

DESENVOLVIMENTO DE MODELO PARA PREDIÇÃO DA FRAÇÃO DIGESTÍVEL DA FIBRA EM DETERGENTE NEUTRO PARA BOVINOS EM CONDIÇÕES TROPICAIS

Tadeu Eder da SILVA¹

Edenio DETMANN¹

Malber Nathan Nobre PALMA¹

Larissa Frota Camacho AMORIM¹

Sebastião de Campos VALADARES FILHO¹

- **RESUMO:** Objetivou-se neste trabalho propor modelo para predição da fração digestível da fibra em detergente neutro (FDN) de forragens e concentrados ofertados para bovinos manejados em clima tropical como alternativa ao modelo adotado pelo Sistema BR-CORTE. Foram realizados dois estudos. O primeiro estudo foi conduzido objetivando-se construir modelos que permitam o fracionamento da FDN de forragens e concentrados quanto ao potencial de degradação ruminal utilizando-se de características químicas. Foram utilizadas 371 amostras de forragens e 65 de concentrados. Os modelos construídos para ambos tipos de amostras basearam-se na predição da fração potencialmente digestível da FDN (FDN_{pd}). No segundo estudo objetivou-se construir modelo empírico de predição da digestibilidade da FDN_{pd}. O modelo foi construído a partir de informações de 60 animais recebendo alimentação exclusiva de forragens. A base matemática deste foi construída integrando-se as taxas de degradação e passagem ruminais da FDN_{pd} e aproveitamento médio no intestino grosso. A avaliação comparativa entre o modelo desenvolvido e o adotado pelo Sistema BR-CORTE foi realizada utilizando-se informações de volumosos e concentrados constantes no banco de dados CQBAL 3.0. Conclui-se que o modelo desenvolvido produziu estimativas da fração digestível da FDN mais exatas e precisas para forragens quando comparado ao atual modelo do Sistema BR-CORTE.
- **PALAVRAS-CHAVE:** Degradação ruminal; energia; modelagem; nutrientes digestíveis totais.

1 Introdução

A avaliação da porção digestível dos componentes orgânicos dos alimentos constitui a etapa inicial no processo de quantificação do valor energético dos mesmos, sobretudo via cálculo dos nutrientes digestíveis totais (NDT), possibilitando balancear dietas que atendam às demandas energéticas de manutenção e produção dos animais (DETMANN *et al.*, 2006a).

Nesse sentido, com intuito de reduzir ônus, tempo e o labor empregado nos clássicos ensaios de digestão *in vivo* necessários à obtenção de coeficientes de digestibilidade, tem-se buscado conhecer estas estimativas utilizando-se da composição química dos alimentos (CONRAD *et al.*, 1984; WEISS *et al.*, 1992; DETMANN *et al.*, 2008).

¹ Universidade Federal de Viçosa - UFV, Departamento de Zootecnia, CEP: 36570-900, Viçosa, MG, Brasil.
E-mail: tadeu.silva@ufv.br; detmann@ufv.br; malbernobre@yahoo.com.br; larissafcamorim@gmail.com; scvfilho@ufv.br

No tocante ao processo de modelagem, características como composição química e comportamento digestivo homogêneos, permitem obter estimativas de digestibilidade aparente a partir do coeficiente de digestibilidade verdadeiro e de sua contribuição metabólica fecal, realizando-se procedimento conhecido como teste de entidade nutricional (LUCAS e SMART, 1959; VAN SOEST, 1994). Baseado nessas características, trabalhos realizados em condições tropicais geraram equações com resultados consistentes quanto à digestibilidade das frações extrato etéreo e carboidratos não fibrosos (DETMANN *et al.*, 2006a; DETMANN *et al.*, 2006b).

Contudo, a porção fibra em detergente neutro (FDN) dos alimentos não se enquadra nas características necessárias à realização do teste de entidade nutricional, principalmente em virtude da composição variada de seus constituintes (celulose, hemicelulose e lignina) e da elevada heterogeneidade do coeficiente de digestibilidade entre alimentos (VAN SOEST, 1994). Esse fato gera entrave quanto à predição da digestibilidade e da capacidade de fornecimento energético dessa fração, notadamente em alimentos volumosos, uma vez que a fibra, em termos gravimétricos, é porção de maior participação na matéria seca (MS) desses (DETMANN *et al.*, 2004).

Nesse sentido, várias equações foram propostas objetivando obter estimativas da fração digestível da FDN, baseando-se principalmente no potencial efeito de proteção da lignina sobre a degradação dos demais constituintes da fibra (CONRAD *et al.*, 1984; WEISS *et al.*, 1992). Equação com tal embasamento foi incorporada ao sistema somativo de predição dos teores de NDT de alimentos/dietas adotado pelo NRC (2001), aplicado principalmente em regiões de clima temperado. De forma alternativa, adaptações empíricas e reparametrizações desta equação foram realizadas objetivando melhor adequá-la às condições tropicais (DETMANN *et al.*, 2004; DETMANN *et al.*, 2007; DETMANN *et al.*, 2008; MAGALHÃES *et al.*, 2010), o que culminou em modelo posteriormente incorporado ao sistema somativo de predição do valor energético de alimentos/dietas adotado pelo Sistema BR-CORTE (DETMANN *et al.*, 2010). Contudo, limitações quanto à exatidão e, principalmente, precisão das estimativas obtidas para fração digestível da FDN têm sido observadas (DETMANN *et al.*, 2007; 2008; SAMPAIO *et al.*, 2012; White *et al.*, 2017), o que parece ser reflexo da ampla variação das interações existentes entre os compostos fenólicos e carboidratos constituintes da fração fibrosa insolúvel dos alimentos (PALMONARI *et al.*, 2016).

Assim, buscou-se nesse estudo propor modelo para predição da fração digestível da FDN de forragens e concentrados para bovinos manejados em clima tropical como alternativa ao modelo adotado pelo Sistema BR-CORTE (DETMANN *et al.*, 2010).

2 Material e métodos

No presente trabalho, dois estudos foram conduzidos sequencialmente para construção de modelos de predição da fração digestível da FDN de forragens e concentrados. O estudo I foi realizado com intuito de construir modelos que permitam o fracionamento da FDN quanto ao potencial de degradação ruminal de forragens e concentrados baseado na composição química destes. O estudo II foi realizado posteriormente para construção de modelo de predição da digestibilidade da fração potencialmente digestível da FDN (FDN_{pd}) com base em dados de dinâmica de trânsito e degradação ruminal obtidos de animais alimentados com dietas baseadas em forragens tropicais.

2.1 Estudo I – Fracionamento da FDN quanto ao potencial de degradação ruminal

O experimento foi conduzido no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia, da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Foram utilizadas 371 amostras de forragens *in natura*, fenos e silagens (346 gramíneas e 25 leguminosas) e 65 amostras de alimentos concentrados (39 proteicos e 26 energéticos).

As amostras com alto teor de umidade foram secas em estufa com ventilação forçada (55°C). Posteriormente, todas as amostras foram processadas em moinho de facas com peneira de porosidade 2 mm, devido à necessidade incubação ruminal *in situ* para obtenção dos teores de FDN indegradável (FDNi; CASALI *et al.*, 2008). Para realização das análises químicas, porções representativas das amostras previamente moídas foram novamente processadas em moinho de facas utilizando-se peneira com porosidade 1 mm.

As análises químicas realizadas em todos os alimentos seguiram as recomendações descritas pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Ciência Animal (INCT-CA; DETMANN *et al.*, 2012). Todos os alimentos foram analisados quanto aos teores de MS (método INCT-CA G-003/1), FDN com ou sem correções para contaminações por cinzas e proteína (FDN e FDNcp; métodos INCT-CA F-002/1, INCT-CA N-004/1 e INCT-CA M-002/1), fibra em detergente ácido com ou sem correções para contaminações por cinzas e proteína (FDA e FDAcp; métodos INCT-CA F-004/1, INCT-CA N-005/1 e INCT-CA M-003/1), lignina por hidrólise em ácido sulfúrico (método INCT-CA F-005/1) e lignina por oxidação em permanganato de potássio (método INCT-CA F-006/1). Ressalta-se que as análises concernentes aos componentes fibrosos (FDN e FDA) foram realizadas com cadinhos filtrantes em substituição aos *filter bags* recomendados nos métodos originais preconizados pelo INCT-CA. As estatísticas descritivas dos valores obtidos após realização das análises descritas estão expostas Tabela 1.

Os teores de FDNi dos alimentos foram obtidos por intermédio de incubações ruminais *in situ* por período de 288 horas utilizando-se *filter bags* confeccionados em tecido não-tecido (TNT, 100 g/m²) (VALENTE *et al.*, 2011).

