

PREDIÇÃO DO VALOR ENERGÉTICO DE DIETAS PARA BOVINOS A PARTIR DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS ALIMENTOS

Edenio Detmann¹, Sebastião de Campos Valadares Filho², Mário Fonseca Paulino³

¹ Zootecnista, D.Sc., Professor Adjunto, Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 36571-000, Pesquisador do CNPq e do INCT-Ciência Animal (detmann@ufv.br)

² Zootecnista, D.Sc., Professor Titular, Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, Brasil, 36571-000, Pesquisador do CNPq e do INCT-Ciência Animal (scvfilho@ufv.br)

³ Eng^o. Agrônomo, D.Sc., Professor Associado, Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 36571-000, Pesquisador do CNPq e do INCT-Ciência Animal (mpaulino@ufv.br).

INTRODUÇÃO

A obtenção de estimativas dos coeficientes de digestibilidade constitui aspecto básico para se quantificar o valor energético dos alimentos ou dietas, notadamente via nutrientes digestíveis totais (NDT), permitindo o balanceamento adequado de dietas que propiciem o atendimento das demandas de manutenção e de produção dos animais.

No entanto, mesmo constituindo parâmetro digestivo estático, ou seja, podendo ser representado por uma estimativa pontual, o acesso à estimativa do coeficiente de digestibilidade de um alimento ou de seus respectivos componentes químicos constitui processo oneroso e com elevada demanda por tempo quando realizado pelos métodos clássicos *in vivo* (Detmann et al., 2006a).

Em primeira instância, em muito locais do mundo, incluindo-se o Brasil, esforços foram direcionados à compilação de dados de forma a se construírem tabelas que procurassem servir de alternativa a técnicos e produtores no tocante à composição de alimentos, incluindo-se os teores energéticos dos mesmos. Tais intentos calcavam-se no fato de que amostras de grandes dimensões tenderiam a apontar com maior precisão e exatidão a média populacional das características dos alimentos (efeito conhecido como “lei dos grandes números”), o que, em tese, ampliaria a acurácia de rações calculadas com base nos valores tabelados (Detmann et al., 2008a).

Contudo, embora os valores energéticos tabelados dos alimentos tendam a serem confiáveis do ponto de vista estatístico, os alimentos utilizados em diferentes sistemas de produção constituem informações pontuais, ou seja, pertencem a uma distribuição, muitas vezes normal, mas com afastamentos variados da média populacional. Assim, rações calculadas com base em médias tenderão a fornecer produções desviadas do inicialmente planejado em intensidade similar ao desvio das características do alimento utilizado em relação à média populacional (Detmann et al., 2008a).

Este quadro se mostra particularmente intenso nos trópicos, principalmente com alimentos volumosos, uma vez que as características dos alimentos produzidos refletem de forma mais marcante em comparação a regiões não-tropicais as oscilações climáticas e edáficas (temperatura, precipitação, radiação solar, fertilidade do solo, etc).

Estes aspectos de influência pontual sobre o conteúdo energético dos alimentos demandaram esforços para que a dependência de valores médios oriundos de tabelas de composição pudesse ser amenizada. Embora trabalhos com grande contribuição nesse contexto tenham sido desenvolvidos há algumas décadas (e.g. Conrad et al., 1984; Weiss et al., 1992), destaca-se como marco principal a 7ª edição das tabelas americanas para bovinos de leite (NRC, 2001), nas quais dados tabelados de conteúdo energético dos alimentos foram abolidos em detrimento de alternativa para se tentar estimar o conteúdo energético de alimentos sob a filosofia “cada caso é um caso”. Desta forma, evitar-se-iam desvios entre as características de produção previstas no balanceamento da ração e aquelas efetivamente obtidas no campo (Detmann et al., 2008a).

A base do sistema de predição do conteúdo energético dos alimentos ofertados a bovinos adotado pelo NRC (2001) reside na influência da composição química sobre a capacidade de fornecimento de energia. O método se baseia em sistema de equações somativas (ou aditivas), no qual, para cada grupo de compostos químicos com potencial de contribuição energética (PB, proteína bruta; EE, extrato etéreo; CNF, carboidratos não-fibrosos; e FDN, fibra em detergente neutro), destina-se uma equação responsável pela obtenção de estimativas das frações verdadeiramente digestíveis, com posteriores correções no tocante a perdas metabólicas fecais e nível de consumo.

Contudo, embora empregando as características dos alimentos efetivamente utilizados nos sistemas de produção (ou seja, análises laboratoriais e não médias populacionais) e apresentando embasamento teórico (Conrad et al., 1984; Weiss et al., 1992), o sistema adotado pelo NRC (2001) não tem apresentado eficiência de predição satisfatória quando aplicado a alimentos obtidos em condições tropicais (Rocha Jr. et al., 2003; Detmann et al., 2008b; Azevêdo, 2009; Magalhães et al., 2010), o que compromete sua aplicação efetiva.

Recentemente, sub-modelos destinados à predição das frações digestíveis da PB, EE, CNF e FDN foram desenvolvidos e validados em condições tropicais (Detmann et al., 2004a; 2006a; 2006b; 2006c; 2007; 2008b; 2008c; 2010). A avaliação unificada destes sub-modelos, constituindo um novo sistema somativo, mostrou-se capaz de predizer com acurácia o teor de NDT (Detmann et al., 2008b; Azevêdo, 2009; Magalhães et al., 2010), gerando alternativa à aplicação do modelo adotado pelo NRC (2001) para alimentos ou dietas ofertados a bovinos nos trópicos.

DESCRIÇÃO DO NOVO MODELO

Sub-modelos para EE e CNF

O desenvolvimento dos sub-modelos aplicados aos componentes não-fibrosos EE e CNF foi baseado no teste de Lucas (Lucas & Smart, 1959), para a obtenção dos coeficientes de digestibilidade verdadeiros, e nos pressupostos do sistema fatorial (Blaxter & Mitchell, 1948; Lucas, 1960), para distinção entre as frações fecais metabólica e verdadeiramente não-digerida.

Sob tais pressupostos, pode-se resumir a massa fecal aparentemente não-digerida dos diferentes componentes não-fibrosos (EE ou CNF), por:

$$F = I + M + E \quad (1);$$

em que: F, massa fecal (g/dia); I, fração verdadeiramente não-digerida (g/dia); M, fração metabólica fecal (g/dia); e E, fração endógena fecal (g/dia).

Neste contexto, define-se como fração metabólica a porção fecal oriunda de secreções do trato digestivo (Lucas, 1960), acrescida de debrís microbianos (Van Soest, 1994). Por outro lado, a fração endógena fecal corresponde à porção fecal oriunda da secreção de “restos” metabólicos pelas células do trato gastrointestinal (Lucas, 1960).

A partir de tais definições, pode-se relacionar a identidade exposta em (1) ao consumo diário, fazendo-se:

$$C - F = C - (I + M + E) \quad (2a);$$

$$C - F = C - I - M - E \quad (2b);$$

$$\frac{C - F}{C} = \frac{C - I - M - E}{C} \quad (2c);$$

$$D_a = 1 - \frac{I}{C} - \frac{M}{C} - \frac{E}{C} \quad (2d);$$

em que: C, consumo (g/dia); D_a , coeficiente de digestibilidade aparente (g/g).

