

# Cinética de degradação ruminal de carboidratos de volumosos secos e aquosos: técnica de produção de gases

## Ruminal degradation kinetics of dry and wet forages carbohydrates: gas production technique

Elaine Barbosa Muniz<sup>1</sup>; Ivone Yurika Mizubuti<sup>2</sup>; Elzânia Sales Pereira<sup>3\*</sup>; Patrícia Guimarães Pimentel<sup>4</sup>; Edson Luiz de Azambuja Ribeiro<sup>2</sup>; José Nery Rocha Júnior<sup>5</sup>; Matheus Gabriel Maidana Capelari<sup>6</sup>; Vanessa Mizubuti Brito<sup>7</sup>

### Resumo

Foram realizadas determinações químico-bromatológicas das frações que constituem os carboidratos e determinação das respectivas taxas de digestão dos carboidratos de alguns alimentos obtidos sob condições tropicais e de regiões semiáridas. Estudaram-se os volumosos secos (fenos de mata pasto, sabiá, juazeiro, mororó, capim estrela, folha de leucena, aveia e capim Tifton 85) e volumosos aquosos (silagens de milho, sorgo e palma, e ainda, a cactácea palma forrageira *in natura*). Os parâmetros cinéticos dos carboidratos não fibrosos (CNF) e fração B2 foram estimados a partir da técnica cumulativa de produção de gás. Entre os alimentos estudados houve considerável variação na composição químico-bromatológica e nas taxas de degradação dos carboidratos solúveis. Comparando-se os parâmetros cinéticos das forrageiras nativas do nordeste verificou-se que, o alto teor de fração C para o feno de juazeiro e de mororó interferiu na cinética de degradação ruminal dos carboidratos onde o volume final de gás para estes fenos foram de 6,88 e 2,58 mL, respectivamente. A fermentação do feno de mata pasto resultou em maior produção de gás (16,38 mL) para os carboidratos totais (CT), assim como a maior taxa de degradação (0,0276%/h) e menor tempo de colonização (4,29h). Para o feno de aveia verificou-se que os valores de fração A+B1 foram superiores (389,6 g/kg) em relação ao feno de Tifton 85 (300,3 g/kg) e capim estrela (344,5 g/kg) e inferior para a fração B2 (441,6 g/kg). Foi observado que a silagem de sorgo apresentou maior volume de gás (24,70 mL), quando comparada com a de milho (16,44 mL). A técnica cumulativa de produção de gases possibilita a estimativa das taxas de degradação e fornece informações adicionais sobre a cinética de fermentação ruminal dos alimentos.

**Palavras-chave:** Fracionamento de carboidratos, produção de gás, taxa de digestão

### Abstract

Chemical analysis of carbohydrates fractions and determination their carbohydrates digestion rates in

<sup>1</sup> Doutoranda do Curso de Pós-Graduação em Ciência Animal da Universidade Estadual de Londrina, UEL. E-mail: ebmuniz@yahoo.com.br

<sup>2</sup> Profs. Drs. do Deptº de Zootecnia da Universidade Estadual de Londrina, UEL. Pesquisadores do CNPq. E-mail: mizubuti@uel.br; elar@uel.br

<sup>3</sup> Profª Drª do Deptº de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, UFC. Pesquisadora do CNPq. E-mail: elzania@hotmail.com

<sup>4</sup> Pesquisadora PRODOC/CAPES do Deptº de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, UFC. E-mail: pggpimentel@hotmail.com

<sup>5</sup> Graduando do Curso de Graduação em Zootecnia da Universidade Federal do Ceará, UFC. E-mail: junior.nery@hotmail.com

<sup>6</sup> Graduando do Curso de Medicina Veterinária da Universidade Estadual de Londrina, UEL. Bolsista IC/CNPq. E-mail: matheus\_capela@hotmail.com

<sup>7</sup> Graduanda do Curso de Medicina da Universidade Estadual de Londrina, UEL. Bolsista IC/Fundação Araucária. E-mail: nessamizubuti@hotmail.com

