



## **Avanços e desafios tecnológicos na avaliação de forrageiras tropicais**

Lúcio Carlos Gonçalves<sup>1</sup>, Thierry Ribeiro Tomich<sup>2</sup>, Diogo Gonzaga Jayme<sup>1</sup>, Fernanda Samarini Machado<sup>3</sup>, Luiz Gustavo Ribeiro Pereira<sup>3</sup>, Alex de Matos Teixeira<sup>1</sup>, Frederico Osório Velasco<sup>4</sup>, Felipe Antunes Magalhães<sup>1</sup>, Pedro Dias Sales Ferreira<sup>1</sup>

### **Introdução**

O conhecimento do valor nutritivo de forrageiras não só permite o balanceamento adequado das dietas baseadas em volumosos, como também fornece subsídios para adoção de estratégias de manejo e para a seleção de cultivares, visando a melhoria de sua qualidade nutricional. Conforme Van Soest (1994), os alimentos não são iguais em sua capacidade de dar suporte às funções de manutenção, crescimento, reprodução e lactação. Eles suprem energia e nutrientes essenciais, na forma de proteína, vitaminas e minerais. Proteína e energia são, geralmente, os principais fatores limitantes para os ruminantes e têm recebido mais atenção, já que as possíveis deficiências em minerais e vitaminas são geralmente supridas pela suplementação. Segundo Russell et al. (1992), além das características peculiares das frações nutritivas constituintes, os alimentos consumidos pelos ruminantes são transformados pelos microrganismos ruminais, impedindo a predição do desempenho somente a partir dos componentes dietéticos. Assim, a qualidade das forragens está relacionada não só à sua composição química, mas também à dimensão do seu aproveitamento pelos animais. Desta forma, a avaliação adequada de forrageiras geralmente abrange o conhecimento da sua composição em termos dos componentes nutritivos, princípios tóxicos e fatores antinutricionais, inclui estudos sobre o consumo e o aproveitamento dos componentes

<sup>1</sup> Departamento de Zootecnia, Escola de Veterinária da UFMG, Belo Horizonte/MG.

<sup>2</sup> Embrapa Pantanal, Corumbá/MS.

<sup>3</sup> Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora/MG.

<sup>4</sup> Centro de Ciência Animal, UFT, Araguaína/TO.

Correspondências devem ser enviadas para: [luciocg@vet.ufmg.br](mailto:luciocg@vet.ufmg.br)



nutritivos, experimentos de desempenho animal e o uso de modelos para predição do valor nutritivo.

As metodologias de avaliação de forrageiras passaram por progressos ao longo do tempo, mas ainda apresentam limitações. Considerando que não há metodologias que permitam o conhecimento detalhado acerca da composição química de forragens capaz de prever de forma infalível a produção animal que será obtida e que as metodologias *in vivo*, *in situ* ou *in vitro* disponíveis para estimar o consumo e o aproveitamento de frações nutritivas de alimentos para ruminantes apresentam restrições, a avaliação de forrageiras ainda representa um desafio. Adicionalmente, tendo em vista que os sistemas mais difundidos de avaliação de alimentos para ruminantes foram desenvolvidos utilizando forrageiras e animais de clima temperado e que geralmente há diferenças significativas quando esses sistemas são aplicados em condições tropicais, o desafio é ainda maior, pois há ainda necessidade de se gerar dados nacionais em quantidade e qualidade suficiente para subsidiar estratégias de manejo alimentar que confirmem mais alta eficiência aos sistemas produtivos estabelecidos no país.

Objetivou-se com este trabalho apresentar as principais metodologias empregadas para avaliação de forrageiras, alguns resultados obtidos na avaliação de forrageiras tropicais e os avanços e os desafios apresentados por esta área de pesquisa, tendo como base a atuação do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais (DZO-EV/UFMG), instituição que acumula experiência de mais de 40 anos de pesquisa nesta área.

### **Composição química**

A determinação do valor nutritivo de alimentos destinados aos animais de produção tem sido alvo de contínuos esforços de pesquisa. Observa-se constante



procura por metodologias acuradas e simples para se estimar a qualidade alimentar, cujos objetivos são, principalmente, as predições de valores protéicos e energéticos disponíveis para atender a demanda gerada pelas funções de manutenção e produtivas dos animais em determinado estado fisiológico.

De acordo com Van Soest e Robertson (1985), a Alemanha foi o local onde ocorreram os primeiros desdobramentos analíticos dos alimentos, naquele período vigorava o sistema de análise baseado no equivalente feno. Conforme Rodrigues & Vieira (2006), tratamentos alcalinos sobre materiais fibrosos com o objetivo de purificá-los já eram conhecidos e o tratamento ácido-alcálico já era empregado com o intuito de isolar a fração celulósica dos alimentos. Segundo Mertens (2003), o termo “proteína” foi introduzido pelo químico holandês Garrit Jan Mulder, em 1838, ao isolar algumas unidades desta substância complexa. Por volta de 1860, na Estação Experimental de Weende, na Alemanha, Wilhelm Henneberg padronizou o uso de um sistema químico de análise para quantificação do valor nutricional dos alimentos. Esse sistema de análises ficou conhecido como Sistema Weende de Análise de Alimentos. Por esse sistema é que se obtém a análise proximal dos alimentos.

Em 1883 o químico dinamarquês Johann Kjeldahl descobriu um processo relativamente fácil e rápido para determinação do nitrogênio contido em matéria orgânica e, a partir daí, o conhecimento acerca da composição protéica dos alimentos progrediu significativamente. Por sua vez, com o intuito de quantificar a fibra alimentar na forma de Fibra Bruta, o tratamento ácido-alcálico foi empregado em substituição ao método da maceração das amostras. O sistema Weende substituiu o equivalente-feno e ainda é usado nos dias de hoje (Van Soest, 1994), com alterações na análise empregada



para quantificar o nitrogênio, que, atualmente é feita segundo o método proposto por Kjeldahl, e na análise para determinação da Fibra Bruta, que foi substituída.

O método original de Weende não é satisfatório para se obter informações precisas sobre os carboidratos, pois a Fibra Bruta inclui a celulose e apenas a lignina insolúvel em álcalis. Este fato foi um dos pré-requisitos para a idealização do sistema de extração por detergentes, desenvolvido por Peter J. Van Soest na década de 1960 (Mertens, 2003; Van Soest, 1994). Ainda em relação ao sistema de Weende, no grupo dos Extratos Não Nitrogenados encontram-se frações de naturezas diversas, como amido, hemiceluloses, pectina, lignina solúvel em álcali e os carboidratos solúveis em água. Sob o aspecto nutricional, essa caracterização é inadequada para avaliação de alimentos para ruminantes, pois agrupa em um único resultado da análise compostos que apresentam características nutricionais extremamente distintas.

Assim, Van Soest (1967) propôs a divisão dos componentes da amostra analisada em conteúdo celular, que compreende as frações solúveis em detergente neutro e inclui compostos quimicamente e nutricionalmente definidos, como lipídios, compostos nitrogenados, amido, pectina e outros compostos solúveis em água. Outra fração, chamada de Fibra insolúvel em Detergente Neutro, compreende a parede celular e inclui a proteína insolúvel, as hemiceluloses e a lignocelulose, a qual engloba, principalmente, as frações de lignina e a celulose. Quanto ao aspecto nutricional, a metodologia proposta por Van Soest é capaz de definir melhor os diversos componentes da fração fibrosa, substituindo com vantagens a antiga análise de Fibra Bruta.

Como progressão dos processos de análise dos alimentos para ruminantes, foi proposto o *Cornell Net Carbohydrate and Protein System* (CNCPS). Esse sistema é um modelo matemático desenvolvido para avaliação de dieta e predição do desempenho



animal a partir dos princípios básicos de função ruminal, crescimento microbiano, fisiologia animal, digestão e fluxo dos alimentos. O sistema contempla características de manejo, condições climáticas e a caracterização dos animais e dos alimentos (Fox et al., 2004). Entretanto, o CNCPS foi desenvolvido com base em sistemas de produção característicos de regiões temperadas, com alimentos e padrão racial dos animais distintos dos observados no Brasil. Mesmo apresentando um banco de dados atualizado e expandido sobre alimentos tropicais, considera-se que ainda há necessidade de validação deste sistema.

Ao longo dos anos de pesquisa avaliando o valor nutritivo de forrageiras tropicais, o DZO-EV/UFMG produziu resultados suficientes para formatar um extenso banco de dados acerca da composição química dessas forrageiras. Os estudos foram conduzidos com forrageiras verdes e forrageiras conservadas. Nas Tabelas 1 a 8 são apresentados resultados de composição obtidos para forrageiras avaliadas em 127 trabalhos de pesquisa desenvolvidos pela instituição no período de 1976 a 2012.

**Tabela 1** – Composição química das forragens verdes de *Brachiaria decumbens*, *Brachiaria Brizantha* cv. Marandu e de girassol

Parâmetros <sup>1</sup>	<i>Brachiaria decumbens</i>				<i>Brachiaria brizantha</i>				Girassol			
	n	Média	Mín	Máx	n	Média	Mín	Máx	n	Média	Mín	Máx
MS <sup>2</sup>	5	26,6	22,7	30,4	17	23,2	16,0	28,2	5	24,0	14,6	29,3
MO <sup>3</sup>	1	93,4	-	-	17	91,7	89,1	92,9	1	92,3	-	-
PB <sup>3</sup>	5	6,3	1,3	12,3	17	7,8	4,4	15,8	5	9,6	8,8	11,3
FDN <sup>3</sup>	4	65,0	58,6	70,4	17	66,3	51,7	76,3	5	50,0	46,2	53,6
FDA <sup>3</sup>	3	31,5	26,5	36,4	17	34,8	26,7	56,4	5	37,7	35,7	41,9
HEM <sup>3</sup>	2	30,4	29,4	31,3	8	30,1	24,0	36,5	4	12,4	10,4	17,1
CEL <sup>3</sup>	2	27,2	25,4	29	8	29,1	22,4	33,3	4	29,5	26,2	32,3
EE <sup>3</sup>	1	5,1	5,1	5,1	17	3,4	3,4	3,4	5	10,9	6,3	14,4
LIG <sup>3</sup>	2	4,0	2,4	5,6	17	5,3	2,6	7,9	4	8,2	6,5	10,1
CHO <sup>3</sup>	2	8,7	6,0	11,3	0	-	-	-	4	4,1	2,9	7,2
EB <sup>4</sup>	0	-	-	-	1	7,8	-	-	0	-	-	-

<sup>1</sup>MS = matéria seca, MO = matéria orgânica, PB = proteína bruta, FDN = fibra insolúvel em detergente neutro, FDA = fibra insolúvel em detergente ácido, HEM = hemiceluloses, CEL = celulose, EE = extrato etéreo, LIG = lignina, CHO = carboidratos solúveis, EB = energia bruta; <sup>2</sup>% na matéria natural; <sup>3</sup>% na matéria seca, <sup>4</sup>Kcal/g na matéria seca, n = número de dados que geraram as médias.



**Tabela 2** – Composição química das forragens verdes de sorgo, milho e cana-de-açúcar

Parâmetros <sup>1</sup>	Sorgo				Milho				Cana-de-açúcar			
	n	Média	Mín	Máx	n	Média	Mín	Máx	n	Média	Mín	Máx
MS <sup>2</sup>	14	29,7	13,0	39,2	2	36,4	27,9	44,9	1	28,7	-	-
MO <sup>3</sup>	5	96,9	96,2	97,5	1	97,2	-	-	0	-	-	-
PB <sup>3</sup>	14	7,2	4,8	15,3	2	7,9	7,7	8	1	2,2	-	-
FDN <sup>3</sup>	14	60,8	53,0	66,0	1	60,5	-	-	1	55,1	-	-
FDA <sup>3</sup>	14	33,3	27,4	36,4	1	31,6	-	-	1	32,2	-	-
HEM <sup>3</sup>	14	27,2	20,8	34,4	0	-	-	-	1	22,8	-	-
CEL <sup>3</sup>	14	27,3	20,4	32,6	0	-	-	-	1	27,3	-	-
LIG <sup>3</sup>	14	4,9	2,5	6,3	0	-	-	-	0	5,1	-	-
CHO <sup>3</sup>	10	6,9	2,2	13,3	1	3,4	-	-	1	19,7	-	-

<sup>1</sup>MS = matéria seca, MO = matéria orgânica, PB = proteína bruta, FDN = fibra insolúvel em detergente neutro, FDA = fibra insolúvel em detergente ácido, HEM = hemiceluloses, CEL = celulose, LIG = lignina, CHO = carboidratos solúveis, EB = energia bruta; <sup>2</sup>% na matéria natural; <sup>3</sup>% na matéria seca, n = número de dados que geraram as médias.

**Tabela 3** – Composição química das forragens verdes de *Andropogon gayanus*, milheto e capim-elefante

Parâmetros <sup>1</sup>	Andropogon				Milheto				Capim-elefante			
	n	Média	Mín	Máx	n	Média	Mín	Máx	n	Média	Mín	Máx
MS <sup>2</sup>	2	25,8	24,2	27,3	1	23,1	-	-	4	21,6	17,1	25,2
MO <sup>3</sup>	0	-	-	-	0	-	-	-	4	91,1	88,8	92,9
PB <sup>3</sup>	2	5,9	4,9	6,9	1	11,0	-	-	4	7,8	5,1	10,9
FDN <sup>3</sup>	2	70,9	64,7	77,1	1	60,8	-	-	4	69,5	65,4	74,1
FDA <sup>3</sup>	2	38,8	32,7	44,8	1	33,6	-	-	4	41,7	37,2	44,8
HEM <sup>3</sup>	2	32,2	32,0	32,3	1	27,2	-	-	4	28,7	26,9	29,6
CEL <sup>3</sup>	1	26,6	-	-	1	29,3	-	-	4	36,5	33,6	39,2
EE <sup>3</sup>	1	5,8	-	-	0	-	-	-	4	1,8	1,5	2,3
LIG <sup>3</sup>	1	6,8	-	-	1	4,3	-	-	4	5,0	3,6	6,5
CHO <sup>3</sup>	1	2,1	-	-	0	-	-	-	0	-	-	-
EB <sup>4</sup>	0	-	-	-	1	7,8	-	-	3	4,1	4,0	4,1

<sup>1</sup>MS = matéria seca, MO = matéria orgânica, PB = proteína bruta, FDN = fibra insolúvel em detergente neutro, FDA = fibra insolúvel em detergente ácido, HEM = hemiceluloses, CEL = celulose, EE = extrato etéreo, LIG = lignina, CHO = carboidratos solúveis, EB = energia bruta; <sup>2</sup>% na matéria natural; <sup>3</sup>% na matéria seca, <sup>4</sup>Kcal/g na matéria seca, n = número de dados que geraram as médias.



**Tabela 4** – Composição química das forragens verdes de sorgo x capim-sudão, coast-cross e *Panicum maximum*

Parâmetros <sup>1</sup>	Sorgo x Capim-Sudão				Coast-Cross				<i>Panicum maximum</i>			
	n	Média	Mín	Máx	n	Média	Mín	Máx	n	Média	Mín	Máx
MS <sup>2</sup>	3	14,5	12,8	16,4	1	19,2	-	-	1	20,2	-	-
MO <sup>3</sup>	2	93,2	93,0	93,3	0	-	-	-	0	-	-	-
PB <sup>3</sup>	3	11,8	7,8	17,1	1	8,2	-	-	1	11,0	-	-
FDN <sup>3</sup>	3	66,9	54,5	75,5	1	70,4	-	-	1	67,9	-	-
FDA <sup>3</sup>	3	40,4	29,7	49,7	1	44,2	-	-	1	33,9	-	-
HEM <sup>3</sup>	3	26,8	24,7	29,2	1	36,5	-	-	1	26,4	-	-
CEL <sup>3</sup>	3	36,4	24,3	48,0	1	26,3	-	-	1	34,1	-	-
EE <sup>3</sup>	0	-	-	-	1	5,8	-	-	0	-	-	-
LIG <sup>3</sup>	3	3,9	1,6	5,4	0	-	-	-	0	-	-	-
CHO <sup>3</sup>	2	3,3	1,1	5,4	0	-	-	-	0	-	-	-

<sup>1</sup>MS = matéria seca, MO = matéria orgânica, PB = proteína bruta, FDN = fibra insolúvel em detergente neutro, FDA = fibra insolúvel em detergente ácido, HEM = hemiceluloses, CEL = celulose, EE = extrato etéreo, LIG = lignina, CHO = carboidratos solúveis; <sup>2</sup>% na matéria natural; <sup>3</sup>% na matéria seca, n = número de dados que geraram as médias.