O fracionamento da FDN quanto ao potencial de degradação ruminal foi realizado conforme a equação:

$$FDN_{cp} = FDN_{pd} + FDN_i, \quad (1a)$$

$$FDN_{pd} = FDN_{cp} - FDN_i, \quad (1b)$$

em que: FDN_{cp} , fibra em detergente neutro com correções para contaminações por cinzas e proteína (% da MS); FDN_{pd} , fibra em detergente neutro potencialmente digestível (% da MS); e FDN_i , fibra em detergente neutro indigestível (% da MS).

Para a construção dos modelos de predição, inicialmente estudou-se as correlações lineares de Pearson entre todas as variáveis analisadas. Após análise inicial de correlações, procedeu-se a seleção das variáveis constituintes do modelo baseada no método *forward regression* (DRAPER e SMITH, 1966), utilizando-se a raiz do quadrado médio do resíduo (s), coeficiente de determinação simples ou múltiplo ajustado (r^2/R^2) e critério de

informação de Akaike corrigido (AICc) como indicadores de qualidade de ajustamento. Os procedimentos estatísticos foram realizados por intermédio dos procedimentos CORR e MIXED do SAS 9.4. Os modelos foram avaliados utilizando-se somas de quadrados do tipo I, adotando-se $\alpha = 0,05$.

Tabela 1 - Estatísticas descritivas das variáveis analisadas nas forragens e concentrados utilizados para a construção dos modelos de predição da fração potencialmente digestível da FDN

Variáveis (% da MS)	Estatísticas				
	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão
	Volumosos				
FDN	373	42,20	85,00	70,69	8,766
FDNcp	373	34,10	80,80	64,77	8,879
FDA	374	21,60	56,80	37,37	6,589
FDAcp	370	20,10	54,00	35,38	6,153
Lig(H) ¹	374	2,40	25,10	5,54	2,988
Lig(Ox) ²	357	2,50	14,20	5,63	1,829
FDNi	375	14,20	51,50	27,15	4,417
FDNpd	373	13,70	54,10	37,62	7,282
	Concentrados				
FDN	65	12,50	73,50	31,36	14,077
FDNcp	65	10,30	63,90	26,15	12,231
FDA	65	1,70	51,00	95,42	11,519
FDAcp	65	1,40	50,00	8,99	11,303
Lig(H) ¹	65	0,11	9,14	0,84	1,685
Lig(Ox) ²	64	0,50	8,20	2,03	1,383
FDNi	65	0,50	14,70	2,31	3,147
FDNpd	65	9,00	61,20	23,85	11,316

¹ Lig(H): lignina analisada por hidrólise em ácido sulfúrico; ² Lig(Ox): lignina analisada por oxidação em permanganato de potássio.

2.2 Estudo II – Coeficiente de digestibilidade da fração potencialmente degradável da FDN

Foram utilizadas informações da dinâmica de degradação e trânsito ruminal e digestibilidade parcial da FDN obtidas com 60 animais recebendo alimentação exclusiva de forragens tropicais (i.e., fenos de capim *Brachiaria decumbens* e capins do gênero *Cynodon*, cana-de-açúcar *in natura* e na forma de silagem, silagens de capim-elefante e de milho). Em todos os estudos, as taxas de passagem e de degradação ruminal da FDNpd foram estimadas utilizando-se técnica de esvaziamento ruminal (ALLEN e LINTON, 2007). As estatísticas descritivas das variáveis extraídas dos estudos são expostas Tabela 2.

O modelo matemático base para predição da digestibilidade da FDN de concentrados e forragens proposto nesse trabalho, o qual doravante é denominado de modelo empírico, é dado por:

$$FDN_d = (CDR \times FDNpd) \times FAI, \quad (2)$$

$$FDN_d = \left[\left(\frac{kd}{kd + kp} \right) \times FDNpd \right] \times FAI, \quad (3)$$

em que: FDN_d , fração digestível da FDN (% da MS); CDR , coeficiente de digestibilidade ruminal da $FDNpd$ (adimensional); kd , taxa de degradação ruminal da $FDNpd$ (h^{-1}); kp , taxa de passagem ruminal da $FDNpd$ (h^{-1}); e FAI , fator de ajuste para a digestibilidade intestinal. O termo $FDNpd$ foi previamente definido e é expresso como % da MS.

Tabela 2 - Estatísticas descritivas das variáveis obtidas dos experimentos utilizados para construção dos modelos de predição do coeficiente de digestibilidade da FDNpd

Variáveis	Estatísticas				
	n	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão
Peso, kg	60	180,00	490,50	364,65	79,69
CMS ¹ , kg/dia	60	1,71	9,79	5,55	1,80
CMS ¹ , g/kg PC	60	3,72	25,67	15,36	4,05
kp ² , hora ⁻¹	59	0,00080	0,02970	0,01104	0,00642
kd ³ , hora ⁻¹	58	0,00860	0,15050	0,05306	0,03054
D ⁴ , %	57	39,11	98,09	79,70	14,81

¹ CMS: consumo de matéria seca; ² kp: taxa de passagem da FDNpd; ³ kd: taxa de degradação da FDNpd; ⁴ D: coeficiente de digestibilidade da FDNpd.

Os modelos para predição de kd, kp e FAI foram investigados com base em características químicas e no nível do consumo voluntário dos animais constantes no banco de dados. Os ajustamentos foram realizados por intermédio dos procedimentos MIXED e NLIN do SAS 9.4, adotando-se $\alpha = 0,05$.

2.3 Avaliação comparativa entre o modelo empírico e o modelo adotado pelo Sistema BR-CORTE (DETMANN *et al.*, 2010)

Para avaliação comparativa entre o modelo empírico proposto e o modelo adotado pelo Sistema BR-CORTE (DETMANN *et al.*, 2010) utilizou-se informações de alimentos volumosos (n = 16) e concentrados (n = 8) constantes no banco de dados CQBAL 3.0 (VALADARES FILHO *et al.*, 2015). Ressalta-se que as comparações foram baseadas com maior intensidade sobre os teores de NDT, haja vista a ausência de informações no tocante à fração digestível da FDN de forma isolada. Os alimentos foram selecionados com base na utilização rotineira destes na alimentação de bovinos, na disponibilidade de todos os itens

de composição química necessários ao processo de estimação e na disponibilidade de valores observados de NDT.

O modelo adotado pelo sistema BR-CORTE (DETMANN *et al.*, 2010) para predição da fração digestível da FDN foi baseado em aproximação química e 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 (DETMANN *et al.*, 2004). A estrutura matemática do modelo é dada por:

$$FDN_d = D \times \{ (FDN_{cp} - L) \times [1 - (\frac{L}{FDN_{cp}})^F] \}, \quad (4)$$

em que: D , coeficiente de digestibilidade da FDNpd (g/g); L , concentração de lignina (% da MS); e F , fator empírico de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN (0,85). Os termos FDN_d e FDN_{cp} foram previamente definidos e são expressos como % da MS.

Para o processo de avaliação adotou-se o valor do coeficiente de digestibilidade da FDNpd sugerido pelo Sistema BR-CORTE (DETMANN *et al.*, 2010) para bovinos em crescimento e terminação em condições de alimentação irrestrita (0,84), o qual foi obtido por intermédio de procedimento meta-analítico realizado por DETMANN *et al.* (2007).

O modelo matemático base adotado para avaliação das concentrações da fração verdadeiramente digestível da PB por ambas as aproximações é dado por:

$$PB_{vd} = D_{vPBCC} \times (PB - PIDN) + D_{PBPCpd} \times \{ PIDN \times [1 - e^{-(0,8188 + 1,1676 \times PIDA)}] \} \quad (5)$$

em que: PB_{vd} , PB verdadeiramente digestível (% da MS); D_{vPBCC} , coeficiente de digestibilidade verdadeiro da PB de conteúdo celular (g/g); PB , concentração de PB (% da MS); D_{PBPCpd} , coeficiente de digestibilidade da PB de parede celular potencialmente digestível (g/g); $PIDN$, proteína insolúvel em detergente neutro (% da MS); e $PIDA$, proteína insolúvel em detergente ácido (% da MS).

Para ambas aproximações se adotou coeficiente de digestibilidade verdadeiro da PB de conteúdo celular de 0,95, pressupondo-se que esta fração possui comportamento de digestibilidade verdadeira similar ao observado para os carboidratos não fibrosos (CNF). Este valor foi relatado por DETMANN *et al.* (2006b) em condições tropicais.

Segundo os pressupostos adotados pelo Sistema BR-CORTE (DETMANN *et al.*, 2010), a PB de parede celular possui comportamento digestivo similar ao observado para a FDN. Desta forma, o coeficiente de digestibilidade da PB de parede potencialmente digestível foi assumido como similar ao coeficiente de digestibilidade da FDNpd.