\* Autor para correspondência

some foods obtained under tropical conditions and semiarid regions, were accomplished. Dry forages were studied (hays of 'mata-pasto', 'sabiá', 'juazeiro', 'mororó', star grass, leucaena leaf, oat, and Tifton 85 grass), as well as, wet forages (corn, sorghum and palm silages, and also fresh forage cactus). The kinetics parameters of non-fibrous carbohydrates (NFC) and B2 fraction were estimated using cumulative gas production technique. Among the studied foods, there was considerable variation in chemical composition and in the soluble carbohydrates degradation rates. Comparing the kinetics parameters of native forages to Northeast it was verified that the high content of C fraction in of 'juazeiro' and 'mororó' hay influenced in carbohydrates ruminal degradation kinetics, where the final gas volume for these hays were 6.88 and 2.58 mL, respectively. The fermentation of 'mata-pasto' hay resulted in a higher gas production (16.38 mL) for total carbohydrates (TC) as well as the higher degradation rate (0.0276%/h) and shorter time for colonization (4.29h). For oat hay, it was observed that the values for A+B1 fraction were higher (389.6 g/kg) in relation to the Tifton 85 grass hay (300.3 g/kg) and star grass hay (344.5 g/kg), and lower for the B2 fraction (441.6%). It was observed that sorghum silage had a higher gas volume (24.70 mL) compared with corn silage (16.44 mL). The cumulative gas production technique allows the estimative of degradation rates and provides further information about the ruminal fermentation kinetics of foods.

**Key words:** Carbohydrate fractionation, digestion rate, gas production

## Introdução

Os requisitos nutricionais dos ruminantes, nos trópicos, são atendidos pela ingestão de nutrientes contidos nas diversas partes das gramíneas tropicais, os quais são armazenados por intermédio da fixação da energia luminosa durante a fotossíntese. Nestas gramíneas, verifica-se elevada taxa de crescimento e produção de matéria seca, em virtude da maior eficiência na fixação de carbono ( $C_4$ ) do que as gramíneas temperadas ( $C_3$ ), mas a maior porção desta energia está associada aos polímeros da parede celular, os quais apresentam função de sustentação e proteção. A disponibilidade de energia e proteína são os fatores que mais influenciam o desempenho dos animais (VAN SOEST, 1994) e, particularmente nos trópicos e regiões semiáridas, acentua-se ainda mais, pois o consumo é restrito pelas características químicas, físicas e anatômicas das forrageiras.

Desta forma, a determinação do valor nutricional destas forrageiras torna-se de fundamental importância, para que se possa por meio da seleção de espécies ou de variedades de plantas, ou pela adequação dietética, melhorar os índices produtivos. Vários métodos têm sido desenvolvidos com este propósito, entre eles, o

obtido por mensurações gravimétricas que utilizam tempo único de incubação, como o método da digestibilidade *in vitro*, proposto por Tilley e Terry (1963). Contudo, para que se obtenham estimativas mais acuradas dos parâmetros digestivos dos alimentos, é necessário se obter estimativas das taxas de degradação ruminal destes alimentos (CABRAL et al., 2000; PEREIRA et al., 2001; DETMANN et al., 2009). Estas taxas, por sua vez, são inicialmente obtidas por técnicas gravimétricas, as quais apresentam limitações por serem laboriosas, apresentarem baixa repetibilidade e não permitirem a obtenção das taxas de digestão da fração solúvel dos alimentos, visto que as alterações nos pesos das amostras incubadas nos tempos iniciais de fermentação são relativamente pequenas, o que dificulta suas mensurações.

A maioria dos métodos *in vitro*, no entanto, pode apresentar falhas, devido ao uso inadequado do inoculo, tampões, ou equipamentos que garantam as condições de pH, anaerobiose, biomassa microbiana e nutrientes essenciais para a mesma. A principal desvantagem do método *in vitro* é de não reproduzir o ambiente ruminal. Entretanto, esta desvantagem pode reverter-se, quando os objetivos do ensaio são os de determinar as propriedades intrínsecas do alimento, pois

as condições *in vitro* podem ser controladas de maneira a prevenir as flutuações físico-químicas do ambiente, o que permite isolar a característica de interesse do alimento, de modo que essa seja a variável limitante para o estudo de degradação. Desta forma, a produção cumulativa de gases é uma das técnicas metabólicas úteis para estimar taxas de degradação ruminal dos carboidratos não fibrosos, bem como dos carboidratos fibrosos. As vantagens em utilizar a técnica de produção de gás consistem primeiramente em caracterizar de forma mais adequada as particularidades do alimento, como a contribuição dos carboidratos solúveis, seguida pela rapidez e uniformidade físico-química do meio (PEREIRA et al., 2001).

O objetivo deste trabalho foi determinar as frações de carboidratos e a cinética de degradação *in vitro* de alimentos volumosos secos (fenos de mata pasto, sabiá, juazeiro, mororó, capim estrela, folha de leucena, aveia e capim Tifton 85) e volumosos aquosos (silagens de milho, sorgo e palma, e ainda, a cactácea palma forrageira *in natura*) por meio da técnica de produção e gás.

