468,16	28,53	523,37	4,85	10,18	56,73	Fernandes et al. (2004)
37,01	486,29	33,29	546,29	5,09	10,46	58,92	Fernandes et al. (2004)
53,07	719,58	40,35	737,49	5,25	10,63	87,19	Fernandes et al. (2004)
54,29	739,28	39,97	724,27	5,34	10,73	89,58	Fernandes et al. (2004)
49,02	650,22	42,90	655,47	4,79	10,11	78,79	Fernandes et al. (2004)
52,63	767,78	47,23	857,79	6,04	10,66	34,67	Pereira et al. (2006)
56,65	899,18	45,74	841,52	5,38	10,21	22,27	Pereira et al. (2006)
63,20	1013,35	50,64	938,94	4,49	9,49	7,94	Pereira et al. (2006)
63,83	1015,70	49,34	879,90	3,14	8,09	-8,19	Pereira et al. (2006)
32,36	469,32	24,39	296,84	5,11	9,26	-13,54	Silva et al. (2005)
37,68	569,02	26,37	378,81	5,10	9,42	-18,89	Silva et al. (2005)
46,95	721,19	36,77	628,04	4,53	9,06	-27,39	Silva et al. (2005)
54,95	859,91	36,85	639,91	3,77	8,53	-35,75	Silva et al. (2005)
30,76	463,33	21,91	521,21	7,19	11,63	-0,07	Fontes (1993)
35,18	496,50	25,98	643,83	9,36	12,81	17,95	Fontes (1993)
29,90	446,56	22,21	534,61	7,03	11,49	-0,06	Fontes (1993)
36,39	520,28	26,42	670,24	9,81	13,08	18,81	Fontes (1993)
35,55	490,02	23,61	396,03	8,58	10,30	70,97	Languihey (1975)
36,34	436,74	27,31	481,48	9,00	11,14	90,52	Languihey (1975)
35,78	464,96	26,15	455,53	8,66	10,62	79,35	Languihey (1975)
39,00	588,03	29,94	512,59	4,78	9,18	26,00	Languihey (1975)
40,31	661,05	28,85	513,31	4,83	8,82	10,76	Languihey (1975)
50,68	771,12	39,93	773,67	8,71	12,39	7,40	Pacola (1977)
47,98	736,29	36,68	735,75	8,94	12,54	7,00	Pacola (1977)
40,95	718,60	33,72	582,87	7,09	11,47	29,56	Backes (2003)
35,19	596,12	34,73	613,32	6,32	10,79	24,52	Backes (2003)
40,03	691,81	34,18	566,88	6,60	11,05	28,46	Backes (2003)
41,09	718,60	33,74	572,16	6,95	11,35	29,56	Backes (2003)
42,26	750,17	33,65	716,97	7,46	11,76	30,86	Backes (2003)
38,95	667,88	25,06	429,96	6,41	10,88	27,47	Backes (2003)
34,49	564,54	22,78	337,99	5,42	9,91	23,22	Backes (2003)
40,40	708,07	28,68	568,02	7,09	11,46	29,13	Backes (2003)
49,15	877,44	51,52	1054,37	7,20	11,56	36,09	Backes (2003)
49,07	885,09	36,95	738,49	7,65	11,92	36,41	Backes (2003)
44,17	793,23	33,99	733,14	7,83	12,05	32,63	Backes (2003)
43,38	776,01	29,08	593,58	7,71	11,96	31,92	Backes (2003)
41,08	705,41	34,11	532,43	6,27	10,75	28,49	Backes (2003)
47,55	832,71	43,09	748,81	6,51	10,97	33,63	Backes (2003)
39,84	662,34	37,11	537,56	5,43	9,92	26,75	Backes (2003)
48,29	844,19	45,45	781,96	6,41	10,87	34,10	Backes (2003)
46,19	807,82	34,25	606,43	6,55	11,00	32,63	Backes (2003)
45,76	797,29	38,62	707,16	6,44	10,91	32,20	Backes (2003)
41,79	718,81	32,80	593,31	6,27	10,75	29,03	Backes (2003)
43,90	756,14	32,50	554,88	6,18	10,66	30,54	Backes (2003)
61,28	1132,29	40,01	817,37	8,02	12,20	45,73	Backes (2003)
47,94	826,97	37,35	679,32	5,99	10,48	33,40	Backes (2003)
41,55	689,14	33,87	586,48	5,27	9,75	27,84	Backes (2003)
51,57	908,32	39,60	750,34	6,48	10,94	36,69	Backes (2003)
48,90	660,05	37,52	715,60	6,35	9,29	-42,66	Barbosa (1978)
58,17	739,03	37,52	715,92	3,92	7,67	-93,90	Barbosa (1978)

Unidades e significado das siglas na lista de símbolos: p. vii-xv.

