

Validação de Equações Preditivas da Fração Indigestível da Fibra em Detergente Neutro em Gramíneas Tropicais

Edenio Detmann¹, Joanis Tilemahos Zervoudakis², Luciano da Silva Cabral², Vicente Ribeiro Rocha Júnior⁵, Sebastião de Campos Valadares Filho⁴, Augusto César de Queiroz⁵, Nivaldo José Ponciano⁶, Alberto Magno Fernandes⁷

RESUMO - Objetivou-se neste trabalho validar as equações de predição da fração indigestível da fibra em detergente neutro (FDNi) adotadas pelos sistemas nutricionais *Cornell Net Carbohydrate and Protein System* (equação de Sniffen) e *National Research Council* (equação de Conrad) em gramíneas tropicais. Para tal, construiu-se um banco de dados constituído por 114 observações realizadas em gramíneas tropicais, centrando-se nos teores de lignina e de fibra em detergente neutro indigestível (FDNi). A comparação entre valores preditos e observados foi realizada por intermédio do ajustamento de equação de regressão linear simples de valores preditos sobre valores observados. A utilização da equação de Conrad forneceu estimativas dos teores de FDNi distintos daqueles observados, com vício constante de +5,60 pontos percentuais. A alteração do expoente que compõe tal equação de 0,667 para 0,85 levou à anulação deste vício, garantindo a similaridade entre valores preditos e observados. Um quadro de falta de ajustamento foi observado sobre a equação de Sniffen, que proporcionou a sub e superestimação dos teores de FDNi para concentrações de lignina inferiores e superiores a 10,4% da FDN, respectivamente. Tal comportamento suporta-se na ausência de relações curvilineares desta equação, constituindo seu principal elemento de deficiência. O ajustamento empírico da equação de Conrad neutralizou o vício de estimação, atribuindo ao novo modelo o menor quadrado médio do erro de predição entre as equações avaliadas.

Palavras-chave: fibra em detergente neutro indigestível, lignina, sistema Cornell, sistema NRC

Validation of Predictive Equations for Neutral Detergent Fiber Indigestible Fraction in Tropical Grasses

ABSTRACT - The objective of this work was to validate the prediction equations for neutral detergent fiber indigestible fraction (iNDF) employed by the Cornell Net Carbohydrate and Protein System (Sniffen equation) and the National Research Council (Conrad's equation). A database with 114 observations taken from tropical grass, with lignin and indigestible neutral detergent fiber (iNDF) contents, was used. Comparison among predicted and observed values was accomplished by adjusting a linear regression model with predicted values as dependent variable and observed values as independent variable. The estimates supplied by Conrad's equation were different from observed values, with constant bias of +5.60 percentile points. Alteration of the exponent that composes this equation, from .667 to .85, controlled the bias, guaranteeing the similarity among predicted and observed values. Lack of fitness was observed on the Sniffen equation, which caused under and overestimation of the iNDF contents for lignin concentrations lower and higher than 10.4% of NDF, respectively. This behavior is supported by the absence of non-linear relationships in this equation, constituting its main element of deficiency. The bias free of Conrad equation with empirical correction enlarges the accuracy of estimation process, leading to the lower mean square of the prediction error.

Key Words: Cornell system, indigestible neutral detergent fiber, lignin, NRC system

Introdução

A determinação do valor nutricional dos alimentos envolve estudos que avaliam, conjuntamente, o consumo, a digestibilidade e os parâmetros do metabolismo animal. Contudo, em

razão de o consumo ser fortemente influenciado por inúmeros fatores alheios àqueles que caracterizam o alimento, a avaliação da digestibilidade torna-se alvo principal de estudos em que se busca determinar as características inerentes ao alimento (Cabral, 2002).

¹ Zootecnista, D.Sc., Professor Adjunto, Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa-MG, 36571-000 (detmann@ufv.br).

² Zootecnista, D.Sc., Professor Adjunto, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá-MT (joanis@pop.com.br; cabralls@cpd.ufmt.br).

³ Médico Veterinário, D.Sc., Professor Titular, Universidade Estadual de Montes Claros, Montes Claros-MG (rochajuniorvr@hotmail.com).

⁴ Zootecnista, D.Sc., Professor Titular, DZO-UFV, Viçosa, MG. Bolsista do CNPq (scvfilho@ufv.br).

⁵ Eng^o.-Agrônomo, Ph.D., Professor Titular, DZO-UFV, Viçosa, MG. Bolsista do CNPq (aqueiroz@ufv.br).

⁶ Eng^o.-Agrônomo, D.Sc., Professor Associado, LEAG, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes-RJ (ponciano@uenf.br)

⁷ Zootecnista, D.Sc., Professor Associado, LZNA-UENF, Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes-RJ (alberto@uenf.br).

Nesse contexto, a consideração da fração fibrosa das forragens é de fundamental importância para o acesso ao valor nutritivo desses alimentos para ruminantes, pois fornece quantidade significativa de energia a baixo custo e, por apresentar variabilidade naturalmente superior aos demais componentes químicos, deve ocupar posição central na avaliação de disponibilidade de energia (Conrad et al., 1984).

Entre as diferentes técnicas empregadas na avaliação da digestibilidade dos componentes fibrosos dos alimentos, vantagens têm sido apontadas sobre métodos *in vitro*, em comparação a ambientes *in situ* ou *in vivo*, englobando principalmente, a eliminação de efeitos de confundimento sobre as estimativas (Oba & Allen, 1999). No entanto, estudos recentes demonstraram vícios substanciais em procedimentos de estimativa da degradação fibrosa de forrageiras tropicais em sistemas *in vitro* (Vieira et al., 2000a; Detmann, 2002).