## Material e Métodos

Os volumosos avaliados foram os fenos de mata pasto (*Senna obtusifolia* L.), juazeiro (*Ziziphus joazeiro* Mart.), mororó (*Bauhinia cheilanta*), sabiá (*Mimosa caesalpiniaefolia*), aveia (*Avena sativa* L.), folha de leucena (*Leucaena leucocephala*), capim estrela (*Cynodon nlemfuensis*) e Tifton 85 (*Cyodon dactylon*), e silagens de milho (*Zea mays* L.), sorgo (*Sorghum bicolor* L.) e palma forrageira (*Opuntia ficus* –Indica Mill), além da palma forrageira *in natura* (*Opuntia ficus* –Indica Mill).

O fracionamento dos carboidratos foi realizado no Laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Universidade Federal do Ceará. Inicialmente os alimentos foram analisados para determinação da matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE),

lignina (LIG), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente neutro corrigido para cinzas e proteína (FDNcp) e fibra em detergente ácido (FDA). As análises de MS, MO, MM, PB e EE foram realizadas segundo Silva e Queiroz (2002), e as análises de FDN, FDNcp, FDA e LIG, conforme Van Soest, Robertson e Lewis (1991).

As frações que compõem os carboidratos totais (CT) foram estimadas conforme Sniffen et al. (1992), obtidas com a seguinte fórmula:  $CT = 100 - (PB + EE + MM)$  em que, PB corresponde à proteína bruta da amostra, extrato etéreo e matéria mineral. Os carboidratos não-fibrosos (CNF), que correspondem às frações “A+B1”, foram estimados pela seguinte fórmula:  $CNF = 100 - (PB + FDNcp + EE + MM)$  em que, FDNcp corresponde ao FDN, corrigido para proteína e cinzas. A fração “B2” (fibra disponível) foi resultante da diferença entre a FDNcp e a fração de fibra indigestível (“C”). A fração “C”, que representa a fibra indigerível, foi estimada por meio da multiplicação do valor percentual da fração de lignina pelo fator 2,4.

Os parâmetros cinéticos dos CNF e da fração B2 foram estimados a partir da técnica de produção de gás *in vitro*. Para tal, foram pesados 500 mg de amostras em frasco de vidros de 100 mL, os quais receberam 40 mL de solução tampão de McDougal (1949), previamente reduzida com CO<sub>2</sub> (pH 6,9). Posteriormente, foram adicionados, em cada frasco, 10 mL de inóculo oriundo de um bovino fistulado no rúmen, sob aspersão de CO<sub>2</sub> e mantidos a 39°C em banho-maria. Posteriormente, os frascos foram vedados com rolha de borracha e lacre de alumínio para torná-los hermeticamente fechados. A partir deste momento, a pressão dos gases produzidos pela fermentação do substrato e acumulada nos frascos foi mensurada por meio de um sensor de pressão acoplado a um manômetro, nos tempos de 1, 2, 3, 4, 5, 6, 9, 12, 18, 24, 30, 36, 48, 60, 72, 84, 96 e 144 horas. Para interpretação matemática dos parâmetros cinéticos da produção de gás, ajustou-se às curvas observadas o modelo unicompartmental (SCHOFIELD; PITT; PELL,

1994), descrito a seguir:  $V = Vf / (1 + \exp(2 - 4 * C (T - L)))$ ; em que Vf equivale ao volume máximo de gás da fração dos carboidratos totais; C corresponde à taxa de degradação (%/h) desta mesma fração (CT); T e L referem-se aos tempos de incubação (horas) e latência (horas), respectivamente. Para a realização dos ajustes, foi utilizado o processo iterativo do algoritmo de Gauss Newton, por meio do programa SAEG- Sistema de Análises Estatísticas e Genéticas (UFV, 2000), adotando-se  $\alpha=0,05$ .

## Resultado e Discussão

Entre os alimentos estudados houve considerável variação na composição química-bromatológica (Tabela 1). Isto reforça a proposta de se utilizar na alimentação de ruminantes, o conceito mecanicista que procura evitar o emprego de entidades empíricas que estão geralmente associadas a predições errôneas e apresentam limitado espaço de inferência. Ao se comparar as forrageiras nativas do nordeste brasileiro pode-se

observar que o teor de carboidratos totais (CT) variou de 797,3 g/kg no feno de sabiá até 895,3 g/kg ano feno de mata pasto (Tabela 2). O baixo teor da fração B2 nos fenos de mororó, juazeiro e sabiá pode ter ocasionado um aumento da fração C pelo aumento dos constituintes da parede celular, bem como de seu espessamento e da deposição de lignina, o que tende a aumentar a fração indigerível, reduzindo, dessa forma, a fração potencialmente digerível (WILSON; MERTENS; HATFIELD, 1993). No sistema CNCPS, a fração C é estimada a partir da concentração de lignina multiplicada por 2,4. A utilização de uma constante para estimar tal fração significa que a relação entre esta e o teor de lignina é do tipo  $Y = \beta_1 X$ , isto é, o intercepto ( $\beta_0$ ) é nulo e que o coeficiente de regressão ( $\beta_1$ ), para as diferentes espécies de alimentos, sob diferentes condições é constante. Foram observados valores para as frações A+B1, variando de 347,1 g/kg no feno de juazeiro até 560,0 g/kg no feno de sabiá. Para a fração B2 observou-se valores variando de 115,6 g/kg no feno de mororó a 315,1 g/kg no feno de mata pasto em relação os carboidratos totais.