(cont.) Tabela 5 – Saídas (*outputs*) geradas pelo modelo a partir das informações de entrada (*inputs*)

ELt fornecida	PMT fornecida	ELt exigida	PMT exigida	MRF	MRFmax	BNAR	Referência
43,23	578,04	30,97	550,02	10,70	11,81	31,75	Barbosa (1978)
49,97	784,02	48,82	709,78	4,85	8,47	18,50	Estrada (1996)
58,92	941,93	51,89	858,18	5,18	8,82	22,42	Estrada (1996)
58,92	941,11	51,71	850,96	5,15	8,79	22,39	Estrada (1996)
59,44	949,28	54,23	899,76	5,15	8,79	22,60	Estrada (1996)
55,12	854,77	41,02	835,59	6,59	10,97	1,16	Galvão (1991)
43,34	648,43	37,50	672,57	4,92	9,31	0,84	Galvão (1991)
54,58	838,89	45,07	899,98	6,22	10,63	1,13	Galvão (1991)
54,17	832,68	44,70	893,81	6,21	10,62	1,13	Galvão (1991)
53,10	818,88	40,09	797,02	6,29	10,70	1,10	Galvão (1991)
47,35	734,69	37,31	781,43	6,27	10,68	0,97	Galvão (1991)
57,67	892,72	44,76	909,08	6,61	10,99	1,22	Galvão (1991)
49,76	769,20	38,28	777,24	6,24	10,65	1,03	Galvão (1991)
57,77	889,27	43,35	847,22	6,38	10,78	1,21	Galvão (1991)
58,66	898,93	45,62	876,52	6,23	10,64	1,23	Galvão (1991)
50,52	793,35	37,39	821,55	6,95	6,95	1,06	Galvão (1991)
50,72	787,14	41,19	868,85	6,45	10,84	1,05	Galvão (1991)
51,15	767,82	44,88	814,85	5,30	9,72	1,02	Galvão (1991)
51,05	767,13	43,58	788,56	5,33	9,75	1,02	Galvão (1991)
44,59	677,42	40,97	812,73	5,41	9,83	0,89	Galvão (1991)
57,68	882,37	46,30	890,07	6,14	10,55	1,20	Galvão (1991)
47,44	721,58	38,79	737,94	5,57	10,00	0,95	Galvão (1991)
50,93	780,93	42,23	839,00	5,99	10,41	1,05	Galvão (1991)
51,22	779,55	45,70	892,65	5,74	10,17	1,04	Galvão (1991)
47,60	736,07	37,24	762,82	6,15	10,57	0,98	Galvão (1991)
53,77	818,88	43,38	821,10	5,85	10,27	1,10	Galvão (1991)
52,17	801,63	41,98	833,94	6,11	10,53	1,08	Galvão (1991)
51,26	783,69	41,95	817,37	5,90	10,33	1,05	Galvão (1991)
48,65	744,35	40,95	810,98	5,82	10,25	0,99	Galvão (1991)
39,70	619,45	32,47	541,63	6,00	10,42	0,80	Galvão (1991)
50,55	786,45	39,01	702,54	6,54	10,92	1,05	Galvão (1991)
42,07	652,57	36,14	593,91	5,95	10,38	0,85	Galvão (1991)
46,58	723,65	37,61	678,05	6,28	10,69	0,96	Galvão (1991)
42,75	659,47	34,32	544,60	5,80	10,23	0,86	Galvão (1991)
42,98	665,68	35,94	584,47	5,95	10,38	0,87	Galvão (1991)
37,51	581,50	33,62	552,39	5,61	10,04	0,74	Galvão (1991)
45,83	698,81	39,64	663,35	5,58	10,01	0,92	Galvão (1991)
43,57	677,42	35,18	579,65	6,13	10,55	0,89	Galvão (1991)
33,83	515,25	31,21	471,60	4,81	9,18	0,63	Galvão (1991)
37,76	576,67	33,16	506,59	5,17	9,58	0,73	Galvão (1991)
45,08	698,81	36,62	596,75	6,11	10,53	0,92	Galvão (1991)
42,20	657,27	35,48	632,50	6,94	11,00	5,88	Júnior (1999)
41,93	654,49	37,82	703,03	7,01	11,05	5,85	Júnior (1999)
45,13	705,92	41,39	771,38	7,19	11,20	6,39	Júnior (1999)
39,14	613,49	31,97	582,71	7,04	11,08	5,41	Júnior (1999)
46,26	736,61	40,61	808,52	6,66	10,92	-1,23	Júnior (1999)
42,04	649,57	37,20	652,06	5,56	9,88	-1,06	Júnior (1999)
39,69	614,75	34,50	610,61	5,55	9,87	-0,99	Júnior (1999)
43,41	679,31	35,79	642,65	5,98	10,29	-1,12	Júnior (1999)
49,59	780,16	42,11	783,87	5,21	9,73	-9,33	Júnior (1999)
44,96	693,96	37,23	631,04	4,59	9,04	-8,16	Júnior (1999)
43,59	678,83	40,64	766,43	4,77	9,25	-7,96	Júnior (1999)
44,37	690,93	39,67	732,08	4,79	9,28	-8,12	Júnior (1999)
46,94	727,17	41,22	744,95	3,66	8,18	-15,22	Júnior (1999)
46,44	709,81	41,91	717,32	3,39	7,80	-14,81	Júnior (1999)
43,22	660,09	40,67	719,67	3,32	7,69	-13,64	Júnior (1999)
47,14	724,01	43,01	755,96	3,49	7,94	-15,15	Júnior (1999)
40,99	601,18	36,44	531,16	1,86	5,65	-17,69	Júnior (1999)
45,74	692,96	40,69	693,00	2,27	6,46	-20,80	Júnior (1999)
46,48	702,79	41,52	699,03	2,25	6,43	-21,14	Júnior (1999)
47,35	718,36	39,45	646,89	2,30	6,53	-21,66	Júnior (1999)
40,65	617,81	37,69	723,13	7,04	11,08	-3,04	Júnior (1999)
40,66	615,88	34,16	617,95	6,93	10,99	-3,03	Júnior (1999)
38,41	583,70	30,60	544,07	6,89	10,96	-2,83	Júnior (1999)
41,09	624,25	33,93	618,51	7,06	11,10	-3,08	Júnior (1999)
40,89	641,70	36,22	678,71	5,88	10,20	0,95	Júnior (1999)
46,54	732,70	41,10	762,16	6,15	10,46	1,11	Júnior (1999)
46,07	729,76	41,01	787,65	6,34	10,64	1,11	Júnior (1999)
42,84	670,32	36,40	653,53	5,85	10,17	1,00	Júnior (1999)
45,40	728,24	37,43	613,92	4,47	8,90	4,90	Júnior (1999)
45,67	747,21	40,70	764,85	4,96	9,47	5,05	Júnior (1999)