De forma alternativa aos métodos biológicos, a utilização da composição química dos alimentos como método de predição da digestão em ruminantes tem sido sugerida por diversos autores (Conrad et al., 1984; Weiss et al., 1992; Van Soest, 1994; Weiss, 1994; NRC, 2001; Rocha Jr. et al., 2003). Como ponto inicial aos principais métodos, destaca-se a estimativa do potencial de degradação da fibra em detergente neutro (FDN), expresso complementarmente como sua fração indigestível, ou FDNi. Esta porção é empregada como base para estimativa da digestão efetiva dos componentes fibrosos, sendo, no entanto, seu estudo isolado preponderante ao entendimento dos efeitos de repleção física ao ambiente ruminal.

Por ser indigestível e agir na redução da fração fibrosa potencialmente digestível da parede celular (Traxler et al., 1998), a lignina é geralmente aceita como a entidade primária responsável pela limitação da digestão das forragens (Smith et al., 1972; Van Soest, 1994), sendo adotada como base para a estimativa do teor de FDNi por dois dos principais sistemas nutricionais da atualidade: o *Cornell Net Carbohydrate and Protein System* (CNCPS) (Sniffen et al., 1992) e o *National Research Council* (NRC, 2001). No entanto, embora haja recentes propostas de avaliação das equações estabelecidas por estes sistemas, em condições nacionais (Malafaia et al., 1998; Vieira et al., 2000a; Rocha Jr. et al., 2003), pouco se conhece acerca do potencial preditivo de tais equações para gramíneas produzidas em regiões tropicais.

Dessa forma, objetivou-se neste trabalho proceder à validação das equações adotadas pelos sistemas nutricionais CNCPS e NRC (2001) quanto à estimativa da fração indigestível da FDN em gramíneas tropicais.

Material e Métodos

Foram utilizados dados referentes a amostras de cana-de-açúcar integral e *in natura* (*Saccharum* sp.), oriundas de variedades de diferentes ciclos de produção e obtidas em diferentes épocas de colheita (Fernandes, 2001; Rocha Jr., 2002), e de diferentes gramíneas tropicais utilizadas sob pastejo avaliadas por intermédio de extrusa esofágica (*Brachiaria decumbens*, *Brachiaria brizantha*, *Brachiaria arrecta* e *Panicum maximum* cv. Tobiatã), em fornecimento direto “verde” (*Pennisetum purpureum* e *Cynodon* sp.), como silagem (*Cynodon* sp., milho e sorgo) ou como feno (*Andropogon gayanus*, *Cynodon* sp. e *Melinis minutiflora*) (Cabral, 2002; Rocha Jr., 2002), perfazendo o total de 119 observações, com informações acerca dos teores observados de matéria seca (MS), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente neutro indigestível (FDNi), proteína bruta insolúvel em detergente neutro (PIDN) e lignina.

Em todas as amostras selecionadas, os teores de FDN e PIDN foram obtidos segundo protocolos descritos por Van Soest et al. (1991), sendo os conteúdos em lignina obtidos pelo método do permanganato (Goering & Van Soest, 1975). Os teores de FDNi foram estimados de forma indireta, por intermédio de projeção assintótica em procedimentos de estimativa da dinâmica de degradação *in situ* (Fernandes, 2001), ou de forma direta, por intermédio de procedimentos de incubação *in vitro* ou *in situ* em tempos iguais ou superiores a 120 horas (Cabral, 2002; Rocha Jr., 2002).

A estimativa matemática dos teores de FDNi foi realizada utilizando-se dois diferentes sistemas ou equações, aqui denominadas equação de Sniffen e equação de Conrad.

No primeiro caso, a estimativa da fração potencialmente indigestível se deu com base nos protocolos descritos por Sniffen et al. (1992), sendo adotada como equação preditiva para o potencial de degradação da FDN em alimentos para bovinos pelos sistemas CNCPS (Sniffen et al., 1992) e NRC (1996) (solução nível 2). Esta proposição foi construída empiricamente a partir de observações da relação

entre a massa residual de FDN após 120 dias de fermentação e a concentração de lignina no alimento anteriormente à incubação, em experimento conduzido por Chandler (1980), citado por Traxler et al. (1998), sendo descrita, de forma simplificada, como:

$$FDN_{i\%FDN} = 2,4 \times Lignina_{\%FDN} \quad (1)$$

As estimativas do teor de FDNi obtidas pela equação de Conrad basearam-se nas proposições teoricamente sumarizadas por Conrad et al. (1984) e Weiss et al. (1992), construídas segundo a Lei de Superfície. De acordo com esse princípio geométrico, a superfície de qualquer objeto é igual ao quadrado da média de suas dimensões lineares ou à sua massa elevada à potência de 2/3 (Kleiber, 1975; Conrad et al., 1984). Deste modo, o suporte teórico apresentado por Conrad et al. (1984) pressupõe que o espaço de superfície digestível e disponível aos microrganismos ruminais é determinado pelo fato de os tecidos da parede vegetal e a lignina estarem localizados fisicamente superfície a superfície. 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.

Em função de o método originalmente proposto fornecer estimativas do potencial de degradação da FDN, alguns artifícios matemáticos foram empregados para possibilitar a estimação direta da fração indigestível dos componentes fibrosos da parede celular. Segundo a equação originalmente proposta:

$$FDNd_{\%MS} = (FDN'_{\%MS} - LIG_{\%MS}) \times [1 - (LIG_{\%MS} / FDN'_{\%MS})^{0,667}] \quad (2);$$

em que: FDNd = fibra em detergente neutro potencialmente digestível; LIG = teor de lignina; e FDN' = fibra em detergente neutro corrigida para nitrogênio, sendo:

$$FDN'_{\%MS} = FDN_{\%MS} - PIDN_{\%MS} \quad (3);$$

em que: PIDN = proteína bruta insolúvel em detergente neutro.

