

Predição do valor energético de dietas para bovinos a partir da composição química dos alimentos

Edenio Detmann, Tadeu Eder da Silva, Sebastião de Campos Valadares Filho, Cláudia Batista Sampaio, Malber Nathan Nobre Palma

A composição química de um alimento/dieta constitui o principal determinante de sua capacidade de fornecimento de nutrientes e atributos nutricionais para atendimento das demandas de manutenção e produção animal, notadamente no tocante ao fornecimento de energia, a qual é produzida a partir de processos digestivos e metabólicos sobre os diferentes componentes orgânicos dos alimentos. Tabelas de composição de alimentos são confiáveis no sentido de fornecerem valores médios da concentração energética com exatidão. Contudo, existem variações inerentes sobre a composição química de alimentos em condições de campo que não podem ser devidamente contempladas pela tabulação de dados. Desta forma, o uso da composição química como preditor da capacidade de um alimento em fornecer energia pode flexibilizar o trabalho dos nutricionistas no momento da formulação de dietas em situações específicas, tornando-as mais exatas e apropriadas para cada situação produtiva.

INTRODUÇÃO

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

No entanto, mesmo constituindo parâmetro digestivo estático, ou seja, podendo ser representado por uma estimativa pontual, o acesso à estimativa do coeficiente de digestibilidade de um alimento ou de seus

respectivos componentes químicos constitui processo oneroso e com elevada demanda por tempo quando realizado pelos métodos clássicos *in vivo* (Detmann et al., 2006a).

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

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

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

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

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

Contudo, embora empregando as características dos alimentos efetivamente utilizados nos sistemas de produção (ou seja, análises laboratoriais e não médias populacionais) e apresentando embasamento teórico (Conrad et al., 1984; Weiss et al., 1992), o sistema adotado pelo NRC (2001) não apresentada eficiência de predição satisfatória quando aplicado a alimentos obtidos em condições tropicais (Rocha Jr. et al., 2003; Costa et al., 2005; Silva et al., 2007; Detmann et al., 2008b; Campos et al., 2010; Magalhães et al., 2010; Azevêdo et al., 2011; Sampaio et al., 2012), o que compromete sua aplicação efetiva.

A partir desta limitação, sub-modelos destinados à predição das frações digestíveis da PB, EE, CNF e FDN foram desenvolvidos e avaliados em condições tropicais (Detmann et al., 2004a; 2006a; 2006b; 2006c; 2007; 2008b; 2008c; 2010a). A avaliação unificada destes sub-modelos, constituindo um novo sistema somativo, mostrou que este é capaz de prever com maior exatidão a concentração de NDT em dietas ofertadas para bovinos no Brasil (Detmann et al., 2008b; Magalhães et al., 2010; Azevêdo et al., 2011; Sampaio et al., 2012), gerando alternativa à aplicação do modelo adotado pelo NRC (2001) e culminando com a adoção de sistema de predição na segunda edição do Sistema BR-CORTE (Detmann et al., 2010b).

Contudo, a partir da detecção de pequenas limitações nos sub-modelos originalmente propostos, de novas informações geradas por avaliações experimentais e/ou meta-analíticas e também a partir de novas abordagens nas avaliações da composição química dos alimentos, aprimoramentos no sistema de predição da concentração dietética de NDT foram produzidos, as quais implicaram em modificações no modelo originalmente adotado na segunda edição do Sistema BR-CORTE (Detmann et al., 2010b).

DESCRIÇÃO DO MODELO

Sub-modelos para EE e CNF

Os sub-modelos aplicados aos componentes não-fibrosos EE e CNF não sofreram alterações teóricas ou empíricas significativas a partir da segunda edição do Sistema BR-CORTE. Sua proposição baseou-se no teste de Lucas (Lucas e Smart, 1959), para a obtenção dos coeficientes de digestibilidade verdadeiros, e nos pressupostos do sistema fatorial (Blaxter e Mitchell, 1948; Lucas, 1960), para distinção entre as frações metabólica fecal e verdadeiramente não-digerida.

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

$$F = I + M + E \quad (4.1);$$

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

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

A partir de tais definições, pode-se relacionar a identidade exposta em (4.1) ao consumo diário, fazendo-se:

$$C - F = C - (I + M + E) \quad (4.2a);$$

$$C - F = C - I - M - E \quad (4.2b);$$

$$\frac{C - F}{C} = \frac{C - I - M - E}{C} \quad (4.2c);$$

$$D_a = 1 - \frac{I}{C} - \frac{M}{C} - \frac{E}{C} \quad (4.2d);$$

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

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

$$\frac{E}{C} = \frac{\varepsilon \times P^{\frac{3}{4}}}{C} = \frac{\varepsilon}{C} \times P^{\frac{3}{4}} \quad (4.3);$$

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

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

$$\lim_{C \rightarrow C^0} \frac{\varepsilon}{C} \times P^{\frac{3}{4}} = 0 \quad (4.4);$$

em que: C⁰, consumo sob condições de alimentação em manutenção ou produção (g/dia).

Desta forma, reescreve-se a equação (4.2d), como:

$$D_a = (1 - \frac{I}{C}) - \frac{M}{C} \quad (4.5a);$$

$$D_a = D_v - \frac{M}{C} \quad (4.5b);$$

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

Multiplicando-se ambos os termos da equação (4.5b) pelo consumo, faz-se:

$$C \times D_a = (C \times D_v) - M \quad (4.6).$$

Derivando-se (4.6) em função do consumo, obtém-se:

$$\frac{d(C \times D_a)}{dC} = \frac{d(C \times D_v)}{dC} - \frac{dM}{dC} \therefore D_a = D_v - \frac{dM}{dC} \quad (4.7).$$

Desta forma, o coeficiente de digestibilidade aparente (Equação 4.7) pode ser representado por dois diferentes componentes: o primeiro, que representa o coeficiente de digestibilidade verdadeiro constante; e o segundo, que representa a fração metabólica fecal diferenciada em função do consumo.

Convertendo-se a equação (4.7) com base no conteúdo dietético, faz-se:

$$R \times D_a = (R \times D_v) - (R \times \frac{dM}{dC}) \quad (4.8a);$$

$$R_{ad} = R_{vd} - MC \quad (4.8b);$$

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

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

Para todos os componentes avaliados verificou-se similaridade entre categorias animais (vacas em lactação ou bovinos em crescimento e terminação) no tocante ao coeficiente de digestibilidade verdadeiro. Por outro lado, a contribuição metabólica fecal mostrou-se diferenciada entre categorias animais (Detmann et al., 2006a; 2006c), o que agrega perfeitamente aos pressupostos relatados por Lucas e Smart (1959) e àqueles representados na Equação (4.8).

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

$$EE_{vd} = 0,86 \times EE \quad (4.9);$$

$$CNF_{vd} = 0,95 \times CNF \quad (4.10);$$

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

Não havendo diferenças entre categorias animais no tocante ao coeficiente de digestibilidade verdadeiro, as equações (4.9) e (4.10) são aplicadas de forma similar a vacas em lactação e animais em crescimento e terminação. Assim, a diferenciação entre estas se dá exclusivamente pela fração aparentemente digestível, ou seja, pela contribuição metabólica fecal, empregando-se as estimativas expressas na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Contribuição metabólica fecal (% da matéria seca) do extrato etéreo (EE), dos carboidratos não-fibrosos (CNF) e da proteína bruta (PB) para animais alimentados *ad libitum*

Componente	Categoria Animal	
	Vacas em Lactação	Bovinos em Crescimento e Terminação
EE	0,21	0,18
CNF	5,72	5,11
PB	0,97	1,61
FM_{NDT}^1	7,16	7,13
FM_{ED}^2	0,314	0,322

¹ FM_{NDT} , fração metabólica fecal total para o cálculo da concentração de NDT ($FM_{NDT} = PB + CNF + 2,25 \times EE$).

² FM_{ED} , fração metabólica fecal para o cálculo da concentração de energia digestível (Mcal/kg MS).

Na segunda edição do Sistema BR-CORTE frações metabólicas fecais diferenciadas foram estimadas para condições de manutenção e produção. No entanto, a partir da terceira edição do Sistema BR-CORTE, estimativas das concentrações de frações e do teor dietético de energia para animais alimentados a nível de manutenção não serão mais consideradas, haja vista sua limitada aplicação.

Procedimentos individuais de validação foram previamente conduzidos sobre as frações aparentemente digestíveis de EE e CNF a partir de bancos de dados independentes daqueles utilizados na construção dos sub-modelos (Detmann et al., 2006a; 2006c; 2008b; Magalhães et al., 2010; Azevêdo et al., 2011; Sampaio et al., 2012). Estas avaliações demonstraram que os sub-modelos adotados no Sistema BR-CORTE são mais acurados e precisos que aqueles adotados pelo NRC (2001).

Sub-modelo para FDN

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

$$FDN_d = D \times FDN_{pd} \quad (4.11a);$$

$$FDN_d = D \times (FDN - FDN_i) \quad (4.11b);$$

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

Tanto o sub-modelo utilizado na segunda edição do Sistema BR-CORTE, como o sub-modelo adotado pelo NRC (2001) para a predição da fração digestível da FDN foram baseados em aproximações químicas 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., 2004a). A estrutura matemática de ambos os modelos é dada por:

$$FDN_d = D \times \{ (FDN_{cp} - L) \times [1 - (\frac{L}{FDN_{cp}})^F] \} \quad (4.12);$$

em que: FDN_d, FDN digestível (% da MS); D, coeficiente de digestibilidade da FDNpd (g/g); FDN_{cp}, concentração de FDN, expresso com correções para cinzas e proteínas (% da MS)¹; L, concentração de lignina (% da MS); e F, fator de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN.

A primeira limitação observada para a equação (4.12) reside sobre a utilização de fator de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN constante [0,667, NRC (2001); 0,85, Detmann et al. (2010b)]. Esta pressuposição implica que a lignina agiria de forma homogênea na determinação da dimensão da fração FDNi e, conseqüentemente, da fração FDNpd, em todo e qualquer alimento. Contudo, a relação entre lignina e FDNi varia entre tipos de forragem (Palmonari et al., 2016) e entre forragens e concentrados. Isto compromete a exatidão das estimativas da fração digestível da FDN.

As frações FDNpd e FDNi constituem conceitos biológicos assintóticos, ou seja, são definidas quanto o tempo de exposição aos sistemas enzimáticos microbianos do rúmen tende ao infinito (Detmann et al., 2008a). Em termos analíticos, avaliação pontual acurada destas frações somente é obtida por intermédio de ensaios biológicos de longa duração (incubações ruminais *in situ* em tempos iguais ou superiores a 240 horas; Casali et al., 2008; Valente et al., 2011). Apesar de isto comprometer a obtenção de estimativas de forma rápida e restringir as avaliações em função da disponibilidade de animais fistulados, a incubação ruminal *in situ* de longa duração constitui a forma mais

acurada de se estimar as frações FDNi e FDNpd e é a forma recomendada para inserção de valores na equação base do sub-modelo (Equação 4.11b).

No entanto, considerando-se as limitações das bases teóricas associadas à equação (4.12) e assumindo-se situações nas quais incubações ruminais *in situ* não possam ser realizadas, alternativa para a obtenção de estimativas da concentração de FDNi por aproximação química foi desenvolvida baseada em análises de amostras de alimentos utilizados no Brasil. Nesta aproximação, a associação entre FDNi e características químicas de volumosos (n = 371) e de concentrados (n = 65) foi investigada. Contudo, durante o processo de ajustamento das equações, verificou-se que correlações mais fortes com as características químicas foram verificadas com a fração FDNpd em comparação à fração FDNi. Desta forma, para obtenção de equações mais robustas, as mesmas foram avaliadas em relação à fração FDNpd, considerando-se que a mesma representa o complemento da fração FDNi em relação à FDN total. A característica básica para estimação residuiu sobre a associação direta entre as concentrações de FDNpd e FDN corrigida para cinzas e proteína (FDN_{cp}), tanto para forragens (Figura 4.1) como para concentrados (Figura 4.2), e em correções para a dimensão da fração FDNpd em função de outras características químicas dos alimentos [fibra em detergente ácido (FDA) e lignina]. Foram evidenciadas relações distintas para os diferentes grupos de alimentos (forragens e concentrados), o que representa ganho em comparação à relação homogênea anteriormente assumida pela estrutura da equação (4.12).

Para forragens e concentrados as equações são, respectivamente:

$$FDNpd(F) = 3,38 + 0,883 \times FDN_{cp} - 0,834 \times FDA + 0,0065 \times FDA^2 - 0,197 \times L$$

$$(s_{xy} = 3,37; R^2 = 0,895) \quad (4.13)$$

$$FDNpd(C) = -1,19 - 10,16 \times D + 1,012 \times FDN_{cp} - 0,052 \times FDA$$

$$(s_{xy} = 0,71; R^2 = 0,998) \quad (4.14)$$

em que: FDNpd(F) e FDNpd(C), concentrações de FDNpd em forragens e

¹ No sub-modelo adotado pelo NRC (2001), a concentração de FDN apresenta correção somente para a proteína contaminante.

concentrados, respectivamente (% da MS); FDNcp, concentração de fibra em detergente neutro com correções para proteína e cinzas contaminantes (% da MS); FDA, concentração de fibra em detergente ácido sem correções para proteína e cinzas contaminantes (% 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 [farelo, torta e caroço de algodão; farelo e torta de girassol; farelo de trigo; e milho desintegrado com palha e sabugo (MDPS)] e D = 0 para os demais alimentos concentrados.

Contudo, alerta-se que as estimativas de concentração das frações FDNi ou FDNpd obtidas por aproximações químicas apresentam relações limitadas, uma vez que características químicas simples não seriam capazes de reproduzir ou representar todos os

eventos biológicos associados ao crescimento vegetal e ao estabelecimento de interações físicas e químicas entre os componentes da parede celular responsáveis pelo estabelecimento da dimensão destas frações.

A segunda limitação observada para a equação (4.12) reside sobre a utilização de valores fixos para o coeficiente de digestibilidade da FDNpd [0,75; NRC (2001)]. Embora o sub-modelo utilizado na segunda edição do Sistema BR-CORTE tenha previsto diferenças entre categorias animais [0,67 para vacas em lactação; e 0,84 para bovinos em crescimento e terminação; Detmann et al., 2010b], o coeficiente de digestibilidade da FDNpd é assumido como fixo dentro de categorias, o que, à semelhança do adotado pelo NRC (2001), desconsidera todas as influências de nível de consumo, composição química da dieta e tipo de alimento sobre a degradação ruminal da fibra potencialmente degradável.