Unidades e significado das siglas na lista de símbolos: p. vii-xv.



(cont.) Tabela 5 – Saídas (*outputs*) geradas pelo modelo a partir das informações de entrada (*inputs*)

ELt fornecida	PMt fornecida	ELt exigida	PMt exigida	MRF	MRFmax	BNAR	Referência
47,78	781,85	41,44	758,89	4,99	9,50	5,31	Júnior (1999)
39,76	627,62	35,17	574,03	4,07	8,40	4,15	Júnior (1999)
47,00	784,73	43,29	734,77	3,35	7,74	9,61	Júnior (1999)
42,59	706,62	36,10	590,50	3,24	7,58	8,58	Júnior (1999)
44,90	747,97	41,75	719,74	3,31	7,68	9,13	Júnior (1999)
45,39	753,48	38,68	620,36	3,25	7,59	9,20	Júnior (1999)
43,51	740,53	34,75	538,54	2,17	6,28	12,73	Júnior (1999)
43,34	733,08	36,97	584,05	2,11	6,17	12,61	Júnior (1999)
49,37	854,37	44,65	732,59	2,25	6,43	14,69	Júnior (1999)
45,52	774,58	41,08	665,43	2,14	6,21	13,32	Júnior (1999)
45,48	626,77	35,45	675,66	5,52	10,38	38,72	Magalhães (2003)
47,71	667,67	37,20	721,50	5,78	10,61	44,60	Magalhães (2003)
47,13	661,52	36,70	712,24	5,78	10,57	47,38	Magalhães (2003)
46,30	652,65	34,57	665,36	5,78	10,54	49,47	Magalhães (2003)
40,00	457,32	31,78	702,49	8,65	11,73	81,14	Magalhães (2003)
40,85	482,72	32,92	745,11	8,83	11,93	78,92	Magalhães (2003)
44,20	546,69	30,95	713,22	9,68	12,55	83,73	Magalhães (2003)
42,05	523,33	32,22	736,27	9,00	12,21	74,99	Magalhães (2003)
47,71	650,49	41,18	717,80	9,58	11,17	-13,98	Margon (1981)
48,35	663,73	40,14	720,37	10,06	11,45	-14,34	Margon (1981)
47,82	658,43	39,18	709,93	10,18	11,52	-14,19	Margon (1981)
39,24	545,08	30,14	487,38	9,26	10,97	-11,13	Margon (1981)
46,04	628,24	42,34	740,14	9,41	11,06	-13,38	Margon (1981)
40,75	557,79	29,92	483,22	8,78	10,66	-11,48	Margon (1981)
49,77	674,85	37,82	643,36	9,53	11,13	-14,64	Margon (1981)
35,18	497,94	25,78	422,58	9,39	11,05	-9,86	Margon (1981)
45,89	644,13	34,04	658,62	11,14	12,06	-13,81	Margon (1981)
43,72	589,05	33,69	531,54	8,47	10,44	-12,32	Margon (1981)
49,65	614,25	41,30	727,06	9,70	11,18	-6,23	Margon (1981)
50,11	617,25	36,88	625,94	9,51	11,06	-6,27	Margon (1981)
41,82	532,21	32,75	551,57	9,78	11,23	-5,15	Margon (1981)
44,94	554,72	31,97	507,76	8,69	10,54	-5,44	Margon (1981)
38,30	474,67	28,88	417,13	7,51	9,71	-4,39	Margon (1981)