Sendo complementares os teores de FDNd e FDNi, faz-se:

$$FDNi_{\%MS} = FDN_{\%MS} - FDNd_{\%MS} \quad (4);$$

$$FDNi_{\%MS} = FDN_{\%MS} - (FDN'_{\%MS} - LIG_{\%MS}) \times [1 - (LIG_{\%MS} / FDN'_{\%MS})^{0,667}] \quad (5).$$

Convertendo-se os teores da fração indigestível como percentual da fibra em detergente neutro total, faz-se:

$$FDNi_{\%FDN} = 100 - \frac{\{(FDN'_{\%MS} - LIG_{\%MS}) \times [1 - (LIG_{\%MS} / FDN'_{\%MS})^{0,667}]\}}{(FDN_{\%MS} / 100)} \quad (6).$$

Os procedimentos de comparação entre os teores observados de FDNi e aqueles obtidos pelas equações de Sniffen e Conrad basearam-se no ajustamento de modelo de regressão linear simples dos valores preditos sobre os observados, sendo as estimativas dos parâmetros de regressão testadas sob as seguintes hipóteses:

$$\begin{aligned} H_0 : \beta_0 &= 0 & H_0 : \beta_1 &= 1 \\ H_a : \beta_0 &\neq 0 & H_a : \beta_1 &\neq 1 \end{aligned} \quad (7).$$

Sob o caso de não-rejeição de ambas as hipóteses de nulidade, concluiu-se pela similaridade entre valores preditos e observados. Casos de re-parametrização das hipóteses descritas em (7) foram abordados no transcórre da discussão.

A avaliação comparativa com relação à eficiência de predição entre equações foi feita pela avaliação e partição do desvio médio de predição, segundo protocolos descritos por Kobayashi & Salam (2000), conforme as equações:

$$MSD = SB + SDDS + LCS = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (8);$$

$$SB = (\bar{x} - \bar{y})^2 \quad (9);$$

$$SDDS = (SDx - SDy)^2 \quad (10);$$

$$LCS = 2SDxSDy(1-r) \quad (11);$$

em que: x = valores observados; y = valores preditos; MSD = quadrado médio dos desvios entre valores observados e preditos; SB = quadrado do vício; SDDS = componente relativo à magnitude de flutuação aleatória; LCS = componente relativo ao modelo de flutuação aleatória; SDx e SDy = desvios-padrão para valores observados e preditos, respectivamente; e r = correlação linear de Pearson entre valores preditos e observados. Ressalta-se que, para todos os cálculos de variâncias, empregou-se como divisor o total de observações (n).

Durante os procedimentos de avaliação estatística, cinco observações apresentaram comportamento discrepante (*outliers*) e foram, portanto, eliminadas dos processos de estimação e validação. Estabeleceu-se em 0,05 o nível crítico de probabilidade para o erro tipo I em todos os testes de hipóteses efetuados.

Resultados e Discussão

As estatísticas descritivas para as variáveis levantadas são apresentadas na Tabela 1. De modo geral, as amplitudes totais das diferentes variáveis comportaram-se satisfatoriamente frente aos objetivos do estudo, abordando-se alimentos que variaram de baixa a alta qualidade, permitindo projeções representativas face ao universo de espécies, condições edafoclimáticas e demais fatores de interferência sobre a qualidade das diferentes forrageiras empregadas na alimentação de ruminantes em regiões de clima tropical.

Equação de Conrad

A avaliação estatística da relação entre os teores de fibra em detergente neutro indigestível observados (FDNi) e aqueles preditos pela equação de

Conrad (FDNiC) (Figura 1) indicou a não-rejeição da hipótese de nulidade estabelecida sobre o coeficiente de inclinação da reta ($P > 0,05$) que representa esta relação (Tabela 2).

Embora tal inferência indique similaridade quantitativa na variação entre valores preditos e observados de FDNi, a avaliação do intercepto indicou a não-aceitação da hipótese de nulidade inicialmente proposta (7) ($P < 0,05$) (Tabela 2). Este comportamento indicou a existência, sobre os valores de FDNiC, de forma independente aos níveis observados, de superioridade de 5,60 pontos percentuais, valor denotado como vício constante (Rayburn & Fox, 1993), revelando o fato de a equação de Conrad superestimar a indigestibilidade da FDN.

Esse comportamento mostrou-se similar ao relatado por Rocha Jr. et al. (2003), que, ao procederem à validação da equação proposta por Weiss et al. (1992), para estimação da digestibilidade efetiva da FDN em animais ruminantes, equação esta que tem como núcleo a equação de Conrad, verificaram subestimação dos valores de digestibilidade, em comparação a um banco de dados constituído por observações realizadas *in vivo*.

Frente ao comportamento das estimativas dos

Tabela 1 - Estatísticas descritivas para os teores de fibra em detergente neutro (FDN) (% da matéria seca), lignina (% FDN), proteína insolúvel em detergente neutro (PIDN) (% FDN) e fibra em detergente neutro indigestível observada (FDNi) e predita pelas equações de Sniffen (FDNiS) e de Conrad (FDNiC) (% FDN)

Table 1 - Descriptive statistics for the contents of neutral detergent fiber (NDF) (% of dry matter), lignin (% of NDF), neutral detergent insoluble protein (NDIP) (% of NDF) and observed (iNDF) and predicted by Sniffen (SiNDF) and Conrad (CiNDF) equations indigestible neutral detergent fiber

Variável <i>Variable</i>	FDN <i>NDF</i>	FDNi <i>INDF</i>	Lignina <i>Lignin</i>	PIDN <i>NDIP</i>	FDNiS <i>SiNDF</i>	FDNiC <i>CiNDF</i>
Estatística <i>Statistic</i>						
Média <i>Mean</i>	52,60	26,88	12,16	0,76	29,18	33,35
Moda <i>Mode</i>	77,45	28,20	13,94	-	33,46	37,06
Mediana <i>Median</i>	49,06	27,60	12,63	0,74	30,30	34,60
Máximo <i>Maximum</i>	80,40	39,89	19,93	1,06	47,83	47,23
Mínimo <i>Minimum</i>	43,11	10,84	1,58	0,51	3,80	7,79
Desvio-padrão <i>Standard deviation</i>	9,866	4,571	3,260	0,119	7,825	6,757
n	114	114	114	114	114	114