A fração fecal endógena pode ser representada por uma função matemática proporcional à massa metabólica do animal (Blaxter & Mitchell, 1948; Lucas, 1960), dada por:

$$\frac{E}{C} = \frac{\varepsilon \times P^{\frac{3}{4}}}{C} = \frac{\varepsilon}{C} \times P^{\frac{3}{4}} \quad (3);$$

em que: P, massa do animal (g); e ε , constante relacionada à liberação endógena no trato gastrointestinal por unidade de massa metabólica ($\text{g/g} \times \text{dia}^{-1}$).

A razão (ε/C) somente poderá ser considerada significativa se, e somente se, o consumo assumir valores extremamente pequenos (Lucas, 1960), possivelmente em níveis de alimentação abaixo da manutenção. Assim, em condições de manutenção ou produção, tem-se:

$$\lim_{C \rightarrow C^{\circ}} \frac{\varepsilon}{C} \times P^{\frac{3}{4}} = 0 \quad (4);$$

em que: C° , consumo sob condições de alimentação em manutenção ou produção (g/dia).

Desta forma, reescreve-se a equação (2d), como:

$$D_a = \left(1 - \frac{I}{C}\right) - \frac{M}{C} \quad (5a);$$

$$D_a = D_v - \frac{M}{C} \quad (5b);$$

em que: D_v = coeficiente de digestibilidade verdadeiro (g/g).

Multiplicando-se ambos os termos da equação (5b) pelo consumo, faz-se:

$$C \times D_a = (C \times D_v) - M \quad (6).$$

Derivando-se (6) em função do consumo, obtém-se:

$$\frac{d(C \times D_a)}{dC} = \frac{d(C \times D_v)}{dC} - \frac{dM}{dC} \therefore D_a = D_v - \frac{dM}{dC} \quad (7).$$

Desta forma, o coeficiente de digestibilidade aparente (Equação 7) pode ser representado por dois diferentes componentes: o primeiro, que representa o coeficiente de digestibilidade verdadeiro constante; e o segundo, que representa a fração metabólica fecal diferenciada em função do consumo.

Convertendo-se a equação (7) com base no conteúdo dietético, faz-se:

$$R \times D_a = (R \times D_v) - \left(R \times \frac{dM}{dC}\right) \quad (8a);$$

$$R_{ad} = R_{vd} - MC \quad (8b);$$

em que: R, conteúdo dietético (% da MS); MC, contribuição metabólica fecal, expressa como conteúdo dietético (% da MS); R_{ad} , fração dietética aparentemente digestível (% da MS); e R_{vd} , = fração dietética verdadeiramente digestível (% da MS).

Dois conjuntos de dados, construídos a partir de experimentos conduzidos com vacas em lactação ou bovinos em crescimento e terminação em condições tropicais, foram empregados para estimação dos parâmetros descritos na equação (8b) para os componentes EE (n = 108) e CNF (n = 84) (Detmann et al., 2006a; 2006c).

Para todos os componentes avaliados verificou-se similaridade entre categorias animais (vacas em lactação ou bovinos em crescimento e terminação) no tocante ao coeficiente de digestibilidade verdadeiro. Por outro lado, a contribuição metabólica fecal mostrou-se diferenciada entre categorias animais (Detmann et al., 2006a; 2006c), o que agrega perfeitamente aos pressupostos relatados por Lucas & Smart (1959) e àqueles representados na Equação (8).

Os sub-modelos para estimação das frações verdadeiramente digestíveis são:

$$EE_{vd} = 0,86 \times EE \quad (9);$$

$$CNF_{vd} = 0,95 \times CNF \quad (10);$$

em que: EE_{vd} , EE verdadeiramente digestível (% da MS); EE, conteúdo dietético de EE (% da MS); CNF_{vd} , CNF verdadeiramente digestíveis (% da MS); CNF, conteúdo dietético de CNF (% da MS).

Não havendo diferenças entre categorias animais no tocante ao coeficiente de digestibilidade verdadeiro, as equações (9) e (10) são aplicadas de forma similar a vacas em lactação e animais em crescimento e terminação. Assim, a diferenciação entre estas se dá exclusivamente pela fração aparentemente digestível, ou seja, pela contribuição metabólica fecal, empregando-se as estimativas expressas na Tabela 1.

Tabela 1 - Contribuição metabólica fecal do extrato etéreo (EE), dos carboidratos não-fibrosos (CNF) e da proteína bruta (PB) em função da categoria animal e nível de alimentação (% da MS)

Componente	Categoria Animal			
	Vacas em Lactação		Bovinos em Crescimento e Terminação	
	Mantença ²	Produção	Mantença ²	Produção
EE	0,10	0,21	0,09	0,18
CNF	4,05	5,72	3,35	5,11
PB	0,43	0,97	1,17	1,61
FM _{NDT} ¹	4,71	7,16	4,72	7,13

¹ FM_{NDT} = PB + CNF + 2,25×EE. ² Para o caso de condições de manutenção são consideradas vacas não-lactantes sem variação de peso e bovinos das demais categorias em manutenção (variação de peso nula).

A partir de relações entre o aproveitamento dietético entre animais alimentados de forma restrita (manutenção) ou irrestrita (produção) (Costa et al., 2005), frações metabólicas fecais diferenciadas foram estimadas para condições de manutenção, uma vez que o nível de alimentação não afeta o coeficiente de digestibilidade verdadeiro de componentes não-fibrosos (Lucas & Smart, 1959; Detmann et al., 2006a; 2006c) (Tabela 1).

Procedimentos individuais de validação foram previamente conduzidos sobre as frações aparentemente digestíveis de EE e CNF a partir de bancos de dados independentes daqueles utilizados na construção dos sub-modelos (Detmann et al., 2006a; 2006c; 2008b; Magalhães et al., 2010). Estas avaliações demonstraram que os novos sub-modelos foram mais acurados e precisos que aqueles inicialmente adotados pelo NRC (2001).

Sub-modelo para FDN

Em termos biológicos, o sub-modelo desenvolvido para a estimação da fração digestível da FDN se baseou no fracionamento deste componente em suas frações potencialmente digestível e indigestível, segundo a equação:

$$FDN_d = D \times FDN_{pd} \quad (11a);$$

$$FDN_d = D \times (FDN - FDN_i) \quad (11b);$$

em que: FDN_d, FDN digestível (% da MS); FDN_{pd}, FDN potencialmente digestível (% da MS); D, coeficiente de digestibilidade da FDN_{pd} (g/g); e FDN_i, FDN indigestível (% da MS).

As frações potencialmente digestível (FDN_{pd}) e indigestível (FDN_i) da FDN constituem conceitos biológicos assintóticos, cuja avaliação pontual acurada somente é obtida por intermédio de ensaios biológicos de longa duração (incubações ruminais

em tempos iguais ou superiores a 240 horas) (Casali et al., 2008), inviabilizando a obtenção de estimativas de forma rápida e restringindo as avaliações em função da disponibilidade de animais fistulados.

Desta forma, aproximação química foi adotada, na qual o sub-modelo para predição da fração digestível da FDN foi construído com base em relação não-linear exponencial entre a lignina e a FDNi, em adaptação aos pressupostos da Lei de Superfície (Conrad et al., 1984; Weiss et al., 1992), sendo o fator de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN considerado parâmetro base.

O fator de proteção à degradação ruminal relativo à lignina foi estimado a partir de associação entre os teores de FDNi e lignina em forragens tropicais (Detmann et al., 2004a; n = 114), permitindo a aproximação química da Equação (11a) por:

$$FDN_d = D \times \left\{ (FDN_{cp} - L) \times \left[1 - \left(\frac{L}{FDN_{cp}} \right)^{0,85} \right] \right\} \quad (12);$$

em que: FDN_d, FDN digestível (% da MS); FDN_{cp}, teor dietético de FDN, expresso com correções para cinzas e proteínas (% da MS); L = teor dietético de lignina (% da MS); e 0,85, fator de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN.