Assim, a partir da equação (5), a predição da fração verdadeiramente digestível da PB por intermédio do modelo adotado pelo Sistema BR-CORTE (DETMANN *et al.*, 2010) e pela aproximação empírica aqui desenvolvida são dados pelas respectivas equações:

$$PB_{vd} = 0,95 \times (PB - PIDN) + 0,84 \times \{PIDN \times [1 - e^{-(0,8188+1,1676 \cdot PIDA)}]\}, \quad (6)$$

$$PB_{vd} = 0,95 \times (PB - PIDN) + \frac{kd}{kd + kp} \times \{PIDN \times [1 - e^{-(0,8188+1,1676 \cdot PIDA)}]\}. \quad (7)$$

Esclarece-se que, na aproximação empírica aqui desenvolvida optou-se por não realizar ajustamento para a digestibilidade intestinal da PB associada à parede celular. A não consideração deste ajuste é justificada pelo fato de após a digestão ruminal, a fração fibrosa somente sofrer digestão mais expressiva no intestino grosso e, em virtude de a PB digerida nesse compartimento ser utilizada basicamente para crescimento microbiano, não haveria aproveitamento significativo para o metabolismo animal, sendo esta basicamente enquadrada como fração metabólica fecal.

A predição das frações verdadeiramente digestíveis do extrato etéreo (EE) e dos CNF foi similar para ambas as aproximações, empregando-se as equações (DETMANN *et al.*, 2010):

$$EE_{vd} = 0,86 \times EE, \quad (8)$$

$$CNF_{vd} = 0,95 \times CNF, \quad (9)$$

em que: EE_{vd} , EE verdadeiramente digestível; EE , concentração de EE; CNF_{vd} , CNF verdadeiramente digestíveis; CNF , concentração de CNF. Todos expressos como % da MS.

Ressalta-se que as concentrações de CNF nos alimentos foram calculadas segundo preconizado por DETMANN e VALADARES FILHO (2010).

A concentração de NDT para ambas as aproximações foi obtida por intermédio da equação:

$$NDT = PB_{vd} + CNF_{vd} + FDN_d + 2,25 \times EE_{vd} - FM_{NDT}, \quad (10)$$

em que: NDT , concentração de NDT (% 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. Demais termos foram previamente definidos e são expressos como % da MS.

Adotou-se o valor de FM_{NDT} sugerido pelo Sistema BR-CORTE (DETMANN *et al.*, 2010) para bovinos em crescimento e terminação alimentados *ad libitum* (7,13).

A avaliação comparativa entre as diferentes aproximações quanto à concentração de NDT nos alimentos seguiu procedimento simplificado de decomposição do erro de predição adaptado a partir de fundamentos relatados por KOBAYASHI e SALAM (2000):

$$QMEP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2, \quad (11)$$

$$QV = (\bar{x} - \bar{y})^2, \quad (12)$$

$$VMQ = QMEP - QV = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x}) - (y_i - \bar{y})]^2. \quad (13)$$

em que: *QMEP*, quadrado médio do erro de predição; x_i , valores preditos (% da MS); y_i , valores observados (base de dados CQBAL 3.0; % da MS); *QV*, quadrado do vício; e *VMQ*, variação média quadrática.

Ressalta-se, contudo, que este processo de validação deve ser visto com cautela, pois os itens relativos à composição química constantes na base de dados CQBAL 3.0 podem ser oriundos de fontes distintas, além de não haver clareza quanto às situações nas quais as concentrações de NDT foram avaliadas *in vivo*. Assim, devido a esta limitação intrínseca ao banco de dados utilizado, optou-se pela não realização de processo mais rigoroso de avaliação dos erros de predição. A decomposição simplificada utilizada (Equações 11 a 13) permite a identificação básica da composição do erro de predição (*QMEP*) em relação a limitações na exatidão (*QV*) ou precisão (*VMQ*) do modelo avaliado.

3 Resultados e discussão

3.1 Estudo I – Fracionamento da FDN quanto ao potencial de degradação ruminal

Embora as equações sugeridas nesse estudo basearem-se nas concentrações de FDNpd dos alimentos, inicialmente objetivou-se prever a fração FDNi, haja vista que esta é diretamente analisada. Entretanto, as correlações entre as diferentes características químicas consideradas e a fração FDNi mostraram-se mais fracas em comparação àquelas obtidas com a fração FDNpd (Tabela 3), o que possivelmente é reflexo da maior proporção de FDNpd em relação à FDNi na MS total dos alimentos. Portanto, melhores ajustamentos dos modelos foram conseguidos considerando-se a fração FDNpd como variável dependente.

No entanto, embora complementares em relação à FDN total, as frações FDNpd e FDNi, expressas como percentagem da MS, mostraram-se não correlacionadas (Tabela 3) devido, em maior escala, à alta variabilidade na concentração de FDN e, em menor escala, devido à alta variabilidade na partição da FDN nas frações potencialmente digestível e indigestível entre alimentos.

A característica básica para o ajustamento dos modelos para predição da fração FDNpd para forragens e concentrados residu sobre as fortes correlações observadas com a concentração de FDNcp (Tabela 3; Figuras 1 e 2). Esta relação assume característica lógica, considerando-se que, com raras exceções, a fração FDNpd compreende a maior parte da FDN total, refletindo, assim, relação direta de proporcionalidade. Estas correlações foram levemente mais fortes em relação à FDN (Tabela 3), possivelmente devido à baixa influência da proteína e dos minerais da parede celular sobre a degradação da fibra.

Tabela 3 - Coeficientes de correlação lineares de Pearson para as concentrações das frações FDNpd e FDNi e diferentes características químicas em forragens e concentrados

Característica ¹	Alimento ²			
	Forragens		Concentrados	
	FDNpd	FDNi	FDNpd	FDNi
FDN	0,838 (<0,001)	0,541 (<0,001)	0,950 (<0,001)	0,427 (<0,001)
FDNcp	0,868 (<0,001)	0,576 (<0,001)	0,967 (<0,001)	0,408 (<0,001)
FDA	0,539 (<0,001)	0,632 (<0,001)	0,811 (<0,001)	0,344 (0,004)
FDACP	0,534 (<0,001)	0,603 (<0,001)	0,803 (<0,001)	0,340 (0,005)
Lig(H)	-0,553 (<0,001)	-0,106 (0,040)	0,059 (0,643)	0,911 (<0,001)
Lig(Ox)	-0,505 (<0,001)	-0,080 (0,131)	0,502 (<0,001)	0,391 (0,001)
FDNpd × FDNi	0,095 (0,067)		0,163 (0,195)	

¹ FDN, fibra em detergente neutro; FDNcp, FDN corrigida para cinzas e proteína; FDA, fibra em detergente ácido; FDACP, FDA corrigida para cinzas e proteína; Lig(H), lignina avaliada por hidrólise em ácido sulfúrico; Lig(Ox), lignina avaliada por oxidação em permanganato de potássio. ² Os valores entre parênteses representam o nível descritivo de probabilidade para $H_0: \rho = 0$.

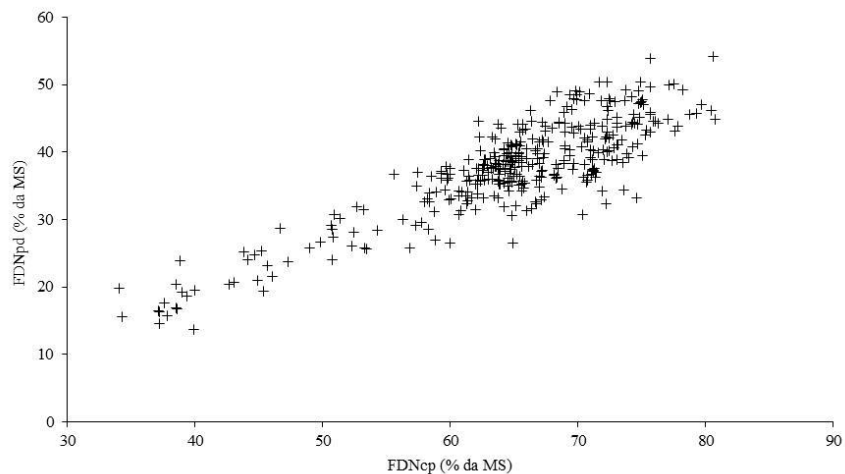


Figura 1 - Relação entre a concentração de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp) e fibra em detergente neutro potencialmente digestível (FDNpd) em forragens (n = 371).

Nesse sentido, relações com outras características da fibra foram agregadas aos modelos, a fim de incorporar elementos discriminatórios entre alimentos em função do potencial de utilização ruminal da fibra.