41,90	521,70	28,02	430,19	8,53	10,43	-5,01	Margon (1981)
38,56	482,18	29,48	425,56	7,98	10,05	-4,48	Margon (1981)
41,89	518,20	29,53	445,93	8,19	10,20	-4,96	Margon (1981)
40,80	501,69	27,43	382,31	7,69	9,84	-4,74	Margon (1981)
39,49	429,53	27,75	367,46	7,05	9,30	0,50	Margon (1981)
41,21	450,77	27,10	342,03	7,00	9,27	0,53	Margon (1981)
44,35	495,95	32,05	454,84	7,50	9,64	0,58	Margon (1981)
47,63	529,41	38,23	583,46	7,92	9,95	0,64	Margon (1981)
40,92	461,05	30,98	446,38	8,00	10,01	0,54	Margon (1981)
39,55	434,33	25,43	319,66	7,32	9,51	0,51	Margon (1981)
45,30	502,55	34,27	484,59	7,34	9,52	0,60	Margon (1981)
34,22	352,12	27,40	332,56	6,29	8,68	0,41	Margon (1981)
36,51	392,54	25,27	318,47	7,11	9,35	0,46	Margon (1981)
32,30	434,91	25,85	336,05	6,64	9,08	-8,16	Margon (1981)
33,14	438,08	24,59	281,76	6,21	8,73	-8,25	Margon (1981)
29,73	411,60	23,81	315,05	7,04	9,40	-7,53	Margon (1981)
32,66	441,79	24,68	311,04	6,87	9,27	-8,35	Margon (1981)
48,73	744,40	59,35	790,55	2,49	7,35	13,92	Miranda (2005)
52,90	823,89	54,55	718,43	2,72	7,78	15,53	Miranda (2005)
49,39	776,88	45,16	613,31	2,86	8,03	14,57	Miranda (2005)
45,23	682,92	47,36	611,00	2,44	7,26	12,77	Miranda (2005)
47,43	742,25	42,53	570,55	2,80	7,92	13,88	Miranda (2005)
48,11	748,27	47,44	637,39	2,71	7,76	14,00	Miranda (2005)
40,44	595,97	46,11	617,38	2,31	7,01	11,15	Miranda (2005)
43,42	675,61	42,76	621,14	2,83	7,98	12,64	Miranda (2005)
33,33	443,85	39,36	456,35	1,75	5,81	8,30	Miranda (2005)
34,12	451,85	39,63	439,22	1,70	5,70	8,45	Miranda (2005)
32,24	423,86	43,05	533,61	1,70	5,70	7,93	Miranda (2005)
32,24	418,75	37,32	406,84	1,64	5,55	7,83	Miranda (2005)
31,57	412,51	39,00	460,85	1,68	5,66	7,72	Miranda (2005)
30,40	391,80	38,12	451,37	1,64	5,55	7,33	Miranda (2005)
29,56	375,82	37,56	442,73	1,59	5,44	7,03	Miranda (2005)
26,23	331,15	35,19	414,84	1,64	5,55	6,19	Miranda (2005)
42,46	649,23	37,32	488,28	2,64	7,64	12,14	Miranda (2005)
45,86	727,98	41,35	603,38	3,03	8,33	13,62	Miranda (2005)
46,94	750,50	43,06	640,57	3,11	8,46	14,04	Miranda (2005)
37,90	568,31	40,91	598,82	2,55	7,47	10,63	Miranda (2005)
36,19	532,49	43,43	648,85	2,41	7,20	9,96	Miranda (2005)