Os coeficientes de digestibilidade da FDN_{pd} foram estimados a partir de meta-análise estatística de seis experimentos conduzidos em condições tropicais (Detmann et al., 2007; n = 156), conforme expresso na Tabela 2.

Tabela 2 - Coeficientes de digestibilidade da fibra em detergente neutro potencialmente digestível em função da categoria animal e nível de alimentação

Nível de Alimentação	Categoria Animal	
	Vacas em Lactação	Bovinos em Crescimento e Terminação
Mantença ¹	0,71	0,88
Produção	0,67	0,84

¹ Para o caso de condições de manutenção são consideradas vacas não-lactantes sem variação de peso e bovinos das demais categorias em manutenção (variação de peso nula).

Sub-modelo para PB

Inicialmente, o sub-modelo destinado à avaliação da fração digestível da PB foi baseado nos mesmos pressupostos adotados para EE e CNF (Detmann et al., 2006b), conforme Equações (1) a (8), resultando em:

$$PB_{vd} = 0,78 \times PB \quad (13);$$

em que: PB_{vd}, PB verdadeiramente digestível (% da MS); e PB, teor dietético de PB (% da MS).

Neste caso, a conversão para fração aparentemente digestível, considerando-se as diferentes categorias animais e níveis de alimentação, é realizada pela utilização das estimativas de contribuição metabólica fecal correspondentes (Tabela 1).

Contudo, observações posteriores permitiram evidenciar que, em virtude da associação intensa e complexa dos compostos nitrogenados à fração fibrosa insolúvel em alimentos tropicais, a PB não poderia ser considerada como uma entidade nutricional homogênea (Detmann et al., 2008c).

Desta forma, um novo sub-modelo foi desenvolvido considerando-se dois diferentes sub-compartimentos para a PB (Detmann et al., 2008c), cuja aproximação química é dada por:

$$PBCC \cong PB - PIDN \quad (14a);$$

$$PBPC \cong PIDN \quad (14b);$$

em que: PBCC, PB de conteúdo celular; PBPC, PB de parede celular; e PIDN, proteína insolúvel em detergente neutro; sendo todos os termos expressos como percentagem da MS.

Segundo derivações de Detmann et al. (2008c), a PBCC apresentaria comportamento digestivo homogêneo similar aos demais componentes não-fibrosos (EE e CNF) (Equação 8b), ao passo que, por pressuposição, a utilização da PBPC seria similar àquela observada para a FDN (Equação 12). Desta forma, a fração aparentemente digestível da PB seria expressa, considerando-se as aproximações químicas representadas na Equação (14), por:

$$PB_{vd} = D_{vPBCC} \times (PBCC) + D_{PBPCpd} \times (PBPC_{pd}) \quad (15a);$$

$$PB_{vd} = D_{vPBCC} \times (PB - PIDN) + D_{PBPCpd} \times (PIDN - PIIDN) \quad (15b);$$

em que: PB_{vd} , PB verdadeiramente digestível (% da MS); D_{vPBCC} , coeficiente de digestibilidade verdadeiro da PBCC (g/g); $PBPC_{pd}$, PB de parede celular potencialmente digestível (% da MS); D_{PBPCpd} , coeficiente de digestibilidade da PBPC potencialmente digestível (g/g); e PIIDN, proteína indegradável insolúvel em detergente neutro (% da MS).

Neste caso, assume-se como estimativa para o coeficiente de digestibilidade verdadeiro da PBCC o valor 0,98 g/g (Van Soest, 1994; Detmann et al., 2006c; 2008c) e como coeficientes de digestibilidade da PBPC estimativas similares àquelas utilizadas para a porção fibrosa do alimento/dieta (Detmann et al., 2007) (Tabela 2).

O conceito analítico de PIIDN foi definido por Detmann et al. (2004b) como aproximação ao valor paramétrico da proteína indegradável da parede celular, consistindo da avaliação da PB residual do alimento após 240 horas de incubação ruminal *in situ*, seguida pelo tratamento da amostra com detergente neutro para remoção de debris microbianos.

No entanto, tal aproximação analítica pode constituir empecilho em algumas situações, em virtude da não disponibilidade de animais fistulados. Desta forma, desenvolveu-se equação alternativa para obtenção dos valores de PIIDN a partir das concentrações de proteína insolúvel em detergente ácido (PIDA) utilizando informações de alimentos produzidos em condições tropicais (Detmann et al., 2010; n = 540), a qual é dada por:

$$PIIDN = PIDN \times e^{-(0,8188+0,1676 \times PIDA)} \quad (16);$$

em que: PIDA = proteína insolúvel em detergente ácido (% da MS), sendo os demais termos como definido anteriormente (% da MS).

Para o caso de a aproximação química para PIIDN ser adotada, a equação (15b) pode ser re-escrita como:

$$PB_{vd} = 0,98 \times (PB - PIDN) + D_{vPBPC} \times \{PIDN \times [1 - e^{-(0,8188+1,1676 \times PIDA)}]\} \quad (17);$$

Deve se ressaltar que a aproximação química da PIIDN via PIDA apresenta algumas limitações em virtude da PIIDN constituir conceito biológico de alta variabilidade (Detmann et al., 2010). Assim, esta solução deve ser utilizada com cautela; sendo preferível, quando viável, a estimação da PIIDN por método de natureza biológica.

Detmann et al. (2008c) e Magalhães et al. (2010) observaram que o conceito bi-compartimental produziu estimativas mais acuradas da fração aparentemente digestível da PB em forragens tropicais em comparação ao conceito uni-compartimental. Contudo, Azevêdo (2009) verificou que a aplicação do conceito uni-compartimental propiciou estimativas mais acuradas quando foram avaliados alguns sub-produtos e resíduos agroindustriais. Assim, embora o conceito representado pela Equação (15) seja recomendado de forma geral, o

conceito inicial apresentado pela Equação (13) não deve ser plenamente descartado.

Sistema somativo para NDT

Os conteúdos dietéticos de NDT (% da MS) são obtidos pela soma algébrica das estimativas produzidas por cada sub-modelo para cada fração digestível de acordo com a categoria animal e o nível de alimentação (produção ou manutenção) a partir da equação:

$$NDT = PB_{ad} + CNF_{ad} + FDN_d + 2,25 \times EE_{ad} \quad (18a);$$

$$NDT = (PB_{vd} - CM_{PB}) + (CNF_{vd} - CM_{CNF}) + FDN_d + 2,25 \times (EE_{vd} - CM_{EE}) \quad (18b);$$

$$NDT = PB_{vd} + CNF_{vd} + FDN_d + 2,25 \times EE_{vd} - (CM_{PB} + CM_{CNF} + 2,25 \times CM_{EE}) \quad (18c);$$

$$NDT = PB_{vd} + CNF_{vd} + FDN_d + 2,25 \times EE_{vd} - FM_{NDT} \quad (18d);$$

em que: NDT, teor dietético de NDT (% da MS); PB_{ad} , CNF_{ad} , EE_{ad} , frações aparentemente digestíveis de PB, CNF e EE, respectivamente (% da MS); PB_{vd} , CNF_{vd} , EE_{vd} , frações verdadeiramente digestíveis de PB, CNF e EE, respectivamente (% da MS); FDN_d , fração digestível de FDN (% da MS); CM_{PB} , CM_{CNF} , CM_{EE} , contribuições metabólicas fecais de PB, CNF e EE, respectivamente (% da MS); FM_{NDT} , fração metabólica fecal total para o cômputo do NDT (% da MS); e 2,25, constante de Atwater para equalização entre lipídeos e carboidratos.