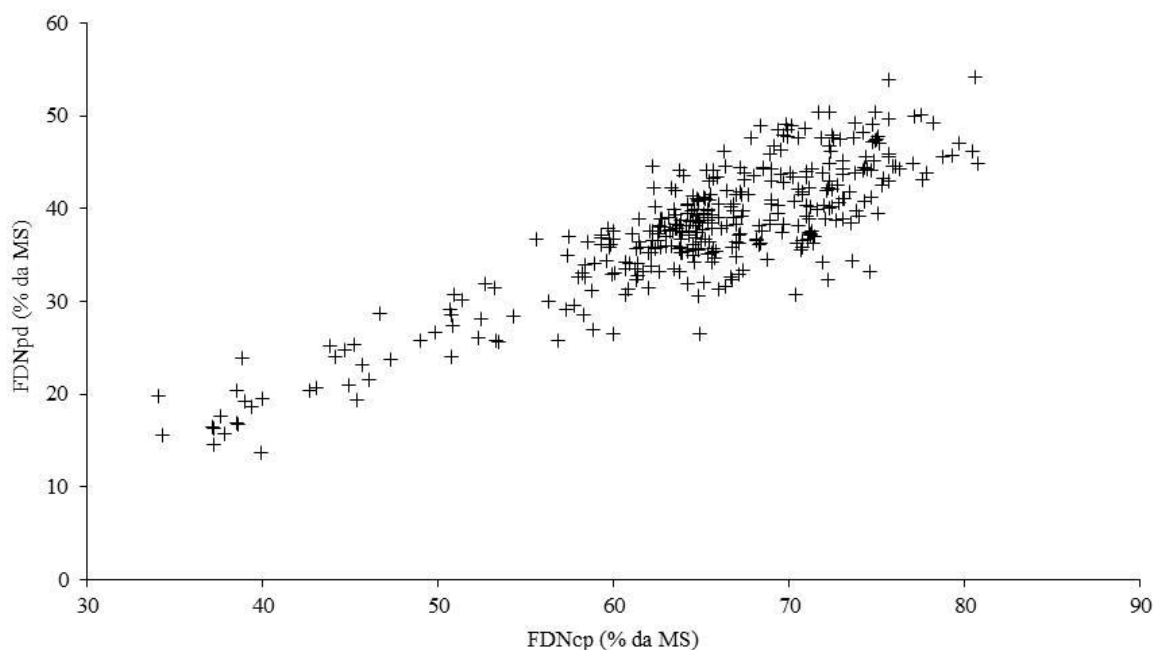


Figura 4.1 - Relação entre a concentração de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp) e fibra em detergente neutro potencialmente digestível (FDNpd) em amostras de forragens (n = 371).

Para contornar esta situação, abordagem meta-analítica para a associação entre composição química, composição da dieta e nível de consumo e o coeficiente de digestibilidade da FDNpd foi realizada utilizando-se dados de dietas ofertadas *ad*

libitum para vacas em lactação (n = 45) e bovinos em crescimento e terminação (n = 213) no Brasil. Os resultados permitiram evidenciar relações distintas para as categorias animais, cujas equações são:

$$D_{CT} = 80,21 \times FOR - 0,0166 \times CMS^2 + 2,658 \times FDNi + 3,691 \times PB + 0,0507 \times (CMS \times FDNi) - 2,9673 \times (FOR \times FDNi) - 3,9990 \times (FOR \times PB) \quad (4.15);$$

$$D_L = 249,32 + 1,180 \times CONC - 12,422 \times CMS + 0,2313 \times CMS^2 - 0,0475 \times (CONC \times CMS) \quad (4.16);$$

em que: D_{CT} e D_L , coeficiente de digestibilidade da FDNpd para bovinos em crescimento e terminação e vacas em lactação, respectivamente (%); FOR, variável “dummy” associada ao tipo de forragem utilizada, sendo FOR = 0 para silagens de milho e sorgo e FOR = 1 para gramíneas forrageiras e cana-de-açúcar; CMS, consumo voluntário de MS (g/kg de peso corporal); FDNi, concentração de FDNi na dieta (% da MS); PB, concentração de PB na dieta (% da MS); e CONC, nível de concentrado na dieta (% da MS).

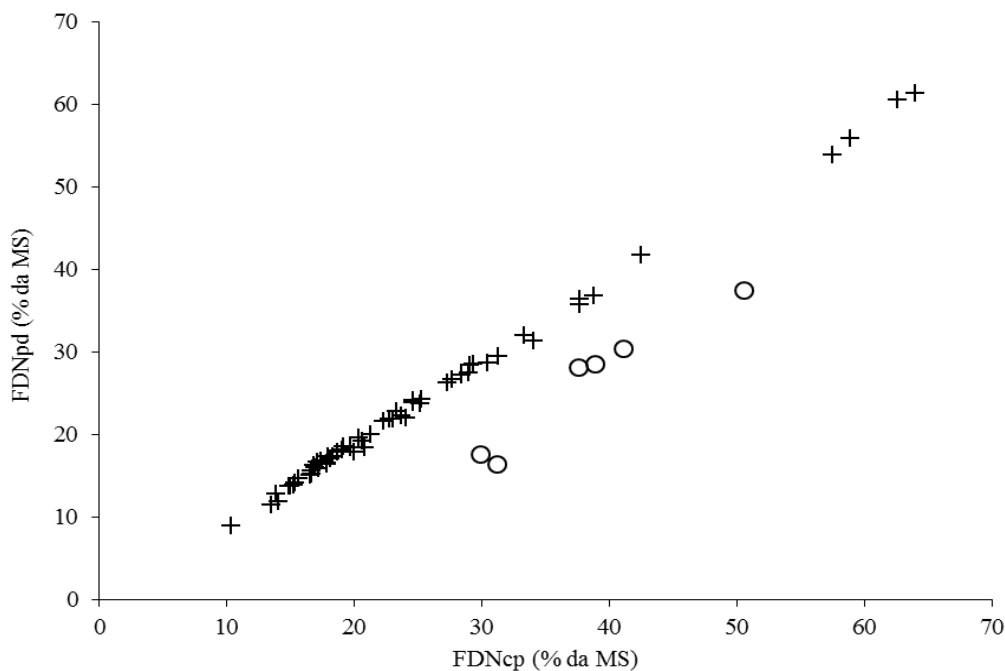


Figura 4.2 - Relação entre a concentração de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp) e fibra em detergente neutro potencialmente digestível (FDNpd) em amostras de concentrados (n = 65; o = concentrados contendo fibra de menor degradação potencial; + = demais alimentos concentrados).

Ressalta-se que as equações apresentaram ajustes adequados (Figuras 4.3 e 4.4) e permitiram contemplar diferentes aspectos da dieta que efetivamente influenciam na utilização ruminal dos compostos fibrosos insolúveis potencialmente digestíveis.

Contudo, limitação inerente às Equações (4.15) e (4.16) é verificada para o cálculo de rações, uma vez que estimativas de parâmetros finais do cálculo (i.e., relação volume:concentrado, concentrações dietéticas de PB e FDNi) são necessários para a realização do cálculo em si, o que faz deste um processo iterativo. Isto pode dificultar os procedimentos computacionais.

Desta forma, um sistema alternativo foi desenvolvido baseado na avaliação de dietas obtidas de 60 animais alimentados exclusivamente com forragens (i.e., silagem de milho, cana-de-açúcar, feno de capim-braquiária, feno de *Cynodon*, silagem de gramíneas), nos quais os dados da taxa de passagem e degradação da FDNpd foram estimados por intermédio de esvaziamento ruminal (Allen e Linton, 2007). O modelo base para quantificação da fração digestível da FDN é dado por:

$$FDN_d = \left[\frac{kd}{kd + kp} \times FDNpd \right] \times FAI \quad (4.17a);$$

$$FDN_d = \left[\frac{kd}{kd + kp} \times (FDNcp - FDNi) \right] \times FAI \quad (4.17b);$$

em que: kd , taxa de degradação da FDNpd (h^{-1});
 kp , taxa de passagem ruminal da FDNpd (h^{-1}); e

FAI, fator de ajuste para a digestibilidade intestinal.

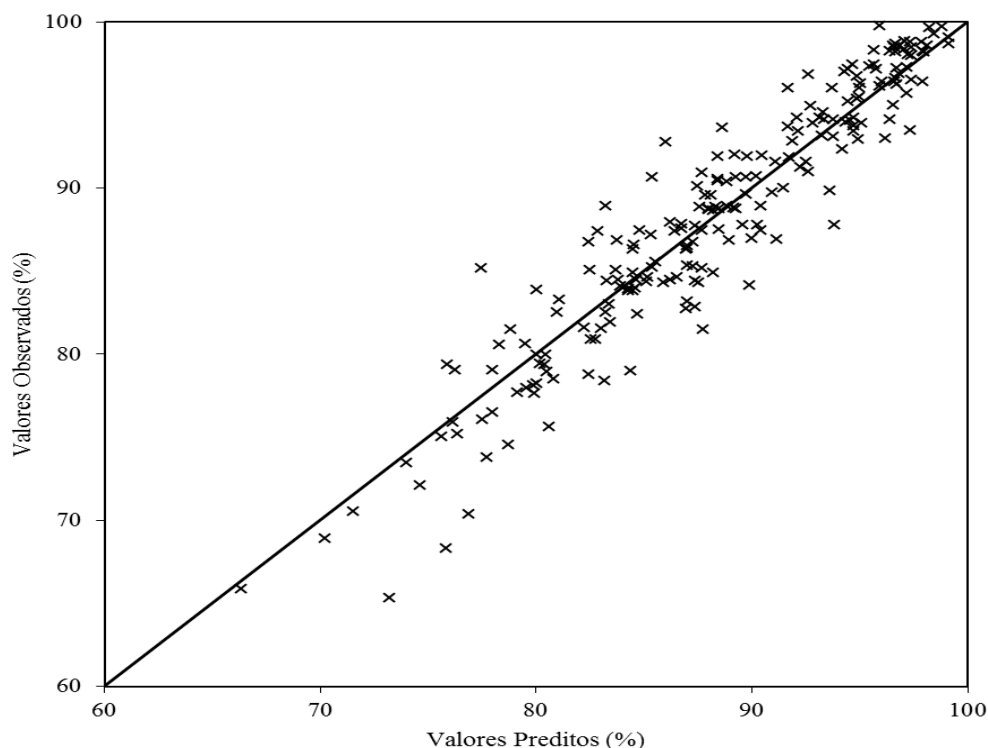


Figura 4.3 - Relação entre valores preditos e observados para o coeficiente de digestibilidade da FDN potencialmente digestível em bovinos em crescimento e terminação (Equação 4.15; a linha contínua representa a relação $Y = X$; $s_{XY} = 2,96$; $R^2 = 0,900$; falta de ajustamento: $P > 0,07$).

O modelo adotado para descrição das taxas de degradação e de passagem da FDNpd de forragens são dados por (Figuras 4.5 e 4.6):

$$kd = 0,00329 \times CMS \quad (s_{XY} = 0,0106) \quad (4.18);$$

$$kp(F) = \frac{0,287}{FDNi} \quad (s_{XY} = 0,0048) \quad (4.19a);$$

$$kp(F) = \frac{0,287}{(FDN_{cp} - FDN_{pd})} \quad (4.19b);$$

em que: CMS, consumo voluntário de MS (g/kg de peso corporal); $kp(F)$, taxa de passagem da FDNpd da forragem (h^{-1}); e FDNi, concentração de FDNi na forragem (% da MS).

A equação (4.19b) é sugerida para o caso de empregar-se a equação (4.13) para estimação da fração FDNpd.

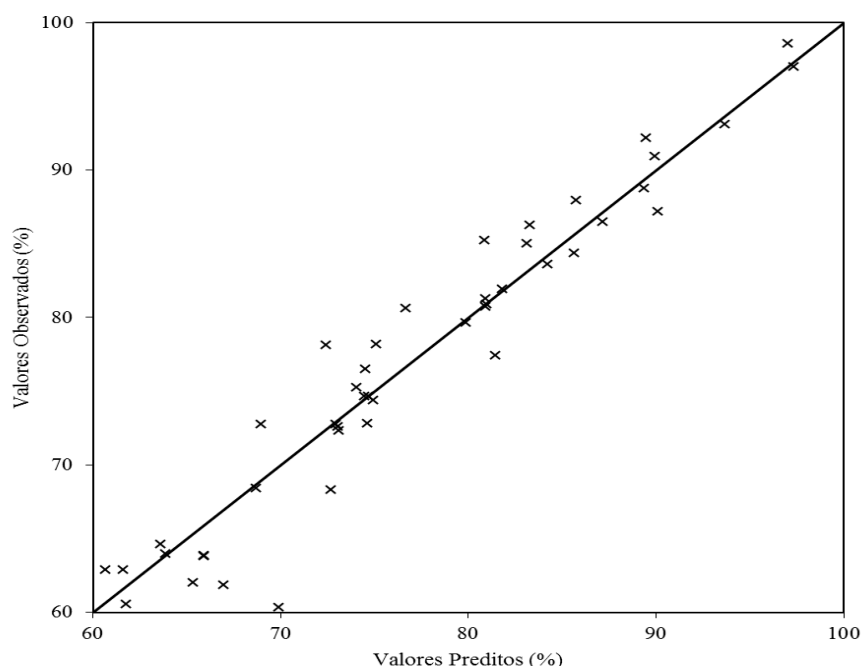


Figura 4.4 - Relação entre valores preditos e observados para o coeficiente de digestibilidade da FDN potencialmente digestível em vacas lactantes (Equação 4.16; a linha contínua representa a relação $Y = X$; $s_{XY} = 3,46$; $R^2 = 0,933$; falta de ajustamento: $P > 0,67$).

O FAI foi estimado a partir das informações disponíveis no banco de dados, observando-se ausência da influência dos fatores dietéticos avaliados sobre a proporção da FDNpd digerida no rúmen e intestinos. O valor médio da proporção de digestão da FDNpd no rúmen foi de $89 \pm 1,9\%$. Sendo assim, $FAI = 1,12$ ($FAI = 1/0,89$).

O banco de dados utilizado é limitado no sentido de ser composto somente por dietas exclusivas de volumosos. Considerando-se que concentrados apresentam-se em tamanhos de partículas inferiores àqueles observados em forragens, faz-se lógica a suposição de menor tempo de retenção para a fibra de concentrados. A quantidade de informações em que se 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:

$$kp(C) = kp(F) \times 1,8 \quad (4.20);$$

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

Em função da ausência de informações em condições brasileiras, para dietas compostas exclusivamente por concentrados, sugere-se o cálculo da taxa de passagem ruminal para esta condição de alimentação de acordo com a equação proposta pelo NRC (2001):

$$kp = 0,02904 + 0,001375 \times CMS - 0,00020 \times CONC \quad (4.21);$$

em que: CMS, consumo voluntário de MS (g/kg de peso corporal); e CONC, nível de concentrado na dieta (% da MS).

Torna-se importante ressaltar que a equação (4.21) se refere à MS total do concentrado e não à FDNpd propriamente dita. Contudo, considerando-se que a aplicação da mesma seria restrita a dietas compostas exclusivamente com concentrados, pressupõe-se que, nestas circunstâncias, a taxa de passagem da FDNpd se aproxime da taxa de passagem do concentrado integral. Contudo, esta pressuposição carece ainda de validações em condições brasileiras.

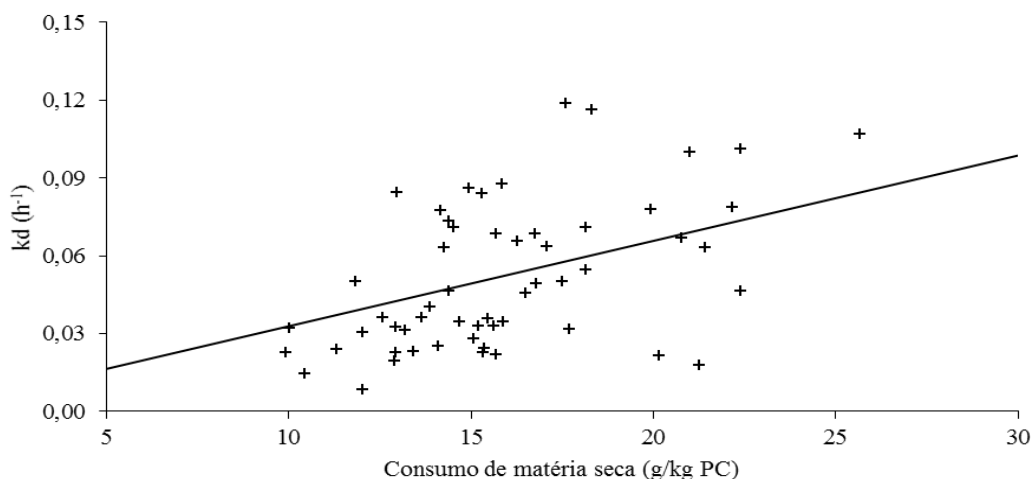


Figura 4.5 - Relação entre o consumo voluntário de matéria seca e a taxa de degradação (kd) da fibra em detergente neutro potencialmente digestível em dietas exclusivas de volumosos (a linha contínua representa a equação 4.18).