Unidades e significado das siglas na lista de símbolos: p. vii-xv.

(cont.) Tabela 5 – Saídas (*outputs*) geradas pelo modelo a partir das informações de entrada (*inputs*)

ELt fornecida	PMt fornecida	ELt exigida	PMt exigida	MRF	MRFmax	BNAR	Referência
41,01	637,83	37,80	557,03	2,89	8,09	11,93	Miranda (2005)
31,49	414,91	35,95	412,25	1,73	5,77	7,76	Miranda (2005)
29,46	380,20	36,17	434,97	1,67	5,62	7,11	Miranda (2005)
29,14	383,34	33,61	411,36	1,78	5,87	7,17	Miranda (2005)
27,23	345,59	34,40	383,62	1,64	5,55	6,46	Miranda (2005)
25,03	308,36	31,56	349,10	1,56	5,36	5,77	Miranda (2005)
26,20	328,56	35,96	422,85	1,61	5,48	6,15	Miranda (2005)
55,93	876,23	39,35	519,32	2,80	7,92	16,59	Miranda (2005)
54,17	865,94	36,81	534,77	3,12	8,47	16,39	Miranda (2005)
52,64	817,16	48,57	721,23	2,68	7,70	15,39	Miranda (2005)
50,99	785,58	45,77	655,88	2,58	7,52	14,75	Miranda (2005)
54,32	853,79	49,80	770,68	2,85	8,01	16,14	Miranda (2005)
47,66	728,65	44,73	658,72	2,52	7,41	13,63	Miranda (2005)
45,66	699,05	37,85	537,14	2,58	7,52	13,07	Miranda (2005)
41,31	600,36	45,34	674,66	2,17	6,72	11,23	Miranda (2005)
39,76	548,13	37,83	430,59	1,82	5,98	10,25	Miranda (2005)
33,33	434,63	34,10	390,11	1,64	5,55	8,13	Miranda (2005)
35,11	474,32	33,01	376,81	1,79	5,91	8,87	Miranda (2005)
31,40	403,62	29,50	300,00	1,60	5,47	7,55	Miranda (2005)
33,29	439,36	36,11	458,27	1,70	5,70	8,22	Miranda (2005)
34,66	472,39	36,73	493,26	1,86	6,05	8,84	Miranda (2005)
32,82	419,08	40,81	532,88	1,54	5,33	7,84	Miranda (2005)
30,50	396,66	29,89	346,44	1,68	5,66	7,42	Miranda (2005)
49,96	667,30	46,00	702,62	2,67	7,72	-37,67	Obeid (2005)
54,42	794,47	52,78	809,35	2,76	7,90	-16,96	Obeid (2005)
53,28	850,42	52,44	792,82	2,67	7,76	7,25	Obeid (2005)
55,54	916,43	52,32	784,21	2,76	7,92	33,72	Obeid (2005)
49,31	805,15	30,63	561,26	18,50	13,36	25,38	Resende (1999)
47,14	755,90	29,55	508,86	17,06	12,89	23,83	Resende (1999)
53,57	882,90	32,63	641,48	18,72	13,43	27,83	Resende (1999)
54,71	914,00	34,08	654,84	20,16	13,84	28,81	Resende (1999)
49,41	803,42	28,19	486,60	18,03	13,21	25,33	Resende (1999)
49,51	844,37	31,56	599,19	15,74	12,59	16,76	Resende (1999)
45,83	763,51	28,73	484,79	13,72	11,78	15,06	Resende (1999)