Recomendações de métodos de análises químicas

Os métodos químicos de análises de alimentos sugeridos para a avaliação dos teores de MS, matéria orgânica (MO), PB, EE, fibra em detergente ácido (FDA), PIDN, PIDA, FDNi, PIIDN e lignina são resumidos na Tabela 3.

Tabela 3 - Resumo de métodos sugeridos para a avaliação de alimentos, segundo o novo sistema somativo para predição dos teores dietéticos de NDT

Componente	Método	Descrição Geral	Referência
MS	Pré-Secagem	55-60°C/48-72 horas; equipamento: estufa com ventilação forçada	1
	Secagem Definitiva	a. 105°C/3 horas, p/ rações com teor de uréia superior a 10%; b. 105°C/16 horas, para os demais materiais; equipamentos: estufa não-ventilada, dessecador	1, 2
PB	Kjeldahl	Digestão em ácido sulfúrico (400°C), destilação com hidróxido de sódio, e titulação com ácido clorídrico	1
EE	Goldfish	Tempo de extração: mínimo de 3 horas; taxa de condensação do solvente: 5-6 gotas/segundo; extrator sugerido: éter de petróleo	1, 3
Cinzas	Calcinação	550-600°C/2-4 horas; equipamentos: mufla, dessecador	1, 3
Matéria Orgânica	Por diferença	MO = 100 – Cinzas	-
FDA	Sistema detergente	Teores avaliados por extrações convencionais (fibertech) ou por micro-extração em autoclave	4, 5
PIDN, PIDA	Sistema detergente	Avaliação pelo método de Kjeldahl após a extração com os respectivos detergentes	6
FDNi	Incubação <i>in situ</i>	Incubação <i>in situ</i> por 288 e 240 horas utilizando-se sacos F57 (Ankom®) ou de tecido não-tecido (TNT, 100 g/m ²), respectivamente. Massa de amostra: 20-25 mg MS/cm ² de superfície. Extrair com detergente neutro	7, 8
PIIDN	Incubação <i>in situ</i>	Avaliação da FDNi pelo método de Kjeldahl	9
Lignina	Ácido sulfúrico ou permanganato de potássio	Solubilização da celulose por hidrólise em H ₂ SO ₄ (72% p/p) ou oxidação da lignina com permanganato; ambos após tratamento prévio da amostra com detergente ácido	4

¹ Silva & Queiroz (2002). ² Thiex & Richardson (2003). ³ AOAC (1990). ⁴ Van Soest & Robertson (1985). ⁵ Pell & Schofield (1993). ⁶ Licitra et al. (1996). ⁷ Casali et al. (2008). ⁸ Valente (2010). ⁹ Detmann et al. (2004b).

Os teores de FDN devem ser estimados segundo descrições de Mertens (2002), com a utilização de α -amilase termoestável e correção para os teores de cinzas insolúveis em detergente neutro. O uso de sulfito de sódio não é recomendado. As correções quanto aos conteúdos de compostos nitrogenados da FDN devem ser procedidas a partir do teor de PIDN, segundo métodos propostos por Licitra et al. (1996).

Desta forma, se expressa o teor de FDN corrigida para cinzas e proteína por:

$$FDN_{cp} = FDN \times \frac{(100 - PIDN - CIDN)}{100} \quad (19);$$

em que: FDN_{cp}, teor de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (% da MS); FDN, teor de fibra em detergente neutro (% da MS); PIDN, teor de proteína insolúvel em detergente neutro (% da FDN); CIDN, teor de cinzas insolúveis em detergente neutro (% da FDN).

Ressalta-se que a correção para os teores de FDN deve ser realizada para que não se subestime o teor total de CNF dos alimentos ou se compute de forma duplicada a contribuição energética de parte da PB (PIDN). Por outro lado, a correção

evita a contabilização conceitual errônea de parte da matéria mineral (CIDN) como componente energético dos alimentos (Detmann et al., 2008b).

Neste contexto, os teores de CNF são obtidos pela equação (Detmann & Valadares Filho, 2010):

$$CNF = MO - [(PB - PBu + Ur) + EE + FDN_{cp}] \quad (20);$$

em que: PBu, PB oriunda da uréia (% da MS); e Ur, teor de uréia nas rações (% da MS).

DISCUSSÃO SOBRE AS CARACTERÍSTICAS DO NOVO MODELO

A principal diferença observada entre o novo sub-modelo aplicado à predição do EE aparentemente digestível e aquele adotado pelo NRC (2001) reside sobre a forma de obtenção da fração verdadeiramente digestível do EE.

Para o sub-modelo adotado pelo NRC (2001), os teores médios de EE não-graxo verificados em dietas para ruminantes seriam de aproximadamente 10 g/kg MS (Weiss et al., 1992). Esta estimativa permitiria a estimação do teor de ácidos graxos na dieta por uma simples subtração de constante, pressupondo-se, em adição, digestibilidade verdadeira de 1,0 g/g para os ácidos graxos dietéticos (Weiss et al., 1992).

No novo sub-modelo, o processo de estimação do teor de EE verdadeiramente digestível se dá por intermédio de um coeficiente multiplicativo, o qual representa o coeficiente de digestibilidade verdadeiro do EE (Equação 9).

Resultados prévios obtidos em condições tropicais permitem evidenciar elevada divergência entre valores observados e aqueles preditos pelo sub-modelo adotado pelo NRC (2001) (Rocha Jr. et al., 2003; Silva, 2004; Campos, 2004; Oliveira, 2005).

A adoção de um desconto por subtração de constante para estimação do teor de EE verdadeiramente digestível (Weiss et al., 1992; NRC, 2001) implica que toda e qualquer fonte de EE, à exceção de óleos e gorduras, apresentam fração absoluta comum de compostos não-inseríveis no metabolismo animal, a qual representaria o complemento da quantidade de ácidos graxos presentes no alimento, normalmente representado por ceras, carotenóides e outros compostos indigestíveis (Van Soest, 1994).

Contudo, a inspeção de dados apresentados na literatura (Sukhija & Palmquist, 1988; Van Soest, 1994) permite evidenciar alta variabilidade na relação entre os conteúdos de ácidos graxos e de EE não-graxo entre alimentos. Esta variabilidade poderia causar distorções sobre as estimativas de EE verdadeiramente digestível a partir de subtração de constante (Detmann et al., 2006a). Desta forma, a pressuposição de proporcionalidade entre o material verdadeiramente digestível e não-digestível levaria à certa compensação entre fontes com diferentes teores de EE, suportando maior eficiência de predição ao novo sub-modelo, o qual se baseia em fator multiplicativo (Figura 1).

Ambos os sub-modelos destinados à predição dos CNF aparentemente digestíveis são baseados sobre o teste de Lucas (Weiss et al., 1992; Detmann et al., 2006c), apresentando coeficientes de digestibilidade verdadeiros similares (Detmann et al., 2006c), indicando, assim, semelhança quanto às estimativas dos CNF verdadeiramente digestíveis (Detmann et al., 2006c; 2008b).

Desta forma, a discrepância para a eficiência de predição dos CNF aparentemente digestíveis entre o sub-modelo adotado pelo NRC (2001) e o novo sub-modelo deve ser atribuída exclusivamente sobre variações nas estimativas da fração metabólica fecal (Detmann et al., 2008b).

A fração metabólica dos CNF estabelecida por Weiss et al. (1992), e utilizada para composição da fração metabólica total pelo sistema somativo adotado pelo NRC (2001), baseou-se em dados médios de composição fecal avaliados em bovinos e ovinos em condições não-tropicais (Weiss et al., 1992).

Contudo, a dimensão da fração metabólica fecal é diretamente influenciada pelo fluxo de nutrientes ao intestino grosso terminal, que implica alterações na atividade microbiana cecal (Ørskov, 1988), e pelo nível de componentes fibrosos na dieta (Arroyo-Aguilu & Evans, 1972), condições estas notadamente divergentes entre animais alimentados em condições tropicais e não-tropicais.

Embora a divergência no tocante à fração fecal metabólica entre modelos possa ser diretamente aplicada aos sub-modelos destinados aos CNF, uma vez que estes apresentam coeficientes de digestibilidade verdadeiros similares (Detmann et al., 2006c), a maior eficiência de predição dos novos sub-modelos para PB e EE pode ser, ao menos em parte, resultado de maior acurácia das estimativas das frações metabólicas fecais (Detmann et al., 2006a; 2006b; 2008b).

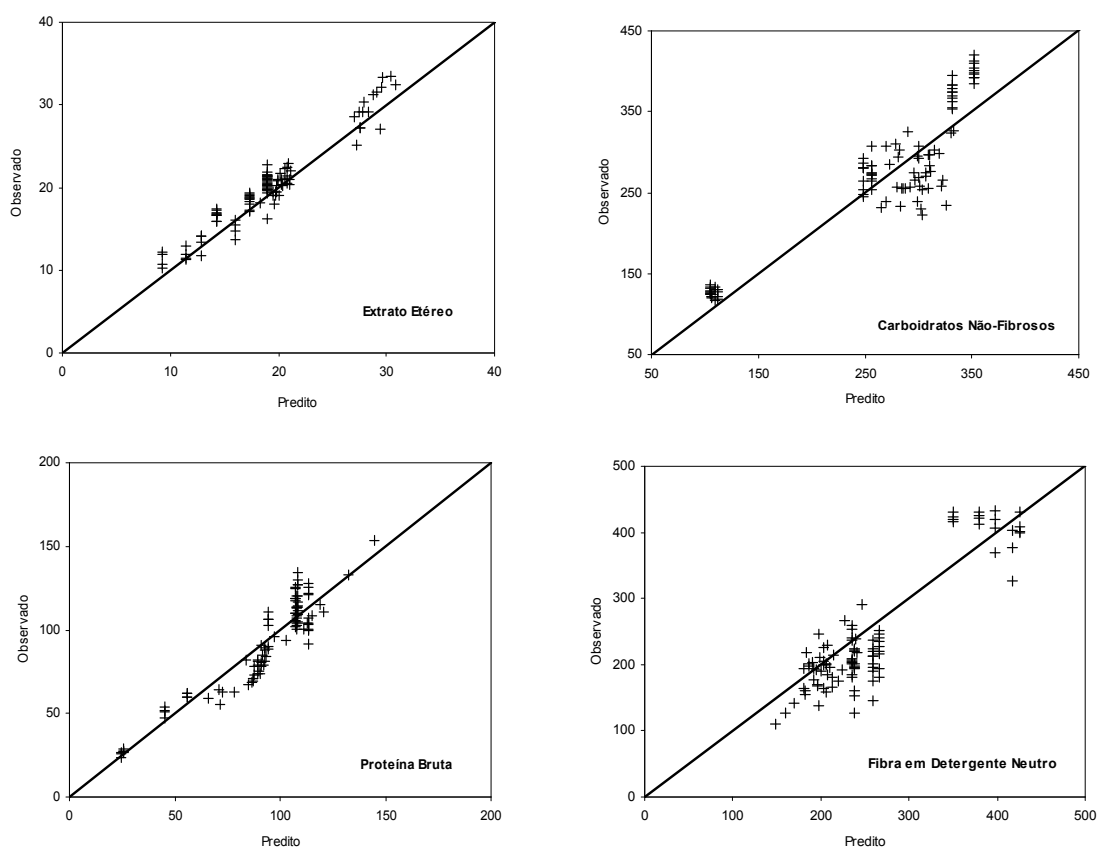


Figure 1 - Relação entre as frações aparentemente digestíveis observadas e preditas pelo novo modelo (g/kg de MS; n = 107) (a linha contínua representa a relação de igualdade) (Detmann et al., 2008b).

Por outro lado, segundo os pressupostos básicos adotados para os sub-modelos destinados aos componentes não-fibrosos de alimentos ou dietas, a fração metabólica fecal diferencia-se em função do nível de consumo animal (Tabela 1). Sob condições tropicais, as alterações no consumo verificadas para vacas em lactação ou bovinos em crescimento e terminação alimentados em nível de produção não são suficientes para causar grandes discrepâncias nas estimativas de digestibilidade aparente obtidas intra-categoria animal. Contudo, divergências entre categorias são verificadas em função da maior discrepância no consumo e de grandes diferenças nas estruturas das dietas utilizadas para cada categoria (Detmann et al., 2008c).

Ressalta-se que os sub-modelos adotados pelo NRC (2001) não contemplam diretamente correções quanto a divergências na fração metabólica fecal entre

categorias animais, o que parece contribuir, ao menos em parte, para sua menor eficiência de predição em condições tropicais (Detmann et al., 2008b; Figura 2).

Torna-se importante evidenciar o teor de NDT de um alimento/dieta constitui sistema somativo, ou seja, a estimativa do teor de energia total é constituído pela soma da energia das partes, ditada, neste caso, por seus coeficientes de digestibilidade aparente. Assim, a maior adequação das frações metabólicas de cada uma das partes individualmente (EE, PB e CNF) há de refletir diretamente sobre a exatidão e precisão do todo, mesmo que as frações metabólicas fecais totais aparentem similaridade entre categorias (Tabela 1).

A diferenciação das frações metabólicas fecais totais entre animais manejados em regiões tropicais e não-tropicais torna-se evidente pelas estimativas aqui apresentadas para animais alimentados de forma irrestrita (produção) (Tabela 1), as quais se mostram similares àquela sugerida por Weiss et al. (1992) e adotada pelo NRC (2001) para alimentação em nível de manutenção (70 g/kg ou 7%).

A predição da PB verdadeiramente digestível pelo sub-modelo adotado pelo NRC (2001) está baseada na ação da PIDA sobre a digestibilidade total da PB (Weiss et al., 1992). Este argumento deve ser considerado válido sob a pressuposição de a PIDA ser indisponível de forma constante para todos os alimentos, considerando-se apenas particularidades entre concentrados e forragens (Weiss et al., 1992).

Contudo, Henriques et al. (2007) observaram que a fração indegradável da PB não pode ser totalmente representada pela PIDA, verificando-se elevada variabilidade entre alimentos no tocante à relação entre os compostos nitrogenados associados à parede celular vegetal e a disponibilidade da PB em condições tropicais. Tais fatos parecem constituir as principais limitações do sub-modelo adotado pelo NRC (2001) nos trópicos.

O conceito teórico bi-compartimental aplicado à avaliação da PB (Equação 15) permite a diferenciação do entendimento da utilização dos compostos nitrogenados em função de sua associação ou não com a parede celular vegetal, o que, notoriamente, implica diferenciação quanto à velocidade e extensão da ação microbiana. Este entendimento se mostra particularmente válido em condições tropicais, uma vez que porções significativas dos compostos nitrogenados encontram-se associados à fração fibrosa insolúvel do alimento.