**Tabela 5** – Composição química das silagens de *Bracharia decumbens*, *Brachiaria brizantha* cv. Marandu e girassol

Parâmetros <sup>1</sup>	<i>Bracharia decumbens</i>				<i>Brachiaria brizantha</i>				Girassol			
	n	Média	Mín	Máx	n	Média	Mín	Máx	n	Média	Mín	Máx
MS <sup>2</sup>	5	35,6	28,8	41,0	7	20,5	16	28,1	11	24,1	14,7	36,9
MO <sup>3</sup>	0	-	-	-	2	92,1	91,2	92,9	1	92,4	-	-
PB <sup>3</sup>	5	5,3	4,7	6,4	7	6,5	4,0	9,8	10	9,4	8,1	12,9
FDN <sup>3</sup>	5	74,6	73,1	76,6	7	68,5	60,4	75,7	11	47,3	43,8	52,7
FDA <sup>3</sup>	5	42,6	41,0	43,8	7	38,6	34,6	44,7	11	34,0	24	42,2
HEM <sup>3</sup>	5	32,1	31,1	32,8	7	30,0	25,8	34,6	10	14,3	9,2	26,3
CEL <sup>3</sup>	5	36,7	35,9	37,4	7	32,9	27,9	40,7	10	25,0	16,3	32,9
EE <sup>3</sup>	0	-	-	-	1	3,0	-	-	11	12,4	6,1	17,2
LIG <sup>3</sup>	4	5,8	5,0	6,9	7	5,2	3,5	6,5	10	8,0	6,5	11,6
CHO <sup>3</sup>	5	0,1	0,1	0,2	0	-	-	-	7	0,2	0,1	0,7
EB <sup>4</sup>	0	-	-	-	0	-	-	-	4	4,8	4,7	5,0
Acét <sup>3</sup>	1	2,1	-	-	0	-	-	-	6	2,4	1,1	3,8
Prop <sup>3</sup>	1	40,5	-	-	0	-	-	-	6	0,1	0,0	0,1
But <sup>3</sup>	1	41,1	-	-	0	-	-	-	6	0,3	0,1	0,5
Lát <sup>3</sup>	1	13,4	-	-	0	-	-	-	6	7,8	5,8	11,8
pH	0	-	-	-	6	5,0	4,8	5,5	7	4,5	4,2	4,8
N-NH <sub>3</sub> <sup>4</sup>	0	-	-	-	6	6,7	3,3	14,4	7	7,5	4,4	14,2

<sup>1</sup>MS = matéria seca, MO = matéria orgânica, PB = proteína bruta, FDN = fibra insolúvel em detergente neutro, FDA = fibra insolúvel em detergente ácido, HEM = hemiceluloses, CEL = celulose, EE = extrato etéreo, LIG = lignina, CHO = carboidratos solúveis, EB = energia bruta, Acét = ácido acético, Prop = ácido propiônico, But = ácido butírico, Lát = ácido láctico, pH = potencial hidrogeniônico, N-NH<sub>3</sub> = nitrogênio amoniacal; <sup>2</sup>% na matéria natural; <sup>3</sup>% na matéria seca, <sup>4</sup>Kcal/g na matéria seca, <sup>4</sup>% do nitrogênio total, n = número de dados que geraram as médias.



**Tabela 6** – Composição química das silagens de sorgo, milho e cana-de-açúcar

Parâmetros <sup>1</sup>	Sorgo				Milho				Cana-de-açúcar			
	n	Média	Mín	Máx	n	Média	Mín	Máx	n	Média	Mín	Máx
MS <sup>2</sup>	21	29,9	19,5	39	9	37,5	25,5	48,1	2	21,4	21,1	21,6
MO <sup>3</sup>	18	96,4	96	97,2	1	95,3	-	-	0	-	-	-
PB <sup>3</sup>	18	7,3	5	10,6	9	8,0	7	9	2	2,8	2,6	3,0
FDN <sup>3</sup>	18	54,7	42,9	62,6	9	53,0	44,1	56,8	2	71,4	69,7	73,0
FDA <sup>3</sup>	18	30,2	24,4	38,7	9	29,1	22,6	34	2	42,9	39,6	46,1
HEM <sup>3</sup>	18	24,6	18,5	33,5	8	24,8	21,5	25,9	2	28,5	26,9	30,1
CEL <sup>3</sup>	18	25,5	19,9	44,5	8	20,6	15,7	22,6	2	37,2	34,5	39,8
LIG <sup>3</sup>	18	4,9	2,8	8,1	8	3,7	3,3	4,1	2	5,7	5,1	6,2
CHO <sup>3</sup>	10	1,7	0,1	4,6	6	2,0	0,1	3,1	2	1,6	0,7	2,5
Acét <sup>3</sup>	17	0,8	0,1	1,7	2	1,2	0,8	1,54	1	1,6	-	-
Prop <sup>3</sup>	17	0,2	0,1	0,3	2	0,0	0,02	0,02	1	0,1	-	-
But <sup>3</sup>	7	0,2	0,2	0,3	2	0,0	0,01	0,01	1	0,1	-	-
Lát <sup>3</sup>	17	5,6	2,5	12,6	2	4,9	4,9	4,9	1	4,7	-	-
pH	17	4,9	2,8	8,1	3	3,8	3,3	4,1	1	3,4	-	-
N-NH <sub>3</sub> <sup>4</sup>	20	4,6	1,7	10	1	10,1	-	-	2	4,6	4,4	4,8

<sup>1</sup>MS = matéria seca, MO = matéria orgânica, PB = proteína bruta, FDN = fibra insolúvel em detergente neutro, FDA = fibra insolúvel em detergente ácido, HEM = hemiceluloses, CEL = celulose, EE = extrato etéreo, LIG = lignina, CHO = carboidratos solúveis, Acét = ácido acético, Prop = ácido propiônico, But = ácido butírico, Lát = ácido lático, pH = potencial hidrogeniônico, N-NH<sub>3</sub> = nitrogênio amoniacal; <sup>2</sup>% na matéria natural; <sup>3</sup>% na matéria seca, <sup>4</sup>% do nitrogênio total, n = número de dados que geraram as médias.



**Tabela 7** – Composição química das silagens de *Andropogon gayanus* sorgo, milho e sorgo x capim-sudão

Parâmetros <sup>1</sup>	Andropogon				Milheto				Sorgo x Capim-Sudão			
	n	Média	Mín	Máx	n	Média	Mín	Máx	n	Média	Mín	Máx
MS <sup>2</sup>	1	24,7	-	-	2	26,8	23,6	30	2	15,2	15,0	15,4
MO <sup>3</sup>	0	-	-	-	0	-	-	-	1	93,8	-	-
PB <sup>3</sup>	1	5,5	-	-	2	9,0	6,9	11,1	2	8,4	6,6	10,2
FDN <sup>3</sup>	1	76,8	-	-	2	55,3	53,7	56,9	2	68,1	67,0	69,2
FDA <sup>3</sup>	1	45,9	-	-	2	32,5	31,8	33,2	2	42,9	41,4	44,4
HEM <sup>3</sup>	1	30,9	-	-	1	22,6	-	-	2	25,3	22,7	27,8
CEL <sup>3</sup>	0	-	-	-	1	27,3	-	-	2	39,9	37	42,7
EE <sup>3</sup>	0	-	-	-	1	3,8	-	-	0	-	-	-
LIG <sup>3</sup>	1	6,5	-	-	1	4,2	-	-	2	3,1	1,7	4,4
CHO <sup>3</sup>	1	0,2	-	-	0	-	-	-	2	0,6	0,3	0,9
Acét <sup>3</sup>	1	1,2	-	-	1	1,0	-	-	0	-	-	-
Prop <sup>3</sup>	1	0,1	-	-	1	0,1	-	-	0	-	-	-
But <sup>3</sup>	1	1,0	-	-	1	0,1	-	-	0	-	-	-
Lát <sup>3</sup>	1	4,3	-	-	1	5,8	-	-	0	-	-	-
pH	1	5,0	-	-	1	2,9	-	-	2	4,0	3,7	4,2
N-NH <sub>3</sub> <sup>4</sup>	1	19,7	-	-	1	4,3	-	-	2	6,1	4,8	7,3

<sup>1</sup>MS = matéria seca, MO = matéria orgânica, PB = proteína bruta, FDN = fibra insolúvel em detergente neutro, FDA = fibra insolúvel em detergente ácido, HEM = hemiceluloses, CEL = celulose, EE = extrato etéreo, LIG = lignina, CHO = carboidratos solúveis, Acét = ácido acético, Prop = ácido propiônico, But = ácido butírico, Lát = ácido láctico, pH = potencial hidrogeniônico, N-NH<sub>3</sub> = nitrogênio amoniacal; <sup>2</sup>% na matéria natural; <sup>3</sup>% na matéria seca, <sup>4</sup>% do nitrogênio total, n = número de dados que geraram as médias.



**Tabela 8** – Composição química das silagens de capim-elefante e *Panicum maximum*

Parâmetros <sup>1</sup>	Capim-elefante				<i>Panicum maximum</i>			
	n	Média	Mín	Máx	n	Média	Mín	Máx
MS <sup>2</sup>	1	19,8	-	-	2	22,2	21,8	22,5
MO <sup>3</sup>	1	87,3	-	-	2	86,6	-	-
PB <sup>3</sup>	1	4,7	-	-	2	9,4	6,7	12,1
FDN <sup>3</sup>	1	73,1	-	-	2	62,9	59,0	66,8
FDA <sup>3</sup>	1	45,4	-	-	2	34,4	33,4	35,4
HEM <sup>3</sup>	1	27,8	-	-	0	0	-	-
CEL <sup>3</sup>	1	31,4	-	-	0	0	-	-
LIG <sup>3</sup>	1	13,3	-	-	0	0	-	-
CHO <sup>3</sup>	0	-	-	-	2	0,3	0,2	0,4
EB <sup>4</sup>	1	3,9	-	-	0	0	-	-
Acét <sup>3</sup>	1	0,2	-	-	2	3,4	1,8	4,9
Prop <sup>3</sup>	0	-	-	-	2	1,6	0,2	2,9
But <sup>3</sup>	1	0,1	-	-	2	2,7	0,6	4,8
Lát <sup>3</sup>	1	1,6	-	-	2	1,6	0,3	2,9
pH	1	6,0	-	-	2	4,9	-	-
N-NH <sub>3</sub> <sup>5</sup>	1	3,5	-	-	2	6,1	4,6	7,6

<sup>1</sup>MS = matéria seca, MO = matéria orgânica, PB = proteína bruta, FDN = fibra insolúvel em detergente neutro, FDA = fibra insolúvel em detergente ácido, HEM = hemiceluloses, CEL = celulose, EE = extrato etéreo, LIG = lignina, CHO = carboidratos solúveis, EB = energia bruta, Acét = ácido acético, Prop = ácido propiônico, But = ácido butírico, Lát = ácido láctico, pH = potencial hidrogeniônico, N-NH<sub>3</sub> = nitrogênio amoniacal; <sup>2</sup>% na matéria natural; <sup>3</sup>% na matéria seca, <sup>4</sup>Kcal/g na matéria seca, <sup>5</sup>% do nitrogênio total, n = número de dados que geraram as médias.

### Consumo e digestibilidade *in vivo*

As determinações dos valores de consumo e de digestibilidade aparente de componentes nutritivos de determinado alimento são importantes para conhecimento do seu valor nutricional. Em regra, considera-se que os ensaios *in vivo* envolvendo o consumo, a digestibilidade aparente e a produção animal representam a estratégia mais adequada para a determinação do valor nutricional de alimentos. Por meio dessas avaliações é possível medir a quantidade dos nutrientes ingeridos e a proporção desses nutrientes apta a ser utilizada pelo animal. O consumo e a digestibilidade aparente estão intimamente associados. O primeiro, determinante do aporte de nutrientes e conseqüentemente do atendimento das exigências nutricionais, é considerado a principal



variável que influencia o desempenho animal e, juntamente com a digestibilidade e a eficiência energética, constituem-se nos parâmetros mais importantes relacionados à qualificação de alimentos e, por consequência, associados à produção animal.

Segundo Van Soest (1994), o valor nutritivo de um volumoso é determinado em função de sua contribuição energética para atender as necessidades diárias do animal e da quantidade consumida espontaneamente. Este autor sugeriu que 70% do valor nutritivo de uma forragem estão relacionados ao consumo e os 30% restantes à digestibilidade. Adicionalmente, destacou a existência de alta correlação negativa entre o conteúdo de fibra insolúvel em detergente neutro do alimento e o seu consumo.

O consumo voluntário é a quantidade diária total de alimento ingerido por um animal quando este é oferecido *ad libitum*. É influenciado por fatores físicos e fisiológicos. Os fatores físicos estão relacionados ao enchimento ruminal, estando associados à qualidade do alimento, à abertura do orifício retículo-omasal, aos efeitos da mastigação que estimula a salivação e à motilidade ruminal. Segundo Mertens (1982), em ruminantes alimentados com dieta de densidade energética elevada, o consumo é mais baixo, não sendo limitado pelo enchimento ruminal. Por outro lado, quando a dieta apresenta densidade mínima de energia e poucos nutrientes necessários para atender as exigências do animal, o fator limitante do consumo é o enchimento ruminal. Em relação aos fatores fisiológicos, conforme Thiago & Gill (1990) e Van Soest (1994), o aumento da concentração de produtos do metabolismo (tais como acetato, propionato e butirato), inicialmente no rúmen e depois no sangue, estimulam os receptores quimiostáticos e esses, por sua vez, o centro da saciedade que está localizado no hipotálamo ventro-medial. Ainda segundo Van Soest (1994), embora a teoria glicostática não possa ser utilizada para ruminantes, uma vez que não apresentam



variação da glicemia após a alimentação, os ácidos orgânicos voláteis, principalmente acetato e butirato, podem desempenhar função reguladora, pois a colecistoquinina, hormônio octapeptídeo responsável pela saciedade, pode ter sua secreção aumentada na presença desses ácidos.

Vários fatores podem interferir nos valores de digestibilidade de um alimento volumoso, como o nível de alimentação, tamanho de partícula, idade da forrageira, composição química, processamento sofrido pela forragem, uso de aditivos e a técnica empregada para a mensuração da digestibilidade (Khan et al, 2003). Adicionalmente, condições ambientais e fatores relacionados aos animais que recebem o alimento, como espécie, raça, sexo, idade, peso e condições sanitárias precisam ser considerados para a adequada definição do valor de digestibilidade.

A digestibilidade dos alimentos pode ser determinada pelo chamado método convencional, que consiste em fornecer forragem para animais confinados por determinado período e realizar coletas diárias de alimento oferecido, sobras e produção fecal (Lindahl, 1960). A coleta total de fezes é o método mais confiável para se medir a digestibilidade de um determinado alimento. Contudo é um método que demanda maior tempo experimental, custo e trabalho, além de demandar grande quantidade de alimento. Fundamentalmente, nesse método o animal recebe uma quantidade conhecida de determinado alimento e diariamente são recolhidas as sobras e as fezes. O cálculo de digestibilidade é feito segundo a seguinte fórmula:

$DA = \frac{(kg\ cons \times \%cons) - (kg\ sb \times \%sb) - (kg\ fz \times \%fz)}{(kg\ cons \times \%cons) - (kg\ sb \times \%sb)} \times 100$ , em que:

$$(kg\ cons \times \%cons) - (kg\ sb \times \%sb)$$

*DA = digestibilidade do nutriente em análise*

*kg cons = quantidade de alimento consumido*

*%cons = teor do nutriente no alimento fornecido*



$kg\ sb =$  quantidade de sobras retiradas

$\%sb =$  teor do nutriente nas sobras

$kg\ fz =$  quantidade de fezes coletadas

$\%fz =$  teor do nutriente nas fezes

Os estudos iniciais de consumo e digestibilidade utilizavam bolsas coletoras acopladas aos animais para coletas de fezes, causando desconforto e possíveis interferências sobre o consumo de alimentos. Este tipo de técnica exigia maior tempo de adaptação dos animais e muitas vezes aumentava a duração dos ensaios. A partir da década de 90 os ensaios de consumo e digestibilidade realizados no DZO-EV/UFMG utilizando ovinos passaram a utilizar gaiolas metabólicas individuais confeccionadas em aço e piso com ripado de madeira, nas dimensões de 1,50 X 0,80 m. As gaiolas dispunham de bebedouro em aço inoxidável para água, um cocho em aço inoxidável para volumoso e outro em polietileno para sal mineral. Para a coleta de fezes e urina foi feita adaptação nas gaiolas utilizando-se fundo em funil com caixa coletora e baldes cortados em bisel e cobertos por tela metálica que permitem a separação das excretas. Essa adaptação permitiu maior conforto aos animais, diminuindo o efeito das sacolas coletoras sobre o comportamento dos animais, além de facilitar o trabalho experimental.

Em geral, os ensaios de consumo e digestibilidade aparente exigem período experimental longo, que varia de sete a 21 dias de adaptação dos animais às condições experimentais e de cinco a sete dias de coleta, implicando custo elevado e grande número de amostras para análises. Na tentativa de simplificar tais ensaios mantendo sua acurácia, Pires (2007) avaliou o consumo e a digestibilidade aparente de quatro linhagens isogênicas de sorgo em períodos de coleta de um, três, cinco e sete dias, não observando diferenças entre os períodos de coleta para nenhum dos parâmetros avaliados. Este trabalho sugere que os períodos de coleta neste tipo de estudo podem ser



reduzidos, contudo, sendo necessários trabalhos adicionais avaliando-se outras forrageiras para referendar tais resultados.

Um dos principais limitantes para emprego da técnica de digestibilidade aparente comumente utilizada é a dificuldade para avaliar alimentos consumidos por animais mantidos a pasto, dada à impossibilidade de se mensurar de forma direta o consumo (Streeter, 1969). Entretanto, pode-se utilizar o método dos indicadores, no qual o mesmo pode ser totalmente recuperado em qualquer segmento do trato digestivo do animal experimental, permitindo, assim, estimar a produção fecal e a ingestão total de alimentos. Essas determinações estão baseadas na razão entre a quantidade do indicador consumido e sua concentração nas fezes.

Nos estudos iniciais de consumo e digestibilidade realizados no DZO-EV/UFGM eram feitas avaliações de consumo e digestibilidade da matéria seca, da matéria orgânica, da proteína bruta e da energia. Posteriormente, foram introduzidas às avaliações de balanço de nitrogênio e de digestibilidade de frações fibrosas. Atualmente, foram incluídas avaliações de energia líquida, de produção de metano e de eficiência do uso da energia dos alimentos por ruminantes, avaliações essas que já fazem parte da rotina deste tipo de análises conduzidas na instituição.

Um dos objetivos dos estudos nacionais de consumo e digestibilidade de volumosos realizados é a geração de um banco de dados brasileiro das principais forrageiras utilizadas no país. Essas informações poderão subsidiar o aumento da eficiência dos sistemas de produção nacionais, pois permitem a utilização mais eficiente dos alimentos nas dietas.

Nas Tabelas 9 e 10 são apresentados resultados de trabalhos conduzidos no DZO-EV/UFGM que avaliaram diferentes forrageiras verdes ou ensiladas em ensaios de



consumo e digestibilidade. Trata-se apenas de resultados de consumo e digestibilidade da matéria seca, porém apresentam resultados valiosos para utilização desses alimentos. Tabelas dessa natureza devem ser geradas para todos nutrientes avaliados.

**Tabela 9** – Valores de Ingestão de matéria seca por unidade de tamanho metabólico (IMS g/UTM) e digestibilidade aparente da matéria seca (DMS em %) de forrageiras avaliadas em teses e dissertações realizadas de 1980 a 2012 no DZO-EV/UFMG

	Sorgo de corte	Tanzânia	Andropogon	<i>B. decumbens</i>	Capim elefante
	IMS (g/UTM)				
Média	77,63	58,08	66,87	77,71	73,92
Desvio padrão	10,80	3,94	6,26	1,35	13,83
Máximo	94,79	64,50	71,32	78,89	97,77
Mínimo	65,25	54,60	58,02	76,23	60,28
Tamanho da amostra	6	4	3	3	6
	DMS (%)				
Média	70,12	50,58	53,37	61,11	61,61
Desvio padrão	1,43	4,81	6,36	4,86	7,54
Máximo	72,32	58,40	60,79	66,32	70,72
Mínimo	68,54	45,40	45,26	56,71	52,56
Tamanho da amostra	6	4	3	3	6

Fonte: Teses e dissertações concluídas no DZO-EV/UFMG de 1980 a 2012.

**Tabela 10** – Valores de Ingestão de matéria seca por unidade de tamanho metabólico (IMS g/UTM) e digestibilidade aparente da matéria seca (DMS em %) de silagens avaliadas em teses e dissertações realizadas de 1980 a 2012 no DZO-EV/UFMG

	Silagem				
	Sorgo	Milheto	<i>B. brizanta</i>	Girassol	Milho
	IMS (g/UTM)				
Média	48,28	43,42	47,37	66,73	58,80
Desvio padrão	14,14	0,93	2,24	10,33	9,34
Máximo	68,55	44,22	50,37	85,00	68,10
Mínimo	28,16	42,12	44,07	50,18	38,02
Tamanho da amostra	12	3	4	8	11
	DMS (%)				
Média	41,43	47,75	57,27	51,70	61,78
Desvio padrão	18,50	1,66	2,84	3,37	3,77
Máximo	72,67	49,87	60,88	57,42	70,69
Mínimo	14,38	45,83	52,98	46,91	56,57
Tamanho da amostra	12	3	4	8	17

Fonte: Teses e dissertações concluídas no DZO-EV/UFMG de 1980 a 2012.



A técnica de digestibilidade *in vivo* é utilizada como padrão para avaliação da digestibilidade de alimentos para ruminantes e a uniformização de procedimentos experimentais entre laboratórios corresponde a um dos principais desafios para reduzir a variabilidade e promover maior confiabilidade no emprego dos resultados obtidos.

### **Degradabilidade ruminal *in situ***

Considerações sobre a utilização de forragens pelos ruminantes devem ser feitas no contexto das complexas interações que ocorrem entre os diversos componentes da planta e os microrganismos do retículo-rúmen (Thiago, 1994). A informação sobre a digestão ruminal de forragens é de fundamental importância devido ao fato deste ser o principal sítio de digestão de alimentos fibrosos e o conhecimento da disponibilidade dos nutrientes nesse compartimento é imprescindível para se estabelecer a quantidade e a proporção de nutrientes necessários para a máxima resposta microbiana e animal (Nocek, 1988). Conforme Mertens (1987), existe uma relação direta entre a degradação ruminal e a ingestão de forragens, indicando que o conhecimento da taxa de degradação se mostra um instrumento de significativa importância na ingestão voluntária de forrageiras.

Para Nocek (1988), a metodologia *in situ* de incubação ruminal de amostras de alimentos acondicionadas em sacolas permite o íntimo contato do alimento testado com o ambiente ruminal, não havendo melhor maneira de simular as condições do rúmen (temperatura, pH, substratos tamponantes, enzimas) em determinado regime alimentar específico. Segundo Huntington & Givens (1995), a metodologia de degradabilidade *in situ* é um dos melhores métodos de determinação da degradabilidade ruminal de alimentos e, conforme Mertens (1993), essa metodologia fornece informações precisas



sobre a extensão e a taxa de degradação dos nutrientes, permitindo o estudo da cinética da digestão. Utilizada pelo Agricultural and Food Research Council (1992) e pelo National Research Council (2001) como metodologia padrão para caracterização da degradabilidade ruminal da fração proteica, para Ørskov & McDonald (1979), a metodologia de degradabilidade *in situ* também pode ser a técnica de eleição a ser empregada para estudar a dinâmica ruminal de outros nutrientes.

A metodologia *in situ* de avaliação da degradação ruminal de alimentos baseia-se no uso de animais fistulados no rúmen e nas medidas de desaparecimento de frações das amostras acondicionadas em bolsas mantidas em incubação ruminal por períodos pré-estabelecidos. Embora nos estudos empregando-se esta metodologia as amostras testadas estejam submetidas às condições reais do ambiente ruminal, conforme Van Soest (1994) elas não estão sujeitas à mastigação, à ruminação ou à passagem para os demais compartimentos do sistema digestivo dos ruminantes. Adicionalmente, há uma série de procedimentos experimentais relacionados à bolsa de incubação, à dieta basal, aos animais experimentais, às características das amostras e condições de incubação capazes de influenciar os resultados obtidos pelo emprego desta metodologia.

Quin et al. (1938) empregou bolsas de seda para estudar a digestão ruminal de alimentos por ovelhas fistuladas no rúmen. Estudos posteriores (Balch, 1950; Rodrigez, 1968) já utilizaram bolsas confeccionadas com fibras artificiais (especialmente dácron – um poliéster, ou náilon – uma poliamida) para avaliar a digestão ruminal de alimentos pela metodologia *in situ*. O tamanho do poro da fibra foi considerado por Nocek (1985) e por Michalet-Doreau & Ould-Bah (1992) como fator capaz de influenciar significativamente os resultados da cinética de degradação. Conforme Michalet-Doreau & Ould-Bah (1992), o tamanho do poro influencia a entrada de agentes responsáveis



pela degradação dos alimentos nas sacolas de incubação e também influencia a saída das partículas, fatos que podem influenciar os resultados de degradabilidade. O número de microrganismos no interior das sacolas de incubação é mais baixo que aquele observado no rúmen e quanto menor o tamanho do poro da sacola, maior é esta diferença. Estudo de Van Hellen & Ellis (1977) mostrou que sacolas de incubação com poros de 3  $\mu\text{m}$  é capaz de inibir severamente a penetração de microrganismos. Ainda, segundo Nocek (1985), o uso de sacolas com poros variando de 40 a 102  $\mu\text{m}$  conduz a estimativas de disponibilidade de proteína no rúmen pela metodologia *in situ* mais ajustadas com as estimativas feitas por estudos *in vivo*. Visando o alcance de resultados mais realísticos e a padronização dos procedimentos experimentais da técnica *in situ*, recomenda-se o uso de sacolas de incubação confeccionadas em náilon com malha apresentando poros de tamanho variando de 40 a 60  $\mu\text{m}$ .

Em extensa revisão sobre a utilização da metodologia *in situ* Valadares Filho (1994) considerou que a literatura mostra resultados contraditórios quanto aos efeitos da dieta basal nas degradabilidades dos alimentos. Já Nocek (1988) avaliou que os alimentos testados devem compor a dieta basal e para Thiago (1994) deve-se sempre usar dieta com características mais próximas possíveis ao do material a ser analisado pela metodologia *in situ*. Em estudo executado no DZO-EV/UFMG (Barbosa et al., 1998b) avaliando o efeito da dieta basal sobre a degradabilidade *in situ* da matéria seca de forrageiras foi observado que a dieta pode afetar significativamente os valores de degradabilidade ruminal, sendo concluído que a dieta ideal para se testar simultaneamente várias forrageiras em um mesmo rúmen deve ser composta por forragem de qualidade suficiente para não comprometer a atividade microbiana ruminal e, conseqüentemente, a função de degradação proposta. Sendo ainda verificado que a



qualidade da dieta basal afetou principalmente o valor da degradabilidade potencial. Desta forma, recomenda-se que a dieta oferecida aos animais experimentais forneça as condições mínimas para garantir o crescimento microbiano no rúmen, o que pode ser alcançado com o uso de dieta formulada para atender suas exigências nutricionais.

Os animais utilizados em experimentos de degradabilidade *in situ* podem influenciar os resultados obtidos com a técnica. Para Nocek (1988), em uma mesma espécie, diferenças de sexo e estado fisiológico representam potencial fonte de variação para os resultados obtidos. Essas variações estão relacionadas às taxas de digestão observadas em animais em condições distintas. Nesse sentido, foi recomendado por Huntington & Givens (1995) que todos os animais experimentais de um mesmo experimento devem estar em um mesmo estado fisiológico. Já Pereira & Sampaio (1992) não verificaram diferenças nos valores de degradabilidade da matéria seca ao comparar resultados obtidos com animais europeus ou zebuínos. Por sua vez, estudo desenvolvido por Campos et al. (2006) apresentou variações nos resultados de taxa de degradação da matéria seca e da fibra insolúvel em detergente neutro obtidos em bovinos ou em ovinos. Os ovinos apresentaram maiores taxas de degradação, sendo as diferenças entre espécies atribuídas, principalmente, as características específicas do ambiente ruminal. Os autores concluíram que os ovinos não devem ser considerados modelos experimentais para bovinos em experimentos de degradabilidade *in situ*.

Segundo Romero (1990), a área de exposição da amostra ao líquido ruminal é influenciada pelo tamanho das partículas contidas nas sacolas de incubação. O efeito do tamanho médio das partículas incubadas sobre os resultados obtidos na metodologia de degradabilidade *in situ* foi objeto de estudo em pesquisas desenvolvidas por Weakley et al. (1977), Nocek (1988), Barbosa et al. (1998a) e Campos et al. (2006). Nocek (1985)



estudando farelo de soja moído a 1, 2, 5 mm e farelo não moído não verificou efeito do tamanho das partículas sobre as taxas de degradação da matéria seca ou do nitrogênio e Campos et al. (2006) concluíram que tamanhos de partícula de 1 e 2 mm pouco interferiram nos parâmetros de degradação da matéria seca e da fibra insolúvel em detergente neutro de alimentos volumosos. Contudo, Weakley et al. (1977), também estudando farelo de soja, verificaram maior desaparecimento da matéria seca do farelo moído mais fino. Além disso, o resultado de estudo realizado no DZO-EV/UFMG (Barbosa et al., 1998a), avaliando fatores que afetam a degradabilidade *in situ* da matéria seca de forrageiras tropicais, mostrou que o tamanho médio de partículas de 1, 3 ou 5 mm afetou significativamente os valores de degradabilidade e, conseqüentemente, afetou os parâmetros do modelo de degradação, concluindo que a taxa de degradação é o parâmetro mais sujeito a variação devido às alterações no tamanho de partícula. Embora experimentos de degradabilidade *in situ* tenham sido executados com forrageiras moídas com tamanho médio de partícula de 2 mm, com o objetivo de simular o efeito da mastigação e da ruminação sobre o fracionamento do alimento, visando a padronização entre experimentos, recomenda-se atualmente que os estudos de digestibilidade *in situ* de forrageiras tropicais executados no DZO-EV/UFMG sejam conduzidos com amostras apresentando tamanho médio de partículas de 5 mm.

Variações nos procedimentos de preparação de amostras para incubação na metodologia de degradabilidade *in situ* podem afetar os resultados obtidos (Michalet-Doreau & Ould-Bah, 1992; Udén, 1988). Nocek (1988) recomendou umedecer o material previamente à incubação como estratégia para minimizar os efeitos de diferenças no tamanho de partícula, já que uma vez úmidas as partículas maiores poderiam tornar-se mais acessíveis à ação dos microrganismos ruminais e, desta forma,



reduzir o tempo de colonização. Esta hipótese foi comprovada em ensaio realizado no DZO-EV/UFMG (Pereira & Sampaio, 1992), onde foi verificado que a umidificação do material previamente à incubação foi capaz de reduzir o tempo de colonização. Todavia, em estudo realizado na mesma instituição (Barbosa et al., 1998c), foi concluído que a lavagem prévia das amostras a serem incubadas não deve ser realizada devido à possibilidade deste procedimento acarretar modificações na degradabilidade total e na taxa de degradação conforme características da forrageira avaliada.

Segundo Nocek (1988), a quantidade de amostra ideal para incubação pela metodologia de degradabilidade *in situ* é aquela que permite sobra suficiente de resíduo ao final da incubação para proceder as análises químicas, sem, contudo, preencher as sacolas de incubação de forma a atrasar o ataque microbiano e aumentar o tempo de colonização da amostra, subestimando a taxa de degradação. A relação entre o peso da amostra e a área superficial da sacola de incubação foi estudada por Nocek (1985), que verificou redução das taxas de desaparecimento da matéria seca e do nitrogênio de amostras de farelo de soja com aumentos da relação peso da amostra/área superficial da sacola de incubação de 2,5; 12,6; 25,3 até 37,9 mg/cm<sup>2</sup>. Já Udén (1992) verificou que alterações desta relação de 7,5; 15,0 até 22,5 mg/cm<sup>2</sup> promoveu alteração na taxa de degradação da fibra insolúvel em detergente neutro da palha de trigo. Segundo Nocek (1988) a faixa variando 10 a 20 mg/cm<sup>2</sup> pode ser utilizada para a maioria dos experimentos de degradabilidade *in situ* com forragens, sendo esta a relação atualmente em uso nos experimentos conduzidos no DZO-EV/UFMG.

A dinâmica de degradabilidade de componentes nutritivos no rúmen é descrita por parâmetros inseridos em modelos matemáticos que exigem os valores observados para os desaparecimentos dos nutrientes e os tempos de incubação utilizados no



experimento. Ørskov & McDonald (1979) propuseram o seguinte modelo para descrever a dinâmica de degradação ruminal em experimentos utilizando a metodologia *in situ*:

$$p = a + b (1 - e^{-ct}), \text{ em que:}$$

*p* = percentagem de degradação após um tempo (*t*) de incubação no rúmen

*a* = é o intercepto da curva de degradação no tempo zero, representando o fração solúvel do substrato (completamente degradado)

*b* = degradabilidade potencial do material que permaneceu na sacola de incubação após o tempo zero, que será degradado a partir deste momento e representa o substrato insolúvel potencialmente degradável

*c* = taxa constante de degradação da fração *b* (%/hora)

*t* = tempo de incubação em horas

A fração *a* (solúvel) é determinada pela lavagem de sacolas contendo amostras do alimento avaliado sem que essas sejam incubadas no rúmen, enquanto o substrato não degradável é representado por  $1 - (a + b)$ . Um grupo de pesquisadores com a participação do DZO-EV/UFMG (Sampaio et al., 1995) sugeriu a simplificação deste modelo pelo emprego da seguinte função matemática:

$$p = A + B * e^{-ct}, \text{ em que:}$$

*p* = percentagem de degradação após um tempo (*t*) de incubação no rúmen (mesmo parâmetro do modelo anterior)

*A* = percentagem máxima de degradação do material contido na sacola de incubação em um tempo *t* (correspondente à soma dos parâmetros *a* + *b* do modelo anterior)

*B* = degradabilidade potencial do material incubado a partir do momento da incubação

*c* = taxa constante de degradação da fração da fração que permanece na sacola de incubação após o tempo zero (%/hora)

*t* = tempo de incubação em horas



Com o emprego deste modelo, Sampaio et al. (1995) sugeriram que a qualidade da forrageira deve ser interpretada pelo valor de  $A$  e pela taxa de degradação  $c$ . Onde o maior valor de  $A$  indica uma forrageira mais degradável no rúmen e o maior valor de  $c$  implica em necessidade de menor tempo para que o potencial máximo de degradação das frações nutritivas da forrageira seja alcançado. Adicionalmente, baseando-se no critério de variância generalizada de tal maneira que a eficiência do delineamento seja melhor que qualquer outro delineamento definido por diferentes combinações de pontos experimentais (tempos de incubação), esses autores recomendaram delineamento experimental com apenas três tempos de incubação para se estimar os parâmetros  $A$ ,  $B$  e  $c$ . Recomendaram que, após a inserção das amostras no rúmen, o primeiro tempo de incubação fosse de 6 horas, o segundo entre 21 e 28 horas (dependendo da taxa de degradação – forrageiras de melhor qualidade com valores  $c$  próximos a 0,06 %/hora deveriam ser retiradas mais cedo do rúmen em relação àquelas menos degradáveis com valores de  $c$  próximos a 0,03 %/hora) e o terceiro tempo de incubação de 96 horas. A utilização do delineamento proposto por Sampaio et al. (1995) conduziu à maior precisão nas estimativas de degradabilidade pela metodologia *in situ*, reduziu a necessidade de manipulação excessiva dos animais experimentais e poupou trabalho experimental.

Os resultados de outro estudo realizado no DZO-EV/UFMG (Tomich & Sampaio, 2004) mostrou a possibilidade de utilização de apenas um ruminante fistulado no rúmen para avaliação de forrageiras pela metodologia de degradabilidade *in situ*. Os autores verificaram que as variações devido aos animais, desde que submetidos a condições semelhantes (sexo, idade, dieta, condição fisiológica, etc.), foram menos relevantes em relação às variações determinadas pelo sítio de coleta da forrageira



avaliada. Nesse estudo, a estratégia de coleta da forrageira em vários locais levou a limites de confiança mais realísticos, sugerindo a possibilidade de se trabalhar com um único animal fistulado na metodologia *in situ*. O uso dessa estratégia experimental atende os atuais requisitos de bem estar de animais experimentais, poupa trabalho experimental e pode estimular o emprego da técnica de degradabilidade *in situ* com desenhos experimentais mais simples.

Além da atual restrição para uso de animais em experimentos, especialmente o uso de animais fistulados, a falta de padronização de procedimentos experimentais entre laboratórios e entre experimentos representa um desafio para o emprego da metodologia de degradabilidade *in situ* para a avaliação de forrageiras. Essa falta de padronização é considerada a mais importante fonte de variação de resultados obtidos com o emprego da metodologia de degradabilidade *in situ*, capaz de conduzir à baixa repetibilidade de resultados obtidos para avaliação de uma mesma forrageira. Na tentativa de reduzir as variações entre experimentos, os principais procedimentos para emprego desta metodologia no DZO-EV/UFMG seguem as recomendações apresentadas na Tabela 11.

**Tabela 11** – Recomendações para padronização dos principais procedimentos experimentais empregando-se a metodologia de degradabilidade *in situ* para avaliação de forrageiras em estudos conduzidos no DZO-EV/UFMG

Variável	Especificação
<i>Sacola de incubação</i>	<i>Confeccionada em náilon ou dácron com malha apresentado tamanho de poro de 40 a 60 <math>\mu</math>m</i>
<i>Dieta do animal experimental</i>	<i>Formulada para atender as exigências nutricionais</i>
<i>Tamanho de partícula da amostra</i>	<i>5 mm</i>
<i>Relação entre o peso de amostra e a área superficial das sacolas de incubação</i>	<i>10 a 20 mg/cm<sup>2</sup> de área útil da sacola de incubação</i>



Um questionamento adicional sobre o emprego da técnica *in situ* para estimar a degradabilidade ruminal da fração protéica de forragens relaciona-se à contaminação microbiana dos resíduos de incubação, podendo conduzir a valores subestimados de degradabilidade dessa fração. Para contornar este problema, Valadares Filho et al. (1992) recomendaram a utilização de indicador bacteriano para corrigir a degradabilidade da proteína bruta quando se avalia volumosos de baixo teor protéico.

Outra crítica acerca do uso da técnica *in situ* para avaliar degradabilidade da proteína baseia-se no fato de parte da fração protéica que escapa à degradação ruminal não ser aproveitada pelo animal. Por este motivo, Valadares Filho (1994) considerou que a determinação da degradabilidade ruminal da proteína sem o conhecimento da digestibilidade das frações protéicas que escapam à degradação ruminal parece não ser adequada e recomendada. Não existindo resultados de estudos de digestibilidade pós-ruminal das frações protéicas, recomenda-se, alternativamente, que o emprego da técnica *in situ* para avaliação de forrageiras seja associada à determinação dos teores de nitrogênio insolúvel em detergente ácido, fração cujos compostos nitrogenados são indisponíveis para os animais.

Por outro lado, destaca-se que o avanço no conhecimento acerca do valor nutritivo de forrageiras passa pelo conhecimento detalhado da utilização de frações nutritivas no ambiente ruminal, conhecimento este que pode ser alavancado com os recentes estudos implantados no DZO-EV/UFMG envolvendo a técnica da microscopia eletrônica, os quais exigem o emprego da metodologia de degradabilidade *in situ* para a produção de amostras que passarão pelo estudo de microscopia.



## **Digestibilidade *in vitro* e técnica *in vitro* de produção de gases**

A partir da década de 70 a técnica de digestibilidade *in vitro* da matéria seca de dois estágios proposta por Tilley & Terry (1963) passou a ser utilizada como prova biológica de rotina no DZO-EV/UFMG para avaliação de alimentos para ruminantes, resíduos agroindustriais e forrageiras tropicais (Paiva et al., 1978; Escuder et al., 1979).

A avaliação da digestibilidade *in vitro* foi implantada no laboratório de nutrição animal do DZO-EV/UFMG na década 70, quando passou a complementar a caracterização da composição bromatológica dos alimentos. Já nas décadas de 80 e 90, a metodologia passou a ter seu emprego ampliado para a avaliação do efeito de tratamentos alcalinos em alimentos fibrosos (Rodriguez et al., 1990; Saliba et al., 1998), do efeito do processo de ensilagem no valor nutritivo da forragem (Pinto et al., 1997) e na avaliação de bancos de germoplasma forrageiro de milho (Borges et al., 1998), sorgo (Borges et al., 1997; Gonçalves et al., 1998), milheto (Antunes et al., 1999), girassol (Gonçalves et al., 1999) e de gramíneas e leguminosas tropicais na forma de planta verde, silagem ou feno.

A partir do ano 2000, com a aquisição de fermentadores automáticos do tipo “Daisy”, a capacidade analítica do laboratório de Nutrição Animal do DZO-EV/UFMG, foi ampliada, permitindo a automatização de parte do processo analítico, o que atualmente vem permitindo a avaliação de grande quantidade de genótipos forrageiros.

As técnicas *in vitro* geralmente são conduzidas em duas fases, onde a primeira, chamada de fase fermentativa, simula a digestão que ocorre no rúmen e, portanto, pode ser empregada para a predição da digestão ruminal dos alimentos. Todavia, não descreve a cinética, mas apenas a extensão da digestão. Assim, Tomich et al. (2006a) propôs adaptações metodológicas com objetivo de predizer a cinética de degradação



ruminal da matéria seca de volumosos. Para tal, comparou os resultados da cinética de degradação ruminal obtidos pela técnica *in situ* aos resultados obtidos pela fase fermentativa da técnica de Tilley e Terry (1963) empregando diferentes tempos de incubação das amostras de forrageiras. Os autores mostraram o potencial da técnica adaptada para determinar os parâmetros da cinética de degradação ruminal da matéria seca de volumosos e destacaram vantagens sob a técnica *in situ* devido a mais alta capacidade de análise da metodologia *in vitro*. Assim, indicaram a aplicação da metodologia adaptada para a execução de estudos que requerem análise de grande número de substratos em um mesmo experimento, como os demandados pelos ensaios nacionais de avaliação de genótipos para produção de silagem que o DZO-EV/UFMG vem desenvolvendo em parceria com a Embrapa desde a década de 80.

No ano 2000, com a necessidade de ampliação da qualificação fenotípica de genótipos forrageiros por meio de metodologias biológicas, foi implantada no DZO-EV/UFMG o Laboratório de Produção de Gases. A metodologia inicialmente empregada foi a sugerida por Maurício et al. (1999) com a utilização de transdutor manual para a mensuração dos gases de fermentação em intervalos regulares. Após as adaptações para avaliação de forrageiras tropicais sugeridas por Maurício et al. (2003), a metodologia passou a ser empregada em ensaios com grande número de amostras, permitindo a caracterização da extensão e cinética da fermentação ruminal *in vitro* da fração carboidrato de recursos forrageiros tropicais.

Desde então, vem sendo realizadas comparações entre espécies forrageiras (Tomich et al., 2006b), entre condições climáticas e agronômicas de cultivo (Castro et al., 2007), e entre diferentes genótipos, híbridos ou variedades de uma mesma espécie (Tomich et al., 2004). Vem sendo utilizada também para avaliar o efeito de tratamentos



químicos (Faria et al., 2008) e da presença de compostos secundários (Pires et al., 2006) sobre a fermentabilidade de diferentes substratos. Ou mesmo visando estudar fontes alternativas de inoculo ruminal, como, por exemplo, as fezes (Maurício et al., 2001). As taxas de degradação dos carboidratos são normalmente obtidas a partir de técnicas gravimétricas (in situ e digestibilidade in vitro), as quais apresentam limitações, por serem laboriosas, não apresentar boa repetibilidade e não permitir a determinação das taxas de digestão da fração solúvel dos alimentos (Nogueira et al., 2006), problemas que são abrandados com a utilização da técnica in vitro de produção de gases.

A metodologia foi importante como ferramenta auxiliar para a determinação do ponto ótimo de ensilagem, fenação ou de uso na forma verde das principais espécies forrageiras (Pereira et al., 2005; Pires et al., 2006; Castro et al., 2007; Jayme et al., 2009). Também vem sendo utilizada para a avaliação de mistura de alimentos (Faria et al., 2008) e de efeitos associativos, já que a técnica permite a incubação de mais de um alimento em um mesmo frasco de fermentação. Leite et al. (2002), avaliaram o efeito da substituição da silagem de milho por silagem de girassol e não observaram efeitos associativos significantes.

Recentemente, a técnica vem sendo utilizada para a avaliação nutricional de forrageiras implantadas na forma de sistemas de integração lavoura pecuária floresta. Sousa et al. (2011) reportaram a influência de diferentes intensidades de luz sobre a cinética de fermentação ruminal in vitro da *Brachiaria brizantha* implantada em sistema silvipastoril. Os autores concluíram que o sombreamento propiciado pelas espécies arbóreas não influenciaram os padrões de fermentação in vitro ao longo do ano.

A partir do ano de 2012 a técnica in vitro semiautomática de produção de gases do laboratório de nutrição animal do DZO-EV/UFMG vem sendo adaptada para



permitir a avaliação da emissão de metano. Para tal, além da mensuração do volume de gases produzidos e da matéria seca/orgânica degradada (método gravimétrico) os metabólitos da fermentação vêm sendo quantificados (ácidos graxos voláteis, dióxido de carbono, metano, nitrogênio amoniacal). Este detalhamento metodológico representa um dos desafios da técnica *in vitro* semiautomática, já que a produção dos gases é influenciada pela relação estequiométrica dos ácidos graxos voláteis produzidos. As análises das concentrações de metano e dióxido de carbono vêm sendo realizadas por meio de cromatografia gasosa. Os resultados gerados poderão complementar os parâmetros agrônômicos, a composição bromatológica e os testes biológicos já realizados nos experimentos do DZO-EV/UFGM, contribuindo para o desenvolvimento de técnicas de manejo e desenvolvimento de genótipos forrageiros superiores que apresentem potencial para a mitigação de gases de efeito estufa. Como perspectiva futura, prevê-se a automação metodológica que poderá propiciar menores custos operacionais e maior precisão dos resultados na avaliação de forrageiras tropicais.

### **Desempenho animal**

Apesar de propiciar o conhecimento da constituição química e bromatológica, os métodos de análise de alimentos de Weende e de Van Soest não são capazes de informar quanto à efetividade de assimilação dos nutrientes determinados laboratorialmente pelo organismo animal e sua utilização para manutenção e produção, uma vez que nessas determinações nutricionais não estão envolvidos componentes biológicos dos animais (Alves et al., 2008).

Técnicas *in vitro* e *in situ* têm sido desenvolvidas para estimar a digestibilidade e a extensão da degradação ruminal das forrageiras, bem como estudar a sua variação em



resposta a mudanças da dieta e/ou das condições ruminais (Senger, 2005). Entretanto, determinadas forrageiras tropicais ou dietas apresentam certas divergências quando são contrapostos os resultados de ensaios envolvendo técnicas *in vitro* com ensaios envolvendo animais, como, por exemplo, a utilização de cana de açúcar hidrolisada com óxido de cálcio. Segundo Campos (2010), apesar dos bons resultados obtidos nas avaliações feitas por técnicas *in vitro*, os poucos resultados da literatura de ensaios com animais alimentados com cana hidrolisada não confirmavam a mesma tendência.

Em relação à determinação do consumo, uma maneira relativamente simples e rápida seria a utilização dos atuais sistemas nutricionais mecanísticos, entre os quais se destacam o NRC (Nutrient Requirement Council) e o CNCPS. Porém, além destes sistemas demandarem um grande número de informações referentes aos animais, alimentos, manejo e condições ambientais, ensaios conduzidos em condições tropicais têm revelado certa ineficiência de tais sistemas em predizer o consumo ou o desempenho dos animais. Como observado na Tabela 12, Rezende et al. (2011) trabalhando com novilhos mestiços confinados recebendo silagem de sorgo e concentrado, em diferentes proporções, demonstraram certas limitações destes modelos em predizer de forma acurada o consumo e o desempenho dos animais alimentados com diferentes dietas. Desta forma, a realização de ensaios mensurando o consumo e o desempenho animal é fundamental para se avaliar de forma mais criteriosa o valor nutricional e o potencial de produção de determinado alimento ou dieta.



**Tabela 12** – Consumo de matéria seca e ganho em peso diário observado e predito pelas equações do *Nutrient Requirement Council* (NRC) e *Cornell Net Carbohydrate and Protein System* (CNCPS)

Tratamento	NRC	CNCPS	Observado
Consumo de matéria seca (Kg/dia)			
TM	8,13 <sup>a</sup>	9,03 <sup>a</sup>	8,21 <sup>a</sup>
TA	7,74 <sup>b</sup>	8,72 <sup>b</sup>	8,86 <sup>a</sup>
Ganho em peso diário (Kg/dia)			
TM	1,12 <sup>b</sup>	1,26 <sup>b</sup>	1,33 <sup>a</sup>
TA	1,31 <sup>b</sup>	1,52 <sup>a</sup>	1,45 <sup>b</sup>

TM = médio nível de inclusão de concentrado na dieta; TA = alto nível de inclusão de concentrado na dieta. Letras diferentes na linha indicam diferença estatística ( $p < 0,05$ ) pelo teste t entre os valores preditos pelos modelos e os observados. Fonte: Rezende et al. (2011).