57,57	980,97	37,37	740,44	15,55	12,52	19,67	Resende (1999)
59,06	1005,57	37,99	738,75	15,44	12,48	20,19	Resende (1999)
53,33	908,85	33,48	612,36	15,63	12,55	18,13	Resende (1999)
55,12	950,07	35,26	663,14	12,91	11,68	11,74	Resende (1999)
55,66	947,44	34,84	661,09	11,84	11,17	11,71	Resende (1999)
48,69	820,32	33,51	589,07	11,10	10,79	10,04	Resende (1999)
58,97	1010,56	36,24	698,59	12,38	11,43	12,54	Resende (1999)
56,03	949,19	39,55	765,16	11,47	10,98	11,73	Resende (1999)
60,25	1055,23	39,10	795,69	9,48	10,29	11,79	Resende (1999)
58,13	1010,85	38,86	774,22	9,01	10,00	11,27	Resende (1999)
58,26	1014,55	36,15	701,88	9,10	10,06	11,31	Resende (1999)
74,67	1324,25	45,50	897,69	10,36	10,80	14,95	Resende (1999)
63,16	1112,54	39,73	814,81	9,89	10,54	12,46	Resende (1999)
44,75	746,02	32,45	488,14	4,17	6,77	3,80	Resende (1999)
58,28	997,31	44,56	812,53	4,90	7,52	5,18	Resende (1999)
61,96	1060,61	43,50	741,52	4,90	7,52	5,53	Resende (1999)
57,64	1000,19	39,73	763,33	5,39	7,99	5,20	Resende (1999)
34,38	444,66	28,15	551,02	4,92	10,28	20,17	Arrigoni (1995)
30,38	481,58	25,84	434,77	1,03	4,97	-1,53	Arrigoni (1995)
30,52	487,31	25,35	435,47	1,07	5,09	-1,61	Arrigoni (1995)
57,92	925,48	41,20	807,91	5,20	11,02	4,77	Faturi (2005)
58,07	925,77	44,40	864,06	3,86	9,80	-6,39	Faturi (2005)
55,27	880,74	44,07	895,58	4,64	10,72	-13,07	Faturi (2005)
45,62	703,40	36,57	667,40	2,66	8,48	-24,69	Faturi (2005)
48,62	797,99	41,69	780,81	1,19	5,42	4,73	Henrique (2002)
48,80	812,98	43,62	831,44	1,30	6,18	-1,64	Henrique (2002)
48,06	800,95	42,52	810,18	1,36	6,58	-2,19	Henrique (2002)
45,31	752,78	43,28	826,42	1,33	6,68	-0,81	Henrique (2002)
53,00	774,36	50,75	806,19	4,06	9,96	38,06	Leão (2002)
48,25	710,74	45,96	731,37	3,86	9,67	28,86	Leão (2002)
49,14	735,54	48,65	740,08	3,63	9,31	23,51	Leão (2002)
47,46	733,80	52,00	835,33	3,68	9,38	16,01	Leão (2002)
49,23	787,42	46,10	794,73	4,30	10,26	12,32	Leão (2002)
52,71	756,16	42,22	592,52	3,70	9,43	37,17	Leão (2002)
47,61	685,54	41,31	587,02	3,48	9,09	27,84	Leão (2002)
48,73	714,19	44,33	610,92	3,29	8,79	22,83	Leão (2002)
47,08	708,53	45,77	649,54	3,26	8,72	15,45	Leão (2002)

Unidades e significado das siglas na lista de símbolos: p. vii-xv.

(cont.) Tabela 5 – Saídas (*outputs*) geradas pelo modelo a partir das informações de entrada (*inputs*)

ELt fornecida	PMT fornecida	ELt exigida	PMT exigida	MRF	MRFmax	BNAR	Referência
49,92	786,63	44,52	705,81	3,95	9,78	12,31	Leão (2002)
52,12	735,48	45,09	610,17	3,42	9,01	36,15	Leão (2002)
48,12	683,86	47,80	670,37	3,26	8,74	27,77	Leão (2002)
48,08	691,97	38,28	473,00	3,05	8,39	22,12	Leão (2002)
48,99	736,42	48,62	672,16	3,18	8,61	16,06	Leão (2002)
49,82	771,70	47,51	710,78	3,60	9,26	12,05	Leão (2002)
49,16	701,56	54,77	870,02	3,72	9,46	34,48	Leão (2002)
51,54	767,87	53,79	869,83	3,98	9,83	31,18	Leão (2002)
51,95	801,32	50,71	831,09	4,12	10,02	25,61	Leão (2002)
52,03	824,18	51,84	861,56	4,15	10,06	18,12	Leão (2002)
48,20	750,48	52,09	828,65	3,69	9,40	11,69	Leão (2002)
49,26	689,15	43,51	595,93	3,37	8,93	33,87	Leão (2002)
51,88	759,47	44,45	633,75	3,62	9,32	30,84	Leão (2002)
52,07	787,65	44,24	646,67	3,72	9,45	25,18	Leão (2002)
52,22	812,29	49,24	747,03	3,75	9,49	17,83	Leão (2002)
52,63	711,19	65,93	659,87	1,97	6,33	11,01	Leão (2002)
48,29	662,67	37,47	456,20	3,11	8,50	32,57	Leão (2002)
50,91	732,58	36,97	469,73	3,36	8,91	29,75	Leão (2002)
50,84	752,63	41,79	563,52	3,38	8,94	24,06	Leão (2002)
51,40	788,51	41,17	568,12	3,48	9,08	17,26	Leão (2002)
45,71	678,18	36,89	447,45	2,90	8,13	10,45	Leão (2002)
47,60	665,16	48,50	710,88	3,40	8,98	32,69	Leão (2002)
51,10	758,63	52,62	842,15	3,92	9,75	30,81	Leão (2002)
52,46	785,09	52,69	764,67	3,52	9,14	25,09	Leão (2002)
51,53	805,95	58,10	937,58	3,86	9,65	17,68	Leão (2002)
51,32	801,56	56,48	890,50	3,77	9,52	12,56	Leão (2002)
48,06	664,33	35,93	443,95	3,22	8,69	32,65	Leão (2002)
52,09	762,83	47,88	695,06	3,63	9,32	30,98	Leão (2002)
45,12	644,13	41,05	540,82	3,04	8,36	20,59	Leão (2002)
50,52	772,65	41,66	574,53	3,42	8,99	16,88	Leão (2002)
52,94	815,71	54,04	786,31	3,51	9,12	12,81	Leão (2002)
47,14	643,65	40,97	521,96	3,07	8,44	31,64	Leão (2002)
53,45	777,95	45,21	615,38	3,48	9,09	31,59	Leão (2002)
45,84	650,97	39,59	495,24	2,95	8,21	20,81	Leão (2002)
49,50	741,65	47,31	635,38	3,12	8,50	16,18	Leão (2002)
51,71	779,56	47,69	628,91	3,14	8,54	12,19	Leão (2002)
47,49	665,16	53,13	808,56	3,44	9,04	32,69	Leão (2002)
52,55	758,63	52,24	728,03	3,37	8,92	30,81	Leão (2002)
52,57	785,09	56,47	824,04	3,48	9,09	25,09	Leão (2002)
52,45	805,95	55,05	810,04	3,51	9,13	17,68	Leão (2002)
50,75	801,56	47,24	759,56	4,01	9,86	12,56	Leão (2002)
48,64	664,33	39,58	480,91	3,04	8,38	32,65	Leão (2002)
53,17	762,83	48,81	645,90	3,26	8,74	30,98	Leão (2002)
44,78	644,13	46,40	662,05	3,15	8,55	20,59	Leão (2002)
51,82	772,65	44,03	549,79	3,02	8,33	16,88	Leão (2002)
52,68	815,71	44,81	641,95	3,60	9,27	12,81	Leão (2002)
47,55	643,65	38,19	451,19	2,95	8,22	31,64	Leão (2002)
54,89	777,95	47,58	580,76	3,04	8,37	31,59	Leão (2002)
45,55	650,97	37,43	470,97	3,03	8,36	20,81	Leão (2002)
50,19	741,65	44,54	553,26	2,93	8,17	16,18	Leão (2002)
52,09	779,56	43,08	535,75	3,03	8,35	12,19	Leão (2002)
53,36	796,43	52,15	815,60	3,96	9,80	32,34	Leão (2002)
53,86	796,43	56,49	856,73	3,75	9,51	32,34	Leão (2002)
49,16	730,42	49,01	725,33	3,50	9,11	23,35	Leão (2002)
53,59	841,61	56,14	895,67	3,96	9,79	18,53	Leão (2002)
49,12	764,63	47,60	733,16	3,69	9,40	11,93	Leão (2002)
51,10	713,97	50,06	686,68	3,30	8,81	35,09	Leão (2002)
53,78	779,63	46,00	615,87	3,40	8,97	31,66	Leão (2002)
47,69	688,56	40,31	518,97	3,11	8,49	22,01	Leão (2002)
55,44	863,01	43,11	618,54	3,77	9,52	19,05	Leão (2002)
48,11	733,98	50,30	732,71	3,32	8,83	11,40	Leão (2002)
53,64	752,85	43,60	556,07	3,30	8,81	37,00	Leão (2002)
52,67	749,39	41,64	512,32	3,15	8,55	30,43	Leão (2002)
48,41	695,39	44,24	569,42	3,02	8,34	22,23	Leão (2002)
52,84	804,36	45,13	609,98	3,35	8,87	17,64	Leão (2002)
50,61	769,34	44,48	601,38	3,27	8,75	12,01	Leão (2002)
55,40	877,53	41,75	807,93	5,60	10,87	21,11	Mendes (2003)
53,83	843,15	39,42	782,19	6,51	11,66	26,08	Mendes (2003)
53,35	862,66	40,72	808,19	5,63	11,09	18,78	Mendes (2003)
50,60	818,16	38,14	647,15	1,64	5,96	9,03	Aferri (2003)
53,99	848,49	38,68	744,53	3,54	8,14	44,53	Aferri (2003)