A conceituação teórica do sub-modelo aplicado à PB prevê a subdivisão por vias biológicas da PB associada à parede celular em frações potencialmente degradável e indegradável, sendo esta última representada analiticamente pelo conceito de PIIDN (Detmann et al., 2004b; 2008c; 2010). No entanto, admite-se que a avaliação laboratorial da PIIDN constitui empecilho para que a predição energética possa ser realizada com rapidez e praticidade (Detmann et al., 2008c).

A estimação da PIIDN a partir da PIDA foi proposta com alternativa para se agilizar o processo de predição (Detmann et al., 2008c). Contudo, ressalvas ainda devem ser mantidas, pois a relação entre PIIDN (conceito analítico biológico) e PIDA (conceito analítico químico) não apresenta alta precisão devido à elevada variabilidade biológica da disponibilidade dos compostos nitrogenados associados à fibra (Detmann et al., 2010). Neste contexto, a utilização da PIDA como elemento preditor deve ser entendida apenas como aproximação química, sem que nenhum fundamento biológico seja destinado à sua ação sobre a digestibilidade dos compostos nitrogenados.

Embora a estrutura matemática de ambos sub-modelos aplicados à predição da fração digestível da FDN sejam similares, diferenças marcantes nas estimativas dos parâmetros são verificadas.

O fator de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN adotado pelo NRC (2001) apresenta fundamentação teórica sobre a Lei de Superfície (Conrad et al., 1984). De acordo com este princípio geométrico, a superfície de um sólido é

proporcional à sua massa elevada à potência 0,667 (ou 2/3). Desta forma, pressupõe-se que o espaço de superfície digestível é determinado pelo fato de os tecidos não-lignificados e a lignina estarem localizados fisicamente superfície a superfície na parede celular vegetal. Assim, a porção da FDN indisponível aos microrganismos é proporcional à área superficial da massa de lignina e inversamente proporcional à área superficial da massa de FDN (Detmann et al., 2004a).

Contudo, a ação refratária à digestão da lignina determinada diretamente pela Lei de Superfície não corresponde à relação entre lignina e FDNi em condições tropicais (Detmann et al., 2004a). No entanto, segundo Detmann et al. (2004a), embora o expoente 0,667 não permita expressar com acurácia a fração FDNi a partir dos teores de lignina em condições tropicais, a relação entre estas variáveis assumiria forma similar à estrutura não-linear sugerida pela Lei de Superfície, o que possibilitou o ajustamento empírico do expoente desta função ao valor 0,85 (Equação 12).

A correção empírica do fator de proteção evidenciou que a proteção causada pela lignina na parede celular de alimentos tropicais é menos intensa que aquela inicialmente proposta pela adoção da Lei de Superfície (Detmann et al., 2004a).

Contrariamente ao sub-modelo adotado pelo NRC (2001), o novo sub-modelo contempla diferenças entre categorias animais com relação ao coeficiente de digestibilidade da fração potencialmente digestível da FDN (Tabela 2). A maior digestibilidade obtida em animais em crescimento e terminação em comparação a vacas em lactação parece ser suportada pelos maiores consumos e níveis de concentrado na dieta verificados normalmente para vacas em lactação. Maior consumo implica diretamente maior taxa de passagem, reduzindo o tempo de exposição à degradação microbiana e, conseqüentemente, a digestibilidade total. Por outro lado, a elevação do nível de concentrado na dieta implica menores valores de pH ruminal e alterações na competição por nutrientes e na prioridade de utilização de substratos pelos microrganismos do rúmen, causando redução na degradação dos componentes fibrosos (Mould et al, 1983; Arroquy et al., 2005).

Mesmo verificando-se divergência entre categorias, as estimativas do coeficiente de digestibilidade da FDN potencialmente digestível aplicadas no novo sub-modelo em condições de manutenção divergem daquelas utilizadas no sub-modelo adotado pelo NRC (2001) (Detmann et al., 2007; 2008b).

Os alimentos produzidos em condições tropicais podem apresentar dinâmicas de degradação e trânsito ruminal distintas daqueles produzidos em condições não-tropicais. Neste contexto, a pressuposição de modelos assintóticos de primeira ordem utilizada por Weiss et al. (1992) para derivação do coeficiente de digestibilidade da FDN potencialmente digestível, pode não constituir melhor alternativa em condições tropicais (Detmann et al., 2009).

O coeficiente de digestibilidade da FDN potencialmente digestível resulta da integração entre as dinâmicas de degradação e trânsito no trato gastrointestinal dos ruminantes. Desta forma, a obtenção de estimativas pontuais *in vivo* permite, de forma direta, a consideração de diferenças entre alimentos no tocante à forma como tais processos ocorrem. Assim, sendo as estimativas adotadas para o novo sub-modelo obtidas *in vivo* (Detmann et al., 2007), espera-se que os processos acima citados estejam convenientemente integrados, tornando-as mais verossímeis, ao menos em condições tropicais, em comparação a valores produzidos a partir de pressupostos dinâmicos.

No entanto, refinamentos futuros podem ser obtidos sobre os coeficientes de digestibilidade expressos na Tabela 2, uma vez que o conjunto de dados utilizados inicialmente para sua estimação mostra-se relativamente limitado ($n = 156$). Maior acurácia poderá ser obtida incorporando-se maior número de dados oriundos de sistemas de produção diferentes.

Embora a correção empírica adotada sobre o fator de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN amplie a acurácia da relação entre os teores de lignina e FDNi (Detmann et al., 2004a), limitações ainda são verificadas no tocante à precisão do novo-submodelo (Detmann et al., 2007; 2008b; Azevêdo, 2009).

Estudos conduzidos em condições tropicais indicam correlações fracas a moderadas entre os teores de lignina e de FDNi (Detmann et al., 2007). Isto implica no fato de estimativas gravimétricas do teor de lignina do alimento não permitirem prever com grande precisão a dimensão da fração potencialmente digestível (ou indigestível) da FDN. Efeitos ambientais diversos exercem influências marcantes na estrutura química e no arranjo espacial do complexo lignina na parede celular vegetal (Van Soest, 1994). Desta forma, uma simples estimativa gravimétrica não permitiria estimar precisamente a verdadeira ação inibitória da lignina sobre a FDN.

Para que tal quadro possa ser contornado, a obtenção de estimativas da fração potencialmente digestível da FDN poderia ser realizada por intermédio de métodos biológicos (e.g.: via procedimentos *in situ*) (Detmann et al., 2007), os quais poderiam ser incorporados à rotina dos laboratórios de análises de alimentos, ampliando a eficiência do processo de predição.

Contudo, a despeito das limitações ainda verificadas para o sub-modelo associado à FDN, a implementação do novo sistema somativo permite a obtenção de estimativas acuradas dos teores dietéticos de NDT em condições tropicais, quadro não verificado com a aplicação do sistema somativo adotado pelo NRC (2001) (Detmann et al., 2008b; Azevêdo, 2009; Magalhães et al., 2010) (Figura 2).

Em suma, os novos sub-modelos apresentados propiciam a obtenção de estimativas acuradas das frações digestíveis de EE, PB, CNF e FDN. Desta forma, o sistema somativo produzido a partir dos novos sub-modelos constitui alternativa ao modelo adotado pelo NRC (2001) para estimação dos teores de NDT em dietas ofertadas a bovinos em condições tropicais.

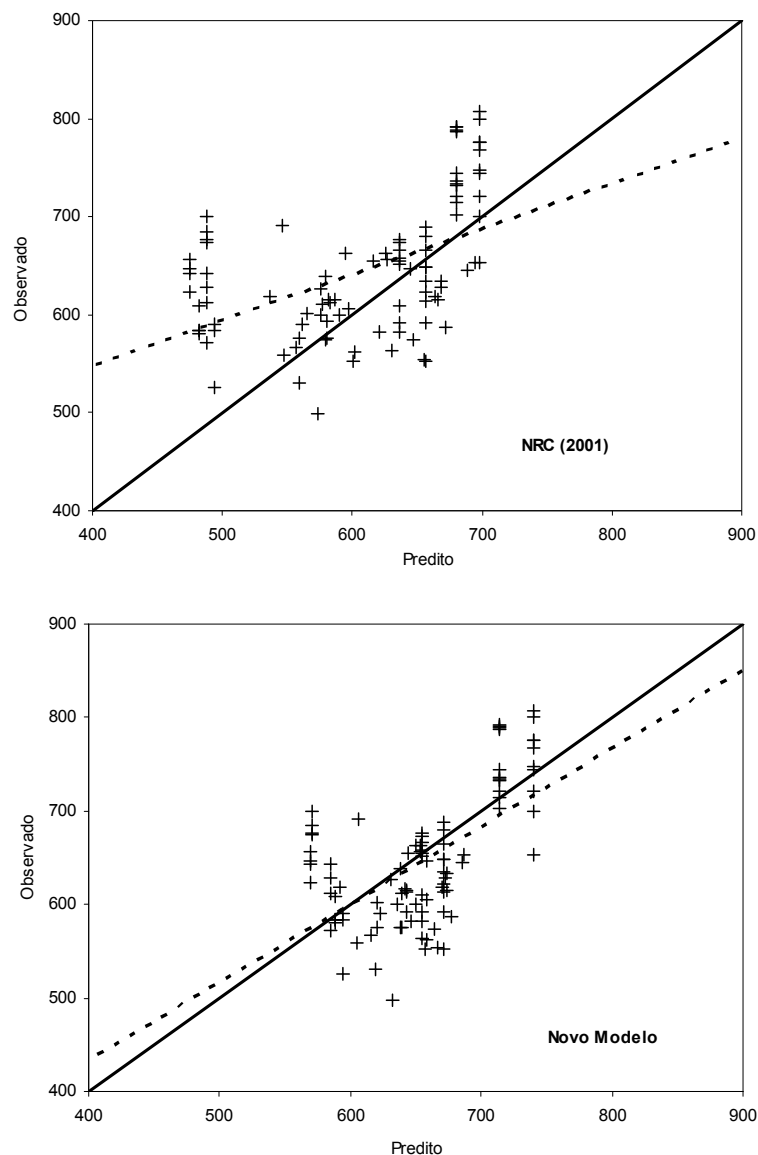


Figura 2 - Relação entre os teores de NDT (g/kg de MS) observados e preditos pelo sistema somativo NRC (2001) e pelo novo sistema somativo (a linha sólida representa a relação de igualdade; a linha tracejada representa a relação de quadrados mínimos; n = 107) (Detmann et al., 2008b).

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Situação Produtiva – Vacas em Lactação

Dieta: relação volumoso:concentrado 60:40, com base na matéria seca.

Volumoso: silagem de milho.

Concentrado: mistura de milho grão (67,74% da MS), farelo de soja (28,76% da MS), uréia:sulfato de amônia (U:SA; 9:1) (1,5% da MS) e mistura mineral (MM; 2,0% da MS).

Tabela 4 - Composição química dos alimentos e da dieta total (% da MS)

Item ¹	Silagem ¹	Fubá ¹	F. Soja ¹	U:AS	MM	Concentrado	Dieta
MS	30,92	87,64	88,61	100	100	88,35	53,89
MO	94,74	97,60	92,85	100	0	94,32	94,57
PB	7,26	9,11	48,78	260	-	24,10	14,00
Ur	-	-	-	100	-	1,50	0,60
PBu	-	-	-	260	-	3,90	1,56
EE	3,16	4,07	1,71	-	-	3,25	3,20
FDNcp	51,77	10,19	10,72	-	-	9,99	35,06
Lignina	4,97	1,16	1,33	-	-	1,17	3,45
CNF	32,55	74,23	31,64	-	-	59,38	43,28
PIDN	1,14	0,87	2,38	-	-	1,27	1,19
PIDA	0,57	0,35	1,34	-	-	0,62	0,59

¹ Valadares Filho et al. (2006).

Cálculo da fração verdadeiramente digestível do EE (Equação 9)

$$EE_{vd} = 0,86 \times EE = 0,8596 \times 3,20 = 2,75\%$$

Cálculo da fração verdadeiramente digestível dos CNF (Equação 10)

$$CNF_{vd} = 0,95 \times CNF = 0,95 \times 43,28 = 41,11\%$$

Cálculo da fração digestível da FDN (Equação 12; Tabela 2)

$$FDN_d = D_v \times \left\{ (FDN_{cp} - L) \times \left[1 - \left(\frac{L}{FDN_{cp}} \right)^{0,85} \right] \right\}$$

$$FDN_d = 0,67 \times \left\{ (35,06 - 3,45) \times \left[1 - \left(\frac{3,45}{35,06} \right)^{0,85} \right] \right\} = 18,23\%$$

Cálculo da fração verdadeiramente digestível da PB (Equação 17; Tabela 2)

$$PB_{vd} = D_{vpBCC} \times (PB - PIDN) + D_{vpBPC} \times \left\{ PIDN \times \left[1 - e^{-(0,8188 + 1,1676 \times PIDA)} \right] \right\}$$

$$PB_{vd} = 0,98 \times (14,00 - 1,19) + 0,67 \times \left\{ 1,19 \times \left[1 - e^{-(0,8188 + 1,1676 \times 0,59)} \right] \right\}$$

$$PB_{vd} = 0,98 \times 12,81 + 0,67 \times (1,19 \times 0,7786)$$

$$PB_{vd} = 12,55 + 0,62 = 13,17\%$$

Cálculo do NDT (Equação 18; Tabela 1)

$$NDT = PB_{vd} + CNF_{vd} + FDN_d + 2,25 \times EE_{vd} - FM_{NDT}$$

$$NDT = 13,17 + 41,11 + 18,23 + 2,25 \times 2,75 - 7,16$$

$$NDT = 78,70 - 7,16$$

$$NDT = 71,54\%$$

AGRADECIMENTOS

Os autores externam seus agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais (FAPEMIG, Programa Pesquisador Mineiro) pelo apoio financeiro que permitiu a realização dos trabalhos de pesquisa que suportaram os resultados aqui apresentados.

Sinceros agradecimentos são direcionados ao Prof. José Fernando Coelho da Silva (UENF), ao Prof. Douglas dos Santos Pina (UFMT) e à Profa. Lara Toledo Henriques (UFPB), pelo constante apoio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARROQUY, J.I.; COCHRAN, R.C.; NAGARAJA, T.G. et al. Effect of types of non-fiber carbohydrates on *in vitro* forage fiber digestion of low-quality grass hay. **Animal Feed Science and Technology**, v.120, p.93-106, 2005.
- ARROYO-AGUILU, J.A.; EVANS, J.L. Nutrient digestibility of lower-fiber rations ruminant animal. **Journal of Dairy Science**, v.55, p.1266-1274, 1972.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTRY – AOAC. **Official methods of analysis**. 15 ed. Arlington: AOAC International, 1990.
- AZEVEDO, J.A.G. **Avaliação de subprodutos agrícolas e agroindustriais na alimentação de bovinos** 136f. Departamento de Zootecnia/Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (Tese, Doutorado em Zootecnia), 2009.
- BLAXTER, K.L.; MITCHELL, H.H. The factorization of the protein requirements of ruminants and of the protein values of feeds, with particular reference to the significance of metabolic fecal nitrogen. **Journal of Animal Science**, v.7, p.351-372, 1948.
- CAMPOS, P.R.S.S. **Estimativas do valor energético de alguns volumosos e da digestibilidade da fibra em detergente neutro em ovinos**. 47f. Departamento de Zootecnia/Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (Dissertação, Mestrado em Zootecnia), 2004.
- CASALI, A.O.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos *in situ*. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.335-342, 2008.
- CONRAD, H.R.; WEISS, W.P.; ODWONGO, W.O. et al. Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. **Journal of Dairy Science**, v.67, p.427-436, 1984.
- COSTA, M.A.L.; VALADARES FILHO, S.C.; VALADARES, R.F.D. et al. Validação das equações do NRC (2001) para predição do valor energético de alimentos em condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, p.280-287, 2005.
- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. On the estimation of non-fibrous carbohydrates in feeds and diets. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 2010.
- DETMANN, E.; ZERVOUDAKIS, J.T.; CABRAL, L.S. et al. Validação de equações preditivas da fração indigestível da fibra em detergente neutro em gramíneas tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.1866-1875, 2004a.
- DETMANN, E.; CLIPES, R.C.; COELHO DA SILVA, J.F. et al. Avaliação da proteína insolúvel em detergente ácido como estimador da fração protéica indegradável no rúmen em forragens tropicais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41, 2004, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande:SBZ, 2004b (CD-ROM, Nutrição de Ruminantes – NR131.pdf).
- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. et al. Estimação da digestibilidade do extrato etéreo em ruminantes a partir dos teores dietéticos: desenvolvimento de um modelo para condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.1469-1478, 2006a.

- DETMANN, E.; PINA, D.S.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Estimação da fração digestível da proteína bruta em dietas para bovinos a partir dos teores dietéticos em condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.2101-2109, 2006b.
- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; HENRIQUES, L.T. et al. Estimação da digestibilidade dos carboidratos não-fibrosos em bovinos a partir do conceito de entidade nutricional em condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.1479-1486, 2006c.
- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; HENRIQUES, L.T. et al. Reparametrização do modelo baseado na Lei de Superfície para predição da fração digestível da fibra em detergente neutro em condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, p.155-164, 2007.
- DETMANN, E.; PAULINO, M.F.; VALADARES FILHO, S.C. Avaliação nutricional de alimentos ou de dietas? Uma abordagem conceitual. In: SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE, 6, 2008, Viçosa. **Anais...** Viçosa: DZO-UFV, 2008a. p.21-52.
- DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. et al. Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. **Animal Feed Science and Technology**, v.143, p.127-147, 2008b.
- DETMANN, E.; MAGALHÃES, K.A.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Desenvolvimento de um sub-modelo bi-compartimental para estimação da fração digestível da proteína bruta em bovinos a partir da composição química dos alimentos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.2215-2221, 2008c.
- DETMANN, E.; PAULINO, M.F.; MANTOVANI, H.C. et al. Parameterization of ruminal fiber degradation of low-quality tropical forage using Michaelis-Menten kinetics. **Livestock Science**, v.126, p.136-146, 2009.
- DETMANN, E.; COELHO DA SILVA, J.F.; CLIPES, R.C. et al. Estimação por aproximação química dos teores de proteína indegradável insolúvel em detergente neutro em forragens tropicais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, 2010.
- HENRIQUES, L.T.; DETMANN, E.; QUEIROZ, A.C. et al. Frações dos compostos nitrogenados associados à parede celular em forragens tropicais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.258-263, 2007.
- LICITRA, G.; HERNANDEZ, T.M.; Van SOEST, P.J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.57, p.347-358, 1996.
- LUCAS, H.L. **Relations between apparent digestibility and the composition of feed and feces.** 1.A quantitative theory. Raleigh: North Carolina State College, 1960.
- LUCAS, H.L.; SMART, W.W.G. Chemical composition and the digestibility of forages. In: PROCEEDINGS OF PASTURE AND CROP IMPROVEMENT CONFERENCE, 16, Mississippi. **Proceedings...** 1959. p.23-26.
- MAGALHÃES, K.A.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E. et al. Evaluation of indirect methods to estimate the nutritional value of tropical feeds for ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v.155, p.44-54, 2010.
- MERTENS, D.R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. **Journal of AOAC International**, v.85, p.1217-1240, 2002.
- MOULD, F.L.; ØRSKOV, E.R.; MANNS, O. Associative effects of mixed feeds. I. Effects of type and level of supplementation and the influence of the rumen pH on cellulolysis in vivo and dry matter digestion of various roughages. **Animal Feed Science and Technology**, v.10, p.15-30, 1983.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle.** 7 ed. Washington: Academic Press, 2001. 381p.
- OLIVEIRA, A.S. **Casca de café ou casca de soja em substituição ao milho em dietas à base de cana-de-açúcar para vacas leiteiras.** 97f. Departamento de Zootecnia/Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (Dissertação, Mestrado em Zootecnia), 2005.
- ØRSKOV, E.R. **Nutrición proteica de los rumiantes.** Zaragoza: Editora Acribia, 1988. 178p.

- PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, 76, 1063-1073, 1993.
- PINA, D.S. **Fontes de proteína para vacas em lactação**. 61f. Departamento de Zootecnia/Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (Dissertação, Mestrado em Zootecnia), 2005.
- ROCHA JR., V.R.; VALADARES FILHO, S.C.; BORGES, A.M. et al. Estimativa do valor energético dos alimentos e validação das equações propostas pelo NRC (2001). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, p.480-490, 2003.
- SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos**. Métodos químicos e biológicos. Viçosa: Editora UFV, 2002. 235p.
- SILVA, P.A. **Valor energético do capim-elefante em diferentes idades de rebrota e estimativa da digestibilidade *in vivo* da fibra em detergente neutro**. 57f. Departamento de Zootecnia/Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (Dissertação, Mestrado em Zootecnia), 2004.
- SUKHIJA, P.S.; PALMQUIST, D.L. Rapid method for determination of total fatty acid content and composition of feedstuffs and feces. **Journal of Agriculture and Food Chemistry**, v.36, p.1202-1206, 1988.
- THIEX, N.; RICHARDSON, C.R. Challenges in measuring moisture content of feeds. **Journal of Animal Science**, v.81, p.3255-3266, 2003.
- VALADARES FILHO, S.C.; MAGALHÃES, K.A.; ROCHA JR., V.R. et al. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para bovinos**. Viçosa: DZO-UFV, 2006. 329p.
- VALENTE, T.N.P. **Utilização de tecidos na avaliação de compostos fibrosos e na degradação ruminal *in situ* de alimentos para ruminantes**. 90f. Departamento de Zootecnia/Universidade Federal de Viçosa, Viçosa (Tese, Doutorado em Zootecnia), 2010.
- Van SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2 ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.
- Van SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B. **Analysis of forages and fibrous foods**. Ithaca: Cornell University, 1985. 202p.
- WEISS, W.P.; CONRAD, H.R.; St. PIERRE, N.R. A therotically-based model for predicting total digestible nutrient values of forage and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**, v.39, p.95-110, 1992.