Sub-modelo para PB

Inicialmente, o sub-modelo destinado à avaliação da fração digestível da PB foi baseado nos mesmos pressupostos adotados para EE e CNF (Detmann et al., 2006b), conforme equações (4.1) a (4.8), resultando em:

$$PB_{vd} = 0,78 \times PB \quad (4.22);$$

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

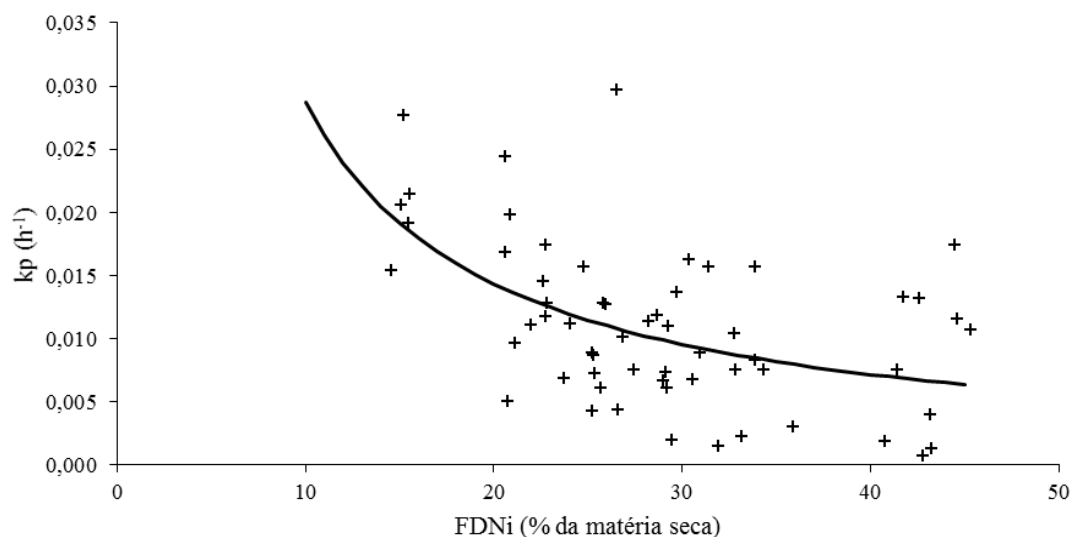


Figura 4.6 - Relação entre a concentração dietética de fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) e a taxa de passagem (kp) da fibra em detergente neutro potencialmente digestível em dietas exclusivas de volumosos (a linha contínua representa a equação 4.19).

Neste caso, a conversão para fração aparentemente digestível, considerando-se as diferentes categorias animais, é realizada pela utilização das estimativas de contribuição metabólica fecal correspondentes (Tabela 4.1).

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

Azevêdo et al. (2011) verificaram que a aplicação do conceito uni-compartimental, no qual a PB é assumida como entidade nutricional homogênea, propiciou estimativas mais acuradas quando foram avaliados alguns subprodutos e resíduos agroindustriais. Assim, embora o conceito representado pela equação (4.22) não seja recomendado de forma geral, o mesmo poderia ser aplicado para utilização em subprodutos agroindustriais.

A partir das evidências de comportamento digestivo heterogêneo da PB, sub-modelo foi desenvolvido considerando-se dois diferentes sub-compartimentos (Detmann et al., 2008c), cuja aproximação química é dada por:

$$PBCC \cong PB - PIDN \quad (4.23a);$$

$$PBPC \cong PIDN \quad (4.23b);$$

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

Segundo derivações de Detmann et al. (2008c), a PBCC apresentaria comportamento digestivo homogêneo similar aos demais componentes não-fibrosos (EE e CNF) (Equação 4.8), ao passo que, por suposição, a utilização da PBPC seria similar àquela observada para a FDN. Desta forma, a fração verdadeiramente digestível da PB seria expressa, considerando-se as aproximações químicas representadas na equação (4.23), por:

$$PB_{vd} = D_{vPBCC} \times PBCC + D_{PBPCpd} \times PBPC_{pd} \quad (4.24a);$$

$$PB_{vd} = D_{vPBCC} \times (PB - PIDN) + D_{PBPCpd} \times (PIDN - PIIDN) \quad (4.24b);$$

em que: PB_{vd}, PB verdadeiramente digestível (% da MS); D_{vPBCC}, coeficiente de digestibilidade verdadeiro da PBCC (g/g); PBPC_{pd}, PB de parede celular potencialmente digestível (% da MS); D_{PBPCpd}, coeficiente de digestibilidade da PBPC potencialmente

digestível (g/g); e PIIDN, proteína indegradável insolúvel em detergente neutro (% da MS).

Na segunda edição do Sistema BR-CORTE, assumiu-se como estimativa para o coeficiente de digestibilidade verdadeiro da PBCC o valor 0,98 g/g (Van Soest, 1994; Detmann et al., 2006c; 2008c). Contudo, para melhor adequação às estimativas obtidas com dados brasileiros, este coeficiente foi alterado para 0,95, similar ao que é aplicado para estimação dos CNF verdadeiramente digestíveis (Equação 4.10). Como coeficientes de digestibilidade da PBPC, seguindo-se os pressupostos adotados na segunda edição do Sistema BR-CORTE, assumiu-se estimativas similares àquelas utilizadas para a porção fibrosa do alimento/dieta, as quais deixam de ser constantes, passando a variar em função das condições dietéticas e de alimentação, conforme descrito nas equações (4.15) a (4.21).

O conceito analítico de PIIDN foi definido por Detmann et al. (2004b) como aproximação ao valor paramétrico da proteína indegradável da parede celular, consistindo da avaliação da PB residual associada à FDNi.

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

$$PIIDN = PIDN \times e^{-(0,8188+0,1676 \times PIDA)} \quad (4.25);$$

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

Para o caso de a aproximação química para PIIDN ser adotada, a equação (4.24b) pode ser reescrita como:

$$PB_{vd} = 0,95 \times (PB - PIDN) + D_{vPBPC} \times \{PIDN \times [1 - e^{-(0,8188+0,1676 \times PIDA)}]\} \quad (4.26);$$

Deve se ressaltar que a aproximação química da PIIDN via PIDA apresenta algumas

limitações, em virtude da PIIDN constituir conceito biológico de alta variabilidade (Henriques et al., 2007; Detmann et al., 2010a). Assim, esta solução deve ser utilizada com cautela; sendo preferível, quando viável, a estimação da PIIDN por método de natureza biológica. Sampaio et al. (2012) verificaram que a estimação da PIIDN por intermédio de incubações *in situ* (proteína associada à FDNi) propicia estimativas mais exatas e precisas em comparação ao uso da aproximação química.

Para o caso da utilização da aproximação empírica para o cálculo do coeficiente de digestilidade da fração FDNpd (Equações 4.18 a 4.21), o cômputo da fração verdadeiramente digestível da PB deve ser feito separadamente para as frações forragem e concentrado da dieta adaptando-se a equação (4.26):

$$PB_{vd} = 0,95 \times (PB - PIDN) + \frac{kd}{kd + kp} \times \{PIDN \times [1 - e^{-(0,8188 + 1,1676 \times PIDA)}]\} \quad (4.27).$$

Para o cálculo da fração digestível da PBPC optou-se por não adotar fator de correção para a digestão intestinal, por considerar-se que a digestão da fração fibrosa ocorreria basicamente em nível de intestino grosso. Neste caso, a PB digerida neste compartimento seria basicamente utilizada para crescimento microbiano, sem aproveitamento para o animal.

De forma geral, Detmann et al. (2008c), Magalhães et al. (2010) e Sampaio et al. (2012) observaram que o conceito bi-compartimental produziu estimativas mais acuradas da fração aparentemente digestível da PB em dietas baseadas em forragens tropicais em comparação ao conceito uni-compartimental. Assim, a utilização do conceito bi-compartimental é recomendada, facultando-se o uso do conceito uni-compartimental somente para a avaliação de subprodutos agroindustriais.

Sistema somativo para NDT e conversão em energia digestível e energia metabolizável

Os conteúdos dietéticos de NDT (% da MS) são obtidos pela soma algébrica das estimativas produzidas por cada sub-modelo

para cada fração digestível de acordo com a categoria animal a partir da equação:

$$NDT = PB_{ad} + CNF_{ad} + FDN_d + 2,25 \times EE_{ad} \quad (4.28a);$$

$$NDT = (PB_{vd} - CM_{PB}) + (CNF_{vd} - CM_{CNF}) + FDN_d + 2,25 \times (EE_{vd} - CM_{EE}) \quad (4.28b);$$

$$NDT = PB_{vd} + CNF_{vd} + FDN_d + 2,25 \times EE_{vd} - (CM_{PB} + CM_{CNF} + 2,25 \times CM_{EE}) \quad (4.28c);$$

$$NDT = PB_{vd} + CNF_{vd} + FDN_d + 2,25 \times EE_{vd} - FM_{NDT} \quad (4.28d);$$

em que: NDT, teor dietético de NDT (% da MS); PB_{ad} , CNF_{ad} , EE_{ad} , frações aparentemente digestíveis de PB, CNF e EE, respectivamente (% da MS); PB_{vd} , CNF_{vd} , EE_{vd} , frações verdadeiramente digestíveis de PB, CNF e EE, respectivamente (% da MS); FDN_d , fração digestível de FDN (% da MS); CM_{PB} , CM_{CNF} , CM_{EE} , contribuições metabólicas fecais de PB, CNF e EE, respectivamente (% da MS); FM_{NDT} , fração metabólica fecal total para o cômputo do NDT (% da MS; Tabela 4.1); e 2,25, constante de Atwater para equalização entre lipídeos e carboidratos.

A estimação da concentração de energia digestível (ED) da dieta é realizada considerando a contribuição energética específica de cada fração verdadeiramente digestível e descontando-se a energia da fração metabólica fecal:

$$ED = 0,056 \times PB_{vd} + 0,042 \times CNF_{vd} + 0,042 \times FDN_d + 0,094 \times EE_{vd} - FM_{ED} \quad (4.29);$$

em que: ED, energia digestível (Mcal/kg MS); e FM_{ED} , fração metabólica fecal para o cálculo de ED (Mcal/kg MS; Tabela 4.1). Os demais termos foram previamente definidos.

A conversão da ED em energia metabolizável (EM) é realizada por intermédio da equação desenvolvida no

Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais:

$$EM = 0,9455 \times ED - 0,303 \quad (4.30);$$

em que: EM, energia metabolizável (Mcal/kg MS).

RECOMENDAÇÕES DE MÉTODOS DE ANÁLISES QUÍMICAS

Os métodos químicos de análises de alimentos sugeridos para a avaliação dos teores de MS, matéria orgânica (MO), PB, EE, FDA, PIDN, PIDA, FDNi, PIIDN e lignina são resumidos na Tabela 4.2. No geral, os métodos aplicados às análises químicas seguem as recomendações estabelecidas no livro Métodos para Análises de Alimentos do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal (INCT-CA, Detmann et al., 2012), com algumas exceções ressaltadas no texto. Estas exceções se devem à ausência de métodos no referido livro ou a alterações já definidas e que serão estabelecidas na segunda edição ainda em preparação.

Para avaliação da concentração de nitrogênio total ou PB, recomenda-se o uso do método de Kjeldhal (método INCT-CA N-001/1) com a seguinte modificação: utilizar na digestão a proporção entre sulfato de sódio e sulfato de cobre de 20:1 (Silva et al., 2016). Estas mesmas modificações também devem ser aplicadas às avaliações dos compostos nitrogenados associados às frações fibrosas (PIDN, PIDA e PIIDN).

Os teores de FDN e FDA devem ser estimados por intermédio de extrações em equipamentos do tipo *fiberthech* (Van Soest e Robertson, 1985; Mertens, 2002) ou em autoclave (Barbosa et al., 2015), seguindo-se as recomendações de reagentes previstas no livro Método para Análise de Alimentos do INCT-CA (Detman et al., 2012). As análises de FDN e FDA devem ser realizadas utilizando-se cadinhos filtrantes. Para ambos os casos, o uso de *filter bags* deve vista com cautela devido à observação de vícios sobre

os teores de FDN, principalmente (Gomes et al., 2011a; Barbosa et al., 2015). Adaptações consequentes são projetadas para as análises de PIDN, PIDA, cinzas insolúveis em detergente neutro (CIDN) e lignina. Em particular, as análises de FDN devem ser realizadas com a utilização de α -amilase termoestável (Mertens, 2002) e a devida correção para os teores de PIDN e CIDN (Detmann e Valadares Filho, 2010). O uso de sulfito de sódio não é recomendado devido à solubilização de proteína associada à fibra, de lignina e outros compostos (Gomes et al., 2012). A análise de FDA se faz de forma sequencial à FDN.

Ressalta-se, contudo, que o uso de *filter bags* e de extratores adaptados a este tipo de recipiente (e.g., Ankom²²⁰) ainda permanece recomendado para as avaliações de FDNi. Somente atenta-se que os extratores devem, obrigatoriamente, trabalhar sob ambiente pressurizado. Equipamentos adaptados para uso em pressão atmosférica podem levar à obtenção de dados viesados (Gomes et al., 2011a).

O cálculo da concentração de FDNcp é dado por:

$$FDN_{cp} = FDN \times \frac{(100 - PIDN - CIDN)}{100} \quad (4.31);$$

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

Ressalta-se que a correção para os teores de FDN (Equação 4.31) deve ser realizada para que não se subestime o teor total de CNF dos alimentos ou se compute de forma duplicada a contribuição energética de parte da PB (PIDN). Por outro lado, a correção evita a contabilização errônea de parte da matéria mineral (CIDN) como componente energético dos alimentos (Detmann et al., 2008b; Detmann e Valadares Filho, 2010).

Tabela 4.2 - Resumo de métodos sugeridos para a avaliação de alimentos para predição da concentração dietética de NDT

Componente	Método	Descrição Geral	Referência
MS	Pré-secagem	55-60°C/48-72 horas; equipamento: estufa com ventilação forçada	1
	Secagem definitiva	a. 105°C/3 horas, p/ rações com teor de ureia superior a 10%; b. 105°C/16 horas, para os demais materiais; equipamentos: estufa não-ventilada, dessecador	2, 3
PB	Kjeldahl	Digestão em ácido sulfúrico (400°C), destilação com hidróxido de sódio e titulação com ácido clorídrico	4*
EE	Randall	Tempo de imersão: 30 minutos; tempo de gotejamento: 60 minutos; taxa de condensação do solvente: 3-5 gotas/segundo; extrator sugerido: éter de petróleo	5
Cinzas	Calcinação	600°C/3-4 horas; equipamentos: mufla, dessecador	6
Matéria Orgânica	Por diferença	MO = 100 – Cinzas	6
FDN, FDA	Sistema detergente	Teores avaliados por extrações convencionais em refluxo (<i>fibertech</i>) ou por micro-extração em autoclave	*
PIDN, PIDA	Sistema detergente	Avaliação pelo método de Kjeldahl após a extração com os respectivos detergentes	7*
CIDN	Sistema detergente	Avaliação da matéria mineral residual da FDN	8*
FDNi	Incubação <i>in situ</i>	Incubação <i>in situ</i> por 288 horas utilizando-se sacos F57 (Ankom®) ou de tecido não tecido (TNT, 100 g/m²), respectivamente. Massa de amostra: 20 mg MS/cm² de superfície. Extrair com detergente neutro	9
PIIDN	Incubação <i>in situ</i>	Avaliação da proteína associada à FDNi pelo método de Kjeldahl	9, 7*
Lignina	Ácido sulfúrico	Solubilização da celulose por hidrólise em H ₂ SO ₄ (72% p/p) após tratamento prévio da amostra com detergente ácido	10*

¹ Método INCT-CA G-001/1. ² Método INCT-CA G-003/1 ³ Thiex e Richardson (2003). ⁴ Método INCT-CA N-001/1. ⁵ Método INCT-CA G-005/1. ⁶ Método INCT-CA M-001/1. ⁷ Métodos INCT-CA N-004/1 e N-005/1. ⁸ Método INCT-CA M-002/1. ⁹ Método INCT-CA F-008/1. ¹⁰ Método INCT-CA F-005/1. * Ver comentários no texto.

