

Cinética e parâmetros de fermentação ruminal *in vitro* de silagens de parte aérea e raízes de mandioca

[Kinetic parameters and *in vitro* rumen fermentation of cassava foliage and roots silages]

C.F.P.G. Silva^{1,6}, M.P. Figueiredo², M.S. Pedreira², F.S. Bernardino³,
D.H. Farias⁴, J.A.G. Azêvedo⁵

¹Aluna de pós-graduação – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – Santa Inês, BA

²Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – Itapetinga, BA

³Universidade Federal de Viçosa – Viçosa, MG

⁴Universidade Federal de Pelotas – Pelotas, RS

⁵Universidade Estadual de Santa Cruz – Ilhéus, BA

⁶Instituto Federal Baiano – Santa Inês, BA

RESUMO

Foram avaliados os efeitos do emurchecimento e da inclusão de raízes 0, 15, 30 e 45% da matéria natural sobre a cinética e os parâmetros da fermentação ruminal de silagens da parte aérea da mandioca. A produção acumulada de gases (PAG) às 96 horas de incubação foi influenciada significativamente ($P < 0,05$) pela interação emurchecimento *versus* inclusão de raízes. Para a PAG, houve elevação linear de 1,88mL a cada unidade percentual de raiz adicionada às silagens não emurchecidas e efeito quadrático nas silagens emurchecidas, com produção máxima de 226mL de gases, com a inclusão de 30,5% de raízes. A degradabilidade verdadeira *in vitro* da MS (DVIMS) das silagens apresentou significância ($P < 0,05$) para o emurchecimento e para a interação inclusão de raízes *versus* tempo de incubação. O emurchecimento reduziu, aproximadamente, 2% da degradabilidade da silagem, enquanto a inclusão de raízes propiciou elevação linear dessa variável, que atingiu o valor máximo às 24 horas de incubação.

Palavras-chave: degradabilidade, produção de gases, ruminantes, volumosos

ABSTRACT

*The effects of wilting and roots inclusion (0, 15, 30 and 45% fresh matter) on rumen fermentation kinetics and parameters of cassava foliage silages were evaluated. Total gas production (TGP) after 96 hours of incubation was significantly influenced ($P < 0.05$) by the interaction between wilting and roots inclusion. TGP was linearly increased by 1.88 mL for each percent unit of root added to the wilted silage, whereas, for wilted ones, a quadratic effect was observed, with a maximum gas cumulative output of 226 mL for 30.5% roots addition. The true DM degradability of silages *in vitro* (IVTDM) showed significance ($P < 0.05$) to wilting and interaction between root inclusion and incubation time. Wilting reduced silage degradability in approximately 2%, while root inclusion led to linear increases in this variable, which reached its peak at 24h of incubation.*

Keywords: degradability, gas production, ruminants, forages

INTRODUÇÃO

A redução de custos com a alimentação na pecuária tem sido enfoque das pesquisas em produção de ruminantes, sendo a utilização de coprodutos e alimentos regionais uma importante alternativa. A mandioca (*Manihot esculenta*,

Crantz) é uma cultura bastante difundida no país, principalmente na região Nordeste, adaptando-se bem às condições adversas do semiárido. Apresenta bom valor nutricional e alta produtividade, bem como concentração proteica superior à maioria dos volumosos de boa qualidade utilizados na alimentação de vacas

Recebido em 11 de agosto de 2011

Aceito em 20 de julho de 2012

E-mail: kmillaf@yahoo.com.br

leiteiras especializadas. A parte aérea da mandioca (PAM) é subaproveitada, sendo geralmente desprezada por ocasião da colheita das raízes. Estas concentram alto conteúdo energético e elevada digestibilidade. Tanto as raízes quanto a parte aérea da mandioca têm potencial para serem ensiladas, entretanto a ensilagem conjunta dessas fontes não foi estudada, necessitando de avaliações que comprovem seu valor nutritivo e potencialidade para serem utilizadas como silagem na alimentação de ruminantes.

O valor nutritivo dos alimentos mantém relação direta com sua digestibilidade e o desempenho dos animais. Tais determinações podem ser obtidas por métodos *in vivo*, *in situ* ou *in vitro* (Maurício et al., 1999; Maurício et al., 2003). De acordo com Ørskov (2002), citado por Maurício et al. (2003), as metodologias *in vitro* apresentam alta correlação entre consumo e digestibilidade *in vivo*, constituindo-se alternativas válidas na avaliação da qualidade nutricional de forrageiras. Makkar (2005) destacou ainda a importância dessas técnicas pela minimização dos custos, possibilidade de avaliação de maior número de amostras, menor tempo necessário e maior controle das condições ambientais em relação aos experimentos *in vivo*.

Por meio da simulação do ambiente ruminal e da digestão microbiana, a técnica semi-automática de produção de gases permite a descrição da cinética de fermentação ruminal, fornecendo informações sobre a taxa e a extensão da degradação das forrageiras (Getachew et al., 1998; Maurício et al., 2003), podendo ser útil nas estimativas de consumo (Blümmel e Ørskov, 1993). A produção de gases (PG) apresenta elevada correlação com as degradabilidades aparente e verdadeira *in vitro*, bem como com a degradabilidade ruminal *in vivo* (Blümmel et al., 1997). Os gases mensurados por meio da técnica semiautomática de produção de gás são oriundos da fermentação microbiana dos carboidratos e, em menor escala, de proteínas, representando o produto final do metabolismo energético, responsável pela produção de ATP para o crescimento e a manutenção das células microbianas (Makkar, 2002).

A produção de gases é influenciada pela composição dos alimentos, de forma que a fermentação de alimentos ricos

em fibra, celulose e hemicelulose resulta proporcionalmente em maior produção de gases em relação àqueles ricos em amido, devido à diferente relação acetato:propionato entre esses substratos (Nogueira et al., 2006)

Objetivou-se com este trabalho avaliar o efeito do emurhecimento da parte aérea e da inclusão de raízes sobre a qualidade nutricional das silagens de mandioca, por meio da avaliação cinética e dos parâmetros de fermentação ruminal *in vitro*.

MATERIAL E MÉTODOS

Utilizou-se um delineamento inteiramente ao acaso, disposto em arranjo fatorial 2x4, sendo duas condições de umidade da parte aérea da mandioca (PAM) – com e sem emurhecimento – e quatro doses de inclusão de raízes de mandioca – 0, 15, 30 e 45%, com base na matéria natural, com três repetições.

A PAM foi obtida 150 dias após o último corte. Após a colheita, o material foi processado para obter o tamanho de partícula de 2-5cm. As raízes de mandioca foram adquiridas no mercado local, e picadas. Em seguida, a PAM sem emurhecimento foi acrescida pelas devidas proporções de raízes e imediatamente ensilada. A outra parte da PAM foi submetida à secagem natural durante quatro horas (emurhecimento); após esse período, procedeu-se à inclusão das raízes e efetuou-se a ensilagem. O material foi ensilado em minissilos experimentais de policloreto de vinil (PVC), com 50cm de altura e 20cm de diâmetro, dotados de válvulas de Bunsen. A compactação do material foi realizada manualmente com bastão de madeira. Após a acomodação final do material, os silos foram devidamente fechados e vedados com fitas adesivas, pesados e acondicionados em local fresco e arejado até o momento da abertura, 90 dias após a ensilagem.

A técnica de produção de gases *in vitro* foi conduzida de acordo com o descrito por Maurício et al. (1999). Em frascos de 160mL foram adicionados CO₂ e 1g das amostras (1mm), com uma réplica para cada silagem de PAM – com e sem emurhecimento – e raízes de mandioca – 0, 15, 30 e 45% (Tab. 1).

Tabela 1. Composição química de silagens da parte aérea e raízes de mandioca

Item	Trat.	Inclusão de raízes (% MN)				Média
		0	15	30	45	
MS, %	PAM1	12,59b	16,53b	21,98b	23,88b	18,75
	PAM2	20,21a	24,18a	24,61a	26,48a	23,87
MM, %MS	PAM1	7,92a	6,20a	5,10a	4,14a	5,84
	PAM2	7,37b	6,43a	4,98a	3,89a	5,67
PB, %MS	PAM1	18,01b	14,21b	11,36b	8,99b	13,14
	PAM2	20,90a	18,50a	15,06a	11,03a	16,37
PIDN, % MS	PAM1	5,45a	2,30b	1,72b	1,27a	2,69
	PAM2	5,29a	3,17a	2,60a	1,52a	3,15
PIDA, % MS	PAM1	2,56a	1,60a	1,21a	0,58b	1,49
	PAM2	2,03b	1,63a	1,17a	0,82a	1,41
FDN, %MS	PAM1	51,03a	36,60a	26,38b	19,74a	33,44
	PAM2	49,04a	37,80a	29,49a	21,35a	34,42
FDA, %MS	PAM1	40,74	30,76	23,13	16,81	27,86b
	PAM2	40,81	32,54	23,72	19,64	29,18a
HEM, %MS	PAM1	10,29a	5,84a	3,25a	2,93a	5,58
	PAM2	8,23b	3,25a	2,93b	1,71a	4,03
LIG, %MS	PAM1	12,37	8,63	6,67	4,84	8,13b
	PAM2	13,51	9,48	8,50	5,81	9,33a
CT, %MS	PAM1	70,91a	77,56a	81,47a	85,21a	78,79
	PAM2	67,68b	72,21b	77,07 b	83,11b	75,02
CNF, %MS	PAM1	25,08a	44,75a	58,13a	67,88a	48,96
	PAM2	23,93a	38,77b	51,11b	64,41b	44,56
NDT, %MS	PAM1	53,28	62,87	69,67	74,61	65,11a
	PAM2	52,18	62,56	67,31	72,84	63,72b

*Letras distintas na mesma coluna indicam diferença entre valores entre si a 5% de probabilidade pelo teste “t” de Student (P<0,05). MS, matéria seca; MM, matéria mineral; PB, proteína bruta; PIDN, proteína insolúvel em detergente neutro; PIDA, proteína insolúvel em detergente ácido; HEM, hemicelulose; LIG, lignina; CT, carboidratos totais; CNF, carboidratos não fibrosos; NDT, nutrientes digestíveis totais. PAM 2 e 1: parte aérea da mandioca submetida ou não ao emurchecimento.

Em cada frasco foram adicionados 90mL de meio de cultura contendo minerais e tamponantes (Theodorou *et al.*, 1994). As soluções foram preparadas na noite antecedente à incubação e mantidas em estufa a 39°C.

O inóculo ruminal utilizado na inoculação foi composto por uma mistura dos fluidos ruminais de três vacas da raça Holandesa, portadoras de cânulas no rúmen, mantidas em confinamento, cuja dieta foi composta por silagem de capim-elefante com casca de café *ad libitum*, 3,8kg de mistura de alimentos concentrados contendo milho moído e farelo de soja, sal mineral e água.

As vacas foram mantidas em jejum hídrico e alimentar nas 12 horas que antecederam a coleta do fluido. Após a coleta, o fluido foi armazenado em garrafas térmicas para transporte até o laboratório, onde foi filtrado em tecido de *nylon*

com porosidade de 100µm, misturados nas mesmas proporções e saturados com CO₂, enquanto mantidos em banho-maria a 39°C. O fluido ruminal (10mL) foi inoculado nos frascos contendo amostras e meio de cultura; estes foram vedados com tampas de borracha expansivas e mantidos em estufa (39°C) até o momento das leituras.

As leituras de pressão dos gases produzidos durante as fermentações foram realizadas às duas, quatro, seis, oito, 10, 12, 15, 18, 21, 24, 30, 36, 48, 72 e 96 horas após o início das incubações. As leituras de pressão dos gases (PSI; pressão por plegada quadrada) foram realizadas de forma semiautomática, por meio de um transdutor de pressão (tipo T443A, Bailey e Mackey, Inglaterra). As medidas de pressão obtidas foram ajustadas para o volume de gases conforme a equação proposta por Figueiredo *et*

al. (2003), para a altitude local (Vitória da Conquista-BA): $V = -0,02 + 4,30p + 0,07p^2$, em que V é o volume dos gases (mL) e p é a pressão dos gases dentro dos frascos de fermentação (PSI).

A degradação verdadeira *in vitro* das silagens foi determinada seis, 12, 24, 48 e 96 horas após a inoculação. A degradabilidade ruminal foi estimada como a diferença entre a quantidade de amostra colocada para fermentar em cada frasco e a quantidade de resíduo recuperado após digestão com solução detergente neutro por uma hora; em seguida, filtrado em cadinho de vidro nº 1 e seco em estufa a 105°C por 24 horas (Goering e Van Soest, 1970).

A cinética da produção cumulativa de gases foi avaliada empregando-se o modelo logístico bicompartimental para a estimativa dos seus parâmetros (Schofield *et al.*, 1994): $V(t) = (Vf1/(1+\exp(2-4*Kd1*(T-L)))+(Vf2/(1+\exp(2-4*Kd2*(T-L))))$, em que V(t) é o volume acumulado no tempo t; Vf1, o volume de gás oriundo da fração de rápida digestão (CNF); Kd1(h⁻¹), a taxa de degradação da fração de rápida digestão (CNF); L, a latência ou o tempo de colonização em horas; T, o tempo (h); Vf2, o volume de gás da fração de lenta degradação (B2); Kd2 (h⁻¹), a taxa de degradação da fração B2.

Utilizou-se um delineamento inteiramente ao acaso, composto de três repetições, em que cada repetição do silo foi incubada em uma rodada distinta. Os dados foram submetidos à análise de

variância utilizando-se programa estatístico SAS (Statistical Analysis System, 2006). Para estudo detalhado da interação emurchecimento da parte aérea *versus* porcentagem de inclusão de raiz, quando esta foi significativa, foram realizados os desdobramentos adequados. Para o estudo do efeito do emurchecimento, aplicou-se o teste de Tukey a 5% de significância e, de outro modo, o efeito crescente da inclusão de raiz em cada umidade da PAM (com e sem emurchecimento), aplicou-se a análise de regressão, sendo a escolha do modelo baseada na significância dos parâmetros testados pelo teste t de Student e nos valores dos coeficientes de determinação.

Para a variável degradabilidade verdadeira da MS, foi considerado o efeito do tempo de incubação, em um esquema de análise de parcelas subdivididas no tempo: zero, seis, 12, 24, 48 e 96 horas, *split-split* no tempo, utilizando-se a análise de regressão polinomial – superfície de resposta –, para estudar a influência do tempo de incubação e da porcentagem de inclusão de raízes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção acumulada de gases (PAG) às 96h de incubação apresentou interação significativa ($P < 0,05$) entre o emurchecimento e a inclusão de raízes (Tab. 2). Quanto ao efeito do emurchecimento dentro da inclusão de raízes, constatou-se que este afetou a produção de gases apenas com 30 e 45% de inclusão, apresentando efeito positivo no primeiro e negativo no segundo.

Tabela 2. Produção acumulada de gases (PAG; mL) de silagens da parte aérea da mandioca com (U2) e sem emurchecimento (U1) em razão da inclusão de raízes durante 96h de incubação *in vitro*

PAM*	Inclusão de raiz (% MN)				CV (%)	Efeito		
	0	15	30	45		U	R	UxR
	PAG (96h)							
U1	144,0a	204,1a	172,2b	249,0a	17,28			
U2	125,8a	190,3a	235,5a	199,8b	13,18	ns	*	*

PAM, parte aérea da mandioca.

Médias seguidas de letras iguais na coluna não diferem entre si a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey.

Ao se avaliar a PAG em razão da adição de raízes (Tab. 3), verificou-se que nas silagens não emurchecidas houve elevação linear de 1,88mL a cada unidade de raiz adicionada. Em relação às silagens emurchecidas, a análise da regressão revelou comportamento quadrático, obtendo-se

produção máxima de 226mL de gases com a inclusão de 30,5% de raízes.

As silagens não acrescidas de raízes apresentaram os menores valores de produção de gases (144,0 e 125,8mL) em relação aos demais

substratos contendo raízes, o que pode ser atribuído à menor proporção de carboidratos não fibrosos (CNF) e elevado teor de proteína bruta (Tab. 1). Os CNF apresentam maior taxa de fermentação no rúmen e contribuem significativamente para a produção de ácidos graxos voláteis (AGVs). Além disso, de acordo com Khazaal *et al.* (1995), a incubação de substratos ricos em proteína resultaria na formação de bicarbonato de amônio, a partir de CO₂ e amônia, reduzindo, assim, a contribuição de CO₂ para a produção total de gás.

Tabela 3. Produção acumulada de gases (PAG; 96h) das silagens de parte aérea da mandioca em razão da inclusão de raízes

Tratamento	Equações de regressão	R ²
PAG (96h)		
PAM1	$\hat{Y}=149,867+1,8877x$	0,52
PAM2	$\hat{Y}=122,762+6,7886x - 0,1113x^2$	0,77

PAM 2 e 1: parte aérea com e sem emurchecimento.

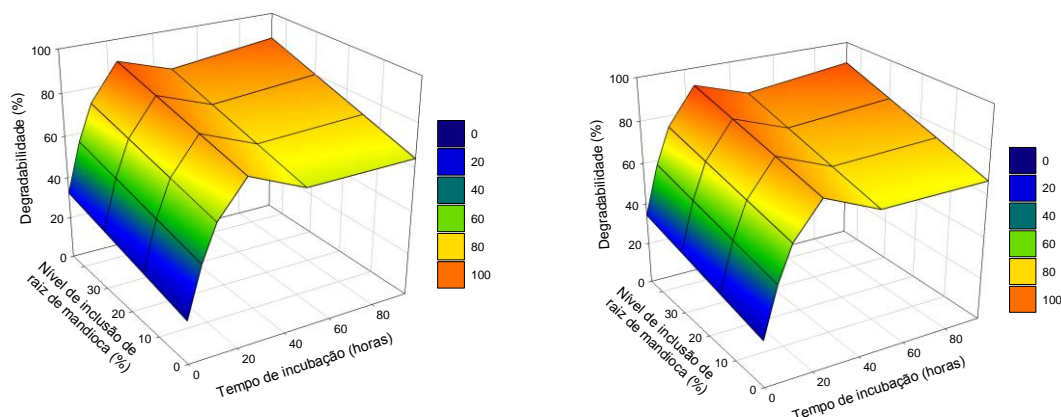
A inclusão de raízes proporcionou elevação da fração de carboidratos não fibrosos (Tab. 1), representada principalmente pelo amido, resultando em maior PAG, o que corrobora com Cabral *et al.* (2002), que verificaram aumento linear do volume de gases com o acréscimo de diferentes porcentagens de grãos na silagem de milho. Entretanto, Blümmel *et al.* (1997) afirmaram que substratos ricos em amido proporcionam maior produção de propionato, podendo resultar em menor volume total de gases quando comparados a substratos fibrosos, cuja capacidade de produção de acetato é maior, sendo, por conseguinte, a produção de gases proporcionalmente superior. Isso ocorre porque a formação do propionato é a única via metabólica na produção dos três principais AGVs, a qual consome hidrogênio e não envolve a produção de dióxido de carbono (CO₂), além de não contribuir para a formação de gases mensurados pela técnica (van Soest, 1994). A divergência encontrada entre este trabalho e o de Blümmel *et al.* (1997) pode estar relacionada à menor fermentabilidade da PAM, em razão dos altos

teores de lignina e de proteína, ambos reduzidos com a inclusão de raízes.

Pereira *et al.* (2007), ao utilizarem a técnica de produção de gases, obtiveram, para silagens de milho com 41,9% de MS e 31,5% de grãos, um volume total de gases em 96 h de 23,1mL.mg⁻¹ de amostra, o que equivale a 231mL.g⁻¹, valor similar ao observado para silagens de PAM emurchecida com 30% de raízes (235,4mL.g⁻¹), comprovando o bom valor nutricional dessa silagem.

A degradabilidade verdadeira *in vitro* da MS (DVIMS) das silagens apresentou significância (P<0,05) para o emurchecimento e para a interação entre a inclusão de raízes e o tempo de incubação (Fig. 1). Os valores das estimativas de DVIMS para as silagens não emurchecidas se ajustaram ao modelo polinomial de regressão. Verifica-se que, no tempo zero de incubação, as silagens apresentaram valores de degradação entre 20 e 35%, ocorrendo elevação linear dos valores à medida que se incrementou a inclusão de raízes. Estes valores expressam um alto conteúdo de compostos solúveis prontamente disponíveis no rúmen. Com o decorrer da incubação, verificou-se aumento da degradação das silagens, tendo, por volta de 24h, um pico de degradação em todas as silagens avaliadas, sendo de magnitude superior para as silagens com maior percentual de raízes.

A curva de degradação estimada para as silagens emurchecidas foi similar à das silagens não emurchecidas, sendo a diferença apenas relativa ao menor percentual de degradação, cerca de 2% inferior em resposta ao emurchecimento (Fig. 1). Tais resultados podem estar relacionados à diferença na proporção de raízes na MS total das silagens, já que a adição destas foi definida com base na MN. Dessa forma, as silagens emurchecidas teriam maior contribuição da PAM na MS total e, conseqüentemente, menor degradabilidade do que aquelas com maior proporção de raízes (silagens de PAM não emurchecidas).



$$\hat{Y} = 21,8019 + 0,2799R + 4,414T - 0,1047T^2 + 0,00066T^3 + 0,0026RT$$

$$R^2 = 0,88$$

Figura 1. Degradabilidade *in vitro* da matéria seca de silagens da parte aérea da mandioca não emurchecida (esquerda) e emurchecida (direita), em razão da inclusão de raízes (R) e do tempo de incubação (T) ruminal *in vitro*/gás.

A elevada degradabilidade no tempo de 24h indica que as silagens podem prover um rápido fluxo de partículas para fora do rúmen, permitindo maior ingestão de alimentos e possivelmente melhor desempenho. Velho (2005) obteve DIVMS às 24h de incubação em silagens de milho com estágio de maturação leitoso e ½ leitoso ½ farináceo de, respectivamente, 76,9 e 77,0%, valores próximos aos encontrados para a silagem de PAM sem inclusão de raízes, que variaram entre 74,6 e 76,6%, com e sem emurchecimento. Maurício *et al.* (2003) encontraram resultados mais baixos para as silagens de híbridos de sorgo e capim-sudão, que variaram entre 56,4 e 63,1% de degradação em 48h de fermentação.

A degradabilidade das silagens ao final das 96h variou entre 64,6 e 88,4% da MS nas silagens não emurchecidas e entre 62,6 e 86,4% para as silagens emurchecidas, respectivamente, para 0 e 45% de inclusão de raízes. Resultados semelhantes foram encontrados por Cabral *et al.* (2002), em silagens de milho com proporção de 0 a 60% de grãos, que apresentaram DVIMS entre 62,2 e 80,6%.

Para os parâmetros cinéticos Vf1 e Kd1, verificou-se significância ($P < 0,05$) para interação emurchecimento da PAM *versus* inclusão de raízes (Tab. 4). Ao se avaliarem os valores de Vf1 em razão do acréscimo de raízes para a silagem sem emurchecimento, nenhum modelo ajustou-se aos dados, estimando-se a média de $103,104 \text{ mL.g}^{-1}$. Nestas silagens constatou-se maior taxa de digestão dos CNF ($0,114 \text{ .h}^{-1}$) com a adição de 29,4% de raízes. Com relação à silagem emurchecida, a inclusão de raízes promoveu efeito quadrático sobre o Vf1, com produção máxima de gases de $205,67 \text{ mL.g}^{-1}$ observada com a adição de 26,4% de raízes de mandioca, e aumento linear do Kd1 (Tab. 4).

As taxas de digestão estimadas para os CNF nas silagens com maior participação de raízes estão de acordo com os limites de 10 a 40 .h^{-1} sugeridos por Sniffen *et al.* (1992) para a fração B1 dos carboidratos. Todavia, as silagens com menores percentuais de raízes, 0 e 15%, apresentaram taxas de digestão dos CNF mais baixas, o que provavelmente está relacionado à natureza desses carboidratos, predominantemente ácidos orgânicos, compostos que não são fermentados no rúmen.

Tabela 4. Estimativas dos parâmetros cinéticos da produção de gases *in vitro* da matéria seca (MS) das silagens de parte aérea com (U2) e sem emurchecimento (U1) e raízes de mandioca

PAM	Inclusão de raiz (% MN)				CV (%)	Equação de regressão	R ²
	0	15	30	45			
					Vf1 (mL.g ⁻¹)		
U1	78,6	126,0	74,2	133,6	19,23	$\hat{Y} = 103,104$	-
U2	66,2	113,9	140,9	97,1		$\hat{Y} = 63,656 + 5,375x - 0,1017x^2$	69,5
					Kd1 (h ⁻¹)		
U1	0,084	0,09	0,125	0,094	11,49	$\hat{Y} = 0,0793 + 0,00235x - 0,00004x^2$	51,5
U2	0,077	0,09	0,090	0,116		$\hat{Y} = 0,0761 + 0,000767x$	50,3
					L (h)		
U1	7,58	8,00	7,83	8,72	4,45	$\hat{Y} = 8,03$	-
U2	8,01	7,40	7,69	8,47		$\hat{Y} = 7,89$	-
					Vf2 (mL.g ⁻¹)		
U1	62,7	74,5	94,0	110,0	17,21	$\hat{Y} = 61,1054 + 1,076x$	75,6
U2	56,7	72,5	90,0	99,0		$\hat{Y} = 57,9147 + 0,9623x$	60,5
					Kd2 (h ⁻¹)		
U1	0,025	0,026	0,028	0,027	7,95	$\hat{Y} = 0,0245 + 0,00019x - 0,000003x^2$	51,1
U2	0,022	0,023	0,026	0,027		$\hat{Y} = 0,0221 + 0,000104x$	38,5

Vf1= volume máximo de produção de gases da fração dos CNF; Kd1= taxa de digestão para a fração dos CNF; L = tempo de colonização; Vf2= volume máximo da produção de gases da fração dos CF; Kd2= taxa de digestão para a fração dos CF..

Cabral *et al.* (2002), ao avaliarem a melhora da qualidade nutricional de silagem de milho da planta inteira mediante o incremento de grãos, também verificaram aumento dos CNF e redução dos CF, o que propiciou maior produção de gases e degradabilidade dos nutrientes. Entretanto, as taxas de digestão (Kd1 e Kd2) foram afetadas quadraticamente, de forma similar ao ocorrido no presente trabalho. Segundo esses mesmos autores, em sistemas *in vitro*, a alteração dos parâmetros cinéticos pode ser atribuída ao acúmulo de metabólitos (AGVs) em taxas elevadas ao ambiente de incubação ou mesmo à exaustão dos nutrientes (N), que pode inibir a ação fermentativa, mesmo que ainda existam nutrientes potencialmente digestíveis. Tal explicação pode ser a base para os resultados observados neste estudo em relação aos parâmetros cinéticos Vf1 e Kd1, uma vez que a maior inclusão de raízes aumentou a disponibilidade de carboidratos de fácil digestão, favorecendo o acúmulo de gases, mas, por outro lado, diminuiu o aporte de nitrogênio, o que pode ter influenciado na atividade microbiana.

Os tempos de colonização (L) das silagens foram significativamente afetados ($P < 0,05$) pela inclusão de raízes, entretanto nenhum modelo se ajustou adequadamente aos dados, estimando-se uma média de 8,03 e 7,49h, respectivamente,

para as silagens de PAM sem e com emurchecimento.

O tempo de colonização (L) representa o tempo entre o início da incubação e a ação microbiana sobre o substrato testado. Essa característica está relacionada à presença de substratos prontamente fermentescíveis e às propriedades físicas e químicas (antinutrientes) da amostra, capazes de facilitar a fermentação microbiana. As silagens avaliadas apresentaram altos valores de L, mesmo naquelas acrescidas com maior percentual de raízes, cujo conteúdo de CNF foi alto e o de lignina baixo (Tab. 1). Uma das possíveis explicações seria a inespecificidade microbiana do inóculo ruminal em relação ao substrato, uma vez que os animais doadores não foram alimentados com as silagens em estudo, dificultando a colonização e a fermentação inicial do substrato. Schofield e Pell (1995) verificaram diferenças significativas nos parâmetros cinéticos, ao usarem diferentes inóculos de líquido ruminal, e relataram que as diferenças encontradas podem ter ocorrido em razão de diferentes quantidades e espécies de microrganismos no inóculo.

Tomich *et al.* (2003), ao avaliarem sorgo e híbridos de sorgo e capim-sudão, não encontraram diferença estatística para valores de L, que variaram de 2h e 6min a 3h e 30 min.

Campos *et al.* (2000) encontraram, para silagens de milho com diferentes teores de MS, taxas de colonização entre 5,6 e 7,6h, estando mais próximos dos resultados observados para as silagens avaliadas (Tab. 4). Entretanto, os valores de L obtidos nesta pesquisa foram mais baixos que os relatados para gramíneas tropicais, conforme Sá (2007) para *Brachiaria bryzantha* cv. Marandu, em diferentes idades de crescimento, média de 15,6h, e Malafaia (1997) para capim-elefante, capim-gordura, *Brachiaria bryzantha* e *Brachiaria decumbens*, com valores de L de, respectivamente, 8,5, 12,2, 10,4 e 8,1h.

A inclusão de raízes influenciou positivamente ($P < 0,05$) os valores de Vf2 das silagens sem e com emurchecimento (Tab. 4), sendo estimados acréscimos de 1,07 e 0,96mL de gases.g⁻¹, respectivamente, para cada unidade adicionada. Para as taxas de digestão da fração fibrosa (Kd2), houve efeito da porcentagem de raízes ($P < 0,05$) e do emurchecimento ($P < 0,05$). Nas silagens não emurchecidas, à análise de regressão, estimou-se uma equação de segundo grau para representar o efeito da inclusão de raízes sobre a Kd2, sendo a taxa máxima de digestão obtida pelo acréscimo de 31,67% de raízes. Já nas silagens emurchecidas, verificou-se efeito linear crescente sobre a variável supracitada com o aumento da participação das raízes.

Embora o incremento na proporção de raízes às silagens tenha promovido decréscimo no teor de CF, maiores volumes de gases foram produzidos pela fermentação desta fração. Conforme Cabral *et al.* (2002), concentrações moderadas de carboidratos de rápida fermentação podem estimular a degradação da fibra, fato que parece ter ocorrido neste trabalho.

Modesto *et al.* (2004), ao avaliarem silagens do terço superior da rama da mandioca, obtiveram, para Kd1 e Kd2, 0,123 e 0,025.h⁻¹, respectivamente. Valor similar de Kd2 (0,025.h⁻¹) foi obtido neste estudo para a silagem de PAM sem acréscimo de raízes, porém inferior para a Kd1 (0,084.h⁻¹). Ambos os estudos apresentaram valores aquém dos relatados por Campos *et al.* (2000) para a Kd2 em silagem de milho e feno de alfafa, respectivamente, 0,042 e 0,037.h⁻¹, mas

foram ligeiramente mais altos que os obtidos para sorgo e híbridos de sorgo e capim-sudão, observados por Tomich *et al.* (2003). A menor taxa de digestão da fração fibrosa da silagem da PAM é provavelmente devido à elevada concentração de lignina em sua FDN, o que limita o acesso microbiano, retardando a degradação dos compostos da parede celular.

Tomich *et al.* (2003) ressaltaram a importância dos parâmetros cinéticos como critério de seleção ou avaliação da qualidade das forragens, não devendo, contudo ser levados em consideração individualmente, pois maiores Vf1 e Vf2 indicam maior fermentabilidade do material, sem considerar a limitação do tempo de permanência do alimento no rúmen, enquanto os altos valores de Kd1 e Kd2 implicam menor tempo de degradação para as frações potencialmente fermentescíveis, mas desconsideram a extensão desta fração no alimento. Neste sentido, forragens mais fermentescíveis, ou digestíveis, seriam aquelas que apresentam altos valores de potencial máximo e taxa de produção de gases, pois alcançariam potenciais máximos de fermentação em menor tempo.

A cinética de digestão e de passagem do alimento pode prover dados sobre a eficiência de utilização dos alimentos, fornecendo parâmetros importantes para avaliação e seleção dos alimentos. Maiores taxas de degradação poderão resultar em aumento da velocidade de fluxo da digesta, elevando a ingestão de MS e a quantidade de substratos disponíveis para a biossíntese microbiana, o que acarretará maior oferta de PB no intestino delgado e, por conseguinte, melhor desempenho animal.

CONCLUSÃO

O emurchecimento afeta negativamente a produção de gases e a degradabilidade da matéria seca. A inclusão de raízes melhora as características de fermentação ruminal *in vitro* das silagens da parte aérea da mandioca, aumentando a disponibilidade de nutrientes digestíveis e de energia, o que favorece a degradação da MS.

REFERÊNCIAS

- BLÜMMEL, M.; ØRSKOV, E.R. Comparison of *in vitro* gas production and nylon degradability of roughage in predicting feed intake in cattle. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.40, p.109-119, 1993.
- BLÜMMEL, M.; STEINGAB, H.; BECKER, K. The relationship between *in vitro* gas production, *in vitro* microbial biomass yield and ¹⁵N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. *Br. J. Nutr.*, v.77, p.911-921, 1997.
- CABRAL, L.S.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E. *et al.* Cinética ruminal das frações de carboidratos, produção de gás, digestibilidade *in vitro* da matéria seca e NDT estimado da silagem de milho com diferentes proporções de grãos. *Rev. Bras. Zootec.*, v.31, p.2332-2339, 2002.
- CAMPOS, F.P.; BOSE, M.L.V.; BOIN, C. *et al.* Avaliação do sistema de monitoramento computadorizado de digestão *in vitro*. 3. Desaparecimento da matéria seca e/ou FDN pela produção de gás. *Rev. Bras. Zootec.*, v.29, p.537-544, 2000.
- FIGUEIREDO, M.P.; MAURÍCIO, R.M.; PEREIRA, L.G.R. *et al.* Determinação da relação entre a pressão e volume através da fermentação da raiz de mandioca tratada com ureia, feno de tifton 85 e silagem de milho para instalação da técnica *in vitro* de produção de gases. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40., 2003, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria, RS: [s.n.] 2003. CD-ROM. (resumo).
- GETACHEW, G.; BLÜMMEL, M.; MAKKAR, H.P.S. *et al.* *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutrition quality of feeds: a review. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.72, p.261-281, 1998.
- GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. *Forage fiber analysis: apparatus, reagents, procedures, and some applications.* Washington, DC: USDA, 1970. 379p.
- KHAZAAL, K.; DENTINHO, M.T.; RIBEIRO, J.M. *et al.* Prediction of apparent digestibility and voluntary intake of hays fed to sheep: comparison between using fiber components, *in vitro* digestibility or characteristics of gas production or nylon bag degradation. *Anim. Sci.*, v.61, p.527-538, 1995.
- MALFAIA, P.A.M. *Taxas de digestão das frações proteicas e de carboidratos de alimentos por técnicas in situ, in vitro e de produção de gases.* 1997. 85f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.
- MAKKAR, H.P.S. Applications of the *in vitro* gas method in the evaluation of feed resources, and enhancement of nutritional value of tannin-rich tree/browse leaves and agro-industrial by-products. In: SCIENTIFIC JOURNALS AND CONFERENCE, 1., 2002, Cairo. *Proceedings...* Cairo, Egypt: FAO/IAEA, division of nuclear Techniques in Food and Agriculture, 2002. p.23-42.
- MAKKAR, H.P.S. Recent advances in vitro gas method for evaluation of nutritional quality of feed resources. Assessing quality and safety of animal feeds. *FAO Animal Production and Health Paper* 2005. 170p. Disponível em: <<http://www.fao.org/docrep/007/y5159e/y5159e05.htm#TopOfPage>>. Acessado em: 12 dez. 2008.
- MAURÍCIO, R.M.; MOULD, F.L.; DHANOA, M.S. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.79, p.321-330, 1999.
- 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. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.55, p.216-219, 2003.
- MODESTO, E.C.; SANTOS, G.T.; VILELA, D. *et al.* Caracterização químico-bromatológica da silagem do terço superior da rama de mandioca. *Acta Scientiarum*, v.26, p.137-146, 2004.
- NOGUEIRