

**TADEU EDER DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS IN VITRO E MODELOS MATEMÁTICOS PARA  
MENSURAÇÃO DA DIGESTIBILIDADE DA MATÉRIA SECA E DA FIBRA  
EM ALIMENTOS PARA BOVINOS**

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

**VIÇOSA  
MINAS GERAIS – BRASIL  
2016**

**Ficha catalográfica preparada pela Biblioteca Central da Universidade  
Federal de Viçosa - Câmpus Viçosa**

T

S586a  
2016  
Silva, Tadeu Eder da, 1991-  
Avaliação de métodos in vitro e modelos matemáticos para  
digestibilidade da matéria seca e da fibra em alimentos para  
bovinos / Tadeu Eder da Silva. – Viçosa, MG, 2016.  
x, 61f. : il. ; 29 cm.

Orientador: Edenio Detmann.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.  
Inclui bibliografia.

1. Bovino - Digestibilidade - Avaliação. 2. Bovino -  
Alimentação e rações. I. Universidade Federal de Viçosa.  
Departamento de Zootecnia. Programa de Pós-graduação em  
Zootecnia. II. Título.

CDD 22. ed. 636.2085

**TADEU EDER DA SILVA**

**AVALIAÇÃO DE MÉTODOS IN VITRO E MODELOS MATEMÁTICOS PARA  
MENSURAÇÃO DA DIGESTIBILIDADE DA MATÉRIA SECA E DA FIBRA  
EM ALIMENTOS PARA BOVINOS**

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

APROVADA: 25 de julho de 2016.

---

André Soares de Oliveira

---

Luciana Navajas Rennó

---

Mário Luiz Chizzotti

---

Edenio Detmann  
(Orientador)

“De tudo, ficaram três coisas: a certeza de que ele estava sempre começando, a certeza de que era preciso continuar e a certeza de que seria interrompido antes de terminar. Fazer da interrupção um caminho novo. Fazer da queda um passo de dança, do medo *uma escada, do sonho uma ponte, da procura um encontro.*”

**Fernando Sabino**

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais Anginaldo da Silva e Elizete de Fátima Silva e irmão Elderson, alicerces de minha vida, pelo apoio e incentivo sempre incondicionais. Ao restante de minha família, em especial ao meu tio Tadeu, por sempre acreditarem em meus sonhos.

Agradeço aos grandes amigos das famílias Santiago e Mendes, que tanto me apoiaram e que contribuíram para tornar este sonho possível.

Aos amigos Douglas, Marcelo, Matheus, Maurílio e Vinícius, pelo companheirismo nos momentos de descontração, mas também nos momentos de dificuldade.

Aos amigos do grupo de pesquisa do Professor Edenio: Amanda, Cristiane, Erick, Gabriel, Larissa, Malber, Marcia e William. Obrigado pelo companheirismo e apoio. It's us! It's box!

Ao Professor Edenio Detmann, nosso grande mentor e amigo. Obrigado pela orientação, paciência, pelos ensinamentos, oportunidade de realizar este trabalho e confiança.

Aos demais professores do Departamento de Zootecnia, por ajudarem em minha formação profissional e pessoal. Em especial, aos Professores Luciana Navajas Rennó e Mário Luiz Chizzotti, por aceitarem participar desta banca.

Ao Prof. André Soares de Oliveira, por aceitar participar de minha banca de defesa.

Aos funcionários e servidores do Departamento de Zootecnia por estarem sempre à disposição para ajudar.

Ao Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade de realização do curso.

À FAPEMIG, pela concessão da bolsa de estudos.

Ao INCT Ciência Animal e ao CNPq, por proverem recursos para a realização deste trabalho.

## **BIOGRAFIA**

TADEU EDER DA SILVA, filho de Anginaldo da Silva e Elizete de Fátima Silva, nasceu em Carvalhos, MG, em 18 de julho de 1991.

Em 2007 ingressou no curso Técnico em Zootecnia no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Sudeste de Minas Gerais, campus Rio Pomba, colando grau em janeiro de 2010.

Em 2010 ingressou no curso de Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa, colando grau em janeiro de 2015.

Em 2015 ingressou no curso de Mestrado em Zootecnia na Universidade Federal de Viçosa, submetendo-se à defesa de dissertação em julho de 2016.

## ÍNDICE

RESUMO.....	vii
ABSTRACT.....	ix
INTRODUÇÃO GERAL.....	1
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	5
<b>CAPÍTULO 1 - Comparação de métodos in vitro para a quantificação da digestibilidade da matéria seca e da fibra em detergente neutro de forragens e concentrados</b>	
RESUMO.....	8
ABSTRACT.....	9
INTRODUÇÃO.....	9
MATERIAL E MÉTODOS.....	10
RESULTADOS.....	15
DISCUSSÃO.....	18
CONCLUSÕES.....	21
AGRADECIMENTOS.....	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	21
<b>CAPÍTULO 2 – Desenvolvimento de modelo para predição da fração digestível da fibra em detergente neutro para bovinos em condições tropicais</b>	
RESUMO.....	24
ABSTRACT.....	25
INTRODUÇÃO.....	26
MATERIAL E MÉTODOS.....	28
RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
CONCLUSÕES.....	45
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	45



## RESUMO

SILVA, Tadeu Eder da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, julho de 2016. **Avaliação de métodos in vitro e modelos matemáticos para mensuração da digestibilidade da matéria seca e da fibra em alimentos para bovinos.** Orientador: Edenio Detmann. Coorientadores: Cláudia Batista Sampaio e Sebastião de Campos Valadares Filho.

A presente dissertação foi elaborada com base em dois experimentos. No primeiro experimento comparou-se a digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS) e da fibra em detergente neutro (DIVFDN) de forragens e concentrados obtidas por intermédio das incubadoras Daisy<sup>II</sup> e TE-150, combinadas com filter bags tipo F57 ou tecido não-tecido (TNT, 100 g/m<sup>2</sup>) em relação aos valores obtidos utilizando-se o método de Tilley e Terry (1963). Foram utilizadas 25 amostras de alimentos concentrados e 25 de forragens. Não houve diferenças entre filter bags ( $P > 0,39$ ) para a DIVMS de forragens. Maiores valores de DIVMS ( $P < 0,01$ ) foram verificados para a incubadora TE-150 em relação à Daisy<sup>II</sup>. As estimativas de DIVMS obtidas com incubadoras e filter bags foram superiores ( $P < 0,01$ ) àquelas obtidas com o método Tilley e Terry (1963). Observou-se maiores valores de DIVFDN de forragens ( $P < 0,01$ ) com filter bags F57 em relação ao TNT e com a incubadora TE-150 em relação à Daisy<sup>II</sup>. Todos os valores de DIVFDN obtidos com incubadoras e filter bags foram superiores ( $P < 0,01$ ) aos obtidos com o método Tilley e Terry (1963). Todos os métodos apresentaram-se positiva e fortemente correlacionados ( $P < 0,01$ ), tanto para DIVMS como para DIVFDN. As repetibilidades e variâncias entre amostras para DIVMS e DIVFDN foram similares entre os métodos. Portanto, concluiu-se que em se tratando de avaliações comparativas entre alimentos, todos os métodos avaliados possuem capacidade similar de discriminação. No segundo experimento realizou-se a proposição de modelo para predição da fração digestível da fibra em detergente neutro (FDN) de forragens e concentrados ofertados para bovinos manejados em clima tropical como alternativa ao modelo adotado pelo Sistema BR-CORTE. Foram conduzidos sequencialmente dois estudos. O primeiro estudo foi conduzido em laboratório objetivando-se construir modelos que permitam o fracionamento da FDN de forragens e concentrados quanto ao potencial de degradação ruminal utilizando-se de características químicas. Foram utilizadas 371 amostras de forragens e 65 de alimentos concentrados. Os modelos construídos para ambos tipos de amostras basearam-se na predição da fração potencialmente digestível da FDN (FDN<sub>pd</sub>). Para forragens, o modelo de predição da FDN<sub>pd</sub> foi construído em função do efeito linear da FDN corrigida para

contaminações por cinzas e proteína (FDNcp;  $P < 0,01$ ), dos efeitos linear e quadrático da fibra em detergente ácido (FDA;  $P < 0,01$  e  $P < 0,05$ , respectivamente) e efeito linear da lignina ( $P < 0,01$ ). Para concentrados, o modelo de predição da FDNpd foi construído em função dos efeitos lineares da FDNcp ( $P < 0,01$ ) e FDA ( $P < 0,01$ ), além da introdução de variável “dummy” ( $P < 0,01$ ) para o caso de alimentos contendo fibra de menor degradação potencial. O segundo estudo foi realizado objetivando-se construção de modelo empírico de predição da digestibilidade da FDNpd de forragens e concentrados. O modelo foi construído a partir de informações de 60 animais recebendo alimentação exclusiva de forragens. A base matemática do modelo empírico foi construída integrando-se as taxas de degradação (kd) e passagem (kp) ruminais da FDNpd e aproveitamento médio no intestino grosso, denominado fator de ajuste intestinal (FAI). Os modelos construídos para obtenção das estimativas de kd, kp e FAI foram obtidos com base em características químicas e nível de consumo dos animais constantes no banco de dados. A avaliação comparativa entre o modelo empírico e o adotado no BR-CORTE foi realizada utilizando-se informações de volumosos e concentrados constantes no banco de dados CQBAL 3.0, por intermédio de avaliação simplificada da composição do quadrado médio do erro de predição. Conclui-se que o modelo empírico produziu estimativas de digestibilidade da FDN mais exatas e precisas para forragens quando comparado ao atual modelo do Sistema BR-CORTE.

## ABSTRACT

SILVA, Tadeu Eder da, M.Sc., Universidade Federal de Viçosa, July, 2016. **Evaluation of in vitro methods and mathematical models to estimate the dry matter and fiber digestibility of feeds for cattle.** Adviser: Edenio Detmann. Co-Advisers: Cláudia Batista Sampaio and Sebastião de Campos Valadares Filho.

This dissertation was based on two experiments. In the first one, it was compared the in vitro digestibility of dry matter (IVDMD) and neutral detergent fiber (IVNDFD) of forages and concentrates obtained using the incubators Daisy<sup>II</sup> and TE-150, and filter bags F57 or non-woven textile (NWT - 100 g/m<sup>2</sup>) in comparison with the values obtained using the Tilley and Terry (1963) method. Twenty-five samples of concentrates and 25 samples of forages were used. There were no differences between filter bags ( $P > 0.39$ ) for IVDMD of forages. Higher IVDMD ( $P < 0.01$ ) was observed for TE-150 compared to Daisy<sup>II</sup>. Estimates of IVDMD obtained with incubators and filter bags were higher ( $P < 0.01$ ) than those obtained with the Tilley and Terry (1963) method. Higher IVNDFD ( $P < 0.01$ ) were obtained with filter bags F57 compared to NWT and TE-150 when compared to Daisy<sup>II</sup>. All values obtained with incubators and filter bags were higher ( $P < 0.01$ ) than those obtained with the Tilley and Terry (1963) method. Both IVDMD and IVNDFD variables were greater using TE-150 incubator than using Daisy<sup>II</sup> ( $P < 0.04$ ). Estimates obtained using NWT filter bags were higher ( $P < 0.01$ ) than F57 filter bags. All methods were positively and strongly correlated ( $P < 0.01$ ) to each other with regard IVDMD and IVNDFD. The repeatability and variances among samples for IVDMD and IVNDFD were similar among methods. It is concluded that all methods are similarly able to discriminate samples. In the second experiment, it was suggested model for predicting the digestible fraction of neutral detergent fiber (NDF) of forages and concentrates offered for cattle managed under tropical conditions as an alternative to the current model adopted by the BR-CORTE System. Two studies sequentially were carried out. The first one study was carried in laboratory and it aimed to build models that could allow the fractionation of NDF from forages and concentrates based on its potential of ruminal degradation by using chemical characteristics. Three hundred seventy one samples of forages and sixty five samples of concentrates were used. The models built for both types of samples based on the prediction of pdNDF. For forages, the pdNDF prediction model was given by the linear effect of NDF corrected for ashes and protein contamination (NDFap;  $P < 0.01$ ), linear and quadratic effects of acid detergent fiber (ADF;  $P < 0.01$

and  $P < 0.05$ , respectively) and linear effect of lignin ( $P < 0.01$ ). For concentrates, the pdNDF prediction model was given in terms of linear effects of NDFap ( $P < 0.01$ ) and ADF ( $P < 0.01$ ), a "dummy" variable was also introduced ( $P < 0.01$ ) in the case of feedstuffs containing fiber of lower potential degradation. The second study was carried out aiming to build empirical model for predicting the pdNDF digestibility of forages and concentrates. The models were built from information of 60 animals receiving diets exclusively composed of forages. The mathematical basis of the empirical model was built by integrating the ruminal degradation rates (kd) and ruminal passage (kp) of pdNDF and average utilization in the large intestine, called intestinal adjustment factor (IFA). The models built to estimate kd, kp, and IFA were obtained on the basis of chemical characteristics and feed intake level of the animals in the database. The comparative evaluation of the empirical model and the model adopted by BR-CORTE was performed using forages and concentrates information from the CQBAL 3.0 database, through a simplified assessment of the mean square prediction error. The estimates of digestible NDF obtained from the empirical model are more accurate and precise than the estimates obtained from current BR-CORTE model.