**Tabela 1.** Composição bromatológica dos alimentos volumosos (g/kgMS).

Alimentos	MS	MO	MM	PB	EE	FDN	FDNcp	FDA	LIG
<i>Fenos</i>									
Mata pasto	912,9	962,1	37,9	60,1	6,7	493,0	456,8	334,8	72,8
Sabiá	915,3	964,8	35,2	125,2	42,3	427,6	350,8	272,5	84,6
Juazeiro	938,7	947,4	52,6	89,7	7,2	595,5	555,3	401,8	172,5
Mororó	921,6	964,6	35,4	88,2	13,7	562,4	509,5	437,7	214,6
Capim estrela	924,6	925,3	74,7	125,2	12,4	576,9	516,3	297,7	46,9
Folha de leucena	891,1	930,0	70,0	216,3	31,3	575,9	493,3	240,5	120,8
Aveia	909,2	947,0	53,0	69,1	11,7	547,1	528,7	311,3	60,9
Tifton 85	919,1	957,0	43,0	69,7	14,6	656,4	610,6	328,6	50,7
<i>Silagens</i>									
Milho	287,5	95,14	48,6	72,4	19,4	404,1	369,6	239,8	41,9
Sorgo	261,9	95,70	43,0	52,3	13,7	489,9	370,7	300,2	61,7
Palma	373,8	91,71	82,9	66,0	10,7	310,9	145,2	105,9	26,8
<i>Cactácea</i>									
Palma forrageira	112,0	94,47	55,3	49,1	5,1	397,9	237,6	134,7	48,9

Os valores de fração C foram de 195,2; 254,7; 486,8 e 474,9 g/kg no feno de mata pasto, de sabiá, de juazeiro e de mororó, respectivamente. Esta variação confere diferenças importantes entre esses alimentos, uma vez que resulta em maior ou menor digestibilidade dos mesmos, pois a fração C reflete efeito na repleção ruminal, acarretando menor disponibilidade energética, em virtude de

sua característica de indigestibilidade, promovendo menor consumo potencial por unidade de tempo (VAN SOEST, 1994). Os fenos de juazeiro e mororó apresentaram valores muito próximos de fração C (486,8 g/kg e 474,9 g/kg, respectivamente), de fração B2 (166,1 g/kg e 115,6 g/kg, respectivamente) e de fração A+B1 (347,1 e 409,4 g/kg, respectivamente).

**Tabela 2.** Frações de carboidratos dos alimentos volumosos como teores na matéria seca e em porcentagem dos carboidratos totais (CT).

Alimentos	(g/kgMS)			%CT		
	CT	CNF	FDN <sub>cp</sub>	A+B1	B2	C
<i>Fenos</i>						
Mata pasto	895,3	438,5	456,8	489,8	315,1	195,2
Sabiá	797,3	446,5	350,8	560,0	185,3	254,7
Juazeiro	850,5	295,2	555,3	347,1	166,1	486,8
Mororó	862,7	353,2	509,5	409,4	115,6	474,9
Capim estrela	787,7	271,4	516,3	344,5	512,6	142,9
Folha de leucena	682,4	189,1	493,3	277,1	298,1	424,8
Aveia	866,2	337,5	528,7	389,6	441,6	168,7
Tifton85	872,7	262,1	610,6	300,3	560,2	139,4
<i>Silagens</i>						
Milho	859,6	490,0	369,6	570,0	313,0	117,0
Sorgo	891,0	520,3	370,7	584,0	249,9	166,2
Palma	840,4	695,2	145,2	827,2	96,3	76,5
<i>Cactácea</i>						
Palma forrageira	890,5	652,9	237,6	733,2	135,0	131,8

O feno de sabiá apresentou valor intermediário para a fração C (254,7 g/kg) e fração B2 (185,3 g/kg), porém para a fração A+B1 houve superioridade (560,0 g/kg) em relação aos fenos de mata pasto, de juazeiro e de mororó.

O alto teor de fração C no feno de juazeiro justifica-se por tratar-se de planta pertencente à caatinga, onde por consequência do regime pluviométrico, as plantas têm um aumento no espessamento da parede celular, elevando sua

eficiência de utilização de água. No feno de mororó, possivelmente, o alto teor desta fração é explicada pela elevada idade de corte no momento da fenação, pois segundo Nascimento et al. (2002) e Araújo Filho et al. (2002), o feno de mororó é considerado boa espécie para fenação devido ao alto valor protéico e digestibilidade associados com baixos teores de tanino e lignina durante a sua fase vegetativa.