Unidades e significado das siglas na lista de símbolos: p. vii-xv.

(cont.) Tabela 5 – Saídas (*outputs*) geradas pelo modelo a partir das informações de entrada (*inputs*)

ELt fornecida	PMT fornecida	ELt exigida	PMT exigida	MRF	MRFmax	BNAR	Referência
53,39	920,80	40,21	703,49	1,83	6,55	-5,45	Aferri (2003)
58,41	1022,14	47,42	736,27	3,69	9,27	45,95	Oliveira (2004)
58,22	1018,21	46,67	722,46	3,68	9,26	45,77	Oliveira (2004)
55,57	961,20	44,63	677,27	3,52	9,01	43,21	Oliveira (2004)
47,99	866,24	45,60	699,17	3,28	7,29	8,24	Pereira (2002)
45,42	812,11	45,54	696,28	4,25	7,79	10,91	Pereira (2002)
43,03	758,47	43,60	666,86	5,19	8,29	12,35	Pereira (2002)
30,88	417,65	29,48	501,42	3,77	8,84	8,25	Putrino (2002)
36,43	552,27	35,73	607,22	3,03	7,99	9,15	Putrino (2002)
39,33	645,42	35,93	591,58	2,12	6,77	9,23	Putrino (2002)
37,21	634,22	31,95	540,48	1,12	5,18	12,61	Putrino (2002)
22,16	265,11	25,38	364,73	2,95	7,58	5,24	Putrino (2002)
25,59	356,64	29,58	453,73	2,54	7,14	5,91	Putrino (2002)
24,29	349,51	30,86	463,04	1,52	5,40	5,00	Putrino (2002)
22,80	329,72	28,75	405,99	0,70	3,68	6,56	Putrino (2002)

Unidades e significado das siglas na lista de símbolos: p. vii-xv.