## INTRODUÇÃO GERAL

Estimativas da digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS) e da fibra em detergente neutro (DIVFDN) de alimentos ou dietas podem permitir aos nutricionistas prever a digestibilidade in vivo dessas frações por intermédio de equações de regressão, devido às fortes correlações existentes entre os resultados de ambas as técnicas. Da mesma forma, programas de melhoramento de plantas forrageiras podem utilizar essas estimativas como critério de seleção, aumentando o poder de discernimento entre materiais de maior ou menor valor nutritivo (Tilley e Terry, 1963; Silva e Queiroz, 2002). Adicionalmente, ensaios de digestibilidade in vitro constituem alternativas mais baratas e menos laboriosas quando comparadas às estimativas obtidas por ensaios de digestão in vivo (Berchielli et al., 2006).

O método considerado padrão para estudos de digestibilidade in vitro é o proposto por Tilley e Terry (1963), o qual se baseia em duas etapas: a primeira, em que as amostras são incubadas individualmente em tubos contendo inóculo ruminal e solução tampão; e a segunda, em que o resíduo obtido após 48 horas de incubação é submetido à digestão em meio ácido com pepsina (Tilley e Terry, 1963).

De forma recente, disponibilizou-se no mercado o fermentador artificial de rúmen denominado Daisy<sup>II</sup> (Ankom Technology Co., Macedon, NY, EUA), com as vantagens de possibilitar analisar várias amostras simultaneamente, reduzindo o labor empregado nas análises (Holden, 1999; Mabweesh et al., 2000; Adesogan, 2002). De forma similar, no Brasil a indústria nacional produziu equipamento com características similares ao Daisy<sup>II</sup>, a incubadora TE-150 (Tecnal Equipamentos Científicos, Piracicaba, SP, Brasil).

Estudos comparando os valores de DIVMS obtidos pelo método do fermentador artificial Daisy<sup>II</sup> em relação ao tradicional Tilley e Terry (1963) indicaram que estes produzem resultados

similares (Holden, 1999; Mabweesh et al., 2000; Santos et al., 2000). Entretanto, estudos contrastando os resultados produzidos pelo fermentador TE-150 em relação ao método tradicional de Tilley e Terry (1963) são escassos na literatura.

Adicionalmente, para o uso de fermentadores ou incubadoras indica-se o acondicionamento das amostras no interior de filter bags, destacando-se entre estes o F57 (Ankom Technology Co., Macedon, NY, EUA). Contudo, o custo elevado deste tipo de material pode gerar entrave à sua utilização, abrindo possibilidades para o uso de materiais alternativos de menor custo, como o tecido não-tecido (TNT; Casali et al., 2009; Valente et al., 2011).

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

Nesse sentido, com intuito de reduzir ônus, tempo e o labor empregado nos clássicos ensaios de digestão *in vivo* necessários à obtenção de coeficientes de digestibilidade aparente, tem-se buscado conhecer estas estimativas utilizando-se da composição química dos alimentos (Conrad et al., 1984; Weiss et al., 1992; Detmann et al., 2008; 2010).

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

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

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

Portanto, objetivou-se com esta dissertação:

1. Comparar as estimativas de DIVMS e DIVFDN de forragens e concentrados obtidos por intermédio das incubadoras Daisy<sup>II</sup> e TE-150, combinadas com diferentes tipos de filter

- bags (F57 e TNT), em relação aos valores encontrados utilizando-se o método de Tilley e Terry (1963) quanto à repetibilidade e a capacidade de discriminação entre amostras; e
2. Propor modelo para predição da fração digestível da FDN de forragens e concentrados para bovinos manejados em clima tropical como alternativa ao modelo adotado pelo Sistema BR-CORTE (Detmann et al., 2010).



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADESOGAN, A.T. What are feeds worth? A critical evaluation of selected nutritive values methods. In: ANNUAL FLORIDA RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM, 13, 2002, Gainesville. Proceedings.... Gainesville: University of Florida, 2002. p.33-47.

BERCHIELLI, T.T.; GARCIA, A.V.; OLIVEIRA, S.G. Principais técnicas de avaliação aplicadas em estudo de nutrição. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Ed.) Nutrição de Ruminantes. Jaboticabal: Funep, 2006. p.397-421.

CASALI, A.O.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Estimação de teores de componentes fibrosos em alimentos para ruminantes em sacos de diferentes tecidos. Rev. Bras. Zootec., v.38, p.130-138, 2009.

CONRAD, H.R.; WEISS, W.P.; ODWONGO, W.O. et al. Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. J. Dairy Sci., v.67, p.427-436, 1984.

DETMANN, E.; ZERVOUDAKIS, J.T.; CABRAL, L.S. et al. Validação de equações preditivas da fração indigestível da fibra em detergente neutro em gramíneas tropicais. Rev. Bras. Zootec., v.33, p.1866-1875, 2004.

DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. et al. Estimação da digestibilidade do extrato etéreo em ruminantes a partir dos teores dietéticos: desenvolvimento de um modelo para condições brasileiras. Rev. Bras. Zootec., v.35, p.1469-1478, 2006a.

DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; HENRIQUES, L.T. et al. Estimação da digestibilidade dos carboidratos não-fibrosos em bovinos a partir do conceito de entidade nutricional em condições brasileiras. Rev. Bras. Zootec., v.35, p.1479-1486, 2006b.

DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; HENRIQUES, L.T. et al. Reparametrização do modelo baseado na Lei de Superfície para predição da fração digestível da fibra em detergente neutro em condições brasileiras. *Rev. Bras. Zootec.*, v.36, p.155-164, 2007.

DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. et al. Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.143, p.127-147, 2008.

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

HOLDEN, L.A. Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for ten feeds. *J. Dairy Sci.*, v.82, p.1791-1794, 1999.

LUCAS, H.L.; SMART, W.W.G. Chemical composition and the digestibility of forages. In: PROCEEDINGS OF PASTURE AND CROP IMPROVEMENT CONFERENCE, 16, Mississippi. *Proceedings...* Mississippi, 1959. p.23-26.

MABJEESH, S.J.; COHEN, M.; ARIELI, A. In vitro methods for measuring the dry matter digestibility of ruminant feedstuffs: comparison of methods and inoculum source. *J. Dairy Sci.*, v.83, p.2289-2294, 2000.

MAGALHÃES, K.A.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E. et al. Evaluation of indirect methods to estimate the nutritional value of tropical feeds for ruminants. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.155, p.44-54, 2010.

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

PALMONARI, A.; GALLO, A., FUSTINI, M. et al. Estimation of the indigestible fiber in different forage types. *J. Anim. Sci.*, v.94, p.248-254, 2016.

SAMPAIO, C.B.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Evaluation of models for prediction of the energy value of diets for growing cattle from chemical composition of feeds. *Rev. Bras. Zootec.*, v.41, p.2110-2123, 2012.

SANTOS, G.T.; ASSIS, M.A.; GONÇALVES, G.D. et al. Determinação da digestibilidade in vitro de gramíneas do gênero *Cynodon* com uso de diferentes metodologias. *Acta Scientiarum Anim. Sci.*, v.22, p.761-764, 2000.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. *Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos*. 3 ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 235p.

TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. *J. Brit. Grassl. Soc.*, v.18, p.104-111, 1963.

VALENTE, T.N.P.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Avaliação dos teores de fibra de detergente neutro em forragens, concentrados e fezes bovinas moídas em diferentes tamanhos e em sacos de diferentes tecidos. *Rev. Bras. Zootec.*, v.40, p.1148-1154, 2011.

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

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

## CAPÍTULO 1

### **Comparação de métodos in vitro para a quantificação da digestibilidade da matéria seca e da fibra em detergente neutro de forragens e concentrados\***

[Comparison of in vitro methods to quantify the dry matter and neutral detergent fiber digestibility of forages and concentrates]

T.E. Silva<sup>1</sup>, E. Detmann<sup>1</sup>, L.F. Camacho<sup>1</sup>, E.O.S. Saliba<sup>2</sup>, M.N.N. Palma<sup>1</sup>, S.C. Valadares Filho<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Departamento de Zootecnia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, Brasil, 36570-900

<sup>2</sup> Departamento de Zootecnia, Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brasil, 31270-901

**RESUMO** - Objetivou-se comparar a digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS) e da fibra em detergente neutro (DIVFDN) de forragens e concentrados obtidas por intermédio das incubadoras Daisy<sup>II</sup> e TE-150, combinadas com filter bags tipo F57 ou tecido não-tecido (TNT, 100 g/m<sup>2</sup>) em relação aos valores obtidos utilizando-se o método de Tilley e Terry (1963). Foram utilizadas 25 amostras de alimentos concentrados e 25 de forragens. Não houve diferenças entre filter bags ( $P>0,39$ ) para a DIVMS de forragens. Maiores valores de DIVMS ( $P<0,01$ ) foram verificados para a incubadora TE-150 em relação à Daisy<sup>II</sup>. As estimativas de DIVMS obtidas com incubadoras e filter bags foram superiores ( $P<0,01$ ) àquelas obtidas com o método Tilley e Terry (1963). Observou-se maiores valores de DIVFDN de forragens ( $P<0,01$ ) com filter bags F57 em relação ao TNT e com a incubadora TE-150 em relação à Daisy<sup>II</sup>. Todos os valores de DIVFDN obtidos com incubadoras e filter bags foram superiores ( $P<0,01$ ) aos obtidos com o método Tilley e Terry (1963). Todos os métodos apresentaram-se positiva e fortemente correlacionados ( $P<0,01$ ), tanto para DIVMS como para DIVFDN. As repetibilidades e variâncias entre amostras para DIVMS e DIVFDN foram similares entre os métodos. Portanto, conclui-se que em se tratando de avaliações comparativas entre alimentos, todos os métodos avaliados possuem capacidade similar de discriminação.

Palavras-chave: Daisy<sup>II</sup>, filter bags, TE-150, repetibilidade

**ABSTRACT** - The objective was to compare the in vitro digestibility of dry matter (IVDMD) and neutral detergent fiber (IVNDFD) of forages and concentrates obtained using the incubators Daisy<sup>II</sup> and TE-150, and filter bags F57 or non-woven textile (NWT - 100 g/m<sup>2</sup>) in comparison with the values obtained using the Tilley and Terry (1963) method. Twenty-five samples of concentrates and 25 samples of forages were used. There were no differences between filter bags ( $P>0.39$ ) for IVDMD of forages. Higher IVDMD ( $P<0.01$ ) was observed for TE-150 compared to Daisy<sup>II</sup>. Estimates of IVDMD obtained with incubators and filter bags were higher ( $P<0.01$ ) than those obtained with the Tilley and Terry (1963) method. Higher IVNDFD ( $P<0.01$ ) were obtained with filter bags F57 compared to NWT and TE-150 when compared to Daisy<sup>II</sup>. All values of the IVNDFD obtained with incubators and filter bags were higher ( $P<0.01$ ) than those obtained with the Tilley and Terry (1963) method. Both IVDMD and IVNDFD variables were greater using TE-150 incubator than using Daisy<sup>II</sup> ( $P<0.04$ ). Estimates obtained using NWT filter bags were higher ( $P<0.01$ ) than F57 filter bags. All methods were positively and strongly correlated ( $P<0.01$ ) to each other with regard IVDMD and IVNDFD. The repeatability and variances among samples for IVDMD and IVNDFD were similar among methods. It is concluded that all methods are similarly able to discriminate samples.

Key words: Daisy<sup>II</sup>, filter bags, repeatability, TE-150

## INTRODUÇÃO

Estimativas da digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS) e da fibra em detergente neutro (DIVFDN) de alimentos ou dietas podem permitir aos nutricionistas prever a digestibilidade in vivo dessas frações por intermédio de equações de regressão, devido às fortes correlações existentes entre os resultados de ambas as técnicas. Da mesma forma, programas de melhoramento de plantas forrageiras podem utilizar essas estimativas como critério de seleção, aumentando o poder de discernimento entre materiais de maior ou menor valor nutritivo (Tilley e Terry, 1963; Silva e Queiroz, 2002). Adicionalmente, ensaios de digestibilidade in vitro constituem alternativas mais baratas e menos laboriosas quando comparadas às estimativas obtidas por ensaios de digestão in vivo (Berchielli et al., 2006).

O método considerado padrão para estudos de digestibilidade in vitro é o proposto por Tilley e Terry (1963), o qual se baseia em duas etapas: a primeira, em que as amostras são incubadas individualmente em tubos contendo inóculo ruminal e solução tampão e a segunda, em

que o resíduo obtido após 48 horas de incubação é submetido à digestão em meio ácido com pepsina (Tilley e Terry, 1963).

De forma recente, disponibilizou-se no mercado o fermentador artificial de rúmen denominado Daisy<sup>II</sup> (Ankom Technology Co., Macedon, NY, EUA), com as vantagens de possibilitar analisar várias amostras simultaneamente, reduzindo o labor empregado nas análises (Holden, 1999; Mabweesh et al., 2000; Adesogan, 2002). De forma similar, no Brasil a indústria nacional produziu equipamento com características similares ao Daisy<sup>II</sup>, a incubadora TE-150 (Tecnal Equipamentos Científicos, Piracicaba, SP, Brasil).

Estudos comparando os valores de DIVMS obtidos pelo método do fermentador artificial Daisy<sup>II</sup> em relação ao tradicional Tilley e Terry (1963) indicaram que estes produzem resultados similares (Holden, 1999; Mabweesh et al., 2000; Santos et al., 2000). Entretanto, estudos contrastando os resultados produzidos pelo fermentador TE-150 em relação ao método tradicional de Tilley e Terry (1963) são escassos na literatura.

Adicionalmente, para o uso de fermentadores ou incubadoras indica-se o acondicionamento das amostras no interior de filter bags, destacando-se entre estes o F57 (Ankom Technology Co., Macedon, NY, EUA). Contudo, o custo elevado deste tipo de material pode gerar entrave à sua utilização, abrindo possibilidades para o uso de materiais alternativos de menor custo, como o tecido não-tecido (TNT; Casali et al., 2009; Valente et al., 2011a).

Desta forma, objetivou-se comparar as estimativas de DIVMS e DIVFDN de forragens e concentrados obtidos por intermédio das incubadoras Daisy<sup>II</sup> e TE-150, combinadas com diferentes tipos de filter bags (F57 e TNT), em relação aos valores encontrados utilizando-se o método de Tilley e Terry (1963) quanto à repetibilidade e a capacidade de discriminação entre amostras.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

O experimento foi conduzido no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

Foram utilizadas 25 amostras de forragens e 25 de concentrados, perfazendo o total de 50 amostras. Para o grupo de forragens, foram avaliadas 16 gramíneas e 9 leguminosas e para o grupo de concentrados, 15 energéticos e 10 proteicos. As amostras de forragens com alto teor de umidade foram secas em estufa com ventilação forçada (55°C) e, em conjunto com as demais, foram processadas em moinho de facas com peneira de porosidade 1 mm. Posteriormente, todas as

amostras foram analisadas quanto aos teores matéria seca (MS; método INCT-CA G-003/1), proteína bruta (PB; método INCT-CA N-001/1) e fibra insolúvel em detergente neutro (FDN; método INCT-CA F-002/1) conforme métodos preconizados pelo Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia em Ciência Animal (INCT-CA; Detmann et al., 2012; Tab. 1).

Tabela 1. Estatísticas descritivas para os teores de proteína bruta e fibra em detergente neutro das forragens e concentrados utilizados nos ensaios de digestibilidade *in vitro*

Amostras	Estatística			
	Mínimo	Máximo	Média	Desvio-padrão
Proteína bruta (g/kg de matéria seca)				
Forragens	20,6	201,2	69,9	36,3
Concentrados	47,4	591,4	186,9	143,9
Fibra em detergente neutro (g/kg de matéria seca)				
Forragens	450,1	770,1	620,0	100,7
Concentrados	170,9	552,1	283,2	111,5

Foram avaliados cinco diferentes métodos para quantificação da DIVMS e da DIVFDN: método proposto por Tilley e Terry (1963) e métodos obtidos pela combinação de duas incubadoras (Daisy<sup>II</sup> e TE-150) e dois tipos de filter bags (F57 e TNT, 100 g/m<sup>2</sup>).

Os métodos avaliados centraram-se sobre uma etapa de digestão em líquido ruminal, omitindo-se a etapa com utilização de pepsina preconizada por Tilley e Terry (1963). Para que as comparações entre métodos se restringissem aos componentes instrumentais (i.e., equipamento, filter bags, etc.), componentes físico-químicos similares foram utilizados (i.e., temperatura, solução tampão, proporção inóculo:tampão, etc.) para todos os métodos. Todos os métodos foram avaliados simultaneamente em três baterias consecutivas para cada grupo de amostra (forragens e concentrados).

O inóculo ruminal foi obtido de um bovino macho, não-castrado, fistulado no rúmen. Todos os procedimentos de fistulação e manejo conduzidos com o animal doador foram aprovados pelo Comitê de Ética em Experimentação Animal da Universidade Federal de Viçosa (CEUAP, protocolo n° 044/2016). A dieta do animal doador foi composta por cana-de-açúcar e concentrado comercial com 22% de PB, sendo a relação volumoso:concentrado de 80:20 com base na MS. O

animal teve acesso irrestrito a água e mistura mineral completa (90 g/kg de fósforo). O animal foi adaptado à dieta padrão por 14 dias anteriormente ao início das coletas.

A digesta ruminal (líquido e sólidos) foi coletada em vários pontos da interface líquido-sólido do ambiente ruminal imediatamente antes do início de cada bateria de incubação. Logo após a retirada, a digesta foi transferida para o interior de garrafas térmicas pré-aquecidas à temperatura de 39°C. Posteriormente, a digesta ruminal foi acondicionada em liquidificador, o qual foi mantido em sala climatizada (39°C), sendo homogeneizada por 30 segundos. Em seguida, o material homogeneizado foi filtrado em quatro camadas de gaze em frascos erlenmeyer de 2 L, também mantidos em sala climatizada. Todo o processo de obtenção, transporte, homogeneização e filtragem do inóculo foi realizado cerca de 20 minutos antes do início das incubações.

Utilizou-se solução tampão proposta por McDougall (1948). Previamente à mistura da solução tampão com o inóculo ruminal, foram adicionados 5 mL de solução de ureia (5,5 g/100 mL) para cada 300 mL da solução tampão de McDougall. Logo em seguida, o pH da solução foi reduzido para 6,80 por borbulhamento com CO<sub>2</sub> por 15 a 20 minutos.

As avaliações *in vitro* para o método proposto por Tilley e Terry (1963), seguiram as recomendações descritas pelos autores para o primeiro estágio, excetuando-se o fato de utilizar-se frascos vedados e retirada de gases por agulhas ao invés de tubos de ensaio com válvulas de Bunsen.

Foram pesadas em duplicatas para cada amostra aproximadamente 500 mg de amostra seca ao ar, as quais foram acondicionadas em frascos tipo “penicilina” (100 mL). Posteriormente, foram adicionados 10 mL de inóculo ruminal e 40 mL de solução tampão de McDougall (relação 1:4 inóculo e solução tampão). O espaço livre dos frascos foi imediatamente saturado com CO<sub>2</sub>, sendo fechados com tampas de borracha e lacres de alumínio. Os frascos foram acondicionados sobre mesa agitadora orbital (40 rpm) em sala climatizada (39°C). Para cada bateria, foram avaliados dois frascos “branco”, ou seja, apenas com solução tampão e inóculo ruminal, a fim de se quantificar o material contaminante advindo do inóculo. O gás produzido nos frascos foi retirado com uma agulha a cada 3 horas nas primeiras 12 horas e a cada 6 horas nas 36 horas restantes.

Após as 48 horas de incubação, os frascos foram abertos e o conteúdo transferido para cadinhos filtrantes (porosidade grossa), com auxílio de água destilada (temperatura superior a 90°C). Em seguida, os cadinhos foram secos (105°C/24 horas) e pesados, obtendo-se o resíduo aparentemente não digerido da matéria seca.



Para a avaliação da DIVFDN, os cadinhos contendo o resíduo de incubação foram introduzidos no interior de coletores universais autoclaváveis (120 mL), adicionando-se 80 mL de solução de detergente neutro, produzida segundo Mertens (2002) com a omissão de sulfito de sódio, e 250 µL de  $\alpha$ -amilase termoestável (Termamyl 2X). Os coletores com os cadinhos acondicionados no interior foram fechados com as respectivas tampas e autoclavados (105°C/1 h) segundo método descrito por Detmann et al. (2012; INCT-CA F-002/1). Após retirados da autoclave, os cadinhos foram novamente lavados com água destilada quente e, ao fim, com 30 mL de acetona, sendo secos (105°C/24 h) e pesados para obtenção do resíduo de FDN.

As avaliações *in vitro* utilizando as incubadoras TE-150 e Daisy<sup>II</sup> seguiram as recomendações descritas no manual desta última, excetuando-se o fato de a solução tampão utilizada ter sido a proposta por McDougall (1948).

Foram pesadas, em quadruplicata, para cada filter bag, F57 ou TNT, 500 mg de amostra. Os filter bags de TNT foram confeccionados para terem as medidas de superfície próximas aos filter bags F57, ou seja, 36 cm<sup>2</sup>, com dimensões de 4 cm × 4,5 cm. Após as amostras serem pesadas, os filter bags foram imediatamente selados a quente. Previamente aos procedimentos, todos os filter bags foram limpos e pesados conforme procedimentos sugeridos por Detmann et al. (2012).

As replicatas de cada amostra foram inseridas em dois jarros de cada incubadora, perfazendo o total de quatro jarros por incubadora contendo 25 filter bags cada (dois para avaliação de filter bags F57 e dois para avaliação de filter bags TNT). Para cada bateria, foi introduzido em cada jarro um filter bag “branco”.

Em seguida, foram adicionados, em cada jarro, 400 mL de inóculo ruminal e 1600 mL de solução de McDougall (relação 1:4 inóculo e solução tampão). O espaço livre dos jarros foi imediatamente saturado com CO<sub>2</sub>, sendo estes, então, fechados e acondicionados no interior de sua respectiva incubadora, previamente aquecida a 39°C.

Após 48 horas, os filter bags foram imediatamente lavados com água destilada quente (temperatura superior a 90°C), exercendo-se leve pressão manual para retirada dos gases nesses contidos. Após a lavagem, todos os filter bags foram secos (105°C/24 h) e pesados, obtendo-se o resíduo aparentemente não digerido da MS.

Para a avaliação da DIVFDN, os filter bags foram acondicionados em coletores universais autoclaváveis (120 mL), sendo adicionados 80 mL de solução de detergente neutro e 250 µL de  $\alpha$ -amilase termoestável, como previamente descrito. Os coletores com os filter bags em seu interior

foram autoclavados como descrito anteriormente. Posteriormente, os mesmos foram lavados com água destilada quente (temperatura superior a 90°C) e acetona. Após a lavagem, os filter bags foram secos (105°C/24 h) e pesados para obtenção do resíduo não digerido de FDN.

Para todos os métodos, a DIVMS e a DIVFDN (D, g/kg) foram calculadas como:

$$D = \frac{M - (R - B)}{M} \times 1000 \quad (1);$$

em que: M = massa de MS ou FDN incubada (g); R = resíduo de MS ou FDN da incubação (g); B = resíduo de MS ou FDN obtido nos “brancos” (g).

O período experimental teve duração de 12 dias, em que cada grupo de amostras foi analisado durante seis dias consecutivos, com realização de três baterias de incubação para cada grupo de amostras.

Os cinco tratamentos foram avaliados segundo esquema fatorial  $2 \times 2 + 1$ , composto pela combinação entre as duas incubadoras avaliadas (Daisy<sup>II</sup> e TE-150) e os dois tipos de filter bags (F57 e TNT), adicionando-se o método original proposto por Tilley e Terry (1963), com as devidas modificações previamente descritas.

As análises de variância para os valores de DIVMS e DIVFDN foram realizadas separadamente para forragens e concentrados por intermédio do procedimento MIXED do SAS 9.4 conforme o modelo:

$$Y_{ijkl} = \mu + A_i + B_j + M_k + \varepsilon_{ijkl} \quad (2);$$

em que:  $Y_{ijkl}$  = valor observado na alíquota l da amostra i, na bateria j, utilizando o método k;  $\mu$  = constante geral;  $A_i$  = efeito da amostra i (aleatório);  $B_j$  = efeito da bateria de análise j (aleatório);  $M_k$  = efeito do método k (fixo); e  $\varepsilon_{ijkl}$  = erro aleatório, não observável, pressuposto NID (0;  $\sigma^2$ ).

A comparação entre os tratamentos baseados no uso de incubadoras e filter bags foi realizada por intermédio do teste F de Snedecor seguindo o esquema fatorial  $2 \times 2$ . A comparação entre estes tratamentos e o método de Tilley e Terry (1963) foi conduzida por intermédio do teste de Dunnett.

Após a primeira análise de variância, um segundo conjunto de análises de variância foi realizado, separadamente para forragens e concentrados, para mensuração da variação específica de cada método testado, conforme o modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + A_i + B_j + \varepsilon_{ijk} \quad (3);$$

em que:  $Y_{ijk}$  = valor observado na alíquota k da amostra i, na bateria j;  $\mu$  = constante geral;  $A_i$  =

efeito da amostra  $i$  (aleatório);  $B_j$  = efeito da bateria de análise  $j$  (aleatório); e  $\varepsilon_{ijk}$  = erro aleatório, não observável, pressuposto NID (0;  $\sigma^2$ ).

As estimativas da variância residual ( $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$ ) e da variância entre amostras ( $\hat{\sigma}_a^2$ ), foram obtidas pelo método da máxima verossimilhança restrita.

A repetibilidade padronizada em função da média foi calculada como:

$$r = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_\varepsilon^2}}{\bar{Y}} \times 100 \quad (4);$$

em que:  $r$  = repetibilidade padronizada em função da média (%);  $\hat{\sigma}_\varepsilon^2$  = variância residual; e  $\bar{Y}$  = valor médio de digestibilidade.

A variância entre amostras foi também padronizada em função da média, a qual indica o poder de discriminação entre amostras por cada método. A mesma é dada por:

$$v = \frac{\sqrt{\hat{\sigma}_a^2}}{\bar{Y}} \times 100 \quad (5);$$

em que:  $v$  = variância entre amostras padronizada em função da média (%);  $\hat{\sigma}_a^2$  = variância entre amostras; e  $\bar{Y}$  = valor médio de digestibilidade.

A correlação linear de Pearson entre métodos foi estimada por intermédio da opção MANOVA do procedimento GLM do SAS 9.4, sendo esta ajustada para efeitos de bateria de análise. Adotou-se  $\alpha = 0,05$  para todos os procedimentos estatísticos.

## RESULTADOS

Tanto para DIVMS como para DIVFDN não se verificou variação entre baterias de análises ( $P > 0,05$ ). Esse fato reitera aspectos de rusticidade dos métodos utilizados.

Para a DIVMS de forragens, não se verificou efeito de interação entre incubadora e filter bags ( $P > 0,12$ ) ou diferenças entre filter bags ( $P > 0,39$ ); contudo, maiores valores ( $P < 0,01$ ) foram verificados para a incubadora TE-150 em relação à incubadora Daisy<sup>II</sup> (Tab. 2). Para esta variável, as estimativas obtidas com incubadoras e filter bags foram superiores ( $P < 0,01$ ) àquelas obtidas com o método de Tilley e Terry (1963).

Verificou-se efeito de interação entre incubadora e filter bag ( $P < 0,02$ ) para a DIVFDN de forragens (Tab. 2). Contudo, o desdobramento deste efeito indicou que maiores valores ( $P < 0,01$ ) foram obtidos com filter bags F57 em relação ao TNT e com a incubadora TE-150 em relação à

Daisy<sup>II</sup>. Todos os valores obtidos com incubadoras e filter bags foram superiores ( $P < 0,01$ ) aos obtidos com o método de Tilley e Terry (1963) (Tab. 2).

Tabela 2. Médias de mínimos quadrados e níveis descritivos de probabilidade de ocorrência para o erro tipo I em função dos diferentes contrastes avaliados (Valor P) dos valores de digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS; g/kg) e da fibra em detergente neutro (DIVFDN; g/kg) para amostras de forragens e concentrados

Método <sup>1</sup>	Forragens		Concentrados	
	DIVMS	DIVFDN	DIVMS	DIVFDN
Tilley e Terry (1963)	525,4±20,8	364,5±33,7	851,2±25,5	678,4±33,7
D/F57 <sup>2</sup>	572,6±20,8	446,6±33,7	845,4±25,5	749,7±33,7
D/TNT <sup>3</sup>	575,0±20,8	428,5±33,7	863,5±25,5	794,9±34,4
T/F57 <sup>4</sup>	605,6±20,8	499,6±33,7	854,6±25,5	782,4±33,7
T/TNT <sup>5</sup>	597,4±20,8	458,9±33,7	865,9±25,5	810,8±33,8
Comparações	Valor P			
Esquema fatorial				
Incubadora (I)	<0,001	<0,001	0,031	0,005
Filter bag (F)	0,395	<0,001	<0,001	<0,001
I × F	0,122	0,017	0,205	0,333
Comparações com o método de Tilley e Terry (1963)				
D/F57	<0,001	<0,001	0,348	<0,001
D/TNT	<0,001	<0,001	0,001	<0,001
T/F57	<0,001	<0,001	0,787	<0,001
T/TNT	<0,001	<0,001	0,004	<0,001

<sup>1</sup>D, incubadora Daisy<sup>II</sup>; T, incubadora TE-150; F57, filter bag F57; TNT, filter bag TNT.

Não foi verificado efeito de interação entre incubadora e filter bag para a DIVMS ( $P > 0,20$ ) e DIVFDN ( $P > 0,33$ ) de concentrados (Tab. 2). Para ambas as variáveis, maiores estimativas foram obtidas com a incubadora TE-150 em relação à Daisy<sup>II</sup> ( $P < 0,04$ ) e com filter bags TNT em relação ao F57 ( $P < 0,01$ ). Os métodos baseados no uso dos filter bags F57 produziram DIVMS em concentrados similares ( $P > 0,34$ ), enquanto que o uso de TNT produziu resultados superiores ( $P < 0,01$ ) aos obtidos com o método de Tilley e Terry (1963). Todas as estimativas de DIVFDN de

concentrados obtidas com o uso de incubadoras e filter bags foram superiores ( $P < 0,01$ ) ao obtido com o método de Tilley e Terry (1963).

Todos os métodos avaliados apresentaram-se positiva e fortemente correlacionados ( $P < 0,01$ ), tanto com relação à DIVMS como com relação à DIVFDN para forragens e concentrados (Tab. 3).

Tabela 3. Estimativas dos coeficientes de correlação linear de Pearson entre os valores digestibilidade in vitro da matéria seca (DIVMS) e da fibra em detergente neutro (DIVFDN) nas amostras de forragens e concentrados obtidos por diferentes métodos

		Métodos <sup>1 2 3</sup>				
Métodos	TeT	D/F57	D/TNT	T/F57	T/TNT	
DIVMS						
TeT	-	0,746	0,747	0,768	0,763	
D/F57	0,908	-	0,906	0,919	0,899	
D/TNT	0,893	0,962	-	0,888	0,887	
T/F57	0,913	0,954	0,952	-	0,903	
T/TNT	0,894	0,950	0,956	0,950	-	
DIVFDN						
TeT	-	0,696	0,727	0,789	0,720	
D/F57	0,643	-	0,787	0,835	0,806	
D/TNT	0,666	0,898	-	0,793	0,862	
T/F57	0,731	0,869	0,863	-	0,837	
T/TNT	0,674	0,868	0,898	0,861	-	

<sup>1</sup> TeT, método de Tilley e Terry (1963); D, incubadora Daisy<sup>II</sup>; T, incubadora TE-150; F57, filter bag F57; TNT, filter bag TNT. <sup>2</sup> Valores acima e abaixo da diagonal principal correspondem a amostras de forragens e de concentrados, respectivamente. <sup>3</sup> Todas as correlações foram significativas pelo teste t de Student ( $P < 0,001$ ).

As repetibilidades para a DIVMS e DIVFDN foram similares entre todos os métodos avaliados para as amostras de concentrados (Fig. 1). Contudo, verificou-se menor repetibilidade (maior valor de repetibilidade padronizada) para a DIVMS e DIVFDN de forragens utilizando-se o método de Tilley e Terry (1963).

As variâncias entre amostras de concentrados quanto à DIVMS foram similares entre métodos (Fig. 1). No entanto, a variância entre amostras de forragens quanto à DIVMS foi pouco

superior para o método de Tilley e Terry (1963) em relação aos demais métodos. Por outro lado, a variância entre amostras de forragens quanto a DIVFDN foi similar entre os métodos, sendo esta, contudo, pouco superior para o método de Tilley e Terry (1963) para amostras de concentrados.

## **DISCUSSÃO**

De forma geral, com exceção da DIVMS de concentrados com o uso de filter bags F57 (Tab. 2), todas as avaliações conduzidas em incubadoras produziram resultados superiores aos observados com o método de Tilley e Terry (1963). Este comportamento corrobora outros autores (Mabjeesh et al., 2000; Santos et al., 2000; Lopes et al., 2010; Duque et al., 2011), os quais, em média, obtiveram maiores estimativas de digestibilidade com o uso de incubadoras em comparação ao método de Tilley e Terry (1963). Esta superioridade das estimativas obtidas com incubadoras parece ser, ao menos parcialmente, atribuída à menor homogeneidade do ambiente de incubação em tubos comparados ao uso de jarros e filter bags. As amostras no método de Tilley e Terry (1963) são manejadas livres no interior dos frascos de incubação. Isto pode acarretar adesão de partículas à superfície dos frascos em nível superior ao fluido (inóculo + tampão), prevenindo ou evitando sua digestão (Freitas et al., 2002).

Por outro lado, o uso de filter bags para avaliação *in vitro* ou *in situ* de amostras pode ocasionar diferenças entre os ambientes interno do filter bag e o meio externo (Ramin et al., 2013), o que parece advir de reduções nas taxas de troca entre ambientes quanto à saída de produtos de digestão e à entrada de novos substratos e microrganismos (Lindberg et al., 1984; Valente et al., 2011b). Esta característica estaria agregada aos fatores causadores das diferenças entre o uso do sistema convencional de Tilley e Terry (1963) e o uso de sistemas baseados em filter bags. Adicionalmente, deve se considerar que as amostras no método de Tilley e Terry (1963) são incubadas individualmente, ao passo que com o uso de incubadoras, as amostras são avaliadas coletivamente. A incubação conjunta de amostras com diferentes composições químicas pode acarretar na ocorrência de efeitos associativos (Adesogan, 2002), ampliando as estimativas de digestibilidade.

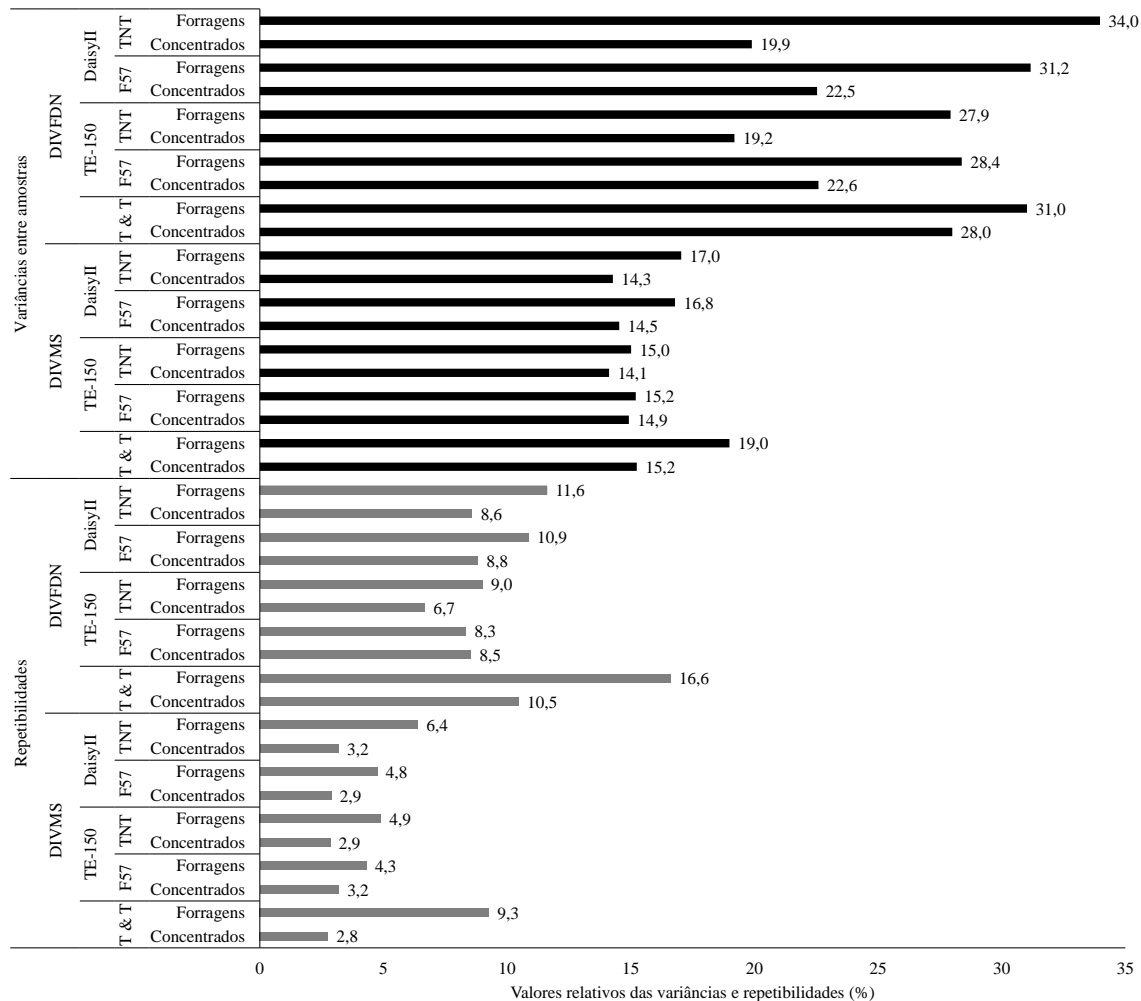


Figura 1. Repetibilidades e variâncias amostrais padronizadas das DIVMS e DIVFDN em função da média dos tratamentos para as amostras de forragens e concentrados.

Por outro lado, em todas as avaliações observou-se diferenças entre as incubadoras avaliadas, com maiores estimativas, tanto de DIVMS como de DIVFDN, obtidas com a incubadora TE-150 (Tab. 2). De certa forma, estas diferenças parecem assumir caráter lógico, pois, embora sendo propostos para a mesma finalidade, os equipamentos avaliados possuem algumas características peculiares. Entre estas, destaca-se a rotação dos jarros contendo os filter bags no interior das incubadoras. Em mensurações realizadas durante as incubações verificou-se rotação constante de 1 rpm para a incubadora Daisy<sup>II</sup>, ao passo que a incubadora TE-150 apresentou rotação média dos jarros de  $10,82 \pm 0,15$  rpm (média de 4 mensurações). A maior rotação da incubadora TE-150 pode ter influenciado o contato entre amostra e inóculo ampliando as estimativas de digestibilidade.

Diferenças entre filter bags foram verificadas para três das quatro variáveis resposta avaliadas (Tab. 2). Embora os filter bags de TNT e F57 tenham constituição física similar, ou seja, são produzidos em processo de não-tecelagem, com a deposição não organizada das fibras (Casali et al., 2009), diferenças entre tecidos têm sido relatadas no tocante à superfície específica (Casali et al., 2009) e nas características de troca entre o interior do filter bag e o meio externo (Valente et al., 2011b).

As estimativas de digestibilidade in vitro podem ser enquadradas em dois principais objetivos: predição da digestibilidade in vivo e avaliação comparativa entre alimentos. No primeiro caso, as estimativas somente podem ser julgadas válidas caso haja possibilidade de avaliação simultânea in vitro e in vivo dos mesmos alimentos ou dietas. Assim, seria possível avaliar a exatidão do método aplicado, a qual reflete a discrepância (vício) entre os valores estimados in vitro e os valores assumidos como reais obtidos in vivo. Contudo, tais avaliações são escassas em condições brasileiras, não permitindo o julgamento adequado de métodos in vitro quanto à sua exatidão. Acresce-se a isto a ampla variação nos procedimentos e instrumentos utilizados para avaliação in vitro, caracterizando falta de padronização entre laboratórios.

Mesmo com a presença de vícios significativos, os métodos in vitro tendem a apresentar forte correlação com o que se obtém em ensaios in vivo (Silva e Queiroz, 2002), o que permite estimar a digestibilidade por intermédio de equações de regressão (Åkerlind et al., 2011). A despeito das diferenças entre médias, todos os métodos aqui avaliados se mostraram fortemente correlacionados entre si (Tab. 3). Isto constitui indicativo de que todos podem apresentar o mesmo padrão de correlação com valores in vivo.

Para o caso de avaliação comparativa entre alimentos, duas características principais podem ser relevadas: precisão e capacidade de discriminação. A precisão reflete baixa participação do erro aleatório entre repetições, o que permite comparações mais confiáveis entre alimentos, reduzindo, principalmente a probabilidade de ocorrência do erro estatístico do tipo II. Neste trabalho, a precisão pode ser representada pela repetibilidade, pois a mesma está baseada na variância aleatória residual (Eq. 4). Verificou-se que os métodos baseados no uso de incubadoras apresentaram repetibilidade igual ou superior ao método de Tilley e Terry (1963) (Fig. 1). Este comportamento parece refletir, como previamente discutido, da maior homogeneidade do contato amostra-fluido, além do menor número de procedimentos laboratoriais, principalmente pela não necessidade de transferência do resíduo pós-digestão para um recipiente filtrante.



A variância entre amostras (Eq. 5), reflete, para um mesmo grupo de amostras, a capacidade do método em discriminar elementos deste grupo com características de digestibilidade distintas. Neste quesito, a despeito de pequenas discrepâncias, os métodos apresentaram comportamento similar.

Desta forma, características secundárias, como custo, praticidade, capacidade operacional e acesso a equipamentos e suprimentos devem ser consideradas como fatores preponderantes para a escolha do método a ser adotado.

### **CONCLUSÕES**

A utilização de incubadoras Daisy<sup>II</sup> e TE-150 associadas a filter bags F57 ou TNT (100 g/m<sup>2</sup>) conferem estimativas diferentes de DIVMS e DIVFDN entre si e em relação ao método de Tilley e Terry (1963). Contudo, os resultados de todos os métodos são altamente correlacionados e com repetibilidade e capacidade de discriminação entre amostras similares. Assim, em se tratando de avaliações comparativas entre alimentos, todos os métodos são igualmente efetivos.

### **AGRADECIMENTOS**

Ao CNPq, FAPEMIG e INCT-Ciência Animal, pelo apoio financeiro.

### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

ADESOGAN, A.T. What are feeds worth? A critical evaluation of selected nutritive values methods. In: ANNUAL FLORIDA RUMINANT NUTRITION SYMPOSIUM, 13, 2002, Gainesville. Proceedings... Gainesville: University of Florida, 2002. p.33-47.

ÅKERLIND, M.; WEISBJERG, M.; ERIKSSON, T. et al. Feed analysis and digestion methods. In: VOLDEN, H. (Ed.) NorFor - The nordic feed evaluation system. Wageningen: Wageningen Academic Publishers, 2011. p.41-54.

BERCHIELLI, T.T.; GARCIA, A.V.; OLIVEIRA, S.G. Principais técnicas de avaliação aplicadas em estudo de nutrição. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Ed.) Nutrição de Ruminantes. Jaboticabal: Funep, 2006. p.397-421.

CASALI, A.O.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Estimação de teores de componentes fibrosos em alimentos para ruminantes em sacos de diferentes tecidos. Rev. Bras. Zootec., v.38, p.130-138, 2009.

DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Métodos para análise de alimentos. Suprema: Visconde do Rio Branco, 2012. 214p.

DUQUE, A.C.A.; LOPES, F.C.F.; DORNELLAS, R.A.C. et al. Digestibilidade da matéria seca de alimentos volumosos e concentrados, determinada por diferentes procedimentos in vitro. Rev. Bras. Saúde Prod. Anim., v.12, p.680-690, 2011.

FREITAS, D.; BERCHIELLI, T.T.; SILVEIRA, R.N. et al. Produção fecal e fluxo duodenal de matéria seca e matéria orgânica estimados por meio de indicadores. Rev. Bras. Zootec., v.31, p.1521-1530, 2002.

HOLDEN, L.A. Comparison of methods of in vitro dry matter digestibility for ten feeds. J. Dairy Sci., v.82, p.1791-1794, 1999.

LINDGERG, J.E.; KASPERSSON, A.; CISZUK, P. Studies on pH, number of protozoa and microbial ATP concentrations in rumen-incubated nylon bags with different pore sizes. J. Agric. Sci., v.102, p.501-504, 1984.

LOPES, F.C.F.; DORNELAS, R.A.C.; PORTUGAL, J.A.B. et al. Digestibilidade da matéria seca de silagens de milho e de suplementos concentrados determinada por procedimentos in vitro. Arq. Bras. Med. Vet. Zootec., v.62, p.1167-1173, 2010.

MABJEESH, S.J.; COHEN, M.; ARIELI, A. In vitro methods for measuring the dry matter digestibility of ruminant feedstuffs: comparison of methods and inoculum source. J. Dairy Sci., v.83, p.2289-2294, 2000.

McDOUGALL, E.I. The composition and output of sheep's saliva. Biochem. J., v.43, p.99-109, 1948.

MERTENS, D.R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beaker or crucibles: collaborative study. J. AOAC Intern., v.85, p.1217-1240, 2002.

RAMIN, M.; KRIZSAN, S.J.; JANČÍK, F.; HUHTANEN, P. Measurements of methane emissions from feed samples in filter bags or dispersed in the medium in an in vitro gas production system. J. Dairy Sci., v.96, p.4643-4646, 2013.

SANTOS, G.T.; ASSIS, M.A.; GONÇALVES, G.D. et al. Determinação da digestibilidade in vitro de gramíneas do gênero Cynodon com uso de diferentes metodologias. Acta Scientiarum Anim. Sci., v.22, p.761-764, 2000.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. Análise de alimentos: Métodos químicos e biológicos. 3 ed. Viçosa: Editora UFV, 2002. 235p.

TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique for the in vitro digestion of forage crops. J. Brit. Grassl. Soc., v.18, p.104-111, 1963.

VALENTE, T.N.P.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Avaliação dos teores de fibra de detergente neutro em forragens, concentrados e fezes bovinas moídas em diferentes tamanhos e em sacos de diferentes tecidos. Rev. Bras. Zootec., v.40, p.1148-1154, 2011a.

VALENTE, T.N.P.; DETMANN, E.; QUEIROZ, A.C. et al. Evaluation of ruminal degradation profiles of forages using bags made from different textiles. Rev. Bras. Zootec., v.40, p.2565-2573, 2011b.

## CAPÍTULO 2

### **Desenvolvimento de modelo para predição da fração digestível da fibra em detergente neutro para bovinos em condições tropicais**

**RESUMO** - Objetivou-se neste trabalho propor modelo para predição da fração digestível da fibra em detergente neutro (FDN) de forragens e concentrados ofertados para bovinos manejados em clima tropical como alternativa ao modelo adotado pelo Sistema BR-CORTE. Foram conduzidos sequencialmente dois estudos. O primeiro estudo foi conduzido em laboratório objetivando-se construir modelos que permitam o fracionamento da FDN de forragens e concentrados quanto ao potencial de degradação ruminal utilizando-se de características químicas. Foram utilizadas 371 amostras de forragens e 65 de alimentos concentrados. Os modelos construídos para ambos tipos de amostras basearam-se na predição da fração potencialmente digestível da FDN (FDNpd). Para forragens, o modelo de predição da FDNpd foi construído em função do efeito linear da FDN corrigida para contaminações por cinzas e proteína (FDNcp;  $P < 0,01$ ), dos efeitos linear e quadrático da fibra em detergente ácido (FDA;  $P < 0,01$  e  $P < 0,05$ , respectivamente) e efeito linear da lignina ( $P < 0,01$ ). Para concentrados, o modelo de predição da FDNpd foi construído em função dos efeitos lineares da FDNcp ( $P < 0,01$ ) e FDA ( $P < 0,01$ ), além da introdução de variável “dummy” ( $P < 0,01$ ) para o caso de alimentos contendo fibra de menor degradação potencial. O segundo estudo foi realizado objetivando-se construção de modelo empírico de predição da digestibilidade da FDNpd de forragens e concentrados. O modelo foi construído a partir de informações de 60 animais recebendo alimentação exclusiva de forragens. A base matemática do modelo empírico foi construída integrando-se as taxas de degradação (kd) e passagem (kp) ruminais da FDNpd e aproveitamento médio no intestino grosso, denominado fator de ajuste

intestinal (FAI). Os modelos construídos para obtenção das estimativas de kd, kp e FAI foram obtidos com base em características químicas e nível de consumo dos animais constantes no banco de dados. A avaliação comparativa entre o modelo empírico e o adotado no BR-CORTE foi realizada utilizando-se informações de volumosos e concentrados constantes no banco de dados CQBAL 3.0, por intermédio de avaliação simplificada da composição do quadrado médio do erro. Conclui-se que o modelo empírico produziu estimativas de digestibilidade da FDN mais exatas e precisas para forragens quando comparado ao atual modelo do Sistema BR-CORTE.

**Palavras-chave:** degradação ruminal, energia, modelagem, nutrientes digestíveis totais

**ABSTRACT** - The aim of this work was to propose model for predicting the digestible fraction of neutral detergent fiber (NDF) of forages and concentrates offered for cattle managed under tropical conditions as an alternative to the current model adopted by the BR-CORTE System. Two studies were sequentially carried out. The first one was carried out in laboratory and it aimed to build models that could allow the fractionation of NDF from forages and concentrates based on its potential of ruminal degradation by using chemical characteristics. Three hundred seventy one samples of forages and sixty five samples of concentrates were used. The models built for both types of samples based on the prediction of pdNDF. For forages, the pdNDF prediction model was given by the linear effect of NDF corrected for ashes and protein contamination (NDFap;  $P < 0.01$ ), linear and quadratic effects of acid detergent fiber (ADF;  $P < 0.01$  and  $P < 0.05$ , respectively) and linear effect of lignin ( $P < 0.01$ ). For concentrates, the pdNDF prediction model was given in terms of linear effects of NDFap ( $P < 0.01$ ) and ADF ( $P < 0.01$ ); a "dummy" variable was also introduced ( $P < 0.01$ ) in the case of feedstuffs containing fiber of lower potential degradation. The second study was carried out aiming to build empirical model for predicting the pdNDF digestibility of

forages and concentrates. The models were built from information of 60 animals receiving diets exclusively composed of forages. The mathematical basis of the empirical model was built by integrating the ruminal degradation rates ( $k_d$ ) and ruminal passage ( $k_p$ ) of pdNDF and average utilization in the large intestine, called intestinal adjustment factor (IFA). The models built to estimate  $k_d$ ,  $k_p$ , and IFA were obtained on the basis of chemical characteristics and feed intake level of the animals in the database. The comparative evaluation of the empirical model and the model adopted by BR-CORTE was performed using forages and concentrates information from the CQBAL 3.0 database, through a simplified assessment of the mean square prediction error. The estimates of digestible the NDF obtained from the empirical model are more accurate and precise than the estimates obtained from current BR-CORTE model.

**Key words:** energy, modeling, ruminal degradation, total digestible nutrients

## INTRODUÇÃO

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

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

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

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

Nesse sentido, várias equações foram propostas objetivando obter estimativas da fração digestível da FDN, baseando-se principalmente no potencial efeito de proteção da lignina sobre a degradação dos demais constituintes da fibra (Conrad et al., 1984; Weiss et al., 1992). Equação com tal embasamento foi incorporada ao sistema somativo de predição dos teores de NDT de alimentos/dietas adotado pelo NRC (2001), aplicado principalmente em regiões de clima temperado. De forma alternativa, adaptações empíricas ou reparametrizações desta equação foram realizadas objetivando melhor adequá-la a condições tropicais (Detmann et al., 2004; 2007; 2008; Magalhães et al., 2010), o que culminou em modelo posteriormente incorporado ao sistema somativo de predição do valor energético de alimentos/dietas adotado pelo Sistema BR-CORTE (Detmann et al., 2010). Contudo, limitações quanto à exatidão e, principalmente, precisão das

estimativas obtidas para fração digestível da FDN têm sido observadas (Detmann et al., 2007; 2008; Sampaio et al., 2012), o que parece ser reflexo da ampla variação das interações existentes entre os compostos fenólicos e carboidratos constituintes da fração fibrosa insolúvel dos alimentos (Palmonari et al., 2016).

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

## **MATERIAL E MÉTODOS**

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

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

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



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

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

Os teores de FDNi dos alimentos foram obtidos por intermédio de incubações ruminais in situ por período de 288 horas utilizando-se filter bags confeccionados em tecido não-tecido (TNT, 100 g/m<sup>2</sup>) (Valente et al., 2011).

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

$$\text{FDN}_{\text{cp}} = \text{FDN}_{\text{pd}} + \text{FDN}_{\text{i}} \quad (1a),$$

$$\text{FDN}_{\text{pd}} = \text{FDN}_{\text{cp}} - \text{FDN}_{\text{i}} \quad (1b),$$

em que:  $\text{FDN}_{\text{cp}}$ , fibra em detergente neutro com correções para contaminações por cinzas e proteína (% da MS);  $\text{FDN}_{\text{pd}}$ , fibra em detergente neutro potencialmente digestível (% da MS); e  $\text{FDN}_{\text{i}}$ , fibra em detergente neutro indigestível (% da MS).

Para a construção dos modelos de predição, inicialmente estudou-se as correlações lineares de Pearson entre todas as variáveis analisadas. Após análise inicial de correlações, procedeu-se a seleção das variáveis constituintes do modelo baseada no método “*forward regression*” (Draper e Smith, 1966), utilizando-se a raiz do quadrado médio do resíduo (s), coeficiente de determinação simples ou múltiplo ajustado ( $r^2/R^2$ ) e critério de informação de Akaike corrigido (AICc) como indicadores de qualidade de ajustamento. Os procedimentos estatísticos foram realizados por intermédio dos procedimentos CORR e MIXED do SAS 9.4. Os modelos foram avaliados utilizando-se somas de quadrados do tipo I, adotando-se  $\alpha = 0,05$ .

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

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

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

$$FDN_d = (CDR \times FDN_{pd}) \times FAI \quad (3a),$$

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

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

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

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

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

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

O modelo adotado pelo sistema BR-CORTE (Detmann et al., 2010) para predição da fração digestível da FDN foi baseado em aproximação química e em relação não-linear exponencial entre a lignina e a FDNi em adaptação aos pressupostos da Lei de Superfície (Conrad et al., 1984; Weiss et al., 1992), sendo o fator de proteção à degradação ruminal da lignina sobre a FDN considerado parâmetro base (Detmann et al., 2004). A estrutura matemática do modelo é dada por:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Ressalta-se que as concentrações de CNF nos alimentos foram calculadas segundo preconizado por Detmann e Valadares Filho (2010).

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

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

em que: NDT, concentração de NDT (% da MS);  $FM_{NDT}$ , fração metabólica fecal total para o cômputo do NDT (% da MS); e 2,25, constante de Atwater para equalização entre lipídeos e carboidratos. Os demais termos foram previamente definidos e são expressos como % da MS.

Adotou-se o valor de  $FM_{NDT}$  sugerido pelo Sistema BR-CORTE (Detmann et al., 2010) para bovinos em crescimento e terminação em condições de alimentação irrestrita (7,13).

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

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

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

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

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

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

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

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

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

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

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

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

Para forragens, selecionou-se o modelo de predição da fração FDNpd acrescido dos efeitos linear e quadrático da FDA e do efeito linear da concentração de lignina (modelo 5; Tabela 4), o qual apresentou menor AICc e praticamente manteve os mesmos valores de  $R^2$  e  $s$  quando comparado aos demais modelos. Embora o modelo 5 (Tabela 4) tenha apresentado intercepto não significativo ( $P > 0,44$ ), sua retirada do modelo (modelo 7; Tabela 4) reduziu a qualidade do ajustamento. Assim, o modelo foi parametrizado com a presença do intercepto.

Para concentrados, selecionou-se o modelo de predição da fração FDNpd acrescido dos efeitos lineares da FDA, além da introdução da variável “dummy” relacionada à avaliação de concentrados com menor degradação potencial da fibra (modelo 3; Tabela 5). De forma similar à seleção do modelo para forragens, a seleção do modelo 3 para concentrados fundamentou-se no menor valor de AICc, uma vez que os valores de  $R^2$  e  $s$  se mantiveram similares comparados aos demais.

As equações ajustadas para forragens e concentrados foram, respectivamente:



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

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

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

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

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

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

Embora a correlação entre FDNpd e FDA tenha sido inicialmente positiva (Tabela 3), sua inclusão no modelo se deu por intermédio de efeito negativo sobre a FDNpd (Equação 14). Esta inversão na direção da associação reflete limitação do coeficiente 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 o ajustamento e contribuiu significativamente para a explicabilidade da relação ( $P \leq 0,05$ ). A conformação quadrática da equação (14) sugere que haveria um ponto de mínima concentração de FDNpd em função da FDA, com subsequente ampliação. Contudo, o efeito da FDA sobre a FDNpd é continuamente decrescente no domínio matemático de suas concentrações. O estudo da derivada parcial da concentração de FDNpd em função da concentração de FDA indica que incrementos em FDNpd somente ocorreriam em limites cabíveis ao campo da extrapolação e sob concentrações biologicamente pouco prováveis de FDA ( $FDA \geq 64,2\%$  da MS).

A presença da FDA na equação (14) deve ser vista, contudo, com cautela. De um ponto de vista teórico, deve se ressaltar que a FDA não supre nenhuma definição de fibra dietética ou fibra insolúvel (Mertens, 2003), não devendo, portanto, ser considerada conceito nutricional válido de fibra. A utilização da FDA em regressões diretas para predição da digestibilidade ignora as bases fisiológicas que relacionam os componentes fibrosos com a digestibilidade. A digestão de todas as frações fibrosas insolúveis é limitada principalmente pela lignificação. Neste contexto, o

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

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

separação da celulose, o que também implica em maior praticidade, maior rapidez e menor custo das análises.

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

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

O banco de dados utilizado evidenciou que a  $k_d$  da FDN<sub>pd</sub> poderia ser predita por uma relação linear simples com o consumo voluntário de matéria seca (CMS, g/kg de peso corporal) segundo o modelo (Figura 3):

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

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

Especificamente para o  $k_p$  da FDNpd, verificou-se relação curvilínea com a concentração de FDNi na forragem basal. Esta relação foi investigada por intermédio de três diferentes aproximações (modelos quadrático, exponencial decrescente e hiperbólico; dados não mostrados), obtendo-se melhor ajustamento por intermédio de relação hiperbólica (Figura 4) dada por:

$$k_p(F) = \frac{0,287}{\text{FDNi}} \quad (s_{XY} = 0,0048) \quad (17);$$

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

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

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

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

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

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

Por outro lado, a taxa de passagem da FDN<sub>pd</sub> de alimentos volumosos demonstrou associação simples, negativa e curvilínea com a concentração da FDN<sub>i</sub> na forragem basal da dieta (Equação 17; Figura 4). Embora as frações FDN<sub>i</sub> e FDN<sub>pd</sub> tenham taxas de passagem distintas no ambiente ruminal (Lund et al., 2007), o aumento da fração FDN<sub>i</sub> 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 FDN<sub>i</sub> só exibe desaparecimento ruminal por uma única via (passagem) e, portanto, menor turnover comparado à fração FDN<sub>pd</sub>.

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

Contudo, a integração entre trânsito e degradação se refere apenas aos eventos ruminais, não considerando o possível aproveitamento da FDN<sub>pd</sub> no intestino grosso, o qual complementa o coeficiente de digestibilidade total desta fração. Assim, fator de ajustamento para a digestibilidade intestinal (FAI) foi adotado para compensar aos eventos digestivos pós-ruminais. No banco de dados avaliado, verificou-se que, em média,  $89 \pm 1,03\%$  da digestão total da FDN<sub>pd</sub> 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 FDN<sub>pd</sub> de alimentos concentrados. Este tipo de informação é escasso no Brasil.

Desta forma, o ajuste para a taxa de passagem de concentrados foi baseado na taxa de passagem da FDNpd da forragem basal e nas relações entre taxas de passagens da fibra de volumosos e concentrados obtida por Bürger et al. (2000) (Equação 17). Contudo, este ajustamento poderá sofrer modificações na medida em que novas informações forem obtidas em condições brasileiras.

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

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

#### Avaliação comparativa dos modelos

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

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

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

A utilização da aproximação empírica produziu estimativas mais exatas em relação aos modelos adotados por Detmann et al. (2010). O coeficiente de digestibilidade da fração FDN<sub>pd</sub> para bovinos em crescimento e terminação adotado por Detmann et al. (2010) (0,84) mostrou-se inferior ao coeficiente médio de digestibilidade da FDN<sub>pd</sub> 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 FDN<sub>pd</sub> por intermédio da equação (4).

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; 2008; Azevêdo et al., 2011; Sampaio et al., 2012). Embora as equações utilizadas por esta aproximação sejam relativamente simples (Equações 14 a 18), a consideração das particularidades das forragens basais (i.e., concentração de FDNi) em detrimento de coeficientes constantes para o coeficiente de digestibilidade da FDNpd parecem ter refletido em variações similares e correlações mais fortes com valores observados in vivo. Assim, a aproximação empírica mostrou-se alternativa mais exata e precisa para a substituição do modelo proposto por Detmann et al. (2010) para estimação da fração digestível da FDN, com as consequentes aplicações sobre a fração digestível da PB.

## CONCLUSÕES

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

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALLEN, M.S. Physical constraints on voluntary intake of forages by ruminants. **Journal of Animal Science**, v.74, p.3063-3075, 1996.
- ALLEN, M.S.; LINTON, J.A.V. In vivo methods to measure digestibility and digestion kinetics of feed fractions in the rumen. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL AVANÇOS EM PESQUISA DE NUTRIÇÃO DE RUMINANTES, 1, 2007, Pirassununga. **Anais...** Pirassununga: USP, 2007. p.72-89.

AZEVÊDO, J.A.G.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E. et al. Predição das frações digestíveis e valor energético de subprodutos agrícolas e agroindustriais para bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.391-402, 2011.

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

CASALI, A.O.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Influência do tempo de incubação e do tamanho de partículas sobre os teores de compostos indigestíveis em alimentos e fezes bovinas obtidos por procedimentos in situ. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, p.335-342, 2008.

CONRAD, H.R.; WEISS, W.P.; ODWONGO, W.O. et al. Estimating net energy lactation from components of cell solubles and cell walls. **Journal of Dairy Science**, v.67, p.427-436, 1984.

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

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

DETMANN, E.; ZERVOUDAKIS, J.T.; CABRAL, L.S. et al. Validação de equações preditivas da fração indigestível da fibra em detergente neutro em gramíneas tropicais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, p.1866-1875, 2004.

DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. et al. Estimacão da digestibilidade do extrato etéreo em ruminantes a partir dos teores dietéticos: desenvolvimento de um modelo para condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.1469-1478, 2006a.

DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; HENRIQUES, L.T. et al. Estimação da digestibilidade dos carboidratos não-fibrosos em bovinos a partir do conceito de entidade nutricional em condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, p.1479-1486, 2006b.

DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; HENRIQUES, L.T. et al. Reparametrização do modelo baseado na Lei de Superfície para predição da fração digestível da fibra em detergente neutro em condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, p.155-164, 2007.

DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. et al. Prediction of the energy value of cattle diets based on the chemical composition of the feeds under tropical conditions. **Animal Feed Science and Technology**, v.143, p.127-147, 2008.

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

DETMANN, E.; SOUZA, M.A.; VALADARES FILHO, S.C. et al. (Ed.). **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco: Suprema, 2012. 214p.

DETMANN, E.; FRANCO, M.O.; BATISTA, E.D. et al. Cinética de digestão e passagem da fibra em ruminantes e sua otimização por meio de estratégias nutricionais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO RÚMEN, 1, 2015, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFMT, 2015 (CD-ROM).

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

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

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

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

LUCAS, H.L.; SMART, W.W.G. Chemical composition and the digestibility of forages. In: PROCEEDINGS OF PASTURE AND CROP IMPROVEMENT CONFERENCE, 16, Mississippi. **Proceedings...** Mississippi, 1959. p.23-26.

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

MAGALHÃES, K.A.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E. et al. Evaluation of indirect methods to estimate the nutritional value of tropical feeds for ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v.155, p.44-54, 2010.

MERTENS, D.R. Challenges in measuring insoluble dietary fiber. **Journal of Animal Science**, v.81, p.3233-3249, 2003.

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

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

PALMONARI, A.; GALLO, A., FUSTINI, M. et al. Estimation of the indigestible fiber in different forage types. **Journal of Animal Science**, v.94, p.248-254, 2016.

SAMPAIO, C.B.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Evaluation of models for prediction of the energy value of diets for growing cattle from chemical composition of feeds.

**Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, p.2110-2123, 2012.

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

VALADARES FILHO, S.C.; MACHADO, P.A.S.; FURTADO, T. et al. **Tabelas brasileiras de composição de alimentos para ruminantes CQBAL 3.0**. Viçosa: Editora UFV, 2015. 473p.

VALENTE, T.N.P.; DETMANN, E.; QUEIROZ, A.C. et al. Evaluation of ruminal degradation profiles of forages using bags made from different textiles. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.40, p.2565-2573, 2011.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

<sup>1</sup> FDN, fibra em detergente neutro; FDNcp, FDN corrigida para cinzas e proteína; FDA, fibra em detergente ácido; FDACP, FDA corrigida para cinzas e proteína; Lig(H), lignina avaliada por hidrólise em ácido sulfúrico; Lig(Ox), lignina avaliada por oxidação em permanganato de potássio.

<sup>2</sup> Os valores entre parênteses representam o nível descritivo de probabilidade para  $H_0: \rho = 0$ .



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

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

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

<sup>2</sup> AICc, critério de informação de Akaike corrigido; r<sup>2</sup>/R<sup>2</sup>, coeficiente de determinação simples ou múltiplo; s, raiz quadrada do quadrado médio do resíduo.

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

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

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

<sup>2</sup> AICc, critério de informação de Akaike corrigido; r<sup>2</sup>/R<sup>2</sup>, coeficiente de determinação simples ou múltiplo; s, raiz quadrada do quadrado médio do resíduo.

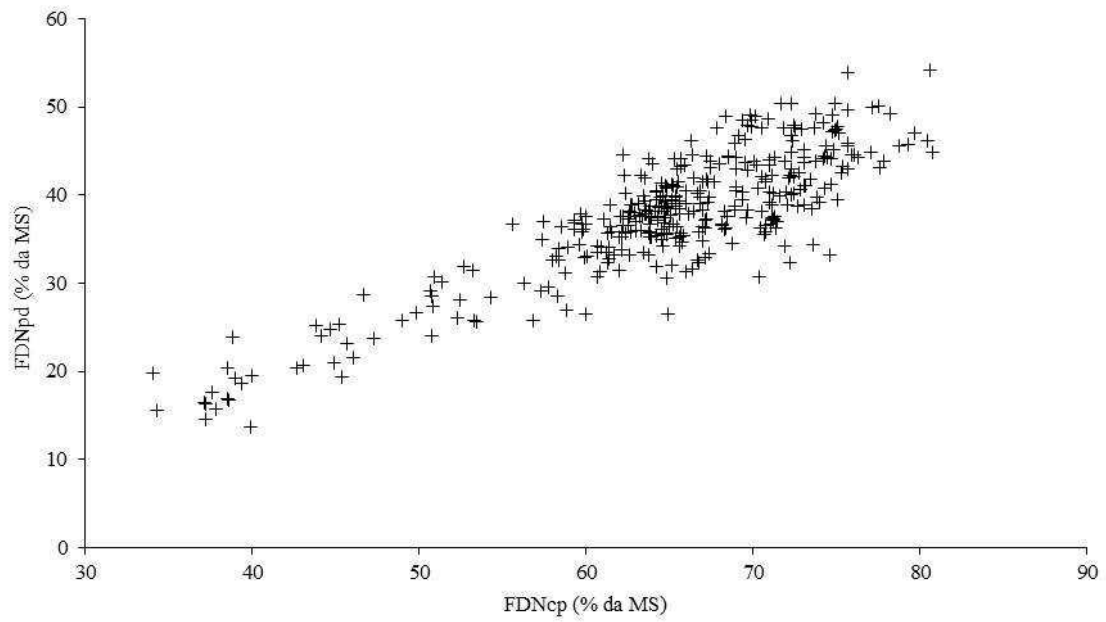


Figura 1 - Relação entre a concentração de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp) e fibra em detergente neutro potencialmente digestível (FDNpd) em forragens (n = 371).

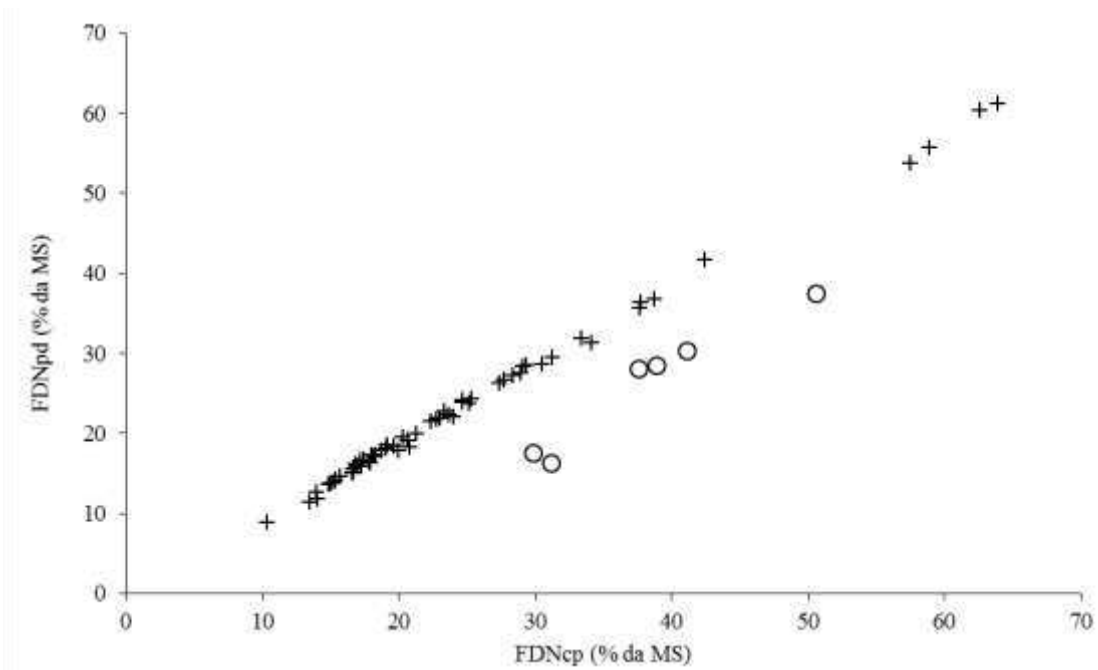


Figura 2 - Relação entre a concentração de fibra em detergente neutro corrigida para cinzas e proteína (FDNcp) e fibra em detergente neutro potencialmente digestível (FDNpd) em concentrados (n = 65; o = concentrados contendo fibra de menor degradação potencial; + = demais alimentos concentrados).

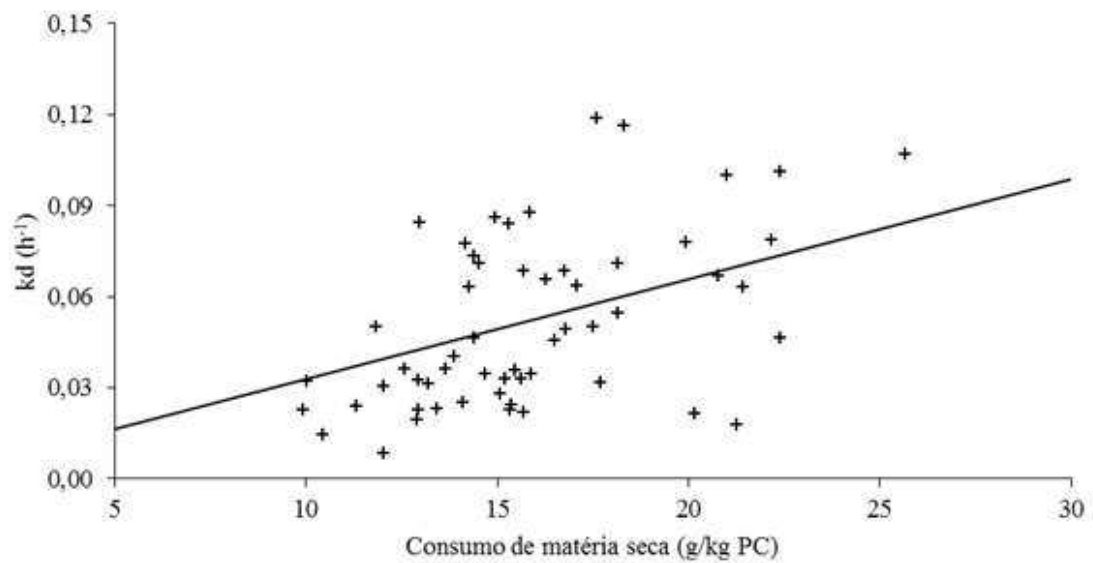


Figura 3 - Relação entre o consumo voluntário de matéria seca e a taxa de degradação ( $k_d$ ) da fibra em detergente neutro potencialmente digestível em dietas exclusivas de forragens (a linha contínua representa a equação 16).

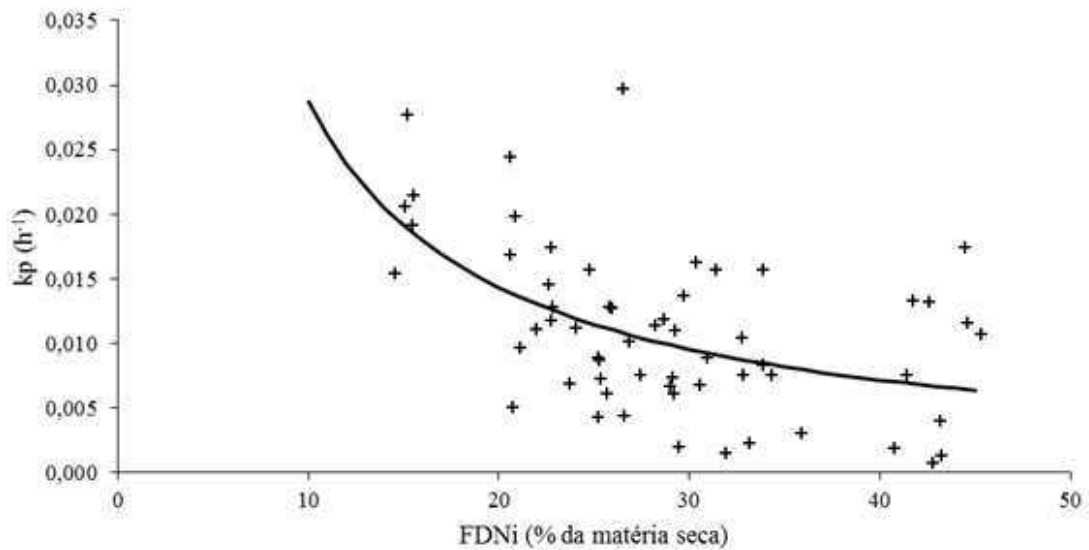


Figura 4 - Relação entre a concentração dietética de fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) e a taxa de passagem (kp) da fibra em detergente neutro potencialmente digestível em dietas exclusivas de volumosos (a linha contínua representa a equação 17).

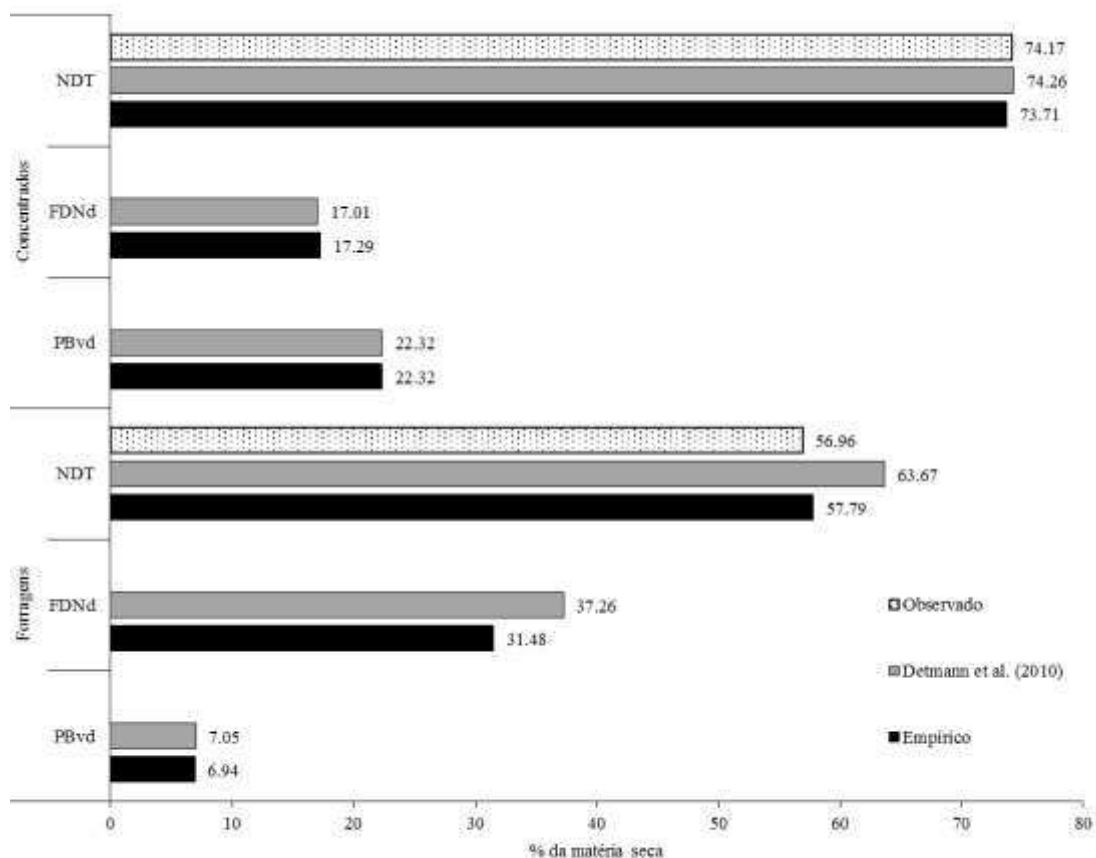


Figura 5 – Estimativas da fração verdadeiramente digestível da PB (PBvd, % da MS), da fração digestível da FDN (FDNd, % da MS) e da concentração dietética de NDT (% da MS) obtidas pelos modelos adotados por Detmann et al. (2010) e pela aproximação empírica para fibra e proteína para bovinos em crescimento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

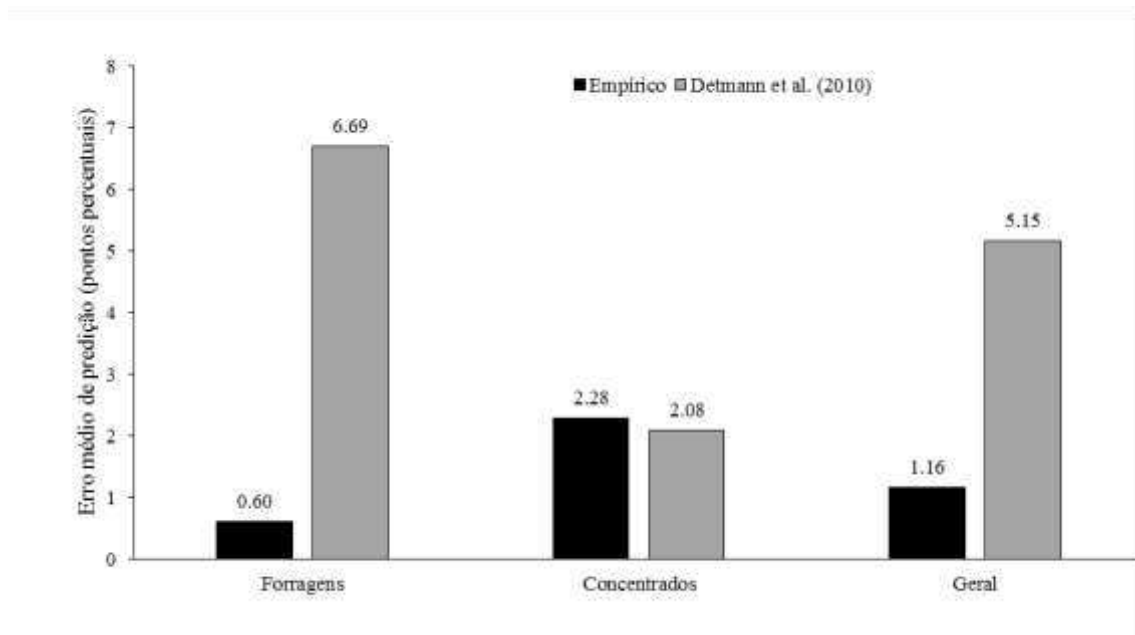


Figura 6 – Erro médios de predição (pontos percentuais) em relação ao teor de NDT em alimentos concentrados e forragens obtidos pelos modelos adotados por Detmann et al. (2010) e pela aproximação empírica para fibra e proteína para bovinos em crescimento e terminação em relação aos valores médios de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



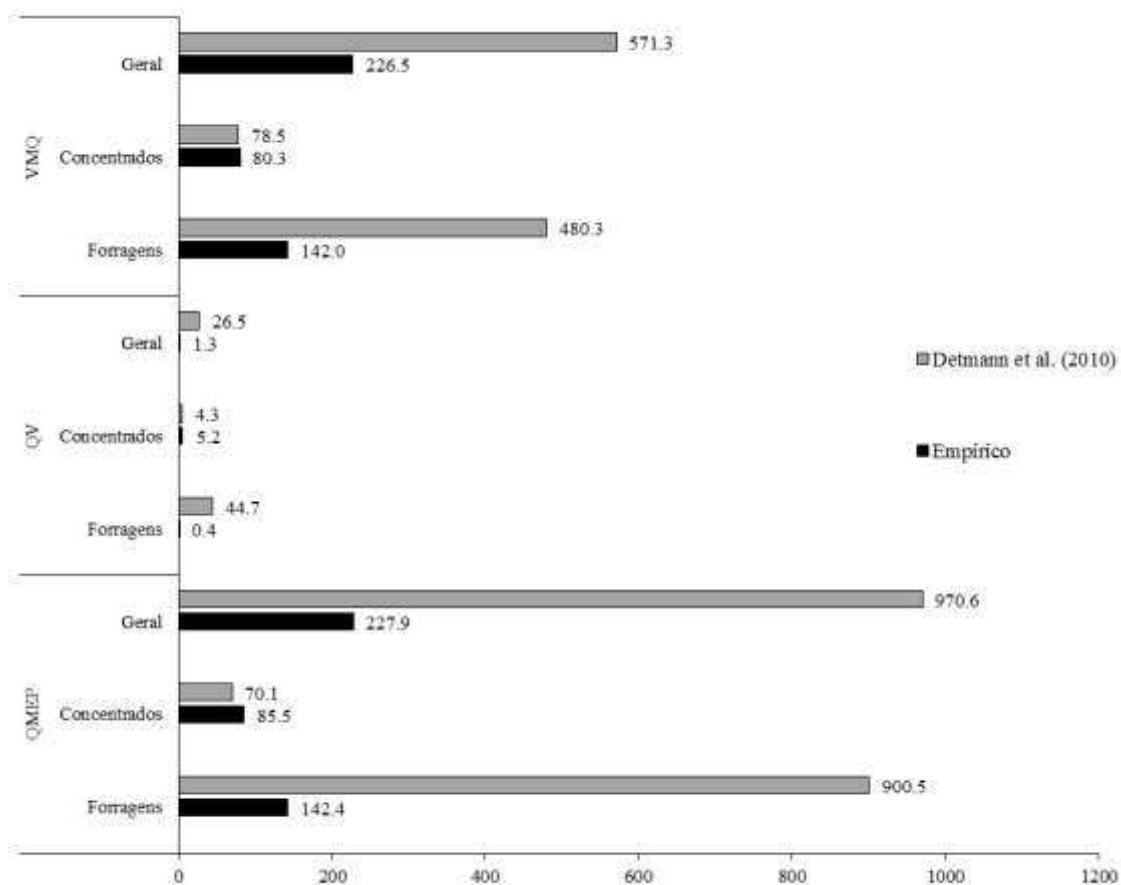


Figura 7 – Quadrado médio do erro de predição (QMEP), quadrado do vício (QV) e variação média quadrática (VMQ) para os teores de NDT em alimentos concentrados e forragens obtidos pelo modelo proposto por Detmann et al. (2010) e pela aproximação e empírica para fibra e proteína para bovinos em crescimento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