A contribuição da pesquisa ainda se mostra discreta quanto à qualificação de forrageiras tropicais com base em estudos de desempenho animal. Revisando trabalhos publicados em periódicos científicos nacionais sobre a utilização de aditivos microbiológicos em silagens de milho, sorgo, cana de açúcar e capins tropicais durante o período de 1999 a 2009, Zopollatto et al. (2009) observaram que o número de trabalhos que envolviam os efeitos sobre o desempenho animal eram insuficientes para que fossem estabelecidas equações de regressão múltiplas, em especial, no caso do gado leiteiro, revelando uma mínima frequência de exploração dessa linha de pesquisa pela comunidade científica. Segundo Benedetti (1994), a carência de experimentos com vacas de leite manejadas em pastagens estão relacionadas às dificuldades técnicas e elevados custos para sua realização, sendo estas justificativas também aplicáveis às demais categorias animais.

Ao longo dos anos, foi consolidada no DZO-EV/UFMG a linha de pesquisa de avaliação do valor nutritivo de forrageiras tropicais, sendo possível, diante do grande número de resumos, artigos, dissertações e teses publicadas, criar um extenso banco de dados sobre a composição química, a digestibilidade in vitro e in vivo e a



degradabilidade in situ de forrageiras tropicais em diferentes estádios de crescimento, seja na forma verde, fenada ou ensilada. Contudo, houve até o presente momento uma deficiência quanto à realização de ensaios envolvendo desempenho animal em paralelo a essas avaliações, o que pôde ser observado diante do reduzido número de trabalhos conduzidos com este fim. Dentre os trabalhos realizados, os animais experimentais foram constituídos, principalmente, por vacas em lactação, sendo a forrageira tropical objeto do estudo representando apenas parte da dieta total (Tabela 13).

**Tabela 13** – Ensaios desenvolvidos no DZO-EV/UFMG envolvendo a avaliação do desempenho de animais alimentos com diferentes forrageiras tropicais

FORAGEIRA AVALIADA	FORMA DE UTILIZAÇÃO	CATEGORIA ANIMAL	INCLUSÃO NA DIETA	OBJETIVO
<i>Sorghum bicolor</i> Moench <sup>1</sup>	L. Silagem	Vacas em lactação	100% volumoso	do Efeito da adição de aditivos microbiológicos
<i>Helianthus annuus</i> L. <sup>2,3</sup>	Silagem	Vacas em lactação	34%, 66% e 100% volumoso	do Efeito do nível de inclusão na dieta
<i>Zea mays</i> <sup>4</sup>	Silagem	Vacas em lactação	100% volumoso	do Efeito do cultivar e/ou híbrido de milho
<i>Zea mays</i> <sup>5</sup>	Silagem	Vacas em lactação	Diferentes níveis volumoso	do Efeito do cultivar e/ou híbrido de milho, processamento e nível de inclusão na dieta
<i>Saccharum officinarum</i> <sup>6</sup>	Fresca e hidrolisada	Vacas em lactação	100% volumoso	do Efeito da adição de diferentes níveis de CaO
<i>B. decumbens</i> , <i>P. purpureum</i> ou <i>P. maximum</i> <sup>7</sup>	P. Pastagem	Vacas em lactação	100% volumoso	do Potencial de diferentes forrageiras
<i>B. decumbens</i> ou <i>P. maximum</i> , <i>A. Pintoi</i> e <i>S. guianensis</i> <sup>8</sup>	P. Pastagem	Vacas em lactação	100% volumoso	do Potencial de diferentes forrageiras
<i>B. decumbens</i> , <i>G. wightii</i> <sup>9</sup>	P. Pastagem e feno	Novilhos azebuados	100% da dieta	Potencial de diferentes forrageiras

<sup>1</sup>Meokarem (2009); <sup>2</sup>Leite (2002); <sup>3</sup>Silva (2002); <sup>4</sup>Oliveira (2006); <sup>5</sup>Moreira (2000); <sup>6</sup>Campos (2010); <sup>7</sup>Benedetti (1994); <sup>8</sup>Leopoldino (2000); <sup>9</sup>Sardá (1983).



Avaliando forrageiras tropicais sob a forma de pastagens foram conduzidos apenas três ensaios no DZO-EV/UFGM, sendo um avaliando apenas gramíneas e dois com gramíneas e leguminosas. Benedetti (1994) observou que a produção de leite corrigido para 3,5% de gordura de vacas 7/8 (holandês x zebu) no terço inicial da lactação mantidas em pastagens de *Brachiaria decumbens* foi inferior (14,4 Kg de leite/dia) à dos animais mantidos em pastagens de *Panicum maximum* cv. Colômbio (16,7 Kg de leite/dia) e de *Pennisetum purpureum* cv. Napier (15,5 Kg de leite/dia). No trabalho de Leopoldino (2000) foi avaliada a produção de leite de vacas mestiças manejadas em pastagens puras de *Brachiaria decumbens* ou *Panicum maximum* cv. Tanzânia e pastagens consorciadas de *Brachiaria decumbens* e *Arachis Pintoi* ou *Stylosanthes guianensis* cv. Mineirão. A produção de leite dos animais mantidos em pastagens consorciadas com *Arachis pintoi* (10,9 Kg de leite/dia) ou *Stylosanthes guianensis* (10,9 Kg de leite/dia) foi semelhante à dos animais mantidos em pastagens de Tanzânia (10,7 Kg de leite/dia), porém superior à observada em vacas mantidas em pastagens puras de *Brachiaria decumbens* (9,3 Kg de leite/dia). No terceiro ensaio, Sardá (1983) concluiu que em taxas de lotação da pastagem mais elevadas, a suplementação com soja perene sob forma de pastejo na época seca melhorou o desempenho animal de novilhos azebuados.

Apenas um trabalho foi realizado no DZO-EV/UFGM para avaliar a resposta do uso de inoculantes, corroborando com a escassez de trabalhos na literatura verificada por Zopollatto et al. (2009) quanto ao desempenho de animais alimentados com silagens de milho, sorgo, cana de açúcar ou capins tropicais adicionadas de aditivos microbiológicos. No estudo de Meokarem (2009) não houve diferença no consumo de matéria seca, na produção e composição do leite de vacas alimentadas com silagem de



sorgo sem aditivo ou adicionada de inoculante contendo *Propionibacterium* spp. ou *Lactobacillus buchneri*.

Dois trabalhos conduzidos no DZO-EV/UFMG avaliaram o potencial de utilização de silagem de girassol na dieta de vacas em lactação. Foi demonstrado que a inclusão parcial de silagem de girassol na dieta de vacas leiteiras no terço inicial de lactação, em substituição à silagem de milho, foi viável, não afetando as produções de leite, proteína e gordura. A substituição completa da silagem de milho pela silagem de girassol afetou negativamente os consumos e as digestibilidades da matéria seca, da matéria orgânica e da fibra insolúvel em detergente neutro (Leite, 2002; Silva, 2002).

Apesar de o milho ser a principal espécie cultivada para produção de silagem, apenas dois trabalhos no DZO-EV/UFMG avaliaram o desempenho de animais alimentados com silagem de milho. Em um dos trabalhos, Oliveira (2006) relatou que silagens de milho QPM (quality protein maize - perfil modificado de aminoácidos) não foram capazes de proporcionar resultados positivos em relação à produção e composição do leite de vacas leiteiras com produção média de 18,9 Kg leite/dia. Em um trabalho mais extenso, Moreira (2000) desenvolveu uma sequência de experimentos avaliando diferentes tipos, processamentos e níveis de inclusão de silagens de milho nas dietas de vacas leiteiras de alta produção. Ao final do trabalho chegou-se às conclusões:

- ✓ Animais alimentados com silagem de milho como volumoso único ou adicionado de feno de alfafa de baixa qualidade apresentaram ingestão de matéria seca e produção de leite inferiores, quando comparados aos animais que receberam misturas de silagem de milho e silagem de alfafa;



- ✓ O processamento (passagem através de rolos) de silagens de milho com alta proporção de grãos na planta inteira, proporcionou aumentos de 1,9 Kg de leite/dia e 4,0 Kg de leite corrigido para 3,5% de gordura/dia;
- ✓ Silagens de milho de materiais folhosos, alto óleo, endosperma ceroso ou granífero proporcionaram resultados semelhantes quanto à ingestão de matéria seca, produção de leite e de seus constituintes bem como da eficiência alimentar.
- ✓ Animais alimentados com a silagem do híbrido mutante (portador de nervura marrom) apresentaram os melhores desempenhos produtivos;
- ✓ A utilização de altos níveis de forragem na dieta não resultou em efeito negativo sobre o consumo e desempenho de vacas leiteiras, quando o volumoso era constituído por silagem de milho de nervura marrom.

Diante do interesse da pesquisa em tentar superar as limitações nutricionais da cana de açúcar, devido ao grande potencial produtivo dessa forrageira, Campos (2010) em sua tese de doutorado no DZO-EV/UFMG avaliou o desempenho de fêmeas leiteiras alimentadas com cana de açúcar tratada ou não com óxido de cálcio. Segundo o autor, a adição de óxido de cálcio em diferentes níveis de inclusão comparada à dieta a base de cana de açúcar in natura reduziu o desempenho produtivo de vacas em lactação devido ao menor consumo de matéria seca verificado nestas dietas. Esse resultado contrariou o aumento linear da degradabilidade in situ da matéria seca e da matéria orgânica observado neste mesmo estudo com o aumento do nível de inclusão de CaO em dietas a base de cana de açúcar. Este fato reforça a necessidade dos estudos de desempenho animal para qualificar adequadamente recursos forrageiros.

Por serem mais onerosos trabalhosos e demandarem mais tempo e instalações adequadas e grande quantidade de alimento e de animais para sua realização, os ensaios



de desempenho animal têm sido conduzidos com menor frequência no DZO-EV/UFG. Devido a essas limitações, uma possibilidade seria selecionar, a partir dos resultados das técnicas de avaliação *in vitro* e *in situ* bem como de composição química, aqueles materiais que apresentassem maior potencial de utilização na alimentação animal para que fossem então realizados ensaios de desempenho.

### **Respirometria**

A utilização da energia da dieta tem sido alvo de pesquisa desde os tempos de Leonardo da Vinci (1452-1519), Joseph Priestly (1733-1804) e Antonie-Laurent Lavoisier (1743-1794). A descoberta de que o uso dos nutrientes do alimento para a manutenção da vida dos animais e de suas funções produtivas é um processo de combustão proveu a base para o entendimento do uso da energia dietética pelos animais (Johnson et al., 2003). As leis da termodinâmica e a lei de Hess também foram fundamentais para o estudo da transformação da energia no meio biológico.

A partir da determinação da energia contida em um alimento, pela combustão total em bombas calorimétricas adiabáticas, procurou-se desenvolver sistemas de avaliação que refletissem a capacidade do mesmo em prover uma resposta produtiva dos animais. Para tanto, a determinação dos gastos energéticos dos animais tem sido foco de pesquisa há anos. A habilidade de quantificar todas as perdas de energia pelos ruminantes só foi possível após a descoberta do metano nos gases respiratórios e compreensão dos fatores que influenciam a perda de calor (Van Soest, 1994).

As câmaras respirométricas constituem uma ferramenta metodológica para os estudos em Bioenergética, que tem como objetivo a compreensão e a mensuração dos processos de intercâmbio energético que ocorrem no animal. Nos ensaios de



respirometria, as trocas gasosas (consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono e metano) e a excreção de nitrogênio urinário são mensuradas, e a produção de calor é estimada a partir da equação de Brouwer (1965). Esse método baseia-se no princípio de que a produção de calor metabólico é resultado da oxidação de compostos orgânicos. Dessa forma, se fossem oxidados completamente todos os compostos, a produção de calor poderia ser calculada pela quantidade de oxigênio consumida e a quantidade de dióxido de carbono produzida. Entretanto, outras formas de perda de calor devem ser consideradas: a oxidação incompleta da proteína, a qual determina a formação de compostos nitrogenados combustíveis que são excretados com a urina, sendo a ureia o principal composto; e a fermentação anaeróbica, a qual produz gases combustíveis, principalmente, o metano, devendo dessa maneira, ser também computada no cálculo (Resende et al., 2006).

A realização dos ensaios de metabolismo e de respirometria permite o estabelecimento da partição da energia consumida, pela mensuração das perdas nas fezes, urina, e na forma de metano e calor. Desta forma, a utilização de câmaras respirométricas possibilita a determinação dos teores de energia metabolizável e líquida dos alimentos, bem como das eficiências de utilização da energia consumida pelo animal para diferentes funções fisiológicas, como manutenção, crescimento, gestação e produção.

A técnica de respirometria apresenta como vantagens: custo experimental relativamente mais baixo; tempo de experimentação reduzido; menor volume de análises laboratoriais; o fluxo de emissão de metano pelos animais é mensurado nas câmaras respirométricas permitindo o cálculo da energia metabolizável real e da



produção diária de gases de efeito estufa; dispensa o abate dos animais, sendo bem aceita pelos comitês de ética na experimentação animal.

Em 1954, K. L. Blaxter, após a implantação de duas câmaras respirométricas no Reino Unido, iniciou uma série de pesquisas em calorimetria animal. Naquela época, pesquisas semelhantes foram iniciadas nos Estado Unidos da América, na França e na Alemanha; na década de 60, na Dinamarca; e no fim da década de 80, na Austrália e na Holanda. A maioria dos ensaios de respirometria ou calorimetria indireta para estudo do metabolismo energético de ruminantes tem sido realizada utilizando-se câmaras respirométricas com sistema de fluxo aberto.

Nos sistemas de circuito aberto, o ar externo passa através das câmaras sendo amostrado na entrada e na saída, e sua composição analisada. Conhecendo-se o fluxo de ar (litros por minuto) e a concentração dos gases, é possível calcular as quantidades de dióxido de carbono e metano produzidas e a quantidade de oxigênio consumida (Resende et al., 2006). A câmara de circuito aberto foi planejada por Pettenkoffer e Voit em 1875, embora naquela época apenas o volume de ar e seu teor de dióxido de carbono podiam ser mensurados. Com o desenvolvimento de métodos químicos para análise de oxigênio, esse método tornou-se amplamente utilizado para mensuração dos gastos energéticos dos animais. Entretanto, esse sistema caiu em desuso devido à dificuldade de se analisar grande número de amostras com acurácia e praticidade. Posteriormente, o desenvolvimento de analisadores de gases eletrônicos, com alta precisão, despertou novamente o interesse pelo método.

Descrições de sistemas convencionais de respirometria de circuito aberto podem ser encontradas nos trabalhos de Yong et al. (1975), Bryant et al. (1977); McLean & Tobin (1987) e Miller & Koes (1988). Já versões mais modernas desse sistema são



descritas por Odongo et al. (2007) e Rodriguez et al (2007). Em março de 2012 foi publicado um manual sobre projetos de câmaras respirométricas instaladas na Nova Zelândia, Austrália, Bélgica, Dinamarca, Espanha e Suíça, com detalhamento das dimensões, materiais, equipamentos, procedimentos para calibração e orçamento (Pinares & Waghorn, 2012).

Depois de 20 anos de esforços despendidos por professores do DZO-EV/UFMG, em 2006 foi instalado o primeiro Laboratório de Calorimetria Animal da América Latina, em Belo Horizonte – MG, contemplando atualmente uma câmara respirométrica para bovinos e três câmaras para pequenos ruminantes. Esse esforço tem possibilitado estudos de bioenergética de grande repercussão para a área de pesquisa em Nutrição Animal nos Trópicos (Rodriguez et al., 2007).

Diante da carência absoluta de estudos voltados à determinação do conteúdo de energia líquida dos alimentos no Brasil, o DZO-EV/UFMG vem conduzindo experimentos, utilizando a técnica de respirometria calorimétrica, visando à elaboração de um banco de dados com os teores de energia líquida de diversas forrageiras utilizadas nas regiões tropicais. Um banco de dados para a emissão de metano entérico por ruminantes alimentados com volumosos tropicais também vem sendo estruturado, o que tem permitido a determinação da energia metabolizável dos alimentos sem a utilização da fórmula de Blaxter & Clapperton (1965), bem como auxiliará na elaboração do inventário nacional de emissão de gases de efeito estufa pela pecuária.

Desta forma, a utilização de câmaras respirométricas representa um refinamento na avaliação de alimentos, gerando fenótipos qualificados que poderão ser utilizados nos programas de melhoramento genético de forrageiras para o desenvolvimento de



materiais que atendam às novas demandas da sociedade, permitindo maior eficiência de uso da energia e nutrientes da dieta pelos animais e menor impacto ambiental.

Desde 2006 vem sendo conduzidos estudos em bioenergética para forrageiras tropicais no DZO-EV/UFMG, já tendo sido avaliadas diversas forrageiras tropicais, em diferentes estádios fisiológicos e formas de conservação (Tabela 14).