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

$$CNF = MO - [(PB - PBu + Ur) + EE + FDN_{cp}] \quad (4.32);$$

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

DISCUSSÃO SOBRE AS PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS E MODIFICAÇÕES DO MODELO

Em relação à segunda edição do Sistema BR-CORTE (Detmann et al., 2010b), a estrutura dos sub-modelos utilizados para predição da fração verdadeiramente digestível

do EE e dos CNF foi mantida (Equações 4.9 e 4.10), pois trabalhos de validação confirmaram sua exatidão (Detmann et al., 2008b; Magalhães et al., 2010; Azevêdo et al., 2011; Sampaio et al., 2012) e reiteraram a hipótese central de que ambos os componentes poderiam ser tratados como entidades nutricionais homogêneas, sendo seu comportamento digestivo adequadamente interpretado por intermédio dos fundamentos do teste de Lucas (Lucas e Smart, 1959; Lucas, 1960).

Adicionalmente, conforme relatado na segunda edição do Sistema BR-CORTE (Detmann et al., 2010b), parte do melhor desempenho do sistema somativo desenvolvido em condições brasileiras poderia ser atribuído à melhor adequação das

frações metabólicas fecais (Tabela 4.1), as quais são necessárias para a adequada conversão das frações verdadeiramente digestíveis de EE, CNF e PB em frações compatíveis com digestibilidade aparente, base para o cálculo das estimativas da concentração de NDT. A dimensão da fração metabólica fecal é diretamente influenciada pelo fluxo de nutrientes ao intestino grosso terminal, que implica alterações na atividade microbiana cecal (Ørskov, 1988), e pelo nível de componentes fibrosos na dieta (Arroyo-Aguilu e Evans, 1972), condições estas notadamente divergentes entre animais alimentados em condições tropicais e não tropicais (Detmann et al., 2008b).

Contudo, o sub-modelo inicialmente proposto para avaliação da fração digestível da FDN (Equação 4.12) apresentou baixa precisão (Detmann et al., 2008b; Azevêdo et al., 2011; Sampaio et al., 2012), notadamente para bovinos em crescimento e terminação (Detmann et al., 2007).

A baixa eficiência de predição deste sub-modelo poderia ser atribuída a dois fatores principais. Primeiramente, a consideração de fator constante de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN (parâmetro F; Equação 4.12), característica também intrínseca ao sub-modelo adotado pelo NRC (2001). A derivação do parâmetro F adotado na segunda edição do Sistema BR-CORTE foi realizada por Detmann et al. (2004a) empregando-se amostras de forragens tropicais e utilizando-se o método de análise de lignina por oxidação em permanganato de potássio. No entanto, o conjunto de amostras utilizado foi de certa forma restrito, pois, além da não contemplação de alimentos concentrados, foi composto por grande parte de amostras de gramíneas tropicais sob pastejo (e.g., capim-braquiária). Entende-se, contudo, que a relação entre a lignina e a fração FDNi não pode ser considerada homogênea entre alimentos (Palmonari et al., 2016), o que demandou uma primeira modificação nos pressupostos teóricos que deveriam reger a estimação da fração digestível da FDN.

Como ressaltado anteriormente, a fração FDNi, e consequentemente a fração FDNpd, constitui conceito biológico assintótico, ou seja, é definida quando não

existem limitações temporais de exposição aos sistemas enzimáticos microbianos ruminais (Detmann et al., 2008a). A alta variabilidade entre amostras quanto à concentração de FDNi, e por conseguinte de FDNpd, indica que, embora a lignina seja o principal fator determinante da extensão de degradação da fibra (Van Soest, 1994), análises gravimétricas simples talvez não sejam capazes de prever adequadamente todos os fatores determinantes dos limites assintóticos da degradação (Detmann et al., 2008b). Assim, a análise direta da fração FDNi por intermédio de ensaios de incubação ruminal *in situ* de longa duração seria a alternativa de maior plausibilidade biológica para o fracionamento da FDN dos alimentos.

Contudo, entende-se que existam limitações para a realização de tais ensaios devido à necessidade de disponibilidade de animais fistulados no rúmen e ao longo tempo demandado (Casali et al., 2008; Valente et al., 2011). Desta forma, equações de predição empíricas foram desenvolvidas a partir da análise de amostras de forragens ($n = 371$) e concentrados ($n = 65$), cujos resultados são expressos nas equações (4.13) e (4.14), respectivamente (Figuras 4.1 e 4.2). Para o ajuste destas equações, associações com diversos componentes dos alimentos foram devidamente investigadas [i.e., FDN, FDNcp, FDA, FDA corrigida para cinzas e proteína (FDAcp), lignina avaliada por hidrólise ácida e por oxidação com permanganato]. Um dos maiores avanços em relação aos pressupostos adotados na segunda edição do Sistema BR-CORTE reside sobre a consideração de modelos diferentes para forragens e concentrados.

Como ressaltado previamente, as correlações entre as diferentes características químicas consideradas e a fração FDNi mostraram-se mais fracas em relação à fração FDNpd (Tabela 4.3), o que possivelmente reflete a maior proporção de FDNpd em relação à FDNi na MS total dos alimentos. Sendo as frações complementares, melhores ajustamentos dos modelos foram obtidos considerando-se a fração FDNpd. No entanto, embora complementares em relação à FDN total, as frações FDNpd e FDNi, expressas como percentagem da MS, mostraram-se não correlacionadas (Tabela 4.3) 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 residiu sobre a forte correlação observada com a concentração de FDNcp (Tabela 4.3; Figuras 4.1 e 4.2). 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 4.2) possivelmente devido à baixa influência da proteína e minerais da parede celular sobre a degradação potencial da fibra. Neste sentido, relações com outras características da fibra foram agregadas ao modelo baseado na concentração de FDNcp a fim de incorporar elementos discriminatórios entre alimentos em função do potencial de utilização ruminal da fibra.

Tabela 4.3 - Correlações 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)
Lignina (H)	-0,553 (<0,001)	-0,106 (0,040)	0,059 (0,643)	0,911 (<0,001)
Lignina (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; Lignina(H), lignina avaliada por hidrólise em ácido sulfúrico; Lignina (Ox), lignina avaliada por oxidação em permanganato de potássio. ² Os valores entre parênteses representam o nível descritivo de probabilidade para $H_0: \rho = 0$.

Particularmente para alimentos volumosos, o modelo para predição da fração FDNpd foi acrescido dos efeitos linear e quadrático da FDA e do efeito linear da concentração de lignina (Equação 4.13).

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 (4.13). 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., 2011b), o conjunto de amostras avaliado evidenciou melhor associação baseada nas concentrações de lignina avaliadas por hidrólise em ácido sulfúrico (Tabela 4.3), o que sugeriu modificações nos métodos de análises em relação à segunda edição do Sistema BR-CORTE (Tabela 4.2) com a retirada da recomendação do método por oxidação em permanganato. 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, devido à consideração conjunta destes componentes (lignina e cutina) no resíduo avaliado como lignina (Van Soest, 1994). Para a maioria dos alimentos, a contribuição da cutina pode ser considerada de baixa relevância. Contudo, para alimentos ricos em cutina, como os derivados da mamona e as cactáceas, o método da oxidação em permanganato pode produzir resultados mais verossímeis da concentração de lignina.

Diferentemente do observado para a FDN, a correção para cinzas e proteína não elevou as correlações entre FDNpd e FDA (Tabela 4.3). Assim, o modelo (Equação 4.13) baseou-se nas concentrações de FDA sem correções. A despeito da PIDA ser demandada para estimação da fração verdadeiramente digestível da PB por aproximação química (Equações 4.26 e 4.27), a exclusão do uso da FDAcp reduz o labor analítico, por eliminar a análise de cinzas insolúveis em detergente ácido (CIDA) da rotina laboratorial. Cabe ressaltar que a extração sequencial da FDA remove grande parte da proteína de parede celular e da sílica biogênica (Van Soest, 1994), tornando a participação da PIDA e das CIDA inferiores à participação da PIDN e das CIDN na MS total da amostra, o que parece ampliar a justificativa das correlações entre FDNpd e FDAcp serem similares ou mais fracas em relação às correlações entre FDNpd e FDA.

Embora a correlação entre FDNpd e FDA tenha sido inicialmente positiva (Tabela 4.3), sua inclusão no modelo se deu por intermédio de efeito negativo sobre a FDNpd (Equação 4.13). Esta inversão na direção da associação reflete limitação do coeficiente momento produto de Pearson quando aplicado a grupos de variáveis altamente 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 seu ajustamento e contribuiu significativamente para a explicabilidade da relação ($P \leq 0,04$). A conformação quadrática da equação (4.13)

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 que incrementos em FDNpd somente ocorreriam em limites cabíveis ao campo da extrapolação e sob concentrações biologicamente pouco prováveis de FDA ($FDA \geq 64,2\%$ da MS).

A presença da FDA no modelo (Equação 4.13) 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 nutricionalmente 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 4.13) 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.

Para alimentos concentrados, o modelo para predição da fração FDNpd foi acrescido do efeito linear negativo da FDA (Equação 4.14). Embora as concentrações de

lignina mensuradas por oxidação tenham se correlacionado negativamente com a FDNpd (Tabela 4.3), sua inclusão no modelo não proporcionou contribuição significativa ($P>0,46$). 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 (celulose + lignina) em comparação ao resíduo insolúvel de detergente neutro (hemicelulose + celulose + lignina). Por outro lado, a avaliação de lignina em concentrados pode apresentar dificuldades inerentes devido à sua baixa concentração, reduzindo a precisão das mensurações gravimétricas. Assim, a vantagem apontada aqui 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 FDNpd em concentrados introduziu-se variável “dummy” para correção das estimativas em função de alimentos com fibra de menor potencial de degradação (Equação 4.14). Esta correção foi incorporada somente em nível de intercepto, pois a inclinação de ambos os grupos de alimentos concentrados em função da concentração de FDNcp mostrou-se similar (Figura 4.2). Embora o grupo de alimentos com fibra de menor degradação potencial no conjunto de dados contemplasse 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 (fartelo e torta) e ao MDPS.

O segundo fator influente sobre a baixa precisão da fração digestível da FDN a partir do sub-modelo adotado na segunda

edição do Sistema BR-CORTE reside sobre a adoção de coeficientes de digestibilidade fixos para a fração FDNpd, limitação previamente apontada por Detmann et al. (2010b). O coeficiente de digestibilidade da FDNpd resulta da integração entre as dinâmicas de degradação e trânsito no trato gastrointestinal dos ruminantes e, consequentemente, de todos os fatores com potencial de alteração sobre estas características. Embora os coeficientes de digestibilidade da FDNpd previamente adotados sejam distintos entre categorias animais, os mesmos foram derivados da análise conjunta de baixo número de experimentos (Detmann et al., 2007), o que não permitiu a contemplação de grande amplitude em relação às diferentes situações dietéticas observadas em condições brasileiras. Esta questão mostrou-se particularmente relevante para bovinos em crescimento e terminação, pois os dados originalmente utilizados apresentavam grande número de observações derivadas de experimentos com animais manejados em pastos tropicais de baixa qualidade (Detmann et al., 2007), o que, em conjunto com os entraves previamente relatados para a estimação da FDNi, parece ter implicado em viés positivo sobre as estimativas da fração digestível da FDN para esta categoria animal.

A primeira proposta para obtenção de estimativas para o coeficiente de digestibilidade baseou-se na avaliação meta-analítica de dados (doravante denominada aproximação meta-analítica). A integração de diferentes estudos por intermédio de técnicas de meta-análise apresenta a vantagem evidente de contemplação de grande amplitude de condições dietéticas, o que seria inviável de ser obtido por intermédio de um ou poucos experimentos. Dados oriundos de 45 dietas com vacas em lactação e 213 dietas com bovinos em crescimento e terminação (médias de tratamentos) foram compilados. Em princípio, objetivou-se ajustar equação única para ambas as categorias animais, visando à maior confiabilidade devido ao maior número de condições dietéticas. Contudo, as avaliações iniciais permitiram evidenciar que associações ilógicas do ponto de vista biológico estavam sendo apontadas pelas equações (e.g., associação positiva entre

concentração dietética de EE e a digestão da fibra), um possível reflexo de ocorrência do Paradoxo de Simpson, o qual indica a reversão da direção de uma associação quando se combinam dados de vários grupos para a formação de um único grupo (Moore, 1995). Desta forma, equações distintas foram ajustadas para cada grupo. Adotou-se o método *backward regression* (Draper e Smith, 1966) com ajuste para o efeito aleatório dos diferentes experimentos; considerando-se, contudo, a pré-seleção de variáveis por intermédio das estimativas de correlação linear de Pearson.

Para bovinos em crescimento e terminação, as correlações mais fortes com o coeficiente de digestibilidade da FDNpd foram estabelecidas com a concentração

dietética de PB ($r = 0,18$; $P < 0,03$) e com o consumo voluntário de FDNi ($r = 0,25$; $P < 0,01$). No entanto, devido às dificuldades de obtenção de estimativas do consumo de FDNi, esta variável foi substituída no processo de ajustamento pelo consumo voluntário de MS (estimável pelo Sistema BR-CORTE) e concentração dietética de FDNi, haja vista que o produto de ambos resulta no consumo de FDNi. Distinção entre diferentes grupos de forragens foi necessária para o correto ajustamento da equação, as quais foram agrupadas em forragens com alto (i.e., silagens de milho e sorgo) e baixo (i.e., cana-de-açúcar, fenos de gramíneas, silagens de gramíneas, gramíneas *in natura*) teor de amido (Equação 4.15; Figuras 4.7 e 4.8).

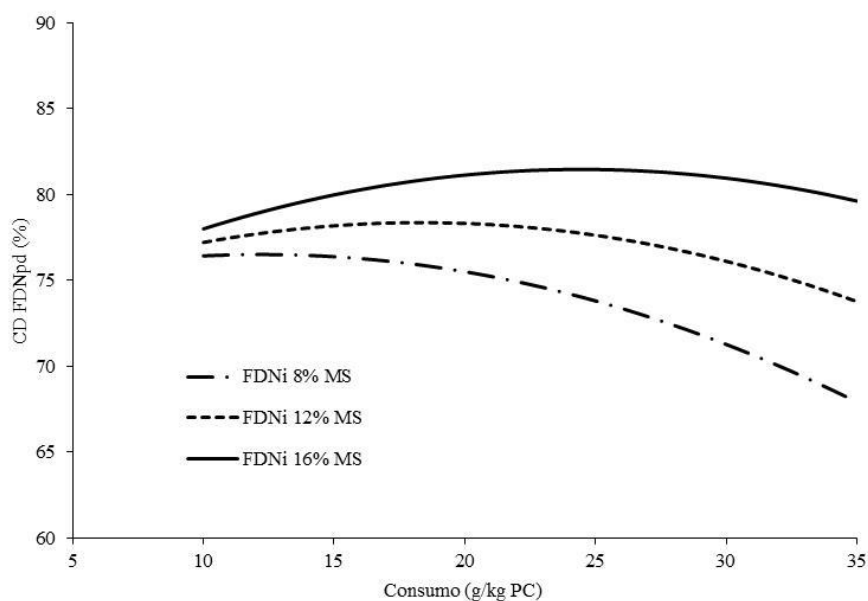


Figura 4.7 - Variações no coeficiente de digestibilidade da fibra em detergente neutro potencialmente digestível (CD FDNpd) em função do consumo voluntário de matéria seca e da concentração dietética de FDNi para bovinos em crescimento alimentados com forragens de baixo teor de amido (Equação 4.15; assumiu-se dieta com 12% de PB com base na MS).

A avaliação da equação (4.15) permitiu evidenciar efeito positivo da concentração de FDNi na dieta sobre o coeficiente de digestibilidade da FDNpd tanto para forragens de baixo (Figura 4.7) como de alto (Figura 4.8) teor de amido. Este efeito está associado ao fato de a fração indigestível da fibra possuir, proporcionalmente, maior efeito de repleção ruminal em comparação à fração potencialmente degradável, pois sua retirada do rúmen ocorre somente por

passagem (Waldo et al., 1972; Detmann et al., 2015). O aumento no efeito de repleção ruminal da FDN com a maior participação da fração FDNi implica em maior tempo de retenção, ampliando o tempo de exposição da fração FDNpd à ação dos microrganismos ruminais. Este efeito da concentração dietética de FDNi mostrou-se, contudo, mais proeminente quando forragens de alto teor de amido são consideradas (Figura 4.8).

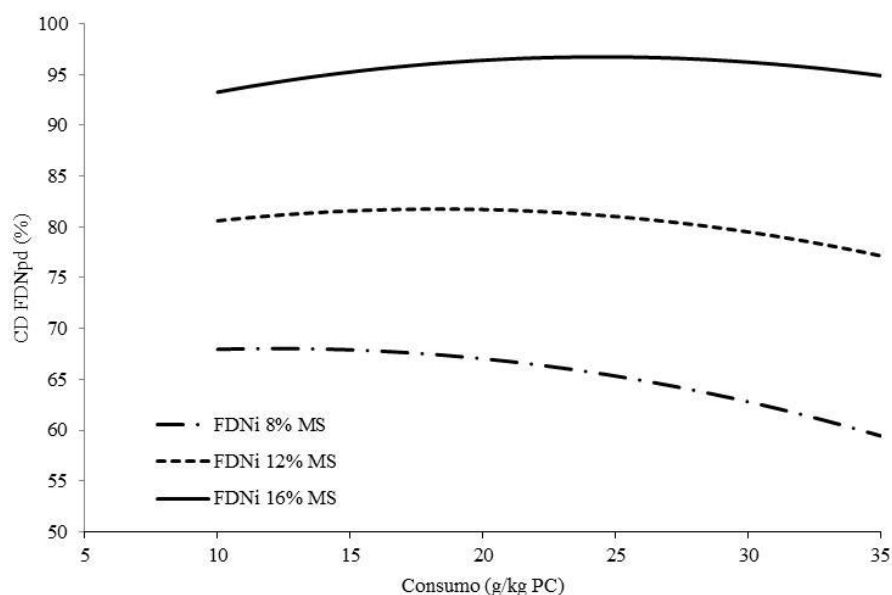


Figura 4.8 - Variações no coeficiente de digestibilidade da fibra em detergente neutro potencialmente digestível (CD FDNpd) em função do consumo voluntário de matéria seca e da concentração dietética de FDNi para bovinos em crescimento alimentados com forragens de alto teor de amido (silagens de milho ou sorgo; Equação 4.15; assumiu-se dieta com 12% de PB com base na MS).

Devido ao efeito de interação entre tipo de forragem e concentração de PB na dieta, efeitos positivos associados ao aumento da PB dietética somente foram significativamente observados em forragens de alto teor de amido (Equação 4.15). Efeitos proeminentemente positivos da disponibilidade de compostos nitrogenados na dieta sobre a utilização efetiva da fibra no rúmen são normalmente observados quando dietas deficitárias em nitrogênio são oferecidas aos animais (Detmann et al., 2009), característica pouco representada no banco de dados aqui utilizado. Contudo, com o aumento na participação do amido na dieta, efeitos deletérios sobre a utilização da fibra são verificados, os quais são atribuídos a quedas no pH ruminal a valores aquém do adequado à atividade fibrolítica ou ao aumento na competição por substratos entre espécies fibrolíticas e não fibrolíticas (Mertens e Loften, 1980; Mould et al., 1983; Arroquy et al., 2005; Carvalho et al., 2011). Contudo, resultados obtidos em condições tropicais permitem evidenciar que o aumento na disponibilidade dietética de compostos nitrogenados é capaz de reduzir a competição entre espécies microbianas, reduzindo o efeito deletério do amido sobre a utilização ruminal

da fibra (Costa et al., 2009; Lazzarini et al., 2016). Isto parece justificar o efeito positivo da concentração dietética de PB sobre o coeficiente de digestibilidade da FDNpd em forragens de alto teor de amido (Equação 4.15).

De uma forma geral, para bovinos em crescimento e terminação, observou-se efeito negativo do consumo sobre o coeficiente de digestibilidade da FDNpd (Girard e Dupuis, 1988; Figuras 4.7 e 4.8). Sob condições normais de alimentação (sem desbalanços drásticos), entende-se que a taxa de passagem ruminal é amplamente influenciada pelo consumo (Pittroff e Kothmann, 1999). Desta forma, maiores consumos estão associados a maiores taxas de passagem e, consequentemente, menor tempo de retenção ruminal e menor tempo para ação microbiana sobre a fibra. Contudo, percebe-se que o efeito do consumo sobre o coeficiente de digestibilidade da FDNpd se torna menos prominente na medida que se reduz a qualidade da dieta (aumento na concentração de FDNi), tornando os valores praticamente estáveis na faixa de consumo voluntário avaliada (Figuras 4.7 e 4.8). Entende-se que o consumo voluntário por bovinos é regulado por múltiplos mecanismos que agem

simultaneamente. Contudo, variações nas condições dietéticas podem fazer com que mecanismos reguladores se alternem em importância na soma total das influências sobre a determinação do consumo voluntário (Detmann et al., 2014). Neste sentido, com a redução na qualidade da dieta, mecanismos de regulação física do consumo podem se tornar mais proeminentes devido ao maior tempo de retenção da digesta no rúmen, reduzindo a influência do nível de consumo sobre a passagem e tornando menos evidentes as diferenças quanto ao coeficiente de digestibilidade da FDNpd.

O modelo adotado para vacas em lactação mostrou-se mais simples em relação ao modelo adotado para bovinos em crescimento e terminação (Equação 4.16; Figura 4.9). Para esta categoria animal, o coeficiente de digestibilidade da FDNpd correlacionou-se negativamente com o nível de concentrado da dieta ($r = -0,31$; $P < 0,05$) e com o consumo voluntário de MS ($r = -0,36$; $P < 0,04$). Correlação negativa entre o coeficiente de digestibilidade da FDNpd e a concentração de PB na dieta foi também observada ($r = -0,47$; $P < 0,01$). Contudo, sua inclusão não resultou em contribuição significativa para o ajustamento da equação, possivelmente devida à forte correlação entre nível de concentrado e concentração de PB na dieta ($r = 0,64$; $P < 0,01$). Em outras palavras, os efeitos da PB estariam refletindo confundimento com o nível de concentrado na dieta. A maior simplicidade do modelo aplicável a vacas em lactação constitui possível reflexo da maior homogeneidade das dietas ofertadas a esta categoria animal em comparação àquelas oferecidas a bovinos em crescimento e terminação.

Em geral, o aumento no consumo voluntário refletiu reduções no coeficiente de digestibilidade da FDNpd por motivos similares aos discutidos para bovinos em crescimento e terminação (Figura 4.9). Similarmente, o aumento no teor de concentrados, expresso por intermédio de

interação com o consumo voluntário de MS (Equação 4.16), exerce efeitos negativos sobre a digestibilidade da fibra. Contudo, estes efeitos se tornam mais proeminentes na medida em que se amplia o nível de concentrado e o consumo total. Maiores níveis de concentrado e consumo voluntário implicam em maior consumo de CNF, causando redução nas condições propícias para a degradação ruminal da fibra devido ao menor pH e à maior competição entre espécies microbianas, como previamente ressaltado.

Por outro lado, a amplitude dos coeficientes de digestibilidade da FDNpd obtidos para vacas em lactação permite evidenciar que o coeficiente previamente adotado para esta categoria animal na segunda edição do Sistema BR-CORTE (0,67) mostra-se subestimado para a grande maioria das condições dietéticas.

Embora as equações (4.15) e (4.16) tenham apresentado ajuste adequado (Figuras 4.3 e 4.4), ressalta-se que estes modelos são baseados exclusivamente em dados experimentais e não em bases biológicas ou teóricas. Portanto, mesmo com ajuste adequado, os modelos devem ser considerados específicos para as condições nas quais os dados foram obtidos (Forbes e France, 1993) e seu valor preditivo restringe-se ao domínio matemático das variáveis independentes de cada modelo. Assim, combinações dietéticas atípicas (e.g., dietas com silagem de milho com 22% de FDNi e 15% de PB para bovinos em crescimento e terminação) poderão produzir valores de coeficiente de digestibilidade da FDNpd biologicamente implausíveis. De forma particular para vacas em lactação, a conformação do modelo (Equação 4.16) indica que o mesmo não deve ser aplicado para consumos voluntários superiores a 32-34 g/kg de peso corporal, pois consumos superiores a estes não foram verificados no banco de dados utilizados para as avaliações meta-analíticas.

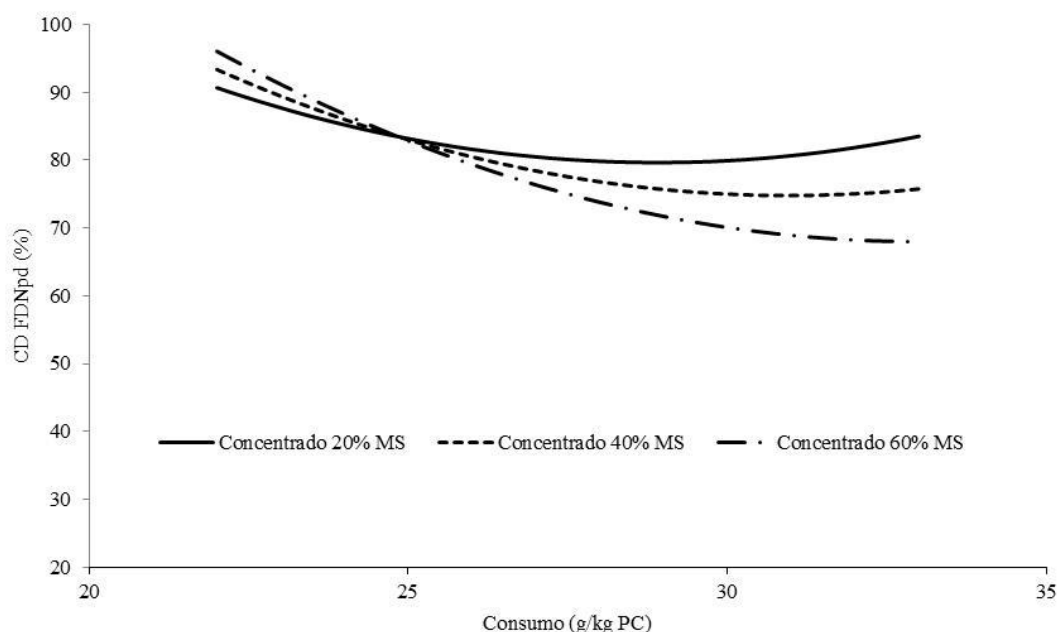


Figura 4.9 - Variações no coeficiente de digestibilidade da fibra em detergente neutro potencialmente digestível (CD FDNpd) em função do consumo voluntário de matéria seca e do nível de concentrado na dieta para vacas em lactação (Equação 4.16).

Embora a aproximação meta-analítica tenha por base a interpretação de dados empíricos, uma limitação intrínseca é observada para esta aproximação. Os modelos ajustados exigem como *input* características das dietas que são observadas após sua formulação (i.e., concentrações dietéticas de PB, FDNi e de alimentos concentrados). Isto torna o processo de predição iterativo, ou seja, o processo de avaliação da energia dietética é iniciado a partir de estimativas iniciais para estas variáveis fornecidas pelo usuário. O *output* é então avaliado e utilizado para retroalimentar o modelo. A nova solução obtida é novamente avaliada, repetindo-se o ciclo até que haja convergência entre os valores de exigências de energia pelo animal e de energia fornecida pela dieta.

Desta forma, sub-modelo alternativo e de mais fácil aplicação foi desenvolvido (Equação 4.17) baseado em informações empíricas de dinâmica de degradação ruminal da FDNpd avaliadas em bovinos alimentados exclusivamente com forragem (doravante denominada aproximação empírica). Embora informações de animais alimentados com dietas compostas por volumosos e concentrados estivessem disponíveis, as mesmas não foram utilizadas visando ao

desenvolvimento de sub-modelo simplificado que pudesse ser aplicado a alimentos individuais, sem a demanda de informações da composição da dieta final. Adicionalmente, ajustes discretos com relação às categorias animais não foram contemplados na aproximação empírica, ficando estas restritas a diferenças no nível de consumo e em relação à forragem basal da dieta.

Neste sentido, a taxa de degradação da FDNpd pode ser predita por relação positiva e linear a partir do consumo voluntário de MS (variável estimável pelo Sistema BR-CORTE). A associação positiva entre a taxa de degradação da FDNpd e o consumo voluntário (Equação 4.18; Figura 4.5) 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 (4.18) estabelece-se 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, sendo a melhor descrição desta relação realizada por um modelo hiperbólico (Equação 4.19; Figura 4.6). 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. Desta forma, ambas as equações ajustadas (Equações 4.18 e 4.19) 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 4.17).

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% 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 4.20). Contudo, este ajustamento poderá sofrer modificações na medida em que novas informações forem obtidas em condições brasileiras.

Como descrito anteriormente para vacas em lactação (Figura 4.9), 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 (BCNRM, 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 da FDNi da forragem basal, seria impossível obter estimativas para dietas formadas exclusivamente por concentrados. Como dados das dinâmicas de trânsito e degradação ruminal para este tipo específico de dieta são inexistentes em condições brasileiras, optou-se pela recomendação da equação adotada pelo NRC (2001) (Equação 4.21).

A estrutura do sub-modelo adotado para a estimação da fração verdadeiramente digestível da PB foi mantida em relação à segunda edição do Sistema BR-CORTE (Equações 4.24 a 4.27). As únicas alterações realizadas dizem respeito aos coeficientes de digestibilidade das frações da PB associadas ao conteúdo celular e à parede celular. Para o primeiro caso, para melhor adequação às estimativas obtidas com dados brasileiros, este coeficiente foi alterado de 0,98 para 0,95, convergindo ao que é aplicado para estimação dos CNF verdadeiramente digestíveis (Equação 4.10). Considerando-se que a PB associada à parede celular apresenta, por suposição, comportamento digestivo similar ao observado para a porção fibrosa do alimento/dieta, seus coeficientes de digestibilidade devem ser modificados de acordo com o sub-modelo utilizado para estimação da fração digestível da FDNpd (Equações 4.15 a 4.21).

Ressalta-se, contudo, que a estimação da PIIDN a partir da PIDA foi proposta como alternativa para se agilizar o processo de predição (Detmann et al., 2010a). Contudo, ressalvas ainda devem ser mantidas, pois a relação entre PIIDN (conceito analítico biológico) e PIDA (conceito analítico químico) não apresenta alta precisão devido à elevada variabilidade biológica da

disponibilidade dos compostos nitrogenados associados à fibra (Henriques et al., 2007; Detmann et al., 2010a). Neste contexto, a utilização da PIDA como elemento preditor deve ser entendida apenas como aproximação química, sem que nenhum fundamento biológico seja destinado à sua ação sobre a digestibilidade dos compostos nitrogenados.

Para melhor entendimento das modificações dos sub-modelos em relação à segunda edição do Sistema BR-CORTE, processo de avaliação comparativa foi conduzido a partir da composição de volumosos ($n = 16$) e concentrados ($n = 8$) constantes no banco de dados CQBAL 3.0 (Valadares Filho et al., 2015). Os alimentos foram selecionados com base em sua utilização rotineira 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. Ressalta-se, contudo, que este processo de validação deve ser visto com cautela, pois os itens relativos à composição química podem ser oriundos de fontes distintas, além de não haver clareza quanto às situações nas quais as concentrações de NDT foram avaliadas *in vivo*. As avaliações centraram-se sobre as frações digestíveis da FDN e PB, haja vista que não foram estabelecidas modificações quanto aos sub-modelos aplicados para estimação das frações digestíveis de EE e CNF.

De forma geral, não foram observadas diferenças marcantes entre as aproximações meta-analítica e empírica aqui apresentadas e os sub-modelos adotados na segunda edição do Sistema BR-CORTE com relação aos valores de frações digestíveis de FDN e PB para alimentos concentrados. Todas as aproximações produziram valores de NDT próximos àqueles observados na base de dados CQBAL 3.0 (Figuras 4.10 e 4.11).

No entanto, diferenças marcantes foram observadas quando amostras de volumosos foram consideradas (Figura 4.10). O sistema somativo adotado na segunda edição do Sistema BR-CORTE tendeu a

superestimar a concentração dietética de NDT em alimentos volumosos como reflexo das maiores estimativas da fração digestível da FDN. Como ressaltado anteriormente, a combinação do uso de coeficiente de digestibilidade fixo com fator de proteção constante associado à lignina (Equação 4.12) tende a superestimar esta fração, notadamente em bovinos em crescimento e terminação. Neste sentido, a aproximação empírica (Equações 4.17 a 4.20), produziu menores estimativas da fração digestível da FDN (Figura 4.10), fazendo com que as concentrações de NDT em forragens apresentassem a maior similaridade com os valores observados *in vivo* (Figura 4.11). Por outro lado, a aproximação meta-analítica (Equação 4.15) incorreu em valores inferiores da fração digestível da FDN, produzindo valores de NDT substancialmente inferiores aos valores observados *in vivo*. Considerando a similaridade entre todas as aproximações quanto aos valores da fração verdadeiramente digestível da PB de forragens (Figura 4.10), entende-se que as principais diferenças entre aproximações residem no processo de estimação da fração digestível da FDN.

Para melhor entendimento das diferenças entre as aproximações, procedimento simplificado de avaliação da composição do erro de predição foi conduzido a partir de fundamentos relatados por Kobayashi e Salam (2000):

$$QMEP = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (4.33);$$

$$QV = (\bar{x} - \bar{y})^2 \quad (4.34);$$

$$VMQ = QMEP - QV = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(x_i - \bar{x}) - (y_i - \bar{y})]^2 \quad (4.35);$$

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

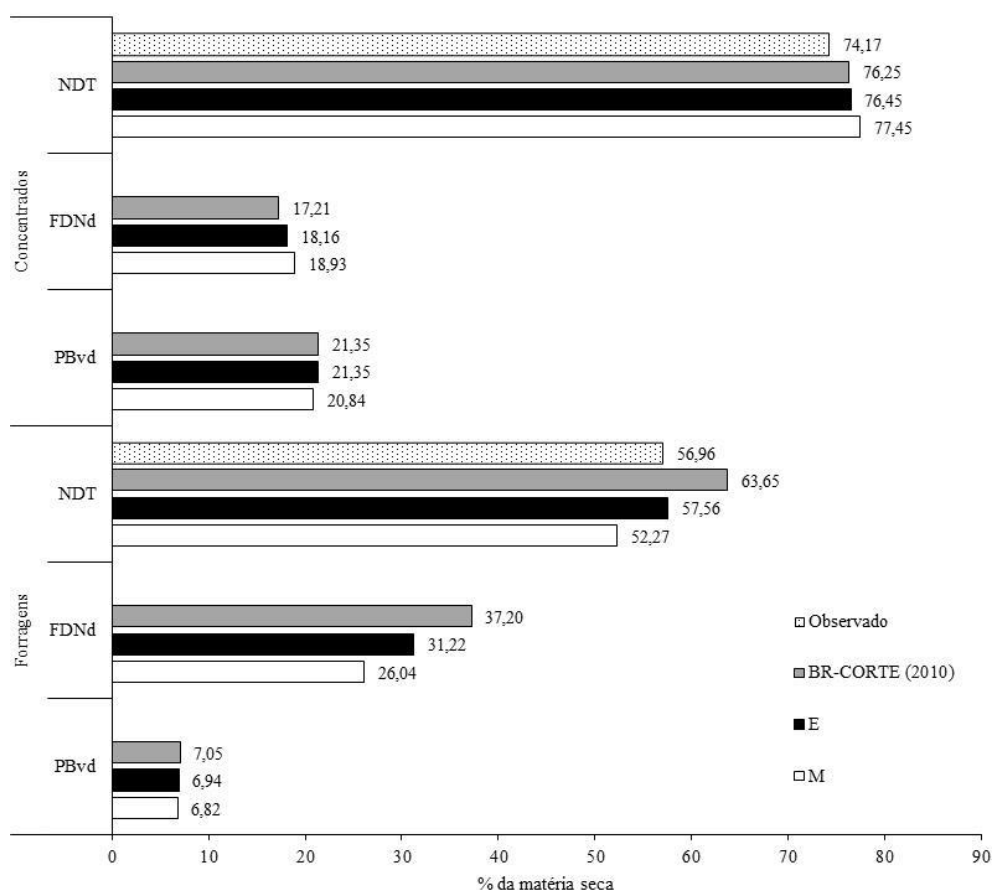


Figura 4.10 - Estimativas da fração verdadeiramente digestível da PB (PBvd), da fração digestível da FDN (FDNd) e da concentração dietética de NDT obtidas pelos sub-modelos adotados pelo BR-CORTE (2010) e pelas aproximações meta-analíticas (M) e empírica (E) para bovinos em crescimento e terminação e valores médios de NDT observados segundo dados do CQBAL 3.0 (forragens, n = 16; concentrados, n = 8). Para os modelos empíricos e meta-analítico considerou-se consumo de 22 g/kg de peso corporal. Para o modelo meta-analítico adotou-se concentração média de 12% de PB e 14% de FDNi na dieta. Para os modelos empírico e meta-analíticos aplicados para concentrados considerou-se como volumoso basal silagem de milho.

Devido à limitação intrínseca ao banco de dados obtido da base CQBAL 3.0, como previamente ressaltado, optou-se pela não realização de processo mais rigoroso de avaliação dos erros de predição. A

decomposição simplificada aqui utilizada (Equações 4.33 a 4.35) permite a identificação básica da composição do erro de predição (QMEP) em relação a limitações na exatidão (QV) ou precisão (VMQ) do modelo avaliado.

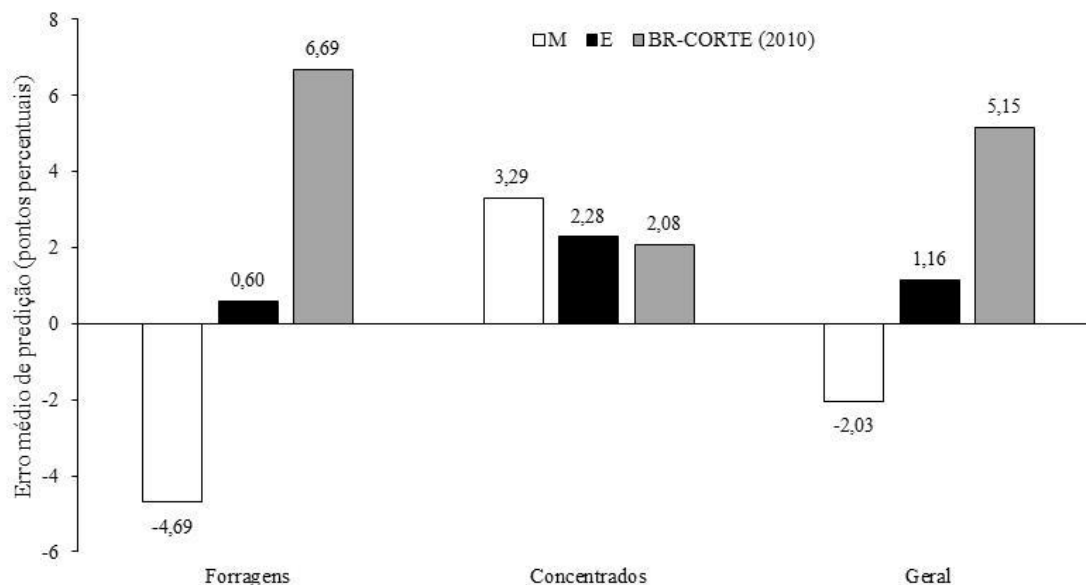


Figura 4.11 - Erro médios de predição em relação ao teor de NDT em alimentos concentrados e forragens obtidos pelos sub-modelos adotados pelo BR-CORTE (2010) e pelas aproximações meta-analíticas (M) e empírica (E) para fibra e proteína para bovinos em crescimento e terminação em relação aos valores médios de NDT observados segundo dados do CQBAL 3.0 (forragens, $n = 16$; concentrados, $n = 8$). Para verificação das pressuposições aplicadas a cada modelo, favor consultar a Figura 4.10.

Neste sentido, a avaliação geral do conjunto de dados permitiu evidenciar que ganhos proeminentes em exatidão e precisão foram obtidos somente na avaliação de alimentos volumosos, pois pouca diferença foi verificada com relação a alimentos concentrados (Figura 4.12).

A utilização da aproximação empírica produziu estimativas mais exatas em relação aos sub-modelos adotados na segunda edição do Sistema BR-CORTE. O coeficiente de digestibilidade da fração FDNpd para bovinos em crescimento e terminação previamente adotado pelo Sistema BR-CORTE (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 (4.12). 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; 2008b; Azevêdo et al., 2011). Embora as equações utilizadas por esta aproximação sejam relativamente simples (Equações 4.17 a 4.20), 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 sub-modelo previamente adotado pelo Sistema BR-CORTE para estimação da fração digestível da FDN, com as consequentes aplicações sobre a fração digestível da PB.

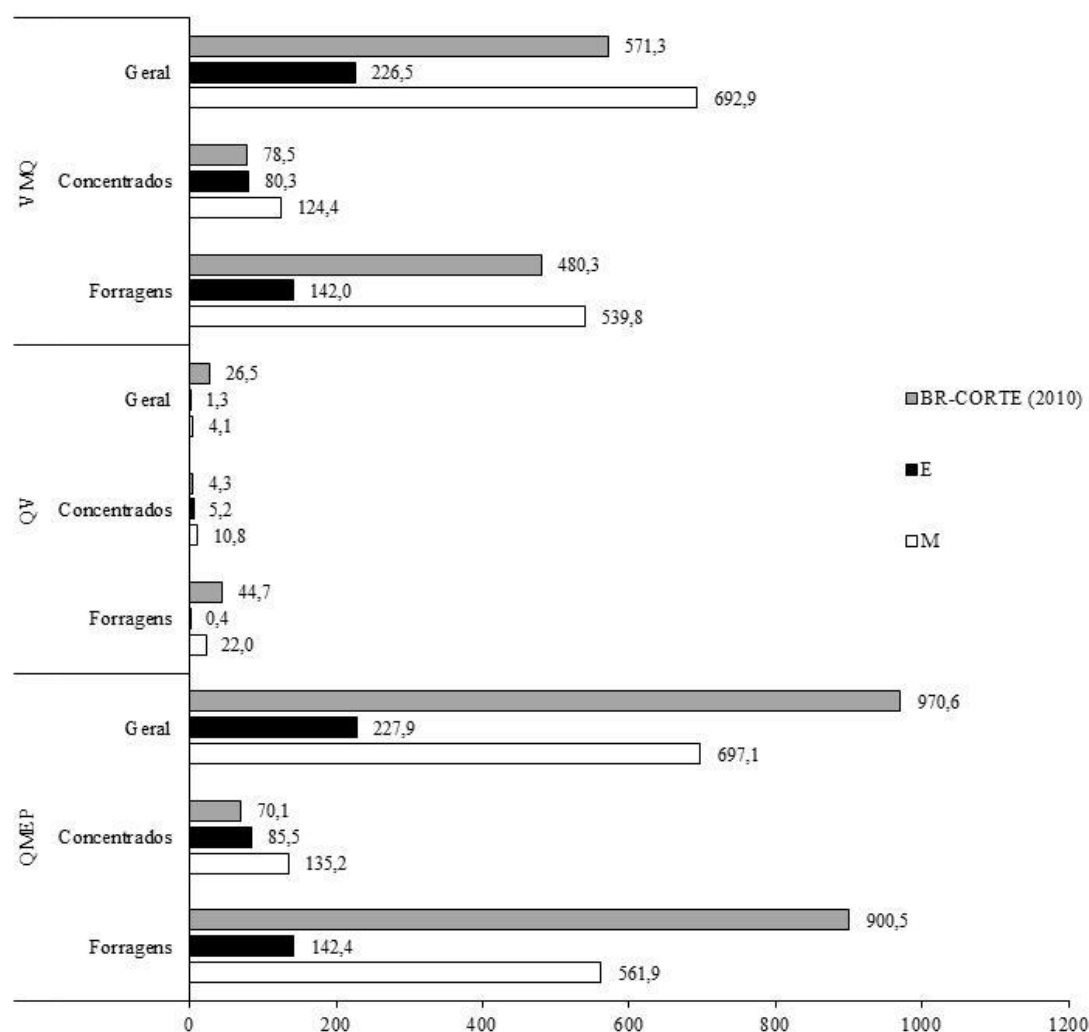


Figura 4.12 - Quadrado médio do erro de predição (QMEP), quadrado do vício (QV) e variação média quadrática (VMQ) para os teores de NDT em alimentos concentrados e forragens obtidos pelos sub-modelos adotados pelo BR-CORTE (2010) e pelas aproximações meta-analíticas (M) e empírica (E) para fibra e proteína 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). Para verificação das pressuposições aplicadas a cada modelo, favor consultar a Figura 4.10.

Por outro lado, embora desenvolvida a partir de grande número de observações *in vivo*, a aproximação meta-analítica apresentou limitações quanto à exatidão (Figuras 4.11 e 4.12) e, principalmente, quanto à precisão (Figura 4.12) das estimativas da concentração de NDT em forragens. Este comportamento poderia levar à sua não recomendação. Contudo, há de se ressaltar que as estimativas de frações digestíveis de FDN e PB obtidas por esta aproximação se basearam apenas em estimativas iniciais para a composição final da dieta (Figuras 4.10 e 4.11). Como ressaltado anteriormente, a utilização de tal aproximação constitui processo iterativo, na

qual ajustes sequenciais a partir dos *outputs* são necessários para se alcançar a convergência entre exigências de energia e consumo de energia. Assim, seria esperado que o primeiro *output* (obtido com valores iniciais definidos pelo usuário) produzisse estimativas de baixa precisão. Desta forma, o comportamento aqui observado para a aproximação meta-analítica pode não refletir suas verdadeiras características. Contudo, devido à escassez de dados, procedimentos de avaliação e, principalmente, validação desta aproximação não puderam ser desenvolvidos, o que seria recomendado.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Situação Produtiva – Bovinos Nelore em crescimento e terminação (confinamento).

Dieta: relação volumoso:concentrado 50:50 (base na matéria seca), 12%PB

Consumo esperado: 25 g MS/kg peso corporal.

Volumoso: silagem de milho.