Para forragens, selecionou-se o modelo de predição da fração FDNpd acrescido dos efeitos linear e quadrático da FDA e do efeito linear da concentração de lignina (modelo 5; Tabela 4), o qual apresentou menor AICc e praticamente manteve os mesmos valores de R² e (s) quando comparado aos demais modelos. Embora o modelo 5 (Tabela 4) tenha apresentado intercepto não significativo (P > 0,44), sua retirada do modelo (modelo 7; Tabela 4) reduziu a qualidade do ajustamento. Assim, o modelo foi parametrizado com a presença do intercepto.

Para concentrados, selecionou-se o modelo de predição da fração FDNpd acrescido dos efeitos lineares da FDA, além da introdução da variável “dummy” relacionada à avaliação de concentrados com menor degradação potencial da fibra (modelo 3; Tabela 5). De forma similar à seleção do modelo para forragens, a seleção do modelo 3 para concentrados fundamentou-se no menor valor de AICc, uma vez que os valores de R² e (s) se mantiveram similares comparados aos demais.

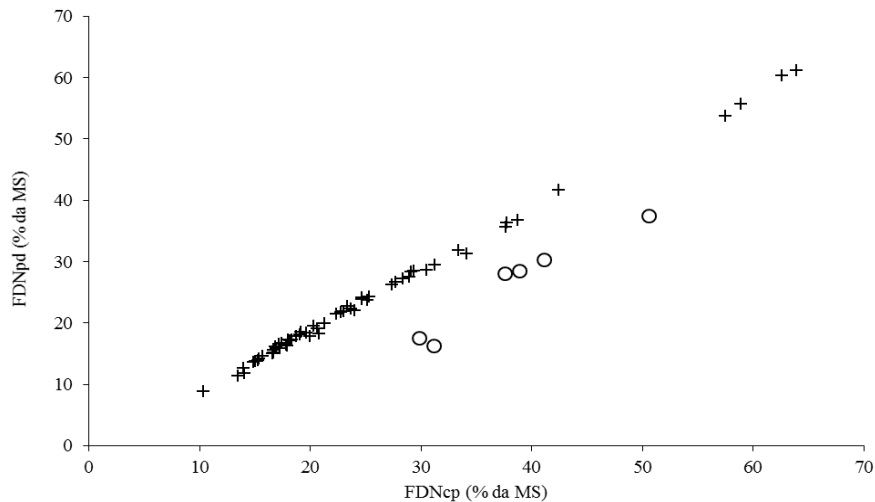


Figura 2 - Relação entre a concentração de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp) e fibra em detergente neutro potencialmente digestível (FDNpd) em concentrados (n = 65; o = concentrados contendo fibra de menor degradação potencial; + = demais alimentos concentrados).

As equações ajustadas para forragens e concentrados foram, respectivamente:

$$FDNpd(F) = 3,385 + 0,883 \times FDNcp - 0,834 \times FDA + 0,007 \times FDA^2 - 0,197 \times L, \quad (14)$$

$$FDNpd(C) = -1,198 - 10,159 \times D + 1,012 \times FDNcp - 0,052 \times FDA, \quad (15)$$

em que: $FDNpd(F)$ e $FDNpd(C)$, concentrações de $FDNpd$ em forragens e concentrados, respectivamente (% da MS); L , concentração de lignina mensurada pelo método da hidrólise ácida (% da MS); D , variável “dummy” associada ao tipo de concentrado, sendo $D = 1$ para concentrados contendo fibra de menor degradação potencial (e.g., farelo, torta e caroço de algodão; farelo e torta de girassol; farelo de trigo; e milho desintegrado com palha e sabugo) e $D = 0$ para os demais alimentos concentrados. Os demais termos foram previamente definidos e todos são expressos como % da MS.

A avaliação dos resíduos de ambas as equações indicou falta de ajustamento não significativa ($p \geq 0,97$).

A lignina exerce papel central sobre a extensão da degradação da fibra no rúmen (VAN SOEST, 1994). As correlações negativas entre lignina e fração $FDNpd$ para forragens corroboram esta afirmativa, implicando em coeficiente de regressão negativo na equação (14). Embora evidências apontem para correlações mais fortes entre o potencial de degradação da FDN de forragens tropicais e a lignina analisada por oxidação em permanganato (GOMES *et al.*, 2011), o conjunto de amostras avaliado evidenciou melhor associação baseada nas concentrações de lignina avaliadas por hidrólise em ácido sulfúrico (Tabela 3). De um ponto de vista pragmático, esta recomendação mostra-se vantajosa, uma vez que o método da hidrólise em ácido sulfúrico demanda menor labor e possui menor número de etapas e menor custo em comparação ao método da oxidação em permanganato. Contudo, alerta-se que a aplicação do método da hidrólise pode levar à superestimação da concentração de lignina em alimentos com alta concentração de cutina, uma vez que esta última é considerada no resíduo avaliado como lignina (VAN SOEST, 1994).

Contrariamente à FDN, a correção para cinzas e proteína não elevou as correlações entre $FDNpd$ e FDA (Tabela 3). Assim, a equação (14) baseou-se nas concentrações de FDA sem correções. A não necessidade de utilização da $FDAcp$ reduz o labor analítico por eliminar a análise de cinzas insolúveis em detergente ácido da rotina laboratorial.

Embora a correlação entre $FDNpd$ e FDA tenha sido inicialmente positiva (Tabela 3), sua inclusão no modelo se deu por intermédio de efeito negativo sobre a $FDNpd$ (Equação 14). Esta inversão na direção da associação reflete limitação do coeficiente de correlação momento produto de Pearson quando aplicado a grupos de variáveis fortemente correlacionadas, pois sua estimativa para qualquer par de variáveis pode ocultar influências das demais variáveis avaliadas (SPIEGEL, 1971). No entanto, apesar da inversão na direção da correlação, a inclusão da FDA ao modelo melhorou o ajustamento e contribuiu significativamente para a explicabilidade da relação ($P \leq 0,05$). A conformação quadrática da equação (14) sugere que haveria um ponto de mínima concentração de $FDNpd$ em função da FDA, com subsequente ampliação. Contudo, o efeito da FDA sobre a $FDNpd$ é continuamente decrescente no domínio matemático de suas concentrações. O estudo da derivada parcial da concentração de $FDNpd$ em função da concentração de FDA indica que incrementos em $FDNpd$ somente ocorreriam em limites cabíveis ao campo da extrapolação e sob concentrações biologicamente pouco prováveis de FDA ($FDA \leq 64,2\%$ da MS).

A presença da FDA na equação (14) deve ser vista, contudo, com cautela. De um ponto de vista teórico, deve se ressaltar que a FDA não supre nenhuma definição de fibra dietética ou fibra insolúvel (MERTENS, 2003), não devendo, portanto, ser considerada conceito nutricional válido de fibra. A utilização da FDA em regressões diretas para predição da

digestibilidade ignora as bases fisiológicas que relacionam os componentes fibrosos com a digestibilidade. A digestão de todas as frações fibrosas insolúveis é limitada principalmente pela lignificação. Neste contexto, o estabelecimento de relações entre FDA e características de digestão, principalmente da fibra insolúvel, são inconsistentes do ponto de vista nutricional (DETMANN, 2010) e representam tão somente associações estatísticas. Biologicamente, correlações negativas entre FDA e digestibilidade da fibra insolúvel devem ser atribuídas à lignina, e não à FDA per si (DETMANN, 2010). Assim, o efeito negativo da FDA observado no modelo, mesmo com a presença da lignina (Equação 14), parece refletir apenas efeito de adequação na participação proporcional dos diferentes macro-componentes insolúveis da parede celular (celulose, hemicelulose e lignina) na FDN das forragens, o que pode influenciar sua degradação potencial devido às diferentes ligações químicas e interações físicas existentes entre estes e à diferente participação destes componentes nos diferentes tecidos vegetais, os quais variam em participação na planta conforme espécie e estágio de maturidade.

Tabela 4 - Sinopse das estimativas dos coeficientes e dos valores de probabilidade (entre parênteses) associados a cada parâmetro dos modelos construídos para predição dos conteúdos de FDNpd de forragens e indicadores estatísticos de qualidade de ajustamento

Modelos	Parâmetros ¹							Indicadores ²		
	Intercepto	FDNcp	FDNcp ²	FDA	FDA ²	Lig(H)	Lig(H) ²	AICc	r ² /R ²	s
1	-8,473 (<0,001)	0,712 (<0,001)	-	-	-	-	-	2026,3	0,753	3,62
2	-17,501 (0,001)	1,028 (<0,001)	-0,003 (0,090)	-	-	-	-	2034,5	0,754	3,61
3	-8,126 (<0,001)	0,888 (<0,001)	-	-0,315 (<0,001)	-	-	-	1968,3	0,789	3,35
4	0,853 (0,848)	0,940 (<0,001)	-	-0,910 (0,001)	0,007 (0,036)	-	-	1973,5	0,791	3,34
5	3,385 (0,448)	0,884 (<0,001)	-	-0,834 (0,003)	0,006 (0,043)	-0,197 (0,005)	-	1953,7	0,801	3,27
6	4,945 (0,280)	0,879 (<0,001)	-	-0,855 (0,002)	0,007 (0,031)	-0,514 (0,018)	0,157 (0,124)	1958,6	0,803	3,26
7	-	0,874 (<0,001)	-	-0,642 (<0,001)	0,004 (<0,001)	-0,185 (0,007)	-	1959,1	0,801	3,26

¹ FDNcp e FDNcp², efeitos linear e quadrático da fibra em detergente neutro corrigida para contaminações por cinzas e proteína, respectivamente; FDA e FDA², efeitos linear e quadrático da fibra em detergente ácido sem correções para contaminações por cinzas e proteína, respectivamente; Lig(H) e Lig(H)², efeitos linear e quadrático da lignina avaliada por hidrólise em ácido sulfúrico, respectivamente.

² AICc, critério de informação de Akaike corrigido; r²/R², coeficiente de determinação simples ou múltiplo; (s), raiz quadrada do quadrado médio do resíduo

Tabela 5 - Sinopse das estimativas dos coeficientes e dos valores de probabilidade (entre parênteses) associados a cada parâmetro dos modelos construídos para predição dos conteúdos de FDNpd de alimentos concentrados e indicadores estatísticos de qualidade de ajustamento

Modelos	Parâmetros ¹					Indicadores ²		
	Intercepto	Variável dummy	FDNcp	FDA	Lig(Ox)	AICc	r ² /R ²	s
1	0,446 (0,603)	-	0,895 (<0,001)	-	-	328,4	0,935	2,90
2	-0,609 (0,010)	-10,031 (<0,001)	0,971 (<0,001)	-	-	161,4	0,995	0,77
3	-1,198 (<0,001)	-10,159 (<0,001)	1,012 (<0,001)	-0,052 (<0,001)	-	155,9	0,996	0,70
4	-1,251 (0,009)	-10,245 (<0,001)	1,008 (<0,001)	-0,053 (<0,001)	0,084 (0,307)	156,8	0,996	0,71

¹ Variável dummy, em que D = 1 para alimentos concentrados contendo fibra de menor degradação potencial e D = 0 para demais alimentos concentrados; FDNcp, efeito linear da fibra em detergente neutro corrigida para contaminações por cinzas e proteína; FDA, efeito linear da fibra em detergente ácido sem correções para contaminações por cinzas e proteína; Lig(Ox), efeito linear da lignina avaliada por oxidação em permanganato de potássio.

² AICc, critério de informação de Akaike corrigido; r²/R², coeficiente de determinação simples ou múltiplo; (s), raiz quadrada do quadrado médio do resíduo.

Para alimentos concentrados, o modelo para predição da fração FDN_{pd} foi acrescido do efeito linear negativo da FDA (Equação 15). Embora as concentrações de lignina mensuradas por oxidação tenham se correlacionado negativamente com a FDN_{pd} (Tabela 3), sua inclusão no modelo não proporcionou contribuição significativa ($P > 0,30$). Como ressaltado anteriormente, os efeitos centrais sobre o potencial de degradação da FDN devem ser atribuídos à lignina (VAN SOEST, 1994) e correlações entre esta característica e a FDA devem ser vistas apenas como associações estatísticas. Assim, para alimentos concentrados, a FDA parece refletir diretamente a ação da lignina, pois esta seria proporcionalmente mais representativa no resíduo insolúvel em detergente ácido em comparação ao resíduo insolúvel de detergente neutro. Por outro lado, a avaliação de lignina em concentrados pode apresentar dificuldades devido à sua baixa concentração, reduzindo a precisão das mensurações gravimétricas. Assim, a vantagem apontada para a FDA em alimentos concentrados se deve ao fato de a lignina estar contida na FDA, permitindo a quantificação da mesma em resíduo de maior massa, sem a necessidade de um segundo procedimento químico para separação da celulose, o que também implica em maior praticidade, maior rapidez e menor custo das análises.

No modelo aplicável à concentração de FDN_{pd} em concentrados introduziu-se variável “dummy” para correção das estimativas em função de alimentos com fibra de menor potencial de degradação (Equação 15). Esta correção foi incorporada somente em nível de intercepto, pois a inclinação de ambos os grupos de alimentos concentrados em função da concentração de FDN_{cp} mostrou-se similar (Figura 2). Embora o grupo de alimentos com fibra de menor degradação potencial no conjunto de dados tenha contemplado apenas subprodutos do algodão e farelo de trigo, avaliações subsequentes utilizando-se a base de dados CQBAL 3.0 (VALADARES FILHO *et al.*, 2015) revelaram que a correção por intermédio da variável “dummy” seria também aplicável a subprodutos derivados do girassol (farelo e torta) e ao milho desintegrado com palha e sabugo (dados não mostrados).

3.2 Estudo II - Coeficiente de digestibilidade da fração potencialmente degradável da FDN

O banco de dados utilizado evidenciou que a kd da FDN_{pd} poderia ser predita por uma relação linear simples com o consumo voluntário de matéria seca (CMS, g/kg de peso corporal) segundo o modelo (Figura 3)

$$kd = 0,00329 \times CMS \ (S_{XY} = 0,0106). \quad (16)$$

Cabe salientar que, devido ao banco de dados utilizado ser limitado no sentido de ser composto somente por dietas exclusivas de volumosos, considerou-se que as taxas de degradação da FDN_{pd} preditas pela equação (16) seriam inerentes à dieta total e, portanto, aplicáveis a forragens e concentrados.

Especificamente para a k_p da FDN_{pd}, verificou-se relação curvilínea com a concentração de FDN_i na forragem basal. Esta relação foi investigada por intermédio de três diferentes aproximações (modelos: quadrático, exponencial decrescente e hiperbólico;

dados não mostrados), obtendo-se melhor ajustamento por intermédio de relação hiperbólica (Figura 4) dada por

$$kp(F) = \frac{0,287}{FDNi} (S_{xy} = 0,0048), \quad (17)$$

em que: $kp(F)$, taxa de passagem ruminal da $FDNpd$ de forragens (h^{-1}). A concentração de $FDNi$ na forragem basal da dieta é dada em % da MS.

Entretanto, no caso da taxa de passagem, considerando-se que concentrados apresentam tamanhos de partículas inferiores àqueles observados para forragens, faz-se lógica a suposição de menor tempo de retenção para a fibra de concentrados. A quantidade de informações que contrastam a taxa de passagem da fibra de forragens e concentrados em um mesmo experimento é limitada em condições brasileiras. Desta forma, aproximando-se a partir do experimento realizado por BÜRGER *et al.* (2000), assumiu-se que a taxa de passagem ruminal da fibra de concentrados seja aproximadamente 1,8 vez aquela observada para a forragem basal. Assim,

$$kp(C) = kp(F) \times 1,8, \quad (18)$$

em que: $kp(C)$, taxa de passagem ruminal da $FDNpd$ de concentrados (h^{-1}).

Embora informações de animais alimentados com dietas compostas por volumosos e concentrados estivessem disponíveis, as mesmas não foram utilizadas visando ao desenvolvimento de modelo simplificado que possa ser aplicado a alimentos individuais, sem a demanda de informações da composição da dieta final. Adicionalmente, ajustes discretos com relação às categorias animais não são contemplados na aproximação empírica, ficando estas restritas a diferenças no nível de consumo e em relação à qualidade da forragem basal da dieta.

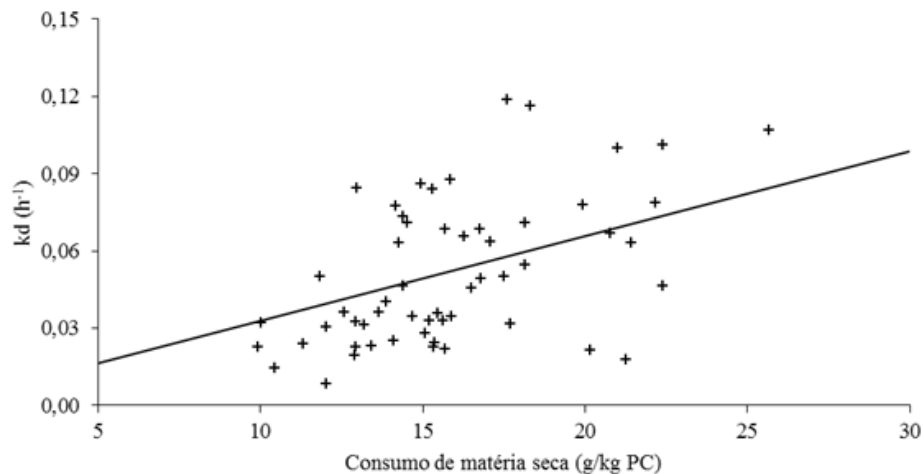


Figura 3 - Relação entre o consumo voluntário de matéria seca e a taxa de degradação (kd) da fibra em detergente neutro potencialmente digestível em dietas exclusivas de forragens (a linha contínua representa a equação 16).

A associação positiva entre a taxa de degradação da FDNpd e o consumo voluntário (Equação 16; Figura 3) baseia-se no fato de o efeito de repleção ruminal da fibra, particularmente sua fração potencialmente degradável, estar negativamente associada com sua taxa de degradação no ambiente ruminal (WALDO *et al.*, 1972; DETMANN *et al.*, 2015). Assim, deve ser entendido que a relação expressa pela equação (16) se estabelece com base no aumento da qualidade da dieta.

Por outro lado, a taxa de passagem da FDNpd de alimentos volumosos demonstrou associação simples, negativa e curvilínea com a concentração da FDNi na forragem basal da dieta (Equação 17; Figura 4). Embora as frações FDNi e FDNpd tenham taxas de passagem distintas no ambiente ruminal (LUND *et al.*, 2007), o aumento da fração FDNi da forragem amplia o efeito de repleção ruminal total da FDN devido ao maior tempo de retenção ruminal da FDN, haja vista que a fração FDNi só exhibe desaparecimento ruminal por uma única via (passagem) e, portanto, menor *turnover* comparado à fração FDNpd.

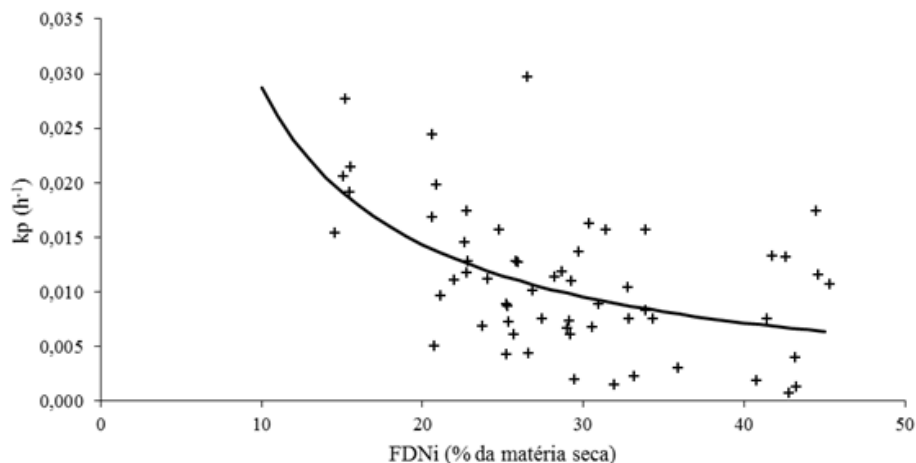


Figura 4 - Relação entre a concentração dietética de fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) e a taxa de passagem (kp) da fibra em detergente neutro potencialmente digestível em dietas exclusivas de volumosos (a linha contínua representa a equação 17).

Desta forma, ambas as equações ajustadas (Equações 16 e 17) apresentam coerência biológica com a ideia de avaliação da disponibilidade da FDNpd a partir da integração entre as dinâmicas de trânsito e degradação ruminal (Equação 3).

Contudo, a integração entre trânsito e degradação se refere apenas aos eventos ruminais, não considerando o possível aproveitamento da FDNpd no intestino grosso, o qual complementa o coeficiente de digestibilidade total desta fração. Assim, fator de ajustamento para a digestibilidade intestinal (FAI) foi adotado para compensar aos eventos digestivos pós-ruminais. No banco de dados avaliado, verificou-se que, em média, $89 \pm 1,03\%$ da digestão total da FDNpd ocorreu no rúmen, o que culminou na adoção de FAI = 1,12 (1/0,89). Esta proporção aproxima-se do sugerido por outros autores em condições não tropicais (HUHTANEN *et al.*, 2010).

Como limitação da aproximação empírica tem-se a ausência de dados associados à taxa de passagem da FDNpd de alimentos concentrados. Este tipo de informação é escasso no Brasil. Desta forma, o ajuste para a taxa de passagem de concentrados foi baseado na taxa de passagem da FDNpd da forragem basal e nas relações entre taxas de passagens da fibra de volumosos e concentrados obtida por BÜRGER *et al.* (2000) (Equação 17). Contudo, este ajustamento poderá sofrer modificações na medida em que novas informações forem obtidas em condições brasileiras.

Adicionalmente, a inclusão de concentrados à dieta pode afetar o coeficiente de digestibilidade da FDNpd, particularmente em nível ruminal. Este comportamento evidencia a existência de efeitos associativos com a inclusão de concentrados, o que pode afetar a taxa de degradação da FDNpd (NRC, 2016). Alterações na taxa de degradação podem refletir em alterações na taxa de passagem da fibra (ALLEN, 1996). Contudo, tais impactos não são contemplados diretamente na aproximação empírica e sua consideração em aproximações futuras pode incrementar a capacidade preditiva do modelo.

Por outro lado, como a estimação da taxa de passagem da FDNpd baseia-se na concentração de FDNi da forragem basal, não haveria disponibilidade de estimativas para dietas formadas exclusivamente por concentrados. Ressalta-se que para estes casos específicos, o modelo proposto pode não apresentar resultados satisfatórios, haja vista que dados das dinâmicas de trânsito e degradação ruminal para este tipo específico de dieta são inexistentes em condições brasileiras.

3.3 Avaliação comparativa dos modelos

De forma geral, não foram observadas diferenças marcantes entre as aproximações empírica e os modelos adotados pelo Sistema BR-CORTE (DETMANN *et al.*, 2010) com relação aos valores de frações digestíveis de FDN e PB para alimentos concentrados e PB para forragens. As aproximações produziram valores de NDT próximos àqueles observados na base de dados CQBAL 3.0 para alimentos concentrados (Figuras 5 e 6).

No entanto, diferenças marcantes foram observadas quanto à fração digestível da FDN quando amostras de forragens foram consideradas (Figura 5). Desta forma, o sistema somativo proposto por DETMANN *et al.* (2010) tendeu a superestimar a concentração dietética de NDT. Ao que tudo indica, a combinação do uso de coeficiente de digestibilidade fixo com fator de proteção constante associado à lignina (Equação 4) tende a superestimar esta fração, notadamente em bovinos em crescimento e terminação. Neste sentido, a aproximação empírica, produziu menores estimativas da fração digestível da FDN (Figura 5), fazendo com que as concentrações de NDT em forragens apresentem maior similaridade com os valores observados *in vivo* (Figura 5). Considerando a similaridade entre as aproximações quanto aos valores da fração verdadeiramente digestível da PB de forragens (Figura 5), entende-se que as principais diferenças entre aproximações residem no processo de estimação da fração digestível da FDN.

Neste sentido, a avaliação geral do conjunto de dados permitiu evidenciar que ganhos proeminentes em exatidão e precisão foram obtidos somente na avaliação de forragens, pois pouca diferença foi verificada com relação a alimentos concentrados (Figura 7).

A utilização da aproximação empírica produziu estimativas mais exatas em relação aos modelos adotados por DETMANN *et al.* (2010). O coeficiente de digestibilidade da fração FDNpd para bovinos em crescimento e terminação adotado por DETMANN *et al.* (2010) (0,84) mostrou-se inferior ao coeficiente médio de digestibilidade da FDNpd para amostras de forragens considerando-se a aproximação empírica (0,867). Contudo, mesmo assim, verificaram-se estimativas mais altas da fração digestível da FDN, culminando em superestimação da concentração de NDT. Este fato alerta para a presença de vieses positivos na estimação da fração FDNpd por intermédio da equação (4).

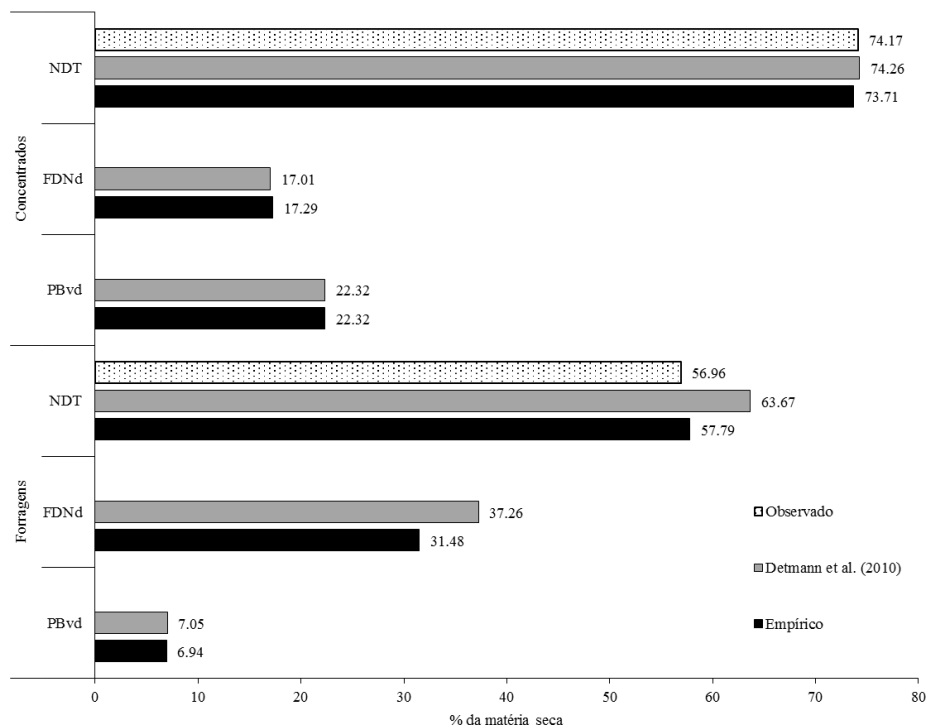


Figura 5 – Estimativas da fração verdadeiramente digestível da PB (PBvd, % da MS), da fração digestível da FDN (FDNd, % da MS) e da concentração dietética de NDT (% da MS) obtidas pelos modelos adotados por DETMANN *et al.* (2010) e pela aproximação empírica para fibra e proteína para bovinos em crescimento e terminação e valores médios de NDT observados segundo dados da base CQBAL 3.0 (forragens, n = 16; concentrados, n = 8). Para o modelo empírico considerou-se consumo de 22 g/kg de peso corporal. Considerou-se para concentrados silagem de milho como volumoso basal.

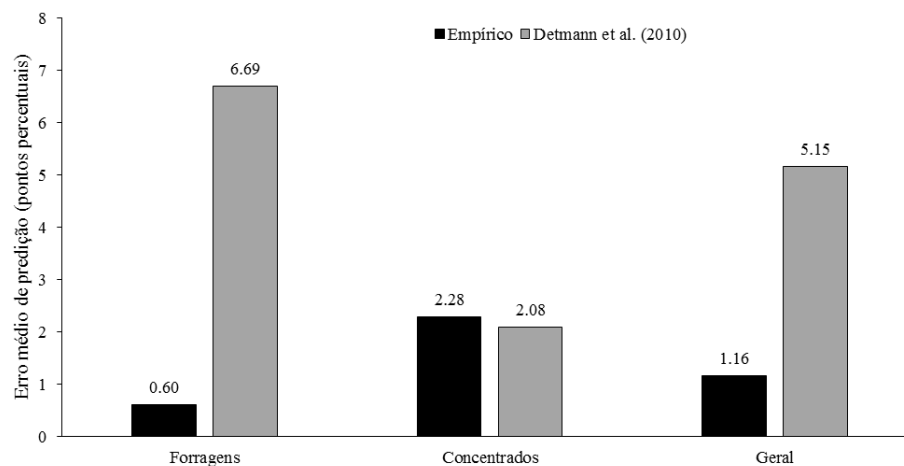


Figura 6 – Erro médios de predição (pontos percentuais) em relação ao teor de NDT em alimentos concentrados e forragens obtidos pelos modelos adotados por DETMANN *et al.* (2010) e pela aproximação empírica para fibra e proteína para bovinos em crescimento e terminação em relação aos valores médios de NDT observados segundo dados da base CQBAL 3.0 (forragens, n = 16; concentrados, n = 8).

No entanto, os maiores ganhos foram observados com relação à precisão das estimativas, o que, como ressaltado anteriormente, constituía a principal limitação na avaliação da fração digestível da FDN (DETMANN *et al.*, 2007; DETMANN *et al.*, 2008; AZEVEDO *et al.*, 2011; SAMPAIO *et al.*, 2012). Embora as equações utilizadas por esta aproximação sejam relativamente simples (Equações 14 a 18), a consideração das particularidades das forragens basais (i.e., concentração de FDNi) em detrimento de coeficientes constantes para o coeficiente de digestibilidade da FDNpd parecem ter refletido em variações similares e correlações mais fortes com valores observados *in vivo*. Assim, a aproximação empírica mostrou-se alternativa mais exata e precisa para a substituição do modelo proposto por DETMANN *et al.* (2010) para estimação da fração digestível da FDN, com as consequentes aplicações sobre a fração digestível da PB.

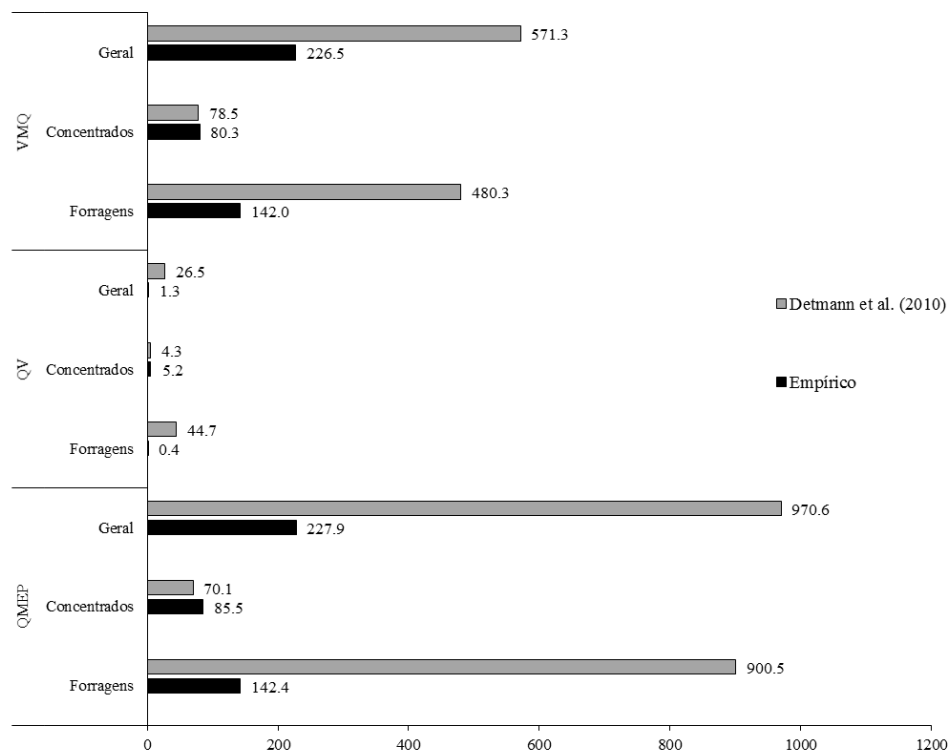


Figura 7 – Quadrado médio do erro de predição (QMEP), quadrado do vício (QV) e variação média quadrática (VMQ) para os teores de NDT em alimentos concentrados e forragens obtidos pelo modelo proposto por DETMANN *et al.* (2010) e pela aproximação e empírica para fibra e proteína para bovinos em crescimento e terminação em relação aos valores médios de NDT observados segundo dados do CQBAL 3.0 (forragens, n = 16; concentrados, n = 8).

Conclusões

O modelo empírico proposto neste trabalho para predição da digestibilidade da FDN em forragens é mais exato e preciso quando comparado ao modelo adotado pelo Sistema BR-CORTE (DETMANN *et al.*, 2010).

Agradecimentos

Ao CNPq, FAPEMIG e INCT Ciência Animal pelo suporte financeiro para a realização deste trabalho e aos dois revisores e editores pelos comentários e sugestões.

SILVA, T. E.; DETMANN, E.; PALMA, M. N. N.; AMORIM, L. F. C.; VALADARES FILHO, S. C. Development of a model to predict the digestible fraction of neutral detergent fiber for cattle in tropical conditions. *Rev. Bras. Biom.*, Lavras, v.36, n.2, p.290-315, 2018.

- **ABSTRACT:** *The aim of this work was to propose a model to predict the digestible fraction of neutral detergent fiber (NDF) of forages and concentrates offered to cattle managed under tropical conditions as an alternative to the current model adopted by the BR-CORTE System. Two studies were carried out. The first one aimed to build models that could allow fractionating the NDF from forages and concentrates with regard its potential of ruminal degradation by using chemical characteristics. It were used 371 samples of forages and 65 samples of concentrates. The models built for both types of samples were based on the prediction of potentially digestible NDF (pdNDF). The second study aimed to build a model to predict the digestibility of pdNDF. The model was built from information of 60 animals receiving exclusively forage-based diets. The mathematical was based on integrating the ruminal degradation and ruminal passage rates of pdNDF and on average utilization of fiber in the large intestine. The comparative evaluation between the new model and the model adopted by the BR-CORTE System was performed using information of forages and concentrates from the CQBAL 3.0 database. The estimates of the digestible NDF obtained from the new model were more accurate and precise than the estimates obtained from current BR-CORTE model.*
- **KEYWORDS:** *Energy; modeling; ruminal degradation; total digestible nutrients.*

Referências

ALLEN, M. S. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *Journal of Animal Science*, v.74, p.3063-3075, 1996.

ALLEN, M. S.; LINTON, J. A. V. In vivo methods to measure digestibility and digestion kinetics of feed fractions in the rumen. In: *Simpósio Internacional Avanços em Pesquisa de Nutrição de Ruminantes*, 1, 2007, Pirassununga. Anais... Pirassununga: USP, 2007. p.72-89.

AZEVEDO, J. A. G.; VALADARES FILHO, S. C.; DETMANN, E.; PINA, D. S.; PEREIRA, L. G. R.; OLIVEIRA, K. A. M.; FERNANDES, H. J.; SOUZA, N. K. P. Predição das frações digestíveis e valor energético de subprodutos agrícolas e agroindustriais para bovinos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, p.391-402, 2011.

BÜRGER, P. J.; PEREIRA, J. C.; COELHO DA SILVA, J. F.; VALADARES FILHO, S. C.; CECON, P. R.; JORDÃO, C. P. Taxas de passagem e cinética da degradação ruminal em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, p.225-235, 2000.

CASALI, A. O.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S. C.; PEREIRA, J. C.; HENRIQUES, L. T.; FREITAS, S. G.; PAULINO, M. F. 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.; SHOCKEY, W. L. Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. *Journal of Dairy Science*, v.67, p.427-436, 1984.

DETMANN, E. Fibra na nutrição de novilhas leiteiras. In: PEREIRA, E. S.; PIMENTEL, P. G.; QUEIROZ, A. C.; MIZUBUTI, I. Y. (Ed.) *Novilhas leiteiras*. Fortaleza: Graphiti, 2010. p.253-302.

DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S. C. On the estimation of non-fibrous carbohydrates in feeds and diets. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.62, p.980-984, 2010.

DETMANN, E.; ZERVOUDAKIS, J. T.; CABRAL, L. S.; ROCHA JÚNIOR, V. R.; VALADARES FILHO, QUEIROZ, A. C.; PONCIANO, N. J.; FERNANDES, A. M. Validação de equações preditivas da fração indigestível da fibra em detergente neutro em gramíneas tropicais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.33, p.1866-1875, 2004.

DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S. C.; PINA, D. S.; CAMPOS, J. M. S.; PAULINO, M. F.; OLIVEIRA, A. S.; SILVA, P. A. 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.; VALADARES FILHO, S. C.; HENRIQUES, L. T.; PINA, D. S.; PAULINO, M. F.; VALADARES, R. F. D.; CHIZZOTTI, M. L.; MAGALHÃES, K. A. 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, 2006b.

DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S. C.; HENRIQUES, L. T.; PINA, D. S.; PAULINO, M. F.; MAGALHÃES, A. L. R.; FIGUEIREDO, D. M.; PORTO, M. O.; CHIZZOTTI, M. L. 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.; VALADARES FILHO, S. C.; PINA, D. S.; HENRIQUES, L. T.; PAULINO, M. F.; MAGALHÃES, K. A.; SILVA, P. A.; CHIZZOTTI, M. L. 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, 2008.

DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S. C.; PAULINO, M. F. Predição do valor energético de dietas para bovinos a partir da composição química dos alimentos. In: VALADARES FILHO, S.C.; MARCONDES, M.I.; CHIZZOTTI, M.L.; PAULINO, P. V. R. (Ed.) *Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados BR-CORTE*. 2 ed. Viçosa: DZO-UFV, 2010. p.47-64.

DETMANN, E.; SOUZA, M. A.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C.; BERCHIELLI, T. T.; SALIBA, E. O. S.; CABRAL, L. S.; PINA, D. S.; LADEIRA, M. M.; AZEVÊDO, J. A. G. (Ed.) *Métodos para análise de alimentos*. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. 214p.

DETMANN, E.; FRANCO, M. O.; BATISTA, E. D.; REIS, W. L. S.; VALADARES FILHO, S. C.; PAULINO, M. F. Cinética de digestão e passagem da fibra em ruminantes e sua otimização por meio de estratégias nutricionais. In: *Simpósio Brasileiro de Microbiologia do Rúmen*, 1, 2015, Cuiabá. Anais... Cuiabá: UFMT, 2015 (CD-ROM).

DRAPER, N. R.; SMITH, H. *Applied regression analysis*. New York: John Wiley & Sons, 1966. 407p.

GOMES, D. I.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S. C.; VALENTE, T. N. P.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C. Evaluation of lignin contents in tropical forages using different analytical methods and their correlations with degradation of insoluble fiber. *Animal Feed Science and Technology*, v.168, p.206-222, 2011.

HUHTANEN, P.; AHVENJÄRVI, S.; BRODERICK, G. A.; REYNAL, S. M.; SHINGFIELD, K. J. Quantifying ruminal digestion of organic matter and neutral detergent fiber using the omasal sampling technique in cattle - a meta-analysis. *Journal of Dairy Science*, v.93, p.3203-3215, 2010.

KOBAYASHI, K.; SALAM, M. U. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agronomy Journal*, v.92, p.345-352, 2000.

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... Mississippi, 1959. p.23-26.

LUND, P.; WEISBJERG, M. R.; HVELPUND, T. Digestible NDF is selectively retained in the rumen of dairy cows compared do indigestible NDF. *Animal Feed Science and Technology*, v.137, p.1-17, 2007.

MAGALHÃES, K. A.; VALADARES FILHO, S. C.; DETMANN, E.; DINIZ, L. L.; PINA, D. S.; AZEVÊDO, J. A. G.; ARAÚJO, F. L.; MARCONDES, M. I.; FONSECA, M. A.; TEDESCHI, L. O. 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. Challenges in measuring insoluble dietary fiber. *Journal of Animal Science*, v.81, p.3233-3249, 2003.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7.ed. Washington: Academic Press, 2001. 381p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. *Nutrient requirements of beef cattle*. 8.ed. Washington: Academic Press, 2016. 494p.

PALMONARI, A.; GALLO, A., FUSTINI, M.; CANESTRARI, G.; MASOERO, F.; SNIFFEN, C. J.; FORMIGONI, A. Estimation of the indigestible fiber in different forage types. *Journal of Animal Science*, v.94, p.248-254, 2016.

SAMPAIO, C. B.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S. C.; QUEIROZ, A. C.; VALENTE, T. N. P.; SILVA, R. R.; SOUZA, M. A.; COSTA, V. A. C. Evaluation of models for prediction of the energy value of diets for growing cattle from chemical composition of feeds. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.41, p.2110-2123, 2012.

SPIEGEL, M. R. *Estatística*. São Paulo: McGraw-Hill, 1971. 580p.

VALADARES FILHO, S. C.; MACHADO, P. A. S.; FURTADO, T.; CHIZZOTTI, M. L.; AMARAL, H. F. *Tabelas brasileiras de composição de alimentos para ruminantes CQBAL 3.0*. Viçosa: Editora UFV, 2015. 473p.

VALENTE, T. N. P.; DETMANN, E.; QUEIROZ, A. C.; VALADARES FILHO, S. C.; GOMES, D. I.; FIGUEIRAS, J. F. Evaluation of ruminal degradation profiles of forages

using bags made from different textiles. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.40, p.2565-2573, 2011.

Van SOEST, P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476p.

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

WEISS, W. P.; CONRAD, H. R.; St. PIERRE, N. R. A theoretically-based model for predicting total digestible nutrient values of forage and concentrates. *Animal Feed Science and Technology*, v.39, p.95-110, 1992.

WHITE, R. R.; ROMAN-GARCIA, Y.; FIRKINS, J. L.; VANDEHAAR, M. J.; ARMENTANO, L. E.; WEISS, W. P.; MCGILL, T.; GARNETT, R.; HANIGAN, M.D. Evaluation of the National Research Council (2001) dairy model and derivation of new prediction equations. 1. Digestibility of fiber, fat, protein, and nonfiber carbohydrate. *Journal of Dairy Science*, v.100, p.3591-3610, 2017.

Recebido em: 21.09.2016

Aprovado após revisão em: 09.02.2018