O feno de mata pasto apresentou valor de fração A+B1 superior ao do feno de juazeiro e de mororó, além disso, registrou-se ainda para esse alimento menor valor de fração C em relação a todos os fenos do nordeste brasileiro. Isto pode levar ao aumento da disponibilidade de energia para os microrganismos que fermentam carboidratos não fibrosos e fibrosos. Quanto à fração B2, verificou-se que este alimento (feno de mata pasto) apresentou maior teor, desta forma, rações completas, à base desta forrageira, poderiam maximizar o crescimento microbiano, principalmente microorganismos que utilizam carboidratos fibrosos.

A importância do fracionamento dos carboidratos ingeridos pelos ruminantes se baseia na classificação das bactérias ruminais quanto à utilização de carboidratos que constituem a parede celular vegetal e daqueles que se localizam no conteúdo celular com função não estrutural. A caracterização das frações que constituem os carboidratos dos alimentos obtidos nos trópicos e em condições semiáridas e a determinação das taxas de degradação de cada fração são instrumentos valiosos para formulação de rações que visem à maximização do crescimento microbiano ruminal e, conseqüentemente, a melhor predição do desempenho animal.

Quando se compara os parâmetros cinéticos de forrageiras nativas do nordeste verifica-se que, o alto teor de fração C no feno de juazeiro e de mororó interferiu na cinética de degradação ruminal dos carboidratos onde o volume final de gás nestes fenos foram de 6,88 mL e 2,58 mL, respectivamente (Tabela 3). Isto pode indicar que tais fenos apresentam baixo potencial de utilização, pois a elevada fração C indisponibiliza energia, caracterizando o baixo valor nutricional.

O feno de sabiá apresentou valor intermediário de volume de gás em relação aos fenos de juazeiro, de mororó e de mata pasto, o que pode estar associado ao alto teor da fração A+B1 (560,0

g/kg) e ao menor teor de fração C (254,7 g/kg) em relação aos fenos de juazeiro, de mororó. O período de colonização (L) foi equivalente no feno de sabiá e de mororó onde se verificou que este parâmetro associou-se fortemente à taxa de degradação e produção total de gases. Isto permite evidenciar que à medida que se aumenta o tempo de colonização, a taxa de degradação e o volume total de gás diminui. Possivelmente, o maior período de colonização no feno de sabiá e de mororó pode estar associado à presença de taninos, pois muitas vezes as forrageiras da caatinga apresentam baixa digestibilidade, em função da presença de fatores antinutricionais (MOREIRA et al., 2006). Os valores encontrados de taxa de degradação para o feno de sabiá, feno de mororó e feno de juazeiro, foram 0,0089%/h, 0,0091%/h, e 0,0154%/h, respectivamente.

A fermentação do feno de mata pasto resultou em maior produção de gás (16,38mL) para o CT, assim como, a maior taxa de degradação (0,0276%/h) e menor tempo de colonização (L) (4,29h). Pode-se inferir que as características estruturais apresentadas pelo o feno de mata pasto poderão promover melhor ingestão de MS.

Quando se compara as gramíneas de clima tropical, verifica-se que o maior teor de CT foi verificado no feno de Tifton 85 (872,7 g/kg), porém, no fracionamento de carboidratos, o feno de capim estrela e o feno de Tifton 85 apresentaram valores muito próximos de fração A+B1 (344,5 e 300,3 g/kg, respectivamente), de fração B2 (512,6 e 560,2 g/kg, respectivamente) e de fração C (142,9 e 139,4 g/kg, respectivamente), o que proporcionou um comportamento bastante similares para os parâmetros cinéticos destas forrageiras (Tabela 3). A partir deste resultado, pode-se deduzir que o feno de Tifton85 e de capim estrela poderão proporcionar ingestões similares de MS pelos animais.