Concentrado: mistura de milho grão (86,43% da MS), farelo de soja (10,07% da MS), ureia:sulfato de amônia (U:SA; 9:1) (1,5% da MS) e mistura mineral (MM; 2,0% da MS).

Tabela 4.4 - Composição química dos alimentos e da dieta total (% da MS)

Item	Silagem	Fubá	F. Soja	U:SA	MM	Concentrado	Dieta
MS	30,92	87,64	88,61	100	100	88,11	45,80
MO	94,74	97,60	92,85	100	0	95,20	94,97
PB	7,26	9,11	48,78	260	-	16,70	12,00
Ur	-	-	-	100	-	1,50	0,75
PBu	-	-	-	260	-	3,90	1,95
EE	3,16	4,07	1,71	-	-	3,69	3,43
FDNcp	51,77	10,19	10,72	-	-	9,89	30,83
FDA	23,79	4,18	3,75	-	-	3,99	13,89
Lignina	4,97	1,16	1,33	-	-	1,14	3,06
CNF	32,55	74,23	31,64	-	-	67,34	49,95
PIDN	1,14	0,87	2,38	-	-	0,99	1,06
PIDA	0,57	0,35	1,34	-	-	0,44	0,51

Exemplo A – Abordagem meta-analítica para avaliação da energia oriunda da FDN e PB

A.1.Cálculo da fração verdadeiramente digestível do EE (Equação 4.9)

$$EE_{vd} = 0,86 \times EE = 0,86 \times 3,43 = 2,95\%$$

A.2.Cálculo da fração verdadeiramente digestível dos CNF (Equação 4.10)

$$CNF_{vd} = 0,95 \times CNF = 0,95 \times 49,95 = 47,45\%$$

A.3.Cálculo da fração digestível da FDN (Equações 4.11, 4.13, 4.14 e 4.15)

$$FDNpd(F) = 3,38 + 0,883 \times FDNcp - 0,834 \times FDA + 0,0065 \times FDA^2 - 0,197 \times L$$

$$FDNpd(F) = 3,38 + 0,883 \times 51,77 - 0,834 \times 23,79 + 0,0065 \times (23,79^2) - 0,197 \times 4,97$$

$$FDNpd(F) = 31,95\%$$

$$FDNpd(C) = -1,19 - 10,16 \times D + 1,012 \times FDNcp - 0,052 \times FDA$$

$$FDNpd(C) = -1,19 - 10,16 \times 0 + 1,012 \times 9,89 - 0,052 \times 3,99$$

$$FDNpd(C) = 8,61\%$$

$$FDNpd(Dieta) = FDNpd(F) \times 0,5 + FDNpd(C) \times 0,5 = 31,95 \times 0,5 + 8,61 \times 0,5 = 20,28\%$$

$$FDNi(Dieta) = FDNcp - FDNpd = 30,38 - 20,28 = 10,55\%$$

$$D_{ct} = 80,21 \times FOR - 0,0166 \times CMS^2 + 2,658 \times FDNi + 3,691 \times PB$$

$$+ 0,0507 \times (CMS \times FDNi) - 2,9673 \times (FOR \times FDNi) - 3,9990 \times (FOR \times PB)$$

$$D_{ct} = 80,21 \times 0 - 0,0166 \times 25^2 + 2,658 \times 10,55 + 3,691 \times 12 \\ + 0,0507 \times (25 \times 10,55) - 2,9673 \times (0 \times 12,05) - 3,9990 \times (0 \times 12) = 75,33\%$$

$$FDN_d = D \times FDNpd$$

$$FDN_d = 75,33\% \times 20,28 = 15,27\%$$

A.4.Cálculo da fração verdadeiramente digestível da PB (Equações 4.15 e 4.26)

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

$$PB_{vd} = 0,95 \times (12,00 - 1,06) + 0,7533 \times \{1,06 \times [1 - e^{-(0,8188+1,1676 \times 0,51)}]\}$$

$$PB_{vd} = 0,95 \times 10,94 + 0,7533 \times (1,06 \times 0,7569)$$

$$PB_{vd} = 10,39 + 0,60 = 10,99\%$$

A.5.Cálculo do NDT (Equação 28d; Tabela 4.1)

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

$$NDT = 10,99 + 47,45 + 15,27 + 2,25 \times 2,95 - 7,13$$

$$NDT = 80,35 - 7,13 = 73,22\%$$

A.6.Cálculo da ED (Equação 4.29; Tabela 4.1)

$$ED = 0,056 \times PB_{vd} + 0,042 \times CNF_{vd} + 0,042 \times FDN_d + 0,094 \times EE_{vd} - FM_{ED}$$

$$ED = 0,056 \times 10,99 + 0,042 \times 47,45 + 0,042 \times 15,27 + 0,094 \times 2,95 - 0,322 = 3,205 \text{ Mcal/kg MS}$$

A.7.Cálculo da EM (Equação 4.30)

$$EM = 0,9422 \times ED - 0,303$$

$$EM = 0,9455 \times 3,205 - 0,303 = 2,727 \text{ Mcal/kg MS}$$

Exemplo B – Abordagem empírica geral para avaliação da energia oriunda da FDN e PB

B.1.Cálculo da fração digestível da FDN (Equações 4.13, 4.14, 4.17, 4.18, 4.19b e 4.20)

$$FDNpd(F) = 3,38 + 0,883 \times FDNcp - 0,834 \times FDA + 0,0065 \times FDA^2 - 0,197 \times L$$

$$FDNpd(F) = 3,38 + 0,883 \times 51,77 - 0,834 \times 23,79 + 0,0065 \times (23,79^2) - 0,197 \times 4,97$$

$$FDNpd(F) = 31,95\%$$

$$FDNpd(C) = -1,19 - 10,16 \times D + 1,012 \times FDNcp - 0,052 \times FDA$$

$$FDNpd(C) = -1,19 - 10,16 \times 0 + 1,012 \times 9,89 - 0,052 \times 3,99$$

$$FDNpd(C) = 8,61\%$$

$$kd = 0,00329 \times CMS = 0,00329 \times 25 = 0,0823$$

$$kp(F) = \frac{0,287}{FDNi(F)} = \frac{0,287}{(FDNcp - FDNpd)} = \frac{0,287}{(51,77 - 31,95)} = 0,0145$$

$$kp(C) = kp(F) \times 1,8 = 0,0145 \times 1,8 = 0,0261$$

$$FDNd(F) = \left[\left(\frac{0,0823}{0,0823 + 0,0145} \right) \times 31,95 \right] \times 1,12 = 30,42\%$$

$$FDNd(C) = \left[\left(\frac{0,0823}{0,0823 + 0,0261} \right) \times 8,64 \right] \times 1,12 = 7,34\%$$

$$FDNd(Dieta) = 0,5 \times FDNd(F) + 0,5 \times FDNd(C) = 0,5 \times 30,42 + 0,5 \times 7,34 = 18,88\%$$

B.2. Cálculo da fração verdadeiramente digestível da PB (Equações 4.18, 4.19b, 4.20 e 4.27)

$$PB_{vd}(F) = 0,95 \times (7,26 - 1,14) + \frac{0,0823}{0,0823 + 0,0145} \times \{1,14 \times [1 - e^{-(0,8188 + 1,1676 \times 0,57)}]\}$$

$$PB_{vd}(F) = 0,95 \times 6,12 + 0,8502 \times (1,14 \times 0,7733)$$

$$PB_{vd}(F) = 5,81 + 0,75 = 6,56\%$$

$$PB_{vd}(C) = 0,95 \times (16,70 - 0,99) + \frac{0,0823}{0,0823 + 0,0261} \times \{0,99 \times [1 - e^{-(0,8188 + 1,1676 \times 0,44)}]\}$$

$$PB_{vd}(C) = 0,95 \times 15,71 + 0,7592 \times (0,99 \times 0,7362)$$

$$PB_{vd}(C) = 14,92 + 0,55 = 15,47\%$$

$$PB_{vd}(dieta) = 0,5 \times PB_{vd}(F) + 0,5 \times PB_{vd}(C) = 0,5 \times 6,56 + 0,5 \times 15,47 = 11,02\%$$

B.3. Cálculo do NDT (Equação 4.28d; Tabela 4.1)

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

$$NDT = 11,02 + 47,45 + 18,88 + 2,25 \times 2,95 - 7,13$$

$$NDT = 83,99 - 7,13 = 76,86\%$$

B.4. Cálculo da ED (Equação 4.29; Tabela 4.1)

$$ED = 0,056 \times PB_{vd} + 0,042 \times CNF_{vd} + 0,042 \times FDN_d + 0,094 \times EE_{vd} - FM_{ED}$$

$$ED = 0,056 \times 11,02 + 0,042 \times 47,45 + 0,042 \times 18,88 + 0,094 \times 2,95 - 0,322 = 3,358 \text{ Mcal/kg MS}$$

B.5. Cálculo da EM (Equação 4.30)

$$EM = 0,9455 \times ED - 0,303$$

$$EM = 0,9455 \times 3,358 - 0,303 = 2,872 \text{ Mcal/kg MS}$$

TABELAS DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS

A seguir são expostas Tabelas de composição química e concentração energética para bovinos em crescimento e terminação em alguns alimentos mais

comumente utilizados. Os dados de composição química foram retirados da base CQBAL 3.0. As concentrações energéticas foram estimadas segundo as equações descritas na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Indicação das equações empregadas para estimação da concentração energética dos alimentos constantes nas Tabelas 4.6 a 4.9

Fração	Equações	Tabela
EEvd	9	-
CNFvd	10	-
FDNd	13, 14, 17, 18, 19b e 20	-
PBvd	18, 19b, 20 e 27	-
NDT	28d	4.1
ED	29	4.1
EM	30	-

Para o cálculo das frações FDNd e PBvd assumiu-se consumo voluntário de 22 g de matéria seca por kg de peso corporal. Especificamente para o cálculo destas frações em alimentos concentrados, considerou-se a silagem de milho como volumoso basal. De forma comparativa, os valores de NDT foram também calculados com base na segunda edição do Sistema BR-CORTE, utilizando-se, contudo, o coeficiente de digestibilidade da FDNpd sugerido para vacas em lactação.

Devido à superestimação da concentração de NDT causada pelo sub-modelo aplicável à FDN para bovinos em crescimento e terminação (Figuras 4.10 e 4.11), o Sistema BR-CORTE para formulação de dietas (versão *on line*) tem utilizado o

coeficiente de digestibilidade da FDNpd para vacas em lactação como alternativa para obtenção de valores de NDT aparentemente mais verossímeis ao que seria obtido *in vivo*. Contudo, como ressaltado anteriormente, o coeficiente de digestibilidade da FDNpd para vacas em lactação adotado na segunda edição do Sistema BR-CORTE (0,67) encontra-se subestimado, ao passo que a avaliação da fração FDNpd a partir da lignina por intermédio da equação (4.12) parece gerar superestimativas. Assim, o modelo apresentaria viés negativo quanto ao coeficiente de digestibilidade e positivo quanto à dimensão da fração FDNpd, o que indicaria incoerência em sua utilização.

 Tabela 4.6 - Composição química e concentração energética em volumosos (forragens úmidas *in natura*)

Itens	Alimentos											
	Alfafa	Azevém	Braquiária brizantha (0-30 d)	Braquiária brizantha (91-120d)	Braquiária decumbens (31-45 d)	Braquiária decumbens (46-60 d)	Cana- de- açúcar	Coast cross	Capim Elefante Cameroon (61-90 d)	Capim Tifton 85	Capim Tanzânia	Palma Forrageira
MS	25,30	19,43	17,15	27,72	22,39	27,14	28,77	32,62	16,68	26,96	23,31	11,30
MO	90,62	90,45	89,98	92,30	90,33	91,04	96,55	91,49	90,22	90,91	88,63	88,04
PB	90,97	18,78	12,32	4,80	11,66	9,39	2,76	12,03	8,89	12,91	9,45	4,24
EE	3,70	3,22	1,20	1,16	1,79	2,23	1,34	2,50	2,41	2,00	2,53	1,80
CNF	26,08	21,83	15,28	10,87	21,48	19,84	42,72	7,73	10,85	10,68	7,59	52,92
FDNcp	39,87	46,62	61,18	75,47	55,40	59,58	49,73	69,23	68,07	65,32	69,06	29,08
FDA	26,63	27,41	34,68	42,87	28,19	36,76	33,52	35,78	43,91	36,91	41,58	18,61
Lig	7,47	4,06	4,44	6,41	3,82	5,18	5,86	6,13	7,10	7,49	5,89	4,93
PIDA	1,69	0,72	2,55	1,59	0,90	2,28	0,12	1,93	0,97	3,75	1,31	0,82
PIDN	4,99	5,28	3,00	3,87	5,14	3,38	0,46	5,81	2,56	6,81	3,30	1,40
NDT ¹	60,1	60,9	54,7	49,4	57,1	56,0	63,1	51,8	50,4	51,0	50,1	62,8
NDT ²	62,2	60,5	55,5	54,0	58,2	56,8	63,0	56,7	53,4	55,5	52,7	63,2
ED ²	2,86	2,75	2,47	2,30	2,56	2,48	2,66	2,51	2,33	2,47	2,31	2,68
EM ²	2,39	2,29	2,02	1,88	2,12	2,04	2,21	2,07	1,90	2,03	1,88	2,23

¹ NDT calculado conforme descrito no BR-CORTE (2010) para vacas em lactação; ² NDT, ED e EM calculados conforme o novo sistema de equações (Tabela 4.5).

Tabela 4.7 - Composição química e concentração energética em volumosos conservados (fenos e silagens)

Itens	Fenos					Silagens						
	Alfafa	Aveia	Braquiária brizantha	Braquiária decumbens	Coast cross	Tifton 85	Cana- de- açúcar	Capim Elefante	Milho	Soja	Sorgo	Tifton (pré- secado)
MS	89,32	87,42	87,95	88,68	88,90	88,94	26,12	27,70	31,11	25,83	29,76	47,76
MO	88,38	91,82	93,30	93,26	92,91	92,20	95,14	90,29	94,23	91,78	93,59	91,12
PB	18,77	11,96	4,13	6,64	8,57	9,69	3,77	5,47	7,24	17,79	6,45	16,62
EE	2,85	1,77	1,22	1,77	1,48	1,55	1,71	2,23	2,84	9,45	2,53	2,41
CNF	23,77	27,93	8,82	6,64	10,14	9,92	27,64	15,32	33,81	15,43	26,02	10,60
FDN _{cp}	42,99	50,16	79,13	78,21	72,72	71,04	62,02	67,27	50,34	49,11	58,59	61,49
FDA	37,52	41,13	49,59	46,52	40,59	38,72	43,03	48,71	30,26	35,69	31,27	32,00
Lig	9,74	7,04	7,26	6,82	6,05	6,13	8,13	7,47	4,87	8,91	5,10	4,76
PIDA	2,14	2,15	0,36	0,80	1,75	1,16	0,38	0,76	0,87	1,95	0,93	1,14
PIDN	3,94	3,63	0,58	3,83	3,45	4,74	0,61	1,19	1,31	3,11	2,37	5,53
NDT ¹	54,0	56,8	49,2	49,3	51,8	51,0	55,5	50,5	63,3	62,8	59,2	55,4
NDT ²	55,1	56,2	53,7	54,2	55,8	55,4	58,0	52,5	63,2	65,1	61,2	57,8
ED ²	2,53	2,49	2,29	2,33	2,43	2,42	2,46	2,25	2,72	2,94	2,62	2,61
EM ²	2,09	2,05	1,86	1,90	1,99	1,98	2,03	1,83	2,27	2,48	2,18	2,17

¹ NDT calculado conforme descrito no BR-CORTE (2010) para vacas em lactação; ² NDT, ED e EM calculados conforme o novo sistema de equações (Tabela 4.5).

Tabela 4.8 - Composição química e concentração energética em concentrados energéticos

Itens	Alimentos								
	Aveia (grão)	Casca de soja	Farelo de arroz	Farelo de trigo	Milheto (grão)	Milho (grão)	Sorgo (grão)	Polpa cítrica	Raspa de mandioca
MS	90,44	90,30	89,03	87,97	88,95	87,91	88,12	88,45	87,66
MO	93,59	94,18	89,17	93,32	94,19	97,54	97,87	91,72	95,83
PB	14,06	12,73	13,22	17,13	13,35	9,05	9,67	6,93	2,80
EE	3,82	2,20	16,32	3,51	4,49	4,02	2,94	3,11	0,45
CNF	48,09	15,88	39,02	33,07	53,95	72,48	73,90	60,36	78,97
FDN _{cp}	27,62	63,37	20,60	39,61	22,40	11,99	11,36	21,32	13,61
FDA	22,92	49,15	11,88	13,19	7,21	4,00	6,07	20,76	7,19
Lig	3,51	3,64	4,49	3,80	1,41	1,18	1,80	1,84	1,64
PIDA	0,14	2,29	0,55	0,94	1,40	0,18	0,05	0,08	0,47
PIDN	1,57	5,61	1,81	0,28	2,41	1,39	0,87	2,72	0,64
NDT ¹	72,2	69,5	83,7	68,5	77,7	83,8	82,8	76,1	79,7
NDT ²	80,4	74,8	81,0	71,2	82,9	86,6	86,0	78,0	81,6
ED ²	3,53	3,27	3,54	3,20	3,63	3,73	3,71	3,33	3,44
EM ²	3,04	2,79	3,04	2,72	3,13	3,22	3,21	2,84	2,95

¹ NDT calculado conforme descrito no BR-CORTE (2010) para vacas em lactação; ² NDT, ED e EM calculados conforme o novo sistema de equações (Tabela 4.5).

Tabela 4.9 - Composição química e concentração energética em concentrados protéicos

Itens	Alimentos								
	Caroço de algodão	Farelo de algodão 38	Torta de algodão	Farelo de girasol	Farelo de Gluten 21	Glutenose	Farelo de amendoim	Farelo de soja	Soja (grão)
MS	90,76	89,92	90,68	91,06	88,77	90,57	89,23	88,57	90,88
MO	95,78	91,07	95,14	93	92,20	96,81	92,47	92,89	93,71
PB	22,99	39,63	29,74	31,81	23,93	63,90	58,38	48,71	38,46
EE	19,32	1,43	9,43	1,94	2,78	2,73	0,40	1,86	19,05
CNF	7,71	20,55	10,05	10,76	29,79	23,93	11,50	28,86	20,78
FDNcp	45,76	29,46	45,92	48,49	35,70	6,25	22,19	13,46	15,42
FDA	35,24	22,94	34,92	34,64	10,68	3,75	10,96	9,47	12,12
Lig	7,39	3,66	9,68	5,40	1,19	0,26	2,22	1,62	2,29
PIDA	2,06	1,05	1,67	0,91	0,25	2,13	1,12	0,39	2,67
PIDN	3,33	3,38	5,73	4,22	3,09	4,48	3,13	2,78	6,51
NDT ¹	84,9	67,0	71,04	67,5	70,2	85,75	74,0	76,86	94,99
NDT ²	87,0	66,7	84,73	66,5	77,3	84,84	77,8	79,25	96,47
ED ²	3,92	3,29	3,91	3,18	3,52	4,38	3,45	3,94	4,51
EM ²	3,40	2,81	3,39	2,70	3,03	3,84	2,96	3,42	3,97

¹ NDT calculado conforme descrito no BR-CORTE (2010) para vacas em lactação; ² NDT, ED e EM calculados conforme o novo sistema de equações (Tabela 4.5).

REFERÊNCIAS

- Allen, M. S. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. *Journal of Animal Science*, 74:3063-3075, 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, p.72-89, 2007.
- Arroquy, J. I.; Cochran, R. C.; Nagaraja, T. G. Titgemeyer, E. C.; Johnson, D. E. Effect of types of non-fiber carbohydrates on in vitro forage fiber digestion of low-quality grass hay. *Animal Feed Science and Technology*, 120:93-106, 2005.
- Arroyo-Aguilu, J. A.; Evans, J. L. Nutrient digestibility of lower-fiber rations ruminant animal. *Journal of Dairy Science*, 55:1266-1274, 1972.
- Azevêdo, 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*, 40:391-402, 2011.
- Barbosa, M. M.; Detmann, E.; Rocha, G. C.; Franco, M. O.; Valadares Filho, S. C. Evaluation of laboratory procedures to quantify the neutral detergent fiber content in forage, concentrate, and ruminant feces. *Journal of AOAC International*, 98:883-889, 2015.
- Beef Cattle Nutrient Requirement Model – BCNRM. *Nutrient requirements of beef cattle*. 8th edition. Washington, DC: The National Academies Press, 475p, 2016.
- Blaxter, K. L.; Mitchell, H. H. The factorization of the protein requirements of ruminants and of the protein values of feeds, with particular reference to the significance of metabolic fecal nitrogen. *Journal of Animal Science*, 7:351-372, 1948.
- Bürger, P. J.; Pereira, J. C.; Coelho da Silva, J. F.; Valadares Filho, S. C.; Cecon, P. R.; Jordão, C. P.; Braz, S. P. Taxas de passagem e cinética da degradação ruminal em bezerros holandeses alimentados com dietas contendo diferentes níveis de concentrado. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 29:225-235, 2000.
- Campos, P. R. S. S.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Cecon, P. R.; Leão, M. I.; Lucchi, B. B.; Souza, S. M.; Pereira, E. G. Consumo, digestibilidade e estimativa do valor energético de alguns volumosos por meio da composição química. *Revista Ceres*, 57:79-86, 2010.
- Carvalho, I. P. C.; Detmann, E.; Mantovani, H. C.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C.; Costa, V. A. C.; Gomes, D. I. Growth and antimicrobial activity of lactic acid bacteria from rumen fluid according to energy or nitrogen source. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 40:1260-1265, 2011.

- 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*, 37:335-342, 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*, 67:427-436, 1984.
- Costa, M. A. L.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Paulino, M. F.; Cecon, P. R.; Paulino, P. V. R.; Chizzotti, M. L. Paixão, M. L. Validação das equações do NRC (2001) para predição do valor energético de alimentos em condições brasileiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 34:280-287, 2005.
- Costa, V. A. C.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F.; Henriques, L. T.; Mantovani, H. C. Degradação *in vitro* da fibra em detergente neutro de forragem tropical de alta qualidade em função da suplementação com proteína e/ou carboidratos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 38:1803-1811, 2009.
- Detmann, E. Fibra na nutrição de novilhas leiteiras. In: Pereira, E. S.; Pimentel, P. G.; Queiroz, A. C.; Mizubuti, I. Y. (Eds.) *Novilhas leiteiras*. Fortaleza: Graphiti, p.253-302, 2010.
- Detmann, E.; Valadares Filho, S. C. On the estimation of non-fibrous carbohydrates in feeds and diets. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 62:980-984, 2010.
- Detmann, E.; Zervoudakis, J. T.; Cabral, L. S.; Rocha Jr., V. R.; Valadares Filho, S. C.; 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*, 33:1866-1875, 2004a.
- Detmann, E.; Clipes, R. C.; Coelho da Silva, J. F.; Vieira, R. A. M.; Lista, F. N.; Nunes, L. B. M. Avaliação da proteína insolúvel em detergente ácido como estimador da fração protéica indegradável no rúmen em forragens tropicais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41, 2004, Campo Grande. Anais... Campo Grande: SBZ, 2004b (CD-ROM, Nutrição de Ruminantes - NR131.pdf).
- Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Pina, D. S.; 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*, 35:1469-1478, 2006a.
- Detmann, E.; Pina, D. S.; Valadares Filho, S. C.; Campos, J. M. S.; Paulino, M. F.; Oliveira, A. S.; Silva, P. A.; Henriques, L. T. Estimação da fração digestível da proteína bruta em dietas para bovinos a partir dos teores dietéticos em condições brasileiras. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 35:2101-2109, 2006b.
- 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*, 35:1479-1486, 2006c.
- 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*, 36:155-164, 2007.
- Detmann, E.; Paulino, M. F.; Valadares Filho, S. C. Avaliação nutricional de alimentos ou de dietas? Uma abordagem conceitual. In: *SIMPÓSIO DE PRODUÇÃO DE GADO DE CORTE*, 6, 2008, Viçosa. Anais... Viçosa: DZO-UFV, p.21-52, 2008a.
- 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*, 143:127-147, 2008b.
- Detmann, E.; Magalhães, K. A.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F.; Henriques, L. T. Desenvolvimento de um sub-modelo bi-compartimental para estimação da fração digestível da proteína bruta em bovinos a partir da composição química dos alimentos. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 37:2215-2221, 2008c.

- Detmann, E.; Paulino, M. F.; Mantovani, H. C.; Valadares Filho, S. C.; Sampaio, C. B.; Souza, M. A.; Lazzarini, I.; Detmann, K. S. C. Parameterization of ruminal fiber degradation of low-quality tropical forage using Michaelis-Menten kinetics. *Livestock Science*, 126:136-146, 2009.
- Detmann, E.; Coelho da Silva, J. F.; Clipes, R. C.; Henriques, L. T.; Queiroz, A. C.; Paulino, M. F. Estimação por aproximação química dos teores de proteína indegradável insolúvel em detergente neutro em forragens tropicais. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 62:742-746, 2010a.
- 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. (Eds.) Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados BR-CORTE. 2 ed. Viçosa, MG: DZO-UFV, p.47-64, 2010b.
- 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. (Eds.) *Métodos para análise de alimentos*. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 214p., 2012.
- Detmann, E.; Gionbelli, M. P.; Huhtanen, P. A meta-analytical evaluation of the regulation of voluntary intake in cattle fed tropical forage-based diets. *Journal of Animal Science*, 92:4632-4641, 2014.
- 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, 407p., 1966.
- Forbes, J. M.; France, J. Introduction. In: Forbes, J. M.; France, J. (Eds.) *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. Wallingford: CAB International, p.1-12. 1993.
- Girard, V.; Dupuis, G. Effect of structural and chemical factors of forages on potentially digestible fiber, intake, and true digestibility by ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, 68:787-799, 1988.
- Gomes, D. I.; Detmann, E.; Valente, T. N. P.; Valadares Filho, S. C.; Queiroz, A. C. Avaliação laboratorial de compostos fibrosos em alimentos e fezes bovinas sob diferentes ambientes físicos. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 63:522-525, 2011a.
- Gomes, D. I.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Fukushima, R. S.; Souza, M. A.; Valente, T. N. P.; Paulino, M. F.; 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*, 168:206-222, 2011b.
- Gomes, D. I.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Mezzomo, R.; Souza, N. K. P.; Queiroz, A. C.; Detmann, K. S. C. Evaluation of sodium sulfite and protein correction in analyses of fibrous compounds in tropical forages. *Revista Brasileira de Zootecnia*, 41:225-231, 2012.
- Henriques, L. T.; Detmann, E.; Queiroz, A. C.; Valadares Filho, S. C.; Leão, M. I.; Paulino, M. F. Frações dos compostos nitrogenados associados à parede celular em forragens tropicais. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, 59:258-263, 2007.
- 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*, 93:3203-3215, 2010.
- Kobayashi, K.; Salam, M. U. Comparing simulated and measured values using mean squared deviation and its components. *Agronomy Journal*, 92:345-352, 2000.
- Lazzarini, I.; Detmann, E.; Valadares Filho, S. C.; Paulino, M. F.; Batista, E. D.; Rufino, L. M. A.; Reis, W. L.; Franco, M. O. Nutritional performance of cattle grazing during rainy season with nitrogen and/or starch supplementation. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences*, 29:1120-1128, 2016.
- Lucas, H. L. *Relations between apparent digestibility and the composition of feed and feces*. 1.A quantitative theory. Raleigh: North Caroline State College, 1960.

- Lucas, H. L.; Smart, W. W. G. Chemical composition and the digestibility of forages. In: *PROCEEDINGS OF PASTURE AND CROP IMPROVEMENT CONFERENCE*, 16, Mississipi. Proceedings... p.23-26, 1959.
- 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*, 137:1-17, 2007.
- Magalhães, K. A.; Valadares Filho, S. C.; Detmann, E.; Diniz, L. L.; Pina, D. S.; Azavedo, J. A. G.; Araujo, 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*, 155:44-54, 2010.
- Mertens, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. *Journal of AOAC International*, 85:1217-1240, 2002.
- Mertens, D. R. Challenges in measuring insoluble dietary fiber. *Journal of Animal Science*, 81:3233-3249, 2003.
- Mertens, D. R.; Lofton, J. R. The effects of starch on forage fiber digestion kinetics *in vitro*. *Journal of Dairy Science*, 63:1437-1446, 1980.
- Moore, D. *A estatística básica e sua prática*. Rio de Janeiro: LTC, 482p., 1995.
- Mould, F. L.; Ørskov, E. R.; Manns, O. Associative effects of mixed feeds. I. Effects of type and level of supplementation and the influence of the rumen pH on cellulolysis *in vivo* and dry matter digestion of various roughages. *Animal Feed Science and Technology*, 10:15-30, 1983.
- National Research Council – NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7th ed. Washington: Academic Press, 381p., 2001.
- Ørskov, E. R. *Nutrición proteica de los rumiantes*. Zaragoza: Editora Acribia, 178p., 1988.
- 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*, 94:248-254, 2016.
- Pittroff, W.; Kothmann, M. M. Regulation of intake and diet selection by herbivores. In: Jung, H. J.; Fahey Jr., G. C. (Eds.) *Nutritional ecology of herbivores*. Savoy: American Society of Animal Science, p.366-422, 1999.
- Rocha Jr., V. R.; Valadares Filho, S. C.; Borges, A. M.; Detmann, E.; Magalhães, K. A.; Valadares, R. F. D.; Gonçalves, L. C.; Cecon, P. R. Estimativa do valor energético dos alimentos e validação das equações propostas pelo NRC (2001). *Revista Brasileira de Zootecnia*, 32:480-490, 2003.
- 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*, 41:2110-2123, 2012.
- Silva, P. A.; Valadares Filho, S. C.; Valadares, R. F. D.; Cecon, P. R.; Detmann, E.; Paixão, M. L. Valor energético do capim-elefante em diferentes idades de rebrota e estimativa da digestibilidade *in vivo* da fibra em detergente neutro. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, 711-718, 2007.
- Silva, T. E.; Detmann, E.; Franco, M. O.; Palma, M. N. N.; Rocha, G. C. Evaluation of digestion procedures in Kjeldahl method to quantify total nitrogen in analyses applied to animal nutrition. *Acta Scientiarum – Animal Sciences*, 38:45-51, 2016.
- Spiegel, M. R. *Estatística*. São Paulo: McGraw-Hill, 580p., 1971.
- Thiex, N.; Richardson, C. R. Challenges in measuring moisture content of feeds. *Journal of Animal Science*, 81:3255-3266, 2003.
- Valadares Filho, S. C.; Machado, P. A. S.; Furtado, T.; Chizzotti, M. L.; Amaral, H. F. *Tabelas brasileiras de composição de alimentos para ruminantes*. Viçosa: Editora UFV, 473p., 2015.
- 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*, 40:2565-2573, 2011.

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

Van Soest, P. J.; Robertson, J. B. *Analysis of forages and fibrous foods*. Ithaca: Cornell University, 202p., 1985.

Waldo, D. R.; Smith, L. W.; Cox, E. L. Model of cellulose disappearance from the rumen. *Journal of Dairy Science*, 55:125-129, 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*, 39:95-110, 1992.