**Tabela 14** – Estudos em bioenergética para avaliação de forrageiras tropicais já conduzidos no Laboratório de Metabolismo e Calorimetria do DZO-EV/UFMG, entre 2006 e 2012

FORAGEIRA	Forma de conservação	Época de corte/ Estádio fisiológico	Autor
<i>Brachiaria decumbens</i>	Verde	56, 84 e 112 dias de crescimento	Velasco, 2011
<i>Brachiaria decumbens</i>	Silagem	56, 84 e 112 dias de crescimento	Dados ainda não publicados
<i>Brachiaria decumbens</i>	Feno	56, 84 e 112 dias de crescimento	Ramirez, 2011
Tifton 85 ( <i>Cynodon spp.</i> )	Feno	27, 43, 73 e 84 dias de crescimento	Dados ainda não publicados
Tifton 85 ( <i>Cynodon spp.</i> )	Silagem	27, 45, 56, 74 e 90 dias de crescimento	Faria Júnior, 2012
Híbridos de sorgo forrageiro (BRS 610, BR 700 e BRS 655)	Silagem	Estádio dos grãos leitoso, pastoso e farináceo	Machado, 2010
Híbridos de milho (BRS 1035, BRS 1031 e BRS 1001)	Silagem	87, 94, 101 e 171 dias após o plantio	Dados ainda não publicados
Híbridos de sorgo com capim-sudão, normais e mutantes BMR	Verde	64 dias após o plantio	Ribas, 2010
<i>Andropogon gayanus</i>	Silagem	56, 84 e 112 dias de crescimento	Ribeiro Júnior et al. 2011.
<i>Panicum maximum</i> cv Tanzânia	Silagem	42, 63, 84 e 107 dias	Castro (2008)

Nos estudos de bioenergética das forrageiras tropicais conduzidos no DZO-EV/UFMG, são estabelecidas a partição de energia (perdas nas fezes, urina, metano e calor), os consumos de energia bruta, digestível, metabolizável e líquida e os parâmetros de avaliação da eficiência de uso da energia consumida: digestibilidade aparente da



energia bruta, metabolizabilidade da energia bruta ( $q_m$ ) e eficiência de utilização da energia metabolizável ( $k_m$ ). São também mensuradas as emissões diárias de metano entérico e as perdas de energia na forma de metano, expressas em relação ao consumo de matéria seca e de fibra em detergente neutro. Finalmente, são expressos os teores de energia metabolizável e energia líquida das forrageiras. Na Tabela 15 podem ser observados alguns destes parâmetros obtidos para *Brachiaria decumbens* e Tifton 85.

Nos últimos anos, com a crescente pressão para redução dos impactos ambientais da pecuária, esforços de pesquisa têm sido despendidos para o levantamento do potencial de emissão de metano entérico pelos diferentes sistemas agropecuários, bem como a avaliação de estratégias mitigatórias. Diante disso, torna-se necessário o planejamento de Projetos de pesquisa multidisciplinares e interinstitucionais que atendam à demanda de geração de métricas de sustentabilidade, ou seja, o estabelecimento de parâmetros e/ou metas que definirão se um sistema de produção é sustentável ou não. Como parte integrante desse objetivo, a quantificação da emissão de metano por ruminantes alimentados com diferentes forrageiras tropicais tem sido realizada pela equipe do DZO-EV/UFMG nos últimos anos. O método de mensuração da produção de metano entérico utilizando-se câmaras respirométricas é considerado o método de referência internacional (“*Golden Standard*”) e deve ser utilizado para a determinação de fatores de correções para outras técnicas de avaliação, como o uso do marcador hexafluoreto de enxofre ( $SF_6$ ). A perspectiva é que os dados de produção de metano gerados pelas instituições de pesquisa contribuam para o desenvolvimento de inventários sobre a emissão de gases de efeito estufa no Brasil, possibilitando o questionamento dos dados apresentados pelas organizações internacionais e o desenvolvimento de soluções sustentáveis para os sistemas de produção.



**Tabela 15** – Teores de energia metabolizável e energia líquida, metabolizabilidade (qm), eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção (Km) e produção de metano entérico por ovinos alimentados com *Brachiaria decumbens* e Tifton 85

Parâmetro	<i>Brachiaria decumbens</i>		Tifton 85 ( <i>Cynodon spp.</i> )	
	Verde <sup>1</sup>	Feno <sup>2</sup>	Feno <sup>3</sup>	Silagem <sup>4</sup>
Energia Metabolizável (Kcal/MS)	2,26 (2,15-2,35)	1,87 (1,7-2,0)	1,97 (1,90-2,12)	2,05 (1,88-2,34)
Energia Líquida (Kcal/MS)	1,74 (1,70-1,77)	1,37 (1,3-1,5)	1,43 (1,22-1,57)	1,33 (0,96-1,71)
qm	0,55 (0,52-0,58)	0,44 (0,36-0,48)	0,48 (0,47-0,52)	0,42 (0,38-0,48)
Km	0,77 (0,75-0,79)	0,73 (0,65-0,77)	0,71 (0,66-0,80)	0,64 (0,51-0,78)
Emissão de metano (litros/dia)	22,6 (18,8-26,4)	24,6 (18,6-29,7)	27,6 (22,8-30,3)	23,8 (18,8-34,8)

<sup>1</sup>Velasco (2011); <sup>2</sup>Ramirez (2011); <sup>3</sup>dados não publicados; <sup>4</sup>Faria Júnior (2011).

Outra perspectiva é de que os dados de avaliação de forrageiras tropicais em câmaras respirométricas possam auxiliar no correto balanceamento de dietas, levando-se em consideração a eficiência de utilização da energia consumida e a partição de nutrientes para o crescimento, desenvolvimento do feto e/ou produção. Neste sentido, os estudos de bioenergética também atuarão na geração de fenótipos qualificados que auxiliarão os programas de melhoramento para a seleção de forrageiras com melhor valor nutritivo, bem como a orientação de produtores quanto ao melhor momento de colheita.

O grande desafio para que os potenciais de aplicação prática dos resultados de bioenergética sejam alcançados está relacionado à complexidade da metodologia, que exige grande conhecimento para garantir o adequado funcionamento do sistema de respirometria, bem como para a correta interpretação dos dados gerados. Desta forma, torna-se fundamental a integração de esforços dos pesquisadores que vem atuando nesta área de pesquisa.



## **Estudos da composição monomérica da lignina**

A energia disponível para produção animal oriunda dos recursos forrageiros é obtida em grande parte da fermentação da parede celular vegetal por microorganismos ruminais. A parede celular é constituída principalmente por polissacarídeos, proteína e lignina que, juntamente com pequenas quantidades de outros componentes, são organizados em uma estrutura tridimensional que não é uniforme e ainda não foi totalmente descrita para as diferentes plantas e suas frações. A utilização dos componentes da parede celular por ruminantes é diferente para as várias frações da planta e para diferentes estádios de maturação. Altos ganhos de peso ou produção leiteira satisfatória proporcionada por ruminantes em sistemas baseados no uso de forragens requerem um alto consumo desse recurso e, conseqüentemente, uma alta digestibilidade de suas paredes celulares (Wilson, 1993).

De acordo com Jung & Fahey (1983) e Jung & Deetz (1993), as plantas possuem substâncias que causam resistência à degradação biológica. Essas substâncias estão divididas em várias classes e possuem diversos mecanismos de ação. Uma destas classes compreende os compostos fenólicos, incluindo a lignina, os fenilpropanóides, os flavonóides e os taninos. A lignina é o fator que mais limita a disponibilidade dos componentes da parede celular para os microorganismos do rúmen. Ligninas são compostos fenólicos constituídos por heteropolímeros das unidades fenilpropanóides *p*-hidroxifenila, guaiacila e siringila, que se encontram em diferentes proporções de acordo com o tecido vegetal de origem e com o estágio de maturação do mesmo (Saliba 1998). Com o avanço da maturidade da planta, ocorre redução na degradabilidade da parede celular. Uma das explicações para esta mudança é o aumento no teor de lignina. Entretanto, o efeito da lignina não depende apenas de fatores quantitativos, mas também



de aspectos qualitativos, como sua composição, sendo esta de vital importância na determinação de seus efeitos negativos no valor nutritivo da forragem (Jung, 1989). Deve-se considerar que à medida que as plantas forrageiras amadurecem, a composição da lignina depositada na parede celular modifica-se gradualmente, como foi sugerido por Fukushima (1996), trabalhando com gramíneas jovens e maduras.

A proporção relativa das unidades monoméricas siringila x guaiacila no polímero de lignina já foi correlacionada com a degradabilidade em alguns estudos. Essa correlação parece ser negativa, com o polímero de lignina mais rico em unidades do tipo guaiacila sendo associado a menores degradabilidades. (Reeves, 1985; Buxton & Russel 1988, Jung & Casler, 1991). O grupo guaiacila pode fazer ligações cruzadas por meio de seus radicais metoxila, enquanto o grupo siringila não é capaz de realizar essas ligações. Assim, espera-se que a lignina do tipo guaiacila apresente maior efeito na redução da digestibilidade da parede celular. Estudos com forragens em diferentes estádios de maturação indicam mudanças na razão de monômeros siringila/guaiacila ao longo do avanço na maturidade de algumas espécies (Buxton & Russel 1988).

De acordo com Taboada et al. 2010, a digestibilidade da parede celular de forrageiras é dependente de um grande número de fatores, mas os conteúdos dos monômeros guaiacila e siringila foram melhores estimadores desse parâmetro do que o conteúdo total de lignina. De acordo com Oba & Allen (1999) um aumento na digestibilidade da fibra insolúvel em detergente neutro em uma unidade percentual resulta em um aumento potencial do consumo de matéria seca em 0,17 kg/dia e da produção de leite corrigido para 4% de gordura em 0,25 kg/dia. Nesse sentido, tem-se buscado caracterizar a composição monomérica da lignina dos diversos recursos forrageiros estudados, correlacionando-a aos dados de digestibilidade *in vitro*, *in situ* e



*in vivo* e estudos de microscopia eletrônica, o que pode contribuir diretamente com o melhoramento genético desses materiais. O Laboratório de Nutrição Animal do DZO-EV/UFMG é capaz de realizar análise de grupos funcionais de Lignina por meio do método de Espectroscopia de Infravermelho por Transformada de Fourier (FT-IV) com Refletância Total Atenuada (ATR) e alguns materiais, como híbridos de sorgo com capim-sudão, já estão sendo analisados. As perspectivas futuras são de organizar um grande banco de dados com informações de vários recursos forrageiros acerca da composição monomérica da lignina associada a outras informações, como, por exemplo, digestibilidade, produção de metano e energia líquida, e os desafios são a disponibilidade de pessoal treinado e a adequação da técnica disponível.

### **Microscopia eletrônica de varredura**

O uso da microscopia representou um grande avanço para a ciência moderna, por propiciar o entendimento mais aprofundado da biologia e permitir a avaliação de novos materiais para a indústria. A avaliação microscópica de um material permite entender as correlações entre sua microestrutura e o ambiente a sua volta, além de poder predizer suas propriedades. Para tanto, as técnicas mais utilizadas são a microscopia óptica e a microscopia eletrônica (de varredura e de transmissão). A microscopia óptica permite avaliar os espécimes vivos e amostras de estruturas vegetais, porém apresenta a limitação de seu aumento máximo em torno de 2.000 vezes. A microscopia eletrônica permite analisar as inter-relações entre membranas das células vegetais e microorganismos. A técnica de microscopia eletrônica permite alcançar aumentos muito superiores aos alcançados pela microscopia óptica, chegando a 200.000 vezes.



O microscópio eletrônico de varredura é um instrumento muito versátil e usado rotineiramente para a análise micro estrutural de materiais sólidos. Apesar da complexidade dos mecanismos para a obtenção da imagem, o resultado é uma imagem de muito fácil interpretação (Maliska, 2012). Os primeiros trabalhos envolvendo o uso de microscopia eletrônica de varredura foram realizados por Ruska (1933) e Knoll (1935), no entanto as imagens ainda não apresentavam uma resolução satisfatória. Modificações e melhorias foram introduzidas à técnica de microscopia até que em 1965 foi construído o primeiro microscópio eletrônico de varredura comercial. Desde então, foram desenvolvidos programas específicos para operação e análise dos resultados.

Durante as décadas de 60 e 70 diversos trabalhos avançaram no conhecimento sobre as atividades metabólicas das bactérias ruminais, ajudando a esclarecer o complexo sistema nutricional do rúmen. No entanto, os passos iniciais da degradação, envolvendo o modo de associação dos microorganismos e a conseqüente taxa de degradação ainda eram desconhecidos, uma vez que nem sempre a análise bromatológica e de digestibilidade explicariam diferenças no consumo de uma forrageira, e que outros fatores poderiam contribuir para estas diferenças.

Estudos correlacionando a análise da anatomia vegetal, avaliados pela microscopia eletrônica de plantas forrageiras e a degradabilidade ruminal iniciaram a partir da década de 70 (Hanna et al., 1973 e Akin et al., 1973; Akin & Burdick, 1975; Saliba, 1998; Nogueira, 2002; Araújo, 2006; Velasco, 2011). Segundo estes autores, os diferentes tecidos presentes na forrageira se diferenciariam quanto à taxa e a extensão a qual ele seria degradado. Por exemplo, tecidos como a cutícula, que possui função de proteção e cobre a epiderme da planta e as paredes mais espessas e lignificadas apresentariam maior resistência à degradação ruminal se comparado a tecidos mais

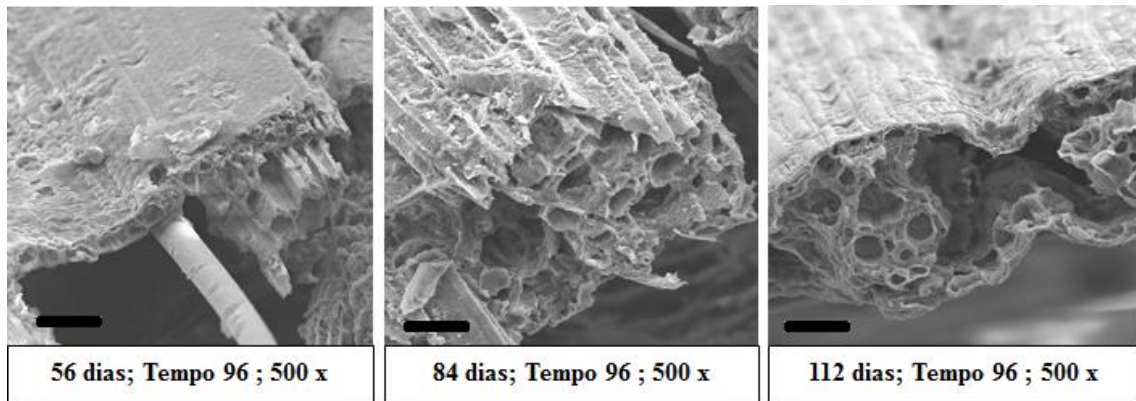


finos do mesofilo e do floema. Baker & Harriss (1947), usando microscópio óptico, reportaram que tecidos lignificados não eram degradados pelas bactérias ruminais. Recentemente, trabalhos têm evidenciado que a baixa digestão de alguns tecidos pode estar mais relacionada a aspectos físicos dos tecidos, destacando-se a elevada espessura da parede celular, do que a características químicas, como os teores e a composição da lignina. Tais evidências demonstram a importância de se agregar os conhecimentos relacionados à anatomia da planta às avaliações do valor nutritivo de forrageiras (Paciullo, 2002). A organização da estrutura anatômica influencia o tamanho da estrutura da fibra e sua resistência à quebra a partículas suficientemente pequenas para deixar o rúmen.

As plantas são formadas por diferentes órgãos e tecidos, que, por sua vez, são formados por diferentes células que possuem características químicas e estruturais próprias, que estão correlacionadas diretamente com sua função na planta. Estruturas de sustentação geralmente apresentam paredes mais espessadas e de componentes de menor degradabilidade, ricos em compostos fenólicos (Akin, 1989). À medida que a planta avança em seu estágio de maturação, há um aumento da espessura das paredes de sustentação e transporte de nutrientes e da deposição destes compostos de baixa degradabilidade, podendo assim refletir no desempenho animal. Pode-se observar na Figura 1 a maior diferença no desaparecimento após 96 horas de incubação ruminal que ocorreu no capim *Brachiaria decumbens* cortado aos 56 dias após o rebrote se comparado às idades de 84 e 112 dias. Esta observação corresponde aos resultados obtidos em experimentos de digestibilidade aparente, degradabilidade “*in situ*” e através da técnica semi-automática de produção de gases, onde o capim cortado aos 56 dias superou os demais, apresentando maior degradação da matéria seca, matéria orgânica e



frações fibrosas se comparado às idades de 84 e 112 dias (Velasco, 2009; Velasco, 2011).



**Figura 1** – Microscopia eletrônica de varredura do resíduo de degradabilidade *in situ* de *capim Brachiaria decumbens* cortado em diferentes idades de rebrote, após 96 horas de incubação ruminal. Fonte: Velasco (2011) ( —5,0 µm).