**Tabela 3.** Taxas de digestão e volume de gás produzido pelos volumosos.

Alimentos	Vf	C	L	r <sup>2</sup>
<i>Fenos</i>				
Mata pasto	16,38	0,0276	4,29	0,98
Sabiá	12,85	0,0089	20,00	0,97
Juazeiro	6,88	0,0154	10,96	0,99
Mororó	2,58	0,0091	20,00	0,97
Capim estrela	18,76	0,0231	6,09	0,99
Folha de leucena	10,33	0,0145	12,61	0,99
Aveia	19,40	0,0203	7,55	0,99
Tifton 85	17,63	0,0204	14,05	0,99
<i>Silagens</i>				
Milho	16,44	0,0201	5,23	0,98
Sorgo	24,77	0,0188	2,72	0,97
Palma	19,31	0,0226	8,41	0,98
<i>Cactácea</i>				
Palma forrageira	24,02	0,0301	5,98	0,99

Na análise do fracionamento de carboidratos do feno de aveia verificou-se que os valores da fração A+B1 foram superiores (389,6 g/kg) ao do feno de Tifton 85 (300,3 g/kg) e de capim estrela (344,5 g/kg) e inferior para os valores da fração B2 (441,6 g/kg), o que demonstra menor participação dos componentes fibrosos nos carboidratos totais das espécies de inverno em relação às forrageiras de clima tropical. Porém, apesar de ser uma forrageira de clima temperado e possuir menor proporção de parede celular em relação às forrageiras de clima tropical o feno de aveia apresentou um teor de fração C (168,7 g/kg) superior ao feno de Tifton 85 (139,4 g/kg) e de capim estrela (142,9 g/kg). Possivelmente, este resultado pode estar associado à alta temperatura ambiental no processo de preparação deste feno o que pode ter ocasionado formação de lignina artificial pela reação de Maillard e desta forma elevando o conteúdo dos componentes fibrosos.

O maior teor de carboidratos solúveis apresentado

pelo feno de aveia propiciou melhor fermentação e maior produção de gás, podendo garantir maior desempenho animal, em razão de maior consumo, possibilitado pelo menor teor de FDN (Tabela 1). Todavia, os valores da taxa de degradação dos carboidratos foram similares ao do feno de Tifton 85 e o período de colonização dos microrganismos ficou próximo ao valor obtido com o capim estrela (Tabela 2).

O feno de leucena foi o alimento volumoso que apresentou o menor teor de CT (682,4 g/kg). Foi encontrado neste alimento, baixo teor de fração A+B1 (277,1 g/kg) e B2 (298,1 g/kg), todavia para a fração C, o valor obtido foi bastante elevado (424,8 g/kg). A fração indisponível (C) depende do teor de lignina, portanto o aumento da fração C promove redução da fração potencialmente degradável (B2) (CABALLERO et al., 2001). Provavelmente, ocorreu dificuldade de acesso dos microrganismos, ocasionando maior duração do *lag time*, e menor taxa de degradação, principalmente da fração

fibrosa total.

Com relação às silagens, não foram observadas grandes variações numéricas nos teores de CT, sendo os valores observados para a silagem de milho, de sorgo e de palma de 859,6, 891,0 e 840,4 g/kg, respectivamente. Comparando-se a silagem de milho e de sorgo quanto ao fracionamento verificou-se que a silagem de milho e de sorgo apresentaram pequenas variações em suas frações. A silagem de palma apresentou os maiores teores de A+B1 (827,2 g/kg), menor teor de fração B2 (96,3 g/kg) e fração C (76,5 g/kg) quando comparada com a silagem de milho e de sorgo (Tabela 2). Vale ressaltar que a palma forrageira é um alimento rico em carboidratos não fibrosos, importante fonte de energia para microbiota ruminal, porém, como apresenta baixo teor de carboidratos fibrosos, este deve ser corrigido, quando a mesma compuser rações para ruminantes.

Foi observado que a silagem de sorgo apresentou maior volume de gás (24,7 mL), quando comparada com a de milho (16,44 mL). Essa diferença pode ser atribuída pelo fato de que a silagem de sorgo possivelmente continha maior proporção de grãos do que a silagem de milho. Considerando a relação inversa entre o teor de FDN e o consumo, quando a ingestão é limitada pela repleção ruminal (MERTENS, 1987, 1994), pode-se inferir que a preparação de silagens com maiores teores de panículas permitiriam maiores taxas de consumos. Conseqüentemente, o aumento do teor de CNF teoricamente aumentaria o conteúdo em NDT, uma vez que estes carboidratos apresentam quase completa disponibilidade nutricional para os ruminantes, bem como, aumentariam a exigência em proteína degradada no rúmen para o atendimento do requisito em N dos microrganismos que fermentam CNF (RUSSELL et al., 1992). Observou-se diferença numérica na taxa de degradação ( $C=0,0201\%/h$  e  $0,0188\%/h$ , respectivamente) e *lag time* ( $L=5,23h$  e  $2,72h$ , respectivamente).

A silagem de palma apresentou algum fator que

deprimiu a digestibilidade das frações A+B1 e B2 (Tabela 3). Provavelmente, isto possa ser explicado pelo fato de os microrganismos que degradam CNF apresentarem taxa de degradação superior aos que degradam a fibra. Desta forma, sua maior velocidade de crescimento implica em assimilação mais rápida de substrato, podendo, em algumas situações, reduzir o crescimento dos microrganismos fibrolíticos por competição, mostrando que a forma e a intensidade de utilização da FDN no ambiente ruminal são ditadas não somente pelas características do alimento (DETMANN, 2010). Este efeito de competição pode ser acentuado com a inclusão de alimentos ricos em CNF às rações.

A palma forrageira se destacou pela maior taxa de digestão em função de ser um alimento rico em carboidratos não estruturais como mencionado anteriormente. Pode-se verificar que no fracionamento, os valores de fração A+B1, B2 e C foram de 733,2; 135,0 e 131,8 g/kg, respectivamente. Segundo Silva et al. (1997), esta é uma característica importante da palma forrageira, diferente de outras forragens, pois apresenta alta taxa de digestão ruminal, sendo a MS degradada extensa e rapidamente, favorecendo maior taxa de passagem e, conseqüentemente, consumo semelhante ao dos concentrados.

Os resultados da produção de gás, para a palma forrageira, mostraram que o alto teor da fração solúvel constitui um substrato energético de rápida fermentação para os microrganismos, promovendo desta forma um alto volume final de gás (24,02 mL). Os menores teores de FDN e maiores de CNF resultaram em alta taxa de degradação (0,0301%/h) e baixa taxa de colonização pelos microrganismos (5,98h). A palma forrageira é uma fonte alimentar que pode viabilizar a produção animal no semi-árido do nordeste brasileiro devido as suas características morfofisiológicas e nutricionais (LIRA et al., 2006).

Os sistemas de exigências nutricionais que incorporam modelos mecanicistas exigem estimativas precisas das taxas de degradação

para a predição do desempenho das comunidades microbianas ruminais e, conseqüentemente, dos animais. Os modelos que utilizam duas taxas estão sendo inseridos nestes sistemas nutricionais para estimar o escape de nutrientes de rápida e lenta digestão ruminal. Neste raciocínio, as técnicas *in situ* pouco teriam a contribuir atualmente para o entendimento dos eventos digestivos ruminais, pois não permitem estimar as taxas de degradação das frações solúveis dos alimentos, que são responsáveis pela maior produção de ácidos graxos voláteis. Com o advento dos *softwares* estatísticos, da reparametrização de modelos mecanicistas para explicar eventos ruminais e da crescente pressão para redução de estudos com métodos invasivos aos animais, a técnica de produção cumulativa de gás apresenta-se como simples, barata e precisa. Vale lembrar que a comparação de alimentos deve ser realizada sempre por técnicas *in vitro*, enquanto a comparação entre rações, por técnicas *in vivo*.

## Conclusões

Dentre os fenos de forrageiras nativas do nordeste brasileiro, o de mata pasto apresenta melhor taxa de fermentação.

Os fenos de Tifton85, grama estrela e de aveia apresentam taxa de fermentação similares e podem proporcionar ingestões similares de MS.

Dentre as silagens avaliadas, a melhor taxa de fermentação foi proporcionada pela silagem de sorgo, que pode, portanto, permitir maior consumo pelos animais.

A palma forrageira *in natura* apresenta alta taxa de digestão por ser rico em carboidratos não estruturais.

A técnica cumulativa de produção de gases possibilita a estimativa das taxas de degradação e fornece informações adicionais sobre a cinética de fermentação ruminal dos alimentos avaliados.

## Referências

- ARAÚJO FILHO, J. A. de; CARVALHO, F. V. de; SILVA, N. L. de. Fenologia y valor nutritivo de follajes de algunas especies forrajeras de la Caatinga. *Agroforestería en las Américas*, Turrialba, v. 9, n. 33-34, p. 33-37, 2002.
- CABALLERO, R.; ALZUETA, C.; ORTIZ, L. T.; RODRIGUEZ, M. L.; BARRO, C.; REBOLÉ, A. Carbohydrate and protein fractions of fresh and dried Common Vetch at three maturity stages. *Agronomy Journal*, Madison, v. 93, n. 5, p. 1006-1013, 2001.
- CABRAL, L. S.; VALADARES FILHO, S. C.; MALAFAIA, P. A. M.; LANA, R. P.; SILVA, J. F. C.; VIEIRA, R. A. M.; PEREIRA, E. S. Frações de carboidratos de alimentos volumosos e suas taxas de degradação estimadas pela técnica de produção de gases. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 29, n. 6, p. 2087-2098, 2000. Suplemento 1.
- DETMANN, E. Fibra na nutrição de novilhas leiteiras In: PEREIRA, E. S.; PIMENTEL, P. G.; MIZUBUTI, I. Y.; QUEIROZ, A. C. *Novilhas leiteiras*. Fortaleza: Graphit Gráfica e Editora Ltda, 2010. cap. 8, p. 253-332.
- DETMANN, E.; SILVA, J. F. C.; VÁSQUEZ, H. M.; HENRIQUES, L. T.; HADDADE, I. R. Cinética da degradação ruminal dos carboidratos de quatro gramíneas tropicais em diferentes idades de corte e doses de adubação nitrogenada: técnica de produção de gases. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 38, n. 1, p. 149-158, 2009.
- LIRA, M. A.; SANTOS, M. V. F.; CUNHA, M. V.; MELLO, A. C. L.; FARIAS, I.; SANTOS, D. C. A palma forrageira na pecuária do semi-árido. In: GOMIDE, C. A. M. et al. *ALTERNATIVAS ALIMENTARES PARA RUMINANTES*. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2006. cap. 1, p. 17-33.
- McDOUGAL, E. I. Studies on ruminal saliva. 1. The composition and output of sheep's saliva. *Biochemistry Journal*, v. 43, n. 1, p. 99-109, 1949.
- MERTENS, D. R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. *Journal of Animal Science*, Madison, v. 64, n. 5, p. 1548-1558, 1987.
- \_\_\_\_\_. Regulation of forage intake. In: FAHEY JUNIOR, G. C. *Forage quality, evaluation, and utilization*. Madison: American Society of Agronomy, 1994. p. 450-493.
- MOREIRA, J. N.; LIRA, M. de A.; SANTOS, M. V. F.; FERREIRA, M. A.; ARAÚJO, G. G. L.; FERREIRA, R. L. C.; SILVA, G. C. Caracterização da vegetação de caatinga e da dieta de novilhos no sertão de Pernambuco.

- Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 41, n. 11, p. 1643-1651, 2006.
- NASCIMENTO, M. P. S. C. B.; REIS, J. B. C.; NASCIMENTO, H. T. S.; OLIVEIRA, M. E.; LOPES, J. B. *Valor nutritivo do Pau-ferro*. Teresina, Piauí: EMBRAPA. 2002. (Comunicado técnico, n. 143).
- PEREIRA, E. S.; QUEIROZ, A. C.; PAULINO, M. F.; CECON, P. R.; VALADARES FILHO, S. C.; MIRANDA, L. F.; ARRUDA, A. M. V.; FERNANDES, A. M.; CABRAL, L. S. Fontes nitrogenadas e uso de *Sacharomyces cerevisiae* em dietas à base de cana-de-açúcar para novilhos: consumo, digestibilidade, balanço nitrogenado e parâmetros ruminais. *Revista Brasileira de Zootecnia*, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 563-572, 2001.
- RUSSELL, J. B.; O'CONNOR, J. D.; FOX, D. G.; VAN SOEST, P. J.; SNIFFEN, C. J. A net carbohydrate and protein system for evaluation cattle diets: ruminal fermentation. *Journal of Animal Science*, Madison, v. 70, n. 12, p. 3551-3581, 1992.
- SCHOFIELD, P.; PITT, R. E.; PELL, A. N. Kinetic of fiber digestion from in vitro gás production. *Journal of Animal Science*, Madison, v. 72, n. 11, p. 2980-2991, 1994.
- SILVA, D. J.; QUEIROZ, C. *Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos*. Viçosa, MG: Universidade Federal de Viçosa, 2002. 235 p.
- SILVA, M. F.; BATISTA, A. M. V.; ALMEIDA, O. C. Efeito da adição de capim elefante a dietas à base de palma forrageira sobre a fermentação ruminal em bovinos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34., 1997, Juiz de Fora. *Anais... Juiz de Fora: Sociedade Brasileira de Zootecnia*, 1997, p. 140-142.
- SNIFFEN, C. J.; O'CONNOR, J. D.; VAN SOEST, P. J.; FOX, D. G.; RUSSELL, J. B. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: III. Carbohydrate and protein availability. *Journal of Animal Science*, Madison, v. 70, n. 12, p. 3562-3577, 1992.
- TILLEY, J. M. A.; TERRY, R. A. A two stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Journal of the British Grassland Society*, Aberystwyth, v. 18, n. 2, p. 104-111, 1963.
- UNIVERSIDADE FEDERAL DE VIÇOSA - UFV. *SAEG - Sistema de análise estatística e genética*. Versão 8.0. Viçosa, MG. 2000.
- VAN SOEST, P. J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2. ed. Ithaca: Cornell University Press, 1994. 476 p.
- VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Symposium: carbohydrate methodology, metabolism and nutritional implications in dairy cattle. *Journal of Dairy Science*, Madison, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.
- WILSON, J. R.; MERTENS, D. R.; HATFIELD, R. D. Isolates of cell types from sorghum stems: digestion, cell wall and anatomical characteristics. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, Malden, v. 63, n. 4, p. 407-417, 1993.