Tabela 2 - Médias, estimativas de parâmetros de regressão e coeficiente de correlação linear e níveis descritivos de probabilidade (Valor-P) associados às hipóteses de nulidade para as diferentes relações funcionais entre variáveis
 Table 2 - Means, estimates of regression parameters and correlation coefficient and descriptive levels of probability (P Value) associated to null hypothesis according to functional relationship among the variables

Descrição de relações Description of relationship		Regressão linear Linear regression					
Variável independente (X) Independent variable (X)		Intercepto Intercept		Coeficiente de inclinação Slope coefficient		Correlação linear Linear correlation	
Código ^a Code ^a	Média Mean	Estimativa Estimate	Valor-P P Value	Estimativa Estimate	Valor-P P Value	Estimativa Estimate	Valor-P P Value
FDNi (iNDF)	26,88	5,5980	0,0423 ^b	1,0321	0,7487 ^c	0,6984	0,0001 ^e
FDNiC (CINDF)	26,88	1,0990	0,6680 ^b	0,9488	0,5860 ^c	0,6913	0,0001 ^e
FDNi (iNDF)	26,88	-2,1111	0,5150 ^b	1,1641	0,1691 ^c	0,6801	0,0001 ^e
LIG	12,16	15,2870	0,0001 ^b	0,9537	0,0001 ^d	0,6802	0,0001 ^e

^aFDNi = teor de fibra em detergente neutro indigestível observado (% FDN); FDNiC = teor de fibra em detergente neutro indigestível predito pela equação de Conrad (% FDN); FDNiCC = teor de fibra em detergente neutro indigestível predito pela equação de Sniffen (% FDN); LIG = teor de lignina (% FDN)

^biNDF = content of observed indigestible neutral detergent fiber (% of NDF); CINDF = content of indigestible neutral detergent fiber predicted by Conrad's equation (% of NDF); CCINDF = content of indigestible neutral detergent fiber predicted by Conrad's equation with empirical correction (% of NDF); SiNDF = content of indigestible neutral detergent fiber predicted by Sniffen's equation (% of NDF); LiG = content of lignin (% of NDF). ^cH₀: $\beta_0 = 0$. ^dH₀: $\beta_1 = 1$. ^eH₀: $\beta_1 = 2,4$. ^fH₀: $p = 0$.

teores de FDNi obtidos pela equação de Conrad (Figura 1), dois argumentos parecem justificar, em parte, a observação significativa de vícios no processo de estimação.

Em função da natureza da atividade microbiana no processo de degradação ruminal dos componentes fibrosos, no qual os mecanismos dependentes do contato microbiano ao substrato exercem papel preponderante (Weimer, 1996), a digestão deve estar relacionada ao grau de exposição da parede celular (Wilson, 1993).

Relatos experimentais têm demonstrado que a relação de área de superfície/volume é dependente e variante em função do tipo celular ou tecidual avaliado (Wilson, 1993), e, associada ao fato de a proporção tecidual em forrageiras ser altamente influenciada por fatores morfológicos, fisiológicos, climáticos e por espécie (Paciullo et al., 2002), caracteriza um quadro heterogêneo sobre o comportamento de degradabilidade entre diferentes forragens de diferentes estádios fisiológicos, não suportando, portanto, um quadro único relacionado ao efeito "geométrico" da lignina sobre o aproveitamento dos demais componentes da parede celular vegetal.

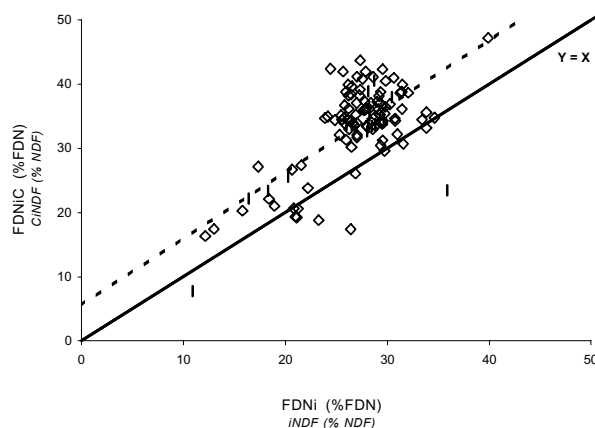


Figura 1 - Relação entre os teores de fibra em detergente neutro indigestível observados (FDNi) e preditos por intermédio da equação de Conrad (FDNiC) (a linha tracejada corresponde à reta de mínimos quadrados).

Figure 1 - Relationship between the contents of observed (iNDF) and predicted by Conrad equation (CINDF) indigestible neutral detergent fiber (the dashed line corresponds to least squares straight line).

Estes argumentos evidenciam que o fato de a Lei de Superfície levar à suposição de que as interações geométricas entre tecidos sejam regulares e constantes entre espécies forrageiras pode constituir possível entrave estimativo à equação de Conrad para sua aplicação em gramíneas tropicais.

Por outro lado, o grau de interação ou imposição de indigestibilidade da lignina sobre a parede celular depende primariamente de interação química entre os compostos fenólicos e glicosídicos. Segundo Jung & Deetz (1993), esta interação seria amplamente afetada pela razão entre precursores guaiacil:siringil no estabelecimento da cadeia polifenólica do complexo lignina. Neste contexto, as ligações cruzadas observadas nas moléculas derivadas de guaiacil (não observadas em siringil) incrementariam o efeito deletério da lignina sobre a degradabilidade dos componentes fibrosos (Van Soest, 1994), ampliando o suporte sobre o fato de uma relação constante de proteção, ainda que de características não-lineares, não permitir boa predição do potencial de degradação fibrosa sob condições de heterogeneidade de composições anatômica, física e química.

Em outro enfoque, parte do comportamento viesado de predição observado sobre a equação de Conrad (Figura 1) poderia estar suportado no fato de este modelo ter sido desenvolvido a partir de avaliações dos conteúdos em lignina pelo método do ácido sulfúrico (Goering & Van Soest, 1975), com bom comportamento de validação (Conrad et al., 1984; Weiss et al., 1992). Avaliações comparativas de métodos determinantes do conteúdo em lignina em alimentos indicaram superioridade numérica para a técnica do permanganato (Van Soest, 1994; Traxler et al., 1998), base para o banco de dados deste estudo e amplamente utilizada no Brasil. Por si, tais afirmações suportariam o vício positivo do processo de estimativa (Figura 1). No entanto, em recente trabalho, Traxler et al. (1998) notaram que menor erro total de predição e vício total foram verificados na utilização da equação de Conrad associada a valores de lignina em permanganato, gerando suspeitas sobre as prerrogativas iniciais dirigidas à técnica do ácido sulfúrico.

Em virtude do comportamento observado à Figura 1, e na observância de boa correlação entre os valores observados e preditos pela equação de Conrad (Tabela 2), procedeu-se, com base no banco de dados construído, ao reajustamento desta equação, mantendo-se sua arquitetura original, reavaliando-se, no entanto, o fator de proteção 0,667. A comparação entre

os valores preditos pela nova equação, denominada equação de Conrad, com fator empírico de correção, e aqueles observados encontra-se na Figura 2.

Pelo processo de ajustamento iterativo, chegou-se à estimativa para o parâmetro reavaliado, com projeção dos limites do intervalo de confiança assintótico a 95% de probabilidade (de $0,85 \pm 0,028$), comprovando ser o novo fator distinto ($P < 0,05$) daquele empregado no modelo originalmente proposto por Conrad et al. (1984). Adicionalmente, verificou-se que ambas as hipóteses de nulidade propostas em (7) foram não-rejeitadas ($P > 0,05$) na avaliação da relação entre valores observados e preditos pela equação corrigida, indicando similaridade estatística entre estes ($P > 0,05$) (Tabela 2), o que é visualmente verificado pela proximidade entre as retas de igualdade ($Y=X$) e de mínimos quadrados (Figura 2).

A adoção de associação exponencial, conforme proposta na equação de Conrad, implica no fato de uma unidade de lignina causar maior refração à degradação em forragens com grau reduzido de lignificação quando em comparação àquelas com elevada concentração de lignina (Van Soest, 1994) (Figura 3). A correção empírica adotada permitiu, no entanto, a visualização do fato de a proteção causada pela presença de compostos fenólicos na parede

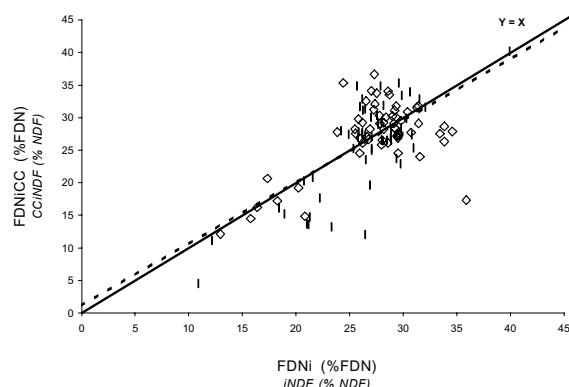


Figura 2 - Relação entre os teores de fibra em detergente neutro indigestível observados (FDNi) e preditos por intermédio da equação de Conrad com fator empírico de correção (FDNiCC) (a linha tracejada corresponde à reta de mínimos quadrados).

Figure 2 - Relationship between the contents of observed (iNDF) and predicted by Conrad equation with empirical correction (CCiNDF) indigestible neutral detergent fiber (the dashed line corresponds to least squares straight line).

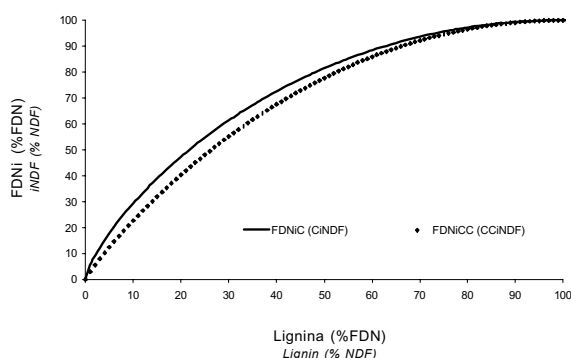


Figura 3 - Relação teórica entre os teores de lignina e fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) preditos pelas equações de Conrad com (FDNiCC) e sem (FDNiC) a consideração do fator empírico de correção.

Figure 3 - Theoretical relationship between the contents of lignin and indigestible neutral detergent fiber (INDF) predicted by Conrad equation with (CCiNDF) and without (CiNDF) empirical correction.

celular de forragens tropicais ser menos intensa que aquela inicialmente proposta pela adoção da Lei de Superfície (Conrad et al., 1984; Weiss et al., 1992). Em outras palavras, a taxa de proteção da lignina, representada pela derivação do teor de FDNi, em função da concentração de lignina ($d(\text{FDNi})/d(\text{Lignina})$), é de menor dimensão em forragens tropicais quando comparada à equação de Conrad, proposta e validada sob condições temperadas (Figura 3). Este fato poderia suportar o quadro de subestimação da degradação fibrosa observada em estudos de simulação conduzidos com o objetivo de validação de sistemas internacionais de nutrição e alimentação de animais ruminantes (Vieira et al., 2000a; Rocha Jr. et al., 2003).

Em outro enfoque, a despeito das melhores características de predição apresentadas pela equação de Conrad com a adoção do fator empírico de correção, deve-se relevar o fato de tal procedimento implicar na remoção parcial das características teoricamente embasadas, propostas por Conrad et al. (1984) e Weiss et al. (1992).

A superioridade de modelos teoricamente embasados reside sobre sua natureza população-independente (Weiss, 1994). Dessa forma, a substituição do valor expoente de 0,667 por 0,85 no estabelecimento de possível função de refratariedade à degradação ruminal imposta pela lignina, embora

amplie a exatidão do processo preditivo (Figura 2), implica na inclusão de características população-dependentes ao modelo inicialmente proposto (2), restringindo sua aplicabilidade somente a alimentos similares aos empregados neste estudo.

Na aplicação inicial dos conceitos da Lei de Superfície, Conrad et al. (1984) expuseram inicialmente, com base em conceitos geométricos, a equação:

$$FDN(\text{indisponível}) = \frac{K_L \cdot \text{Lignina}^{\frac{2}{3}}}{K_F \cdot FDN^{\frac{2}{3}}} = \left(\frac{K_L}{K_F}\right) \cdot \left(\frac{\text{Lignina}}{FDN}\right)^{\frac{2}{3}} \quad (12);$$

em que: K_L e K_F = constantes de denotação à relação volume-densidade-área para a lignina e a FDN, respectivamente.

Conforme pressuposição estabelecida por estes autores, haveria similaridade entre os valores de K_L e K_F , fazendo, desta forma, sua razão igual à unidade, e permitindo a evolução da equação inicial àquela expressa em (2). Esta pressuposição, sob as óticas física e geométrica, pode constituir possível problema a contribuir com o comportamento vicioso observado sobre esta equação (Figura 1).

Observações sobre a dinâmica ruminal indicaram que o avanço do tempo de permanência no rúmen ocasiona aumento na concentração de compostos fenólicos na partícula alimentar por intermédio da extração microbiana de componentes potencialmente degradáveis, causando a elevação da gravidade específica destas (Allen, 1996). Sob a suposição deste fenômeno, constrói-se a hipótese de que compostos semelhantes à lignina, por apresentarem densidade superior à dos demais componentes da parede celular, poderiam apresentar diferenças na exposição superficial por unidade de massa, implicando em inverdade sob a pressuposição da razão unitária entre as constantes de relação volume-densidade-área, segundo proposição de Conrad et al. (1984).

Ao sumarizar aspectos relacionados à aplicação da Lei de Superfície em estudos de taxa metabólica e perda de calor em animais, Kleiber (1975) discutiu a constante multiplicativa do termo potencial (denominada constante de Meeh), a qual equivale à razão de constantes expostas em (12), afirmando que esta varia em função da forma e da densidade do corpo estudado. Amplia-se, portanto, o suporte sobre a possibilidade de modificações teoricamente embasadas sobre a equação de Conrad, que seriam, assim, baseadas na relação entre constantes que denotam relações

volume-densidade-área e alterações na densidade particular em função do teor de compostos fenólicos. Essa modificação, se passível de comprovação, poderia garantir a aplicabilidade deste modelo sob condições tropicais e eliminar necessidade de fatores empíricos de correção sobre a proposição inicial.

Equação de Sniffen

A avaliação estatística da relação expressa na Figura 4 indicou a não-rejeição de ambas as hipóteses de nulidade estabelecidas em (5) ($P > 0,05$) (Tabela 2), denotando a similaridade entre as retas de igualdade ($Y=X$) e de mínimos quadrados (Figura 4) e, conseqüentemente, entre concentrações de FDNi observadas e previstas por intermédio da equação de Sniffen ($P > 0,05$) (Tabela 2).

Este comportamento desagrega os resultados de estudos realizados em condições brasileiras que evidenciam a inadequação do fator multiplicativo 2,4 (Sniffen et al., 1992) na predição da indigestibilidade da FDN em forragens tropicais (Malafaia et al., 1998; Vieira et al., 2000b; Fernandes, 2001). Face a estas evidências prévias, buscou-se verificar de forma mais aprofundada a adequação da equação de Sniffen frente às observações do banco de dados disponível a este estudo.

Na Figura 5, é descrita a relação funcional entre os teores observados de lignina e FDNi. Sob a ótica de validação da equação de Sniffen, procedeu-se ao ajusta-

mento de equação de regressão linear simples entre estas variáveis, buscando-se verificar a similaridade da reta de mínimos quadrados ao modelo paramétrico proposto por Sniffen et al. (1992) ($Y = 2,4X$).

A reta de mínimos quadrados observada divergiu ($P < 0,05$) tanto em termos de intercepto, como de coeficiente de inclinação, ao modelo paramétrico de Sniffen et al. (1992), indicando sua inadequação para a estimação do teor de FDNi em gramíneas tropicais, corroborando os resultados demonstrados por Malafaia et al. (1998), Vieira et al. (2000b) e Fernandes (2001) (Tabela 2).

Melhor visualização do comportamento do vício de estimação da equação de Sniffen pode ser verificada pelo comportamento residual, apresentado na Figura 6. Sob características ideais de um modelo ou equação de predição, a reta de mínimos quadrados ajustada ao conjunto de resíduos deve apresentar intercepto e coeficiente de inclinação nulos, fato não observado ($P < 0,05$).

A tendência residual (Figura 6) indicou a ocorrência sistemática de sub e superestimativas dos teores de FDNi para teores de lignina inferiores e superiores a 10,4% da FDN, respectivamente, o que evidencia inadequação do modelo em descrever o fenômeno estudado, acusando falta de ajustamento deste aos dados e indicando a ausência de um parâmetro associado a relações curvilineares ou

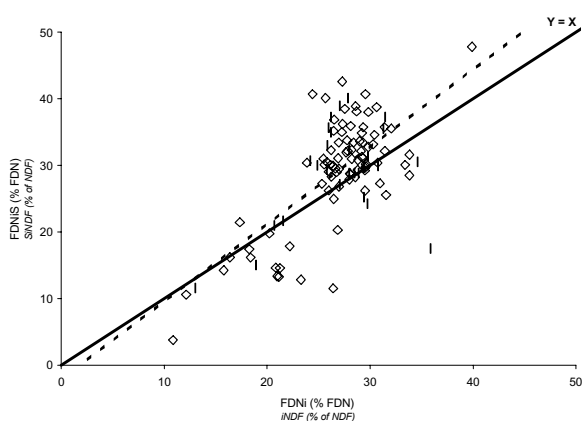


Figura 4 - Relação entre os teores de fibra em detergente neutro indigestível observados (FDNi) e previstos pela equação de Sniffen (FDNiS) (a linha tracejada corresponde à reta de mínimos quadrados).

Figure 4 - Relationship between the contents of observed (iNDF) and predicted by Sniffen equation (CiNDF) indigestible neutral detergent fiber (the dashed line corresponds to least squares straight line).

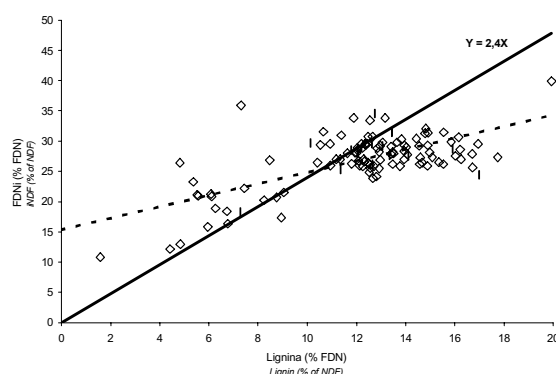


Figura 5 - Relação entre os teores de lignina e de fibra em detergente neutro indigestível observados (FDNi) (a linha tracejada corresponde à reta de mínimos quadrados).

Figure 5 - Relationship between the contents of lignin and observed indigestible neutral detergent fiber (iNDF) (the dashed line corresponds to least squares straight line).

não-lineares como o principal elemento de deficiência preditiva da equação de Sniffen.

Este comportamento corrobora a afirmativa de Vieira et al. (2000b), que destacaram ser o estabelecimento de uma relação linear simples, sem a consideração do intercepto, como no caso da proposição de Sniffen et al. (1992), um inconveniente, pois se assumiria que diferenças associadas a espécies e condições de crescimento das forrageiras não exerceriam influência sobre a dimensão da porção indigestível da FDN.

Avaliação comparativa

A dimensão do quadrado médio do erro de predição (MSD) e a importância de seus componentes, em função das diferentes equações avaliadas, são apresentadas na Figura 7.

A existência de falta de ajustamento refletiu diretamente sobre os desvios de predição observados para a equação de Sniffen (Figura 7), verificando-se a maior participação proporcional dos componentes relativos ao comportamento de padrão e dimensão de flutuação dos desvios em torno da média aritmética das observações (SDSD e LCS) (Kobayashi & Salam, 2000), novamente reforçando o reflexo da tendência

exibida pelos desvios ordinários (Figura 6) e a deficiência de um elemento curvilíneo ou não-linear sobre a estrutura deste modelo, garantindo, quanto aos aspectos de flutuação dos desvios de predição, superioridade aos modelos com padrões curvilíneos.

Por outro lado, o vício constante observado na relação entre valores observados e preditos pela equação de Conrad (Figura 1) refletiu negativamente sobre a qualidade da predição a partir de tal modelo, o qual apresentou o pior diagnóstico entre as equações avaliadas, havendo predomínio absoluto do componente relativo ao vício de predição (SB) (Figura 7). De outra forma, as informações constantes na Figura 7 quantificam de forma mais refinada o ganho em qualidade de predição obtido com a incorporação do fator empírico de correção sobre a equação de Conrad (Figura 2). Em função de este ajustamento procurar a eliminação dos vícios de estimação e se basear no banco de dados empregado neste estudo, observou-se que a redução observada sobre MSD calcou-se, quase que com exclusividade, sobre o vício total (Figura 7), mantendo similaridade para os componentes SDSD e LCS de forma independente à adoção de correção.

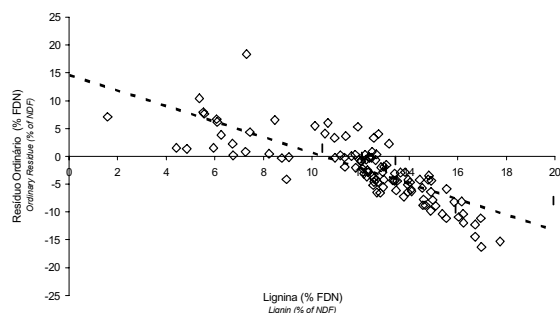


Figura 6 - Comportamento descritivo dos resíduos ordinários para as concentrações de fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) preditas por intermédio da equação de Sniffen (Resíduo Ordinário = FDNi - FDNiS) em função do conteúdo de lignina da forragem (a linha tracejada corresponde à reta de mínimos quadrados).

Figure 6 - Descriptive behavior of the ordinary residues for the contents of indigestible neutral detergent fiber (iNDF) predicted by Sniffen equation (Ordinary Residue = iNDF - SiNDF) according to the contents of lignin in the forage (iNDF) (the dashed line corresponds to least squares straight line).

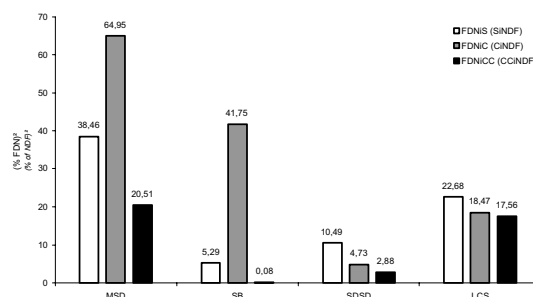


Figura 7 - Partição do quadrado médio do desvio de predição (MSD) para os teores de fibra em detergente neutro indigestível nos componentes quadrado do vício total (SB), desvio na magnitude de flutuação aleatória (SDSD) e desvio no modelo de flutuação (LCS) de acordo com as equações de predição de Sniffen (FDNiS), de Conrad (FDNiC) e de Conrad com fator empírico de correção (FDNiCC).

Figure 7 - Partition of the prediction mean square deviation (MSD) for the contents of indigestible neutral detergent fiber in the components square of bias (SB), deviation in the magnitude of random fluctuation (SDSD), and deviation in the pattern of the fluctuation (LCS), according to the equations of Sniffen (SiNDF), Conrad (CiNDF) and Conrad with empirical correction (CCiNDF).

Conclusões

A equação de predição da fração indegradável da fibra em detergente neutro adotada pelo sistema nutricional NRC (2001) gera estimativas viesadas positivamente deste parâmetro em gramíneas tropicais. A substituição do fator expoente 0,667 por 0,85 leva à eliminação deste vício em gramíneas tropicais. No entanto, mais estudos são sugeridos para que alterações população-independentes possam garantir o embasamento teórico deste modelo.

A ocorrência de falta de ajustamento por ausência de relações curvilineares constitui elemento de deficiência sobre as estimativas do teor de fibra em detergente neutro indigestível produzidas pela equação proposta pelo sistema nutricional CNCPS.

Literatura Citada

- ALLEN, M.S. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. **Journal of Animal Science**, v.74, n.10, p.3063-3075, 1996.
- CABRAL, L.S. **Avaliação de alimentos para ruminantes por intermédio de métodos *in vivo* e *in vitro*: validação**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 134p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- 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, n.2, p.427-436, 1984.
- DETMANN, E. **Níveis de proteína bruta em suplementos múltiplos para terminação de bovinos mestiços em pastejo: desempenho produtivo, simulação e validação de parâmetros da cinética digestiva**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002, 84p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- FERNANDES, A.M. **Valor nutritivo da cana-de-açúcar (*Sacharum spp.*) em função dos ciclos de produção precoce e intermediário e da idade de corte**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2001, 81p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. **Forage fiber analyses (Apparatus, reagents, procedures, and some applications)**. Washington: United States Department of Agriculture, 1975. 20p. (Agriculture Handbook No. 379)
- JUNG, H.G.; DEETZ, D.A. Cell wall lignification and degradability. In: JUNG, H.G.; BUXTON, D.R.; HATFIELD, R.D. et al. (Eds.) **Forage cell wall structure and digestibility**. Madison: American Society of Agronomy, 1993. p.315-346.
- KLEIBER, M. **The fire of life: an introduction to animal energetics**. 2.ed. New York: Robert E. Krieger Publishing Co., 1975. 453p.
- KOBAYASHI, K.; SALAM, M.U. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. **Agronomy Journal**, v.92, n.2, p.345-352, 2000.
- MALAFIA, P.A.M.; VALADARES FILHO, S.C.; VIEIRA, R.A.M. et al. Determinação das frações que constituem os carboidratos totais e da cinética ruminal da fibra em detergente neutro de alguns alimentos para ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.4, p.790-796, 1998.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of beef cattle**. 7. ed. Washington, DC: Academic Press, 1996. 242p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington, D.C.: Academic Press, 2001. 381p.
- OBA, M.; ALLEN, M.S. Evaluation of the importance of the digestibility of neutral detergent fiber from forage: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v.82, n.3, p.589-596, 1999.
- PACIULLO, D.S.C.; GOMIDE, J.A.; SILVA, E.A.M. et al. Características anatômicas da lâmina foliar e do colmo de gramíneas forrageiras tropicais, em função do nível de inserção no perfilho, da idade e da estação de crescimento. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.2., p.890-899, 2002 (suplemento).
- RAYBURN, E.B.; FOX, D.G. Variation in neutral detergent fiber intake of holstein cows. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.3, p.544-554, 1993.
- ROCHA JR., V.R. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos, determinação e estimação do valor energético dos alimentos para ruminantes**. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002, 252p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2002.
- 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, n.2, p.480-490, 2003.
- SMITH, L.W.; GOERING, H.K.; GORDON, C.H. Relationships of forage compositions with rates of cell wall digestion and indigestibility of cell walls. **Journal of Dairy Science**, v.55, n.8, p.1140-1147, 1972.
- 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.11, p.3562-3577, 1992.
- TRAXLER, M.J.; FOX, D.G.; VAN SOEST, P.J. et al. Predicting forage indigestible NDF from lignin concentration. **Journal of Animal Science**, v.76, n.5., p.1469-1480, 1998.
- Van SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2nd ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.
- Van SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.
- VIEIRA, R.A.M.; PEREIRA, J.C.; MALAFAIA, P.A.M. et al. Simulação da dinâmica de nutrientes no trato gastrintestinal: aplicação e validação de um modelo matemático para bovinos a pasto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.898-909, 2000a.
- VIEIRA, R.A.M.; PEREIRA, J.C.; MALAFAIA, P.A.M. et al. Fracionamento dos carboidratos e cinética de degradação *in vitro* da fibra em detergente neutro da extrusa de bovinos a pasto. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.3, p.889-897, 2000b.
- WEIMER, P.J. Why don't ruminal bacteria digest cellulose faster? **Journal of Dairy Science**, v.79, n.8, p.1496-1502, 1996.
- WEISS, W.P. Estimation of digestibility of forages by laboratory methods. In: FAHEY JR., G.C. (Ed.) **Forage quality, evaluation, and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p.644-681.
- WEISS, W.P.; CONRAD, H.R.; PIERRE, N.R.S. A theoretical-based model for predicting total digestible nutrient value of forage and concentrates. **Animal Feed Science and Technology**, v.39, n.1, p.95-110, 1992.
- WILSON, J.R. Organization of forage plant tissues. In: JUNG, H.G.; BUXTON, D.R.; HATFIELD, R.D. et al. (Eds.) **Forage cell wall structure and digestibility**. Madison: American Society of Agronomy, 1993. p.1-32.

Recebido em: 23/05/03

Aceito em: 12/04/04