A análise das proporções entre os diferentes tecidos presentes nas plantas forrageiras avaliadas através da microscopia tem sido usada como indicativo do valor qualitativo das forrageiras. De modo que, se um determinado tecido apresentar maior conteúdo celular, ou parede primária delgada (não lignificada), normalmente a taxa e a extensão da degradação será maior se comparada a tecidos de baixo conteúdo celular ou paredes mais grossas e lignificadas (Akin & Burdick, 1975; Wilson, 1997). Nas laminais foliares das gramíneas, as células do mesófilo e do floema apresentam as maiores taxas de degradabilidade, seguidas pelas células da epiderme abaxial, adaxial e da bainha parenquimática dos feixes, que possuem degradabilidade mediana. Já as células do esclerênquima e do xilema apresentam pouca ou nenhuma degradabilidade.

Diferentes estudos têm comparado a anatomia vegetal de espécies forrageiras C<sub>3</sub> e C<sub>4</sub>, buscando entender as diferenças encontradas em estudos de digestibilidade



envolvendo esses tipos de planta (Black, 1971; Hanna et al., 1973; Akin, 1989). Estas diferenças têm sido atribuídas às variações nas proporções entre os tecidos foliares das espécies (Tabela 16). Espécies  $C_4$  geralmente apresentam menores proporções de tecido do mesófilo, células da bainha parenquimática dos feixes bem desenvolvidas (Black, 1971), alta frequência de feixes vasculares e um denso acondicionamento dos tecidos (Hanna et al., 1973), em relação às  $C_3$ . Já segundo Akin (1989) a anatomia do colmo é pouco influenciada pela espécie se comparada à anatomia foliar. O tecido vascular e o esclerênquima são aqueles que mais contribuem para aumentar o tamanho de partícula no rúmen, uma vez que são intensamente lignificados (Saliba, 1998).

A microscopia eletrônica também pode ser utilizada para avaliação dos efeitos dos tratamentos químicos utilizados para aumentar a degradação e o aproveitamento da dieta para ruminantes. O efeito da adição de enzimas fibrolíticas exógenas sobre a degradabilidade *in situ* do feno de capim tifton e do bagaço de cana foi avaliado por Martins (2003). O autor observou maior efeito da enzima sobre o bagaço de cana. Wang et al. (2007) avaliaram o efeito do tratamento com NaOH e  $NH_4HCO_3$  em resíduo de cultura da palha de arroz e relataram maior ruptura da camada da cutícula do material tratado após 48 horas de incubação ruminal se comparado ao material não tratado.

**Tabela 16** - Diferentes proporções entre os tecidos de folhas de espécies de gramíneas temperadas ( $C_3$ ) e gramíneas tropicais ( $C_4$ )

Espécie	Epiderme	Mesofilo	Bainha de feixes	Bainha Vascular	Esclerênquima
Temperada ( $C_3$ )	$28,7 \pm 1,5$	61,0	-	$5,5 \pm 0,4$	$3,4 \pm 0,4$
Tropical ( $C_4$ )	$33,0 \pm 2,1$	$34,6 \pm 2,4$	$19,3 \pm 2,2$	$7,6 \pm 0,4$	$5,0 \pm 1,1$

Adaptado de Wilson & Minson (1980).



Outra ferramenta importante para avaliação de forrageiras tropicais para nutrição de ruminantes é a seleção de espécies para confecção de silagens, além de auxiliar no entendimento dos processos que ocorrem durante o armazenamento no silo. As avaliações microscópicas da degradação ruminal das frações fibrosas de plantas de milho e sorgo podem permitir a identificação dos genótipos de maior taxa de desaparecimento de tecidos na fase inicial da seleção genética (Lemp, 2007).

Avaliando três híbridos de milho, Jung & Casler (2006) observaram aumento dos teores de parede celular no entrenó destas plantas e este fator estaria associado ao espessamento da parede secundária na região do córtex da planta. Ao analisarem este material por microscopia após 96 horas de incubação ruminal os autores relaram que a degradação ocorreu preferencialmente na região medular, ao passo que a região cortical do entrenó permaneceu intacta. Segundo os autores a caracterização morfoanatômica do entrenó do colmo de milho e sorgo permite o conhecimento dos fatores intrínsecos às plantas, que interferem na qualidade da silagem. O modo como ocorre o ataque bacteriano aos grânulos de amido presentes nas gramíneas também pode ser avaliado, assim como os fatores que afetam este acesso. A matriz proteica que envolve o grânulo de amido tanto no milho, e principalmente no sorgo pode ser uma barreira ao ataque bacteriano por apresentar compostos de lenta degradação, afetando assim a disponibilidade deste.

O DZO-EV/UFMG apresenta linha de pesquisa direcionada ao estudo da estrutura e da ultraestrutura dos tecidos vegetais, especialmente a parede celular, suas proporções relativas e seu grau de lignificação em diferentes estádios de maturação da planta forrageira, permitindo acompanhar os processos de colonização e degradação dos tecidos pelos microorganismos ruminais e ainda observar e quantificar diferentes



métodos de processamento do alimento que favorecem a degradação do alimento do rúmen. Em decorrência a este processo, já foram produzidas quatro teses de doutorado (Saliba 1998; Nogueira, 2002; Araújo, 2006 e Velasco, 2011) e dois artigos publicados em periódicos científicos (Saliba et al., 1999a; Saliba et al., 1999b).

Apesar dos avanços apresentados, ainda há a necessidade de maior compreensão das estruturas vegetais visualizadas com o uso da microscopia eletrônica de varredura, para que se possam fazer correlações mais precisas entre as imagens observadas, análises químicas e desempenho animal. Uma solução para esta questão seria a formação e incorporação de técnicos especializados em anatomia vegetal nas equipes de trabalho, que auxiliariam na identificação correta das diferentes estruturas das gramíneas e na interpretação dos resultados, tornando-os mais claros. Tem-se como novos desafios, compreender como ocorre a formação e deposição estrutural de compostos de baixa degradabilidade em forrageiras durante o avanço de seu estágio de maturação, buscando a melhor época para sua utilização na nutrição de ruminantes. Além disso, deve-se buscar inserir definitivamente esta metodologia como ferramenta de suporte para tomada de decisão em programas de melhoramento e seleção de forrageiras.

### **Consideração Final**

Tendo em vista a diversidade, a complexidade e o constante progresso das metodologias empregadas para a avaliação de forrageiras, merece ser destacada a necessidade de equipes multidisciplinares compondo os grupos que atuam nesta área de pesquisa no país. Para tal feito, considera-se de fundamental importância a formação, o treinamento e a especialização de pesquisadores para compor essas equipes.



## Referências

- AKIN, D.E.; AMOS, H.E.; BARTON, F.E. et al. Rumen microbial degradation of grass tissue revealed by scanning electron microscopy. **Agronomy Journal**, v.65, p.825- 828, 1973.
- AKIN, D.E.; BURDICK, D. Percentage of tissue types in tropical and temperate grass leaf blades and degradation of tissues by rumen microorganisms. **Crop Science**, v.15, p.661-668, 1975.
- AKIN, D.E. Histological and physical factors affecting digestibility of forages. **Agronomy Journal**, v.81, p.17-25, 1989.
- ALVES, A.A.; MOREIRA FILHO, M.A.; SILVA, D.C. et al. Avaliação de alimentos para ruminantes no Nordeste do Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE NUTRIÇÃO, 1., 2008, **Anais...** Fortaleza: CBNA, [2008], (CD-ROM).
- ANTUNES, R.C.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUES, J.A.S. et al. Teores de matéria seca total, proteína bruta e digestibilidade in vitro da matéria seca do feno de três genótipos de milheto (*Pennisetum glaucum*), em diferentes idades de corte. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 36., 1999, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1999. v.1. p. 40.
- AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL – AFRC. Nutrive requirements of ruminant animal: protein. **Nutrition Abstracts and Reviews**, n.9, p.65-71, 1992.
- ARAÚJO, V. L. **Características agrônômicas e avaliação de silagens de 25 híbridos de sorgo**. 2006. 80f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- BAKER, F.; HARRISS, S. T. Microbial digestion in the rumen (and caecum), with special reference to the decomposition of structural cellulose. **Nutrition Abstracts and Reviews**, v.17, p.3-12, 1947.
- BALCH, C.C. Factors affecting the utilization of food by dairy cows. 1. The rate of food through the digestive tract. **British Journal of Nutrition**, v.4, p.361-394, 1950.
- BARBOSA, G.S.S.C.; SAMPAIO, I.B.M.; GONÇALVES, L.C. et al. Fatores que afetam os valores de degradabilidade *in situ* da matéria seca de forrageiras tropicais: III. Tamanho de partícula da amostra. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.50, p.741-744, 1998a.
- BARBOSA, G.S.S.C.; SAMPAIO, I.B.M.; GONÇALVES, L.C. et al. Fatores que afetam os valores de degradabilidade *in situ* da matéria seca de forrageiras tropicais: I.



Dieta basal. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.50, p.731-735, 1998b.

BARBOSA, G.S.S.C.; SAMPAIO, I.B.M.; GONÇALVES, L.C. et al. Fatores que afetam os valores de degradabilidade *in situ* da matéria seca de forrageiras tropicais: II. Lavagem das amostras antes da inserção no rúmen. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.50, p.737-740, 1998c.

BLACK, C.C. Ecological implications of dividing plants into groups with distinct photosynthetic production capacities. **Advances Ecology Research**, v.7, p.87-114, 1971.

BLAXTER, K.L.; CLAPPERTON, J.L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. **British Journal of Nutrition**, v.19, p.511-522, 1965.

BENEDETTI, E. **Atributos de três gramíneas tropicais, parâmetros ruminais e produção de leite em vacas mestiças, mantidas à pasto**. 1994. 173f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Minas Gerais.

BORGES, A.L.C.C; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M; et al. Silagem de sorgo de porte alto com diferentes teores de tanino e de umidade no colmo. I. Teores de matéria seca, pH e ácidos graxos durante a fermentação.. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.49, p.719-732, 1997.

BORGES, A.L.C.C; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M; et al. Valor nutritivo de silagem de milho adicionada de ureia e carbonato de cálcio e do rolão de milho. II. Consumo e digestibilidade aparente da matéria seca, da proteína bruta e balanço de nitrogênio. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 50, p.317-320, 1998.

BROWER, E. Report of sub-committee on constants and factors. In: SYMPOSIUM ON ENERGY METABOLISM, 3, 1965, London. **Proceedings...** London: EAAP Academic, 1965. p.441-443.

BRYANT, A.M.; HUGHES, J.W.; HUTTON, J.B. et al. Calorimetric facilities for dairy cattle at Ruakura Animal Research Station. **Proceedings of the New Zealand Society of Animal Production**, v.37, p.158-162, 1977.

BUXTON, D.R.; RUSSEL, J.R. Lignin constituents and cell-wall digestibility of grass and legume stems. **Crop Science**, v. 30, p. 402-408. 1988.

CAMPOS, M.M. **Cana de açúcar tratada ou não com óxido de cálcio na alimentação de fêmeas bovinas leiteiras**. 2010. 129f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CAMPOS, P.R.S.S.; VALADARES FILHO, S.C.; CECON, P.R. et al. Estudo comparativo da cinética de degradação ruminal de forragens tropicais em bovinos e



ovinos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, p.1181-1191, 2006.

CASTRO, G.H.F.; GRAÇA, D.S.; GONÇALVES, L.C.; et al. Cinética de degradação e fermentação ruminal da *Brachiaria brizantha* cv. marandu colhida em diferentes idades ao corte. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.1538-1544, 2007.

CASTRO, G.H.F. **Silagem de capim tanzânia (*Panicum maximum* cv Tanzânia) em diferentes idades**. 2008. 125 f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ESCUDE, C.J.; NETO, M.S.; RODRIGUEZ, N.M. Composição botânica e qualidade da dieta selecionada por novilhos fistulados em pastagem nativa de Cerrado. II. Setembro – Fevereiro. **Arquivos da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais**, v.31, p.223-233, 1979.

FARIA, B.N.; REIS, R.B.; MAURÍCIO, R.M.; et al. Efeitos da adição de propilenoglicol ou monensina à silagem de milho sobre a cinética de degradação dos carboidratos e produção cumulativa de gases *in vitro*. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 60, p. 896-903, 2008.

FARIA JÚNIOR, W.G. **Valor nutricional das silagens do capim Tyfton 85 em diferentes idades**. 2012. 179f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

FOX, D.G.; TEDESCHI, L.O.; TYLUTKI, T.P. et al. The Cornell Net Carbohydrate and Protein System model for evaluating herd nutrition and nutrient excretion. **Animal Feed Science and Technology**, v.112, p.29-78, 2004.

FUKUSHIMA, R.S. Extração da lignina através do brometo de acetila e seu emprego objetivando avaliação quantitativa da lignina de plantas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 33, 1996, Fortaleza. **Anais...** Fortaleza: Sociedade Brasileira de Zootecnia, [1996]. (CD-ROM)

GONÇALVES, L.C.; BORGES, A.L.C.C; RODRIGUEZ, N.M. et al. Silagens de sorgo de porte alto com diferentes teores de tanino e de umidade no colmo. IV-Digestibilidade *in vitro* da matéria seca. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.50, p.167-170, 1998.

GONÇALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M.; PEREIRA, L.G.R. et al. Evaluation of different harvest times of four genotypes of sunflower (*Helianthus annuus* L.) for ensiling. In: FAO ELECTRONIC CONFERENCE ON TROPICAL SILAGE, 1999, Roma. **Proceedings...** Roma: FAO, 1999. v.1.

HANNA, W.W.; MONSON, W.G.; BURTON, G.W. Histological examination of fresh leaves after *in vitro* digestion. **Crop Science**, v.13, p.98-102, 1973.



HUNTINGTON, J.A.; GIVENS, D.I. The *in situ* technique for studying the rumen degradation of feeds: a review. **Nutrition Abstracts and Reviews**, v.65, p.63-93, 1995.

JAYME, D.G.; GONÇALVES, L.C.; MAURÍCIO, R.M. et al. Avaliação pela técnica semi-automática de produção de gases (RTP) das silagens de quatro genótipos de girassol (*Helianthus annuus*) (Rumbosol 91, Victoria 627, Victoria 807 e Mycogen 93338). **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.60, p.621-627, 2009.

JOHNSON, D.E.; FERRELL, C.L.; JENKINS, T.G. The history of energetic efficiency research: Where have we been and where are we. **Journal of Animal Science**, v.81, p.27-38, 2003.

JUNG, H.G.; CASLER, M.D. Maize stem tissues: cell wall concentration and composition during development. **Crop Science**, v.46, p.1793-1800, 2006.

JUNG, H. G.; CASLER, M.D. Relationship of lignin and esterified phenolics to fermentation of smooth bromegrass fibre. **Animal Feed Science and Technology**. v.32, p.63-68, 1991.

JUNG, H.G.; DEETZ, D.A., Cell Wall Lignification and Degradability. In: JUNG, H. G.; BUXTON, D. R.; HATFIELD, et al. (Eds.) **Forage Cell Wall Structure and Digestibility**. 1.ed. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1993. p. 315–346.

JUNG, H. G.; FAHEY, JR. G. C. Interactions among phenolic monomers and *in vitro* fermentation. **Journal of Dairy Science**, v.66, p.1255-1263, 1983.

JUNG, H. G. Forage lignins and their effects on fiber digestibility. **Agronomy Journal**, v.81, p.33-38, 1989.

KHAN, M. A., MAHR-UN-NISA, SARWAR, M. Techniques measuring digestibility for the nutritional evaluation of feeds. **International Journal of Agriculture and Biology**, v. 5, p.91-94, 2003.

KNOLL, M. Aufladepotential und Sekundäremission elektronenbestrahlter Körper. **Zeitschrift für Physik**. v.16, p.467-475, 1935.

LEITE, L.A.; REIS, R.B.; MAURÍCIO, R.M. et al. Avaliação das silagens de girassol, milho e suas associações pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 39, 2002, Recife. **Anais...** Recife: Sociedade Brasileira de Zootecnia, [2002]. (CD-ROM).

LEITE, L.A. **Silagem de girassol e milho em dietas de vacas leiteiras em produção**. 2002. 58f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

LEMP, B. Avanços metodológicos da microscopia na avaliação de alimentos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.36, p.315-329, 2007.

LEOPOLDINO, W.M. **Avaliação nutricional de pastagens consorciadas com leguminosas tropicais, dinâmica ruminal e produção de leite em vacas mestiças**.



2000. 49f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

LINDAHL, I. L. **Methods employed in nutrition research. In: Techniques and procedures in animal production research.** (S.L.): American Society of Animal Science. 1960.

MACHADO, F.S. **Digestibilidade, partição de energia e produção de metano em ovinos alimentados com silagens de híbridos de sorgo em diferentes estádios de maturação.** 2010, 107f. (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MALISKA, A.M. **Microscopia eletrônica de varredura,** Universidade Federal De Santa Catarina [2012]. Disponível em: <[www.materiais.ufsc.br/lcm/web-MEV/MEV\\_Apostila.pdf](http://www.materiais.ufsc.br/lcm/web-MEV/MEV_Apostila.pdf)> Acessado em 17/04/2012.

MARTINS, A.S. **Enzimas fibrolíticas exógenas na alimentação de bovinos.** 2003. 148f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal.

MAURICIO, R.M.; MOULD, F.L.; DHANOA, M.S., et al. semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. **Animal Feed Science and Technology**, v.79, p.321-330, 1999.

MAURÍCIO, R.M.; OWEN, E.; MOULD, F.L. et al. Comparison of bovine rumen liquor and bovine faeces as inoculum for an *in vitro* gas production technique for evaluating forage. **Animal Feed Science and Technology**, v.89, p.33-48, 2001.

MAURÍCIO, R.M.; PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L.C. et al. Relação entre pressão e volume para implantação da técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases na avaliação de forrageiras tropicais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.55, p.216-219, 2003.

McLEAN, J.A.; TOBIN, G. **Animal and human calorimetry.** Cambridge: Cambridge University Press, 1987, 338p.

MEOKAREM, M.M. **Silagem de sorgo com inoculantes biológicos: produção, composição do leite e consumo de matéria seca de vacas leiteiras.** 2009. 32f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

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

MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of Animal Science**, v.64, p.1548-1558, 1987.



MERTENS, D.R. **Rate and extent of digestion.** In: QUANTITATIVE ASPECTS OF RUMINANT DIGESTION AND METABOLISM. Wallingford: CAB International. p.13-52, 1993.

MERTENS, D.R. Using neutral detergent fiber to formulate dairy rations. In: NUTRITION CONFERENCE PROCESS GANT CONFERENCE FOR THE FEED INDUSTRY, 1982, Athens. **Proceedings...** Athens: University of Georgia, 1982. p.116-126.

MICHALET-DOREAU, B., OULD-BAH, M.Y. In vitro and in sacco methods for estimation of dietary nitrogen degradability in the rumen: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v.40, p.57-86, 1992.

MILLER, W. H.; KOES, R. M. Construction and operation of an open-circuit indirect calorimetry system for small ruminants. **Journal of Animal Science**, v.66, p.1042-1047, 1988.

MOREIRA, V.R. **Utilização de silagem de milho para vacas leiteiras de alta produção.** 2000. 89f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle.** 7.ed. Washington: National Academy Press, 2001. 362p.

NOCEK, J.E. Evaluation of specific variables affecting in situ estimates of dry matter and protein digestion. **Journal of Animal Science**, v.60, p.1347-1358, 1985.

NOCEK, J.E. *In situ* and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. **Journal of Dairy Science**, v.71, p.2051-2069, 1988.

NOGUEIRA, J.R.R. **Estudo químico, "in situ", "in vitro" e microscópico da parede celular de cinco genótipos de sorgo colhidos em três épocas de corte.** 2002. 148f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

NOGUEIRA, Ú.T.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C. et al. Predição da degradação da matéria seca pelo volume de gases utilizando a técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, p.901-909, 2006.

OBA, M.; ALLEN, M.S. Evaluation of the importance of digestibility of NDF from forage: effects on dry matter intake and milk yield of dairy cows. **Journal Dairy Science**, v. 82, p. 589-596, 1999.

ODONGO, N.E.; ALZAHAL, O.; LAS, J.E.; et al. Development of a mobile open-circuit ventilated hood system for measuring real-time gaseous emissions in cattle. In: FRANCE, J.; KEBREAB, E. (Eds.) **Mathematical modelling in animal nutrition.** Wallingford: CABI Publishing, 2007. p.225-240.



OLIVEIRA, H.T.V. **Avaliação nutricional de silagens de milho (*Zea mays* L.) e de perfil modificados de aminoácidos (QPM) para bovinos leiteiros.** 2006. 45f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ØRSKOV, E.R.; McDONALD, J. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements of feed in weighted according to rate of passage. **Journal of Agricultural Science** (Cambridge), v.92, p.499-503, 1979.

PACIULLO, D.S.C. Características anatômicas relacionadas ao valor nutritivo de gramíneas forrageiras. **Ciência Rural**, v.32, p.357-364, 2002.

PAIVA, J.A.J. PIZARRO, E.A.; RODRIGUEZ, N.M. et al. Qualidade da silagem da região metalúrgica de Minas Gerais. **Arquivos da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais**, v.30, p.81-88, 1978.

PEREIRA, L.G.R; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C; et al. Avaliação das silagens de girassol (híbrido m734) obtidas em diferentes épocas de ensilagem pela técnica in vitro semi-automática de produção de gases. **Brazilian Journal of Veterinary Research and Animal Science**, v. 42, p. 276-283, 2005.

PEREIRA, M.B., SAMPAIO, I.B.M. Variação da digestibilidade *in situ* segundo a forrageira testada, seu tratamento químico e a espécie bovina. In: encontro de pesquisa da escola de veterinária da UFMG, 13, 1992, Belo Horizonte. **Resumos...** Belo Horizonte: EV-UFMG, 1992, p.61.

PINARES, C.; WAGHORN, G. **Technical Manual on Respiration Chamber Designs.** Wellington: Ministry of Agriculture and Forestry (New Zealand), 2012, 106p. Disponível em: <<http://www.nzagrc.org.nz/user/file/65/GRA-MAN-Facility-BestPract-2012-FINAL.PDF>> Acessado em 14/04/2012.

PINTO, E.F.; BORGES, A.C.C.; RODRIGUEZ, N.M. et al. Efeito de quatro períodos de vedação sobre a produção e qualidade da *Brachiaria decumbens* Stapf. I - matéria seca e proteína bruta. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.49, p.587-602, 1997.

PIRES, D.A.A. **Avaliação de quatro genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor*) com e sem taninos nos grãos para a produção de silagens.** 2007. 107f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

PIRES, D.A.A.; GONÇALVES, L.C; RODRIGUES, J.A.S. et al. Qualidade e valor nutritivo das silagens de três híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L.) colhidos em diferentes estádios de maturação. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.5, p.53-55, 2006.

QUIN, J.I.; VAN DER WATH, J.G.; MYABURGH, S. Studies on the alimentary tract of Merino sheep in South Africa. 4. Description of experimental techniques.



Onderstepoort *Journal of Veterinary Science and Animal Industry*, v.11, p.341-345, 1938.

RAMIREZ, M. A. **Valor nutricional do feno de *Brachiaria decumbens* em três idades.** 2011, 141f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

REEVES, J.B. Lignin composition and *in vitro* digestibility of feeds. *Journal of Animal Science*, v.60, p.316-222, 1985.

RESENDE, K.T., TEIXEIRA, I.A.M.A., FERNANDES, M.H.R. Metabolismo de energia. In: BERCHIELLI, T.T., PIRES, A.V., OLIVEIRA, S.G. (Ed.) **Nutrição de ruminantes.** Jaboticabal: FUNEP, 2006. p.111-140.

REZENDE, P.L.P.; NETO, M.D.F.; RESTLE, J.; et al. Modelos para predição de consumo e ganho em peso de bovinos. *Archivos de Zootecnia*, v. 60, p. 921-930, 2011.

RIBAS, M. N. **Avaliação agrônômica e nutricional de híbridos de sorgo com capim-sudão, normais e mutantes bmr - portadores de nervura marrom.** 2010, 128f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

RIBEIRO JÚNIOR, G.O.; et al. Respirimetria e perdas energéticas de ovinos alimentados com silagens de capim *Andropogon gayanus* em diferentes idades de corte. In: SIMPÓSIO DE SUSTENTABILIDADE LEITEIRA, 11., Maceió, 2011. **Anais...** Maceió: ABZ, 2011. (CD-ROOM)

RODRIGUES, M.T.; VIEIRA, R.A.M. Metodologias aplicadas ao fracionamento de alimentos. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Eds.) **Nutrição de ruminantes.** Jaboticabal: FUNEP, 2006. 583p.

RODRIGUEZ, H. The *in vivo* bag technique in digestibility studies. **Revista Cubana de Ciencia Agricola** (English edition), v.2, p.77-81, 1968.

RODRIGUEZ, N.M.; APARECIDA, J.F.; ÁVILA, S.C. Valor nutritivo da palha de feijão suplementada com uréia e do farelo de arroz para ruminantes. I. Proteína e energia. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.42, p.137-142, 1990.

RODRIGUEZ, N. M., CAMPOS, W.E.; LACHICA, M.L. et al. A calorimetry system for metabolism trials. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.59, p.495-500, 2007.

ROMERO, F. **Utilización de la técnica de digestión in situ para la caracterización de forrajes.** In: RUIZ, M.E.; RUIZ, A. (Ed.) **Nutrición de rumiantes: guía metodológica de investigación.** San José: RISPAL, 1990. p.105-114.

RUSKA, E. Die elektronenmikroskopische Abbildung elektronenbestrahlter Oberflächen. *Zeitschrift für Physik*, v.83, p.492-497, 1933.



RUSSEL, J. B.; O'CONNOR, J.D., FOX, D.G. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: I. Ruminant fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, p.3551-3561, 1992.

SALIBA, E.O.S. **Caracterização química e microscópica das ligninas dos resíduos agrícolas de milho e de soja expostas a degradação ruminal e seu efeito sobre a digestibilidade dos carboidratos estruturais**. 1998. 252f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SALIBA, E.O.S., RODRIGUEZ, N.M., BARRETO, S.L.T., et al. Isolation and infrared spectroscopic characterization of lignin from boter corn and soybean agricultural residues. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.50, p.727-730, 1998.

SALIBA, E.O.S.; RODRIGUEZ, N.M.; GONÇALVES, L. C.; et al. Caracterização microscópica das ligninas dos resíduos agrícolas de milho e de soja submetidos a fermentação ruminal e seus efeitos sobre a digestibilidade da fibra. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.51, p.89-96, 1999a.

SALIBA, E.O.S.; RODRIGUEZ, N.M.; PILÓ-VELOSO, D. Caracterização Microscópica das Ligninas do Resíduo Agrícola do Milho com Outros Indicadores em Ensaio de Digestibilidade. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.51, p.187-198, 1999b.

SAMPAIO, I.B.M.; PIKE, D.J.; OWEN, E. Optimal design for studying dry matter degradation in the rumen. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 47, p.373-383, 1995.

SARDÁ, P.O. **Efeitos da lotação e do manejo sobre a disponibilidade de forragem e o ganho de peso de novilhos mantidos em pastagem de Braquiária e soja perene**. 1983. 102f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SENGER, M.M. **Comparação de técnicas na avaliação da qualidade de silagens de milho**. 2005. 122f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SILVA, B.O. **Efeitos do uso de silagem de girassol e de silagem de milho na produção e composição do leite de vacas**. 2002. 41f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

SOUSA, L.F; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C. et al. Cinética de fermentação ruminal in vitro da forrageira *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em sistema silvipastoril. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, p.382-391, 2011.

STREETER, C.L. A review of techniques used to estimate the in vivo digestibility of grazed forage. **Journal of Animal Science**, v.29, p.757-768, 1969.



TABOADA, A.; NOVO-UZAL, E.; FLORES, G. et al. Digestibility of silages in relation to their hydroxycinnamic acid content and lignin composition. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 90, p.1155-1162, 2010.

THIAGO, L.R.L.S.; GILL, M. **Consumo voluntário: Fatores relacionados com a degradação e passagem da forragem pelo rúmen**. Campo Grande: EMBRAPA – CNPGC, 1990. 65p. (EMBRAPA – CNPGC, Documentos, 43)

THIAGO, L.R.L.S. Utilização da técnica de degradação *in situ* para a avaliação de forragens e alimentos concentrados. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES, 1994, Maringá. **Anais...**, Maringá: EDUEM, 1994, p.89-93.

TILLEY, J.M.A., TERRY, R.A. A two-stage technique for the “*in vitro*” digestion of forage crops. **Journal of British Grassland Society**, v.18, p.104-111, 1963.

TOMICH, T.R.; PEREIRA, L.G.R.; GUIMARÃES JÚNIOR, R. et al. **Adaptação de uma técnica *in vitro* para descrição da cinética de degradação ruminal da matéria seca de volumosos**. Corumbá: Embrapa Pantanal, 2006a, 4p. (Embrapa Pantanal, Comunicado Técnico, 57).

TOMICH, T.R.; RODRIGUES, J.A.S.; TOMICH, R.G.P. et al. Potencial forrageiro de híbridos de sorgo com capim-sudão. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.56, p. 258-263, 2004.

TOMICH, T.R.; SAMPAIO, I.B.M. A new strategy for the determination of forage degradability with an *in situ* technique through the use of one fistulated ruminant. **Journal of Agricultural Science** (Cambridge), v.142, p.589-593, 2004.

TOMICH, T.R.; TOMICH, R.G.P.; GONÇALVES, L.C. et al. Valor nutricional de híbridos de sorgo com capim-sudão em comparação ao de outros volumosos utilizados no período de baixa disponibilidade das pastagens. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, p. 1249-1252, 2006b.

UDÉN, P. The effect of grinding and pelleting hay on digestibility, fermentation rate, digesta passage and rumen and faecal particle size in cows. **Animal Feed Science and Technology**, v.19, p.145-157, 1988.

UDÉN, P. The influence of leaf and stem particle size *in vitro* and sample size in sacco on neutral detergent fibre fermentation kinetics. **Animal Feed Science and Technology**, v.37, p.85-97, 1992.

VELASCO, F.O. **Consumo e digestibilidade aparente da *Brachiaria decumbens* verde em três idades de corte**. 2009. 46f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.



- VELASCO, F. O. **Valor nutritivo da *Brachiaria decumbens* em diferentes idades.** 2011. 106f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, J.F.C.; SANT'ANNA, R. et al. Contaminação bacteriana em resíduos da incubação ruminal de alguns alimentos em sacos de náilon. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.21, p.467-474, 1992.
- VALADARES FILHO, S.C. Utilização da técnica *in situ* para avaliação dos alimentos. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE PRODUÇÃO DE RUMINANTES, 1994, Maringá. **Anais...**, Maringá: EDUEM, 1994, p.95-118.
- VAN HELLEN, R.W.; ELLIS, W.C. Sample container porosities for rumen *in situ* studies. **Journal of Animal Science**, v.4, p.141-146, 1977.
- VAN SOEST, P.J. Development of a comprehensive system of feed analysis and its applications to forages. **Journal of Dairy Science**, v.26, p.119-128, 1967.
- VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant.** 2ed. Ithaca: Cornell University Press. 1994. 476p.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B. **Analysis of forages and fibrous foods.** 1 ed. Ithaca: Cornell University, 1985. 202p.
- WANG, J.K.; LIU, J.X.; LI, J.Y. et al. Histological and rumen degradation changes of rice straw stem epidermis as influenced by chemical pretreatment. **Animal Feed Science and Technology**, v.136, p.51-62, 2007.
- WEAKLEY, D.C.; OWENS, F.N.; HEATH, D.G. et al. Particle size and soybean meal value for ruminants. **Journal of Animal Science**, v.45, p.268, 1977.
- WILSON, J. R.; MINSON, D. J. Prospects for improving the digestibility and intake of tropical grasses. **Tropical Grasslands**, v.14, p.253 – 259, 1980.
- WILSON, J. R. Organization of forage plant tissues. In: JUNG, H. G.; BUXTON, D. R.; HATFIELD, R. D. et al (Eds.) **Forage Cell Wall Structure and Digestibility.** 1. ed. Madison: ASA-CSSA-SSSA, 1993. p.1–32.
- WILSON, J.R. Structural and anatomical traits of forages influencing their nutritive value for ruminants. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE PRODUÇÃO ANIMAL EM PASTEJO, 1997, Viçosa. **Anais...** Viçosa: UFV, 1997. p.173-208.
- YONG, B.A.; KERRIGAN, B; CHRISTOPHERSON, R.J. A versatile respiratory pattern analyzer for studies of energy metabolism of livestock. **Canadian Journal of Animal Science**, v.55, p.17–22, 1975.



Anais da 49<sup>a</sup> Reunião Anual da  
Sociedade Brasileira de Zootecnia  
*A produção animal no mundo em transformação*

Brasília – DF, 23 a 26 de Julho de 2012



---

ZOPOLLATTO, M.; DANIEL, J.L.P.; NUSSIO, L.G. Aditivos microbiológicos em silagens no Brasil: revisão dos aspectos da ensilagem e do desempenho de animais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, p. 170-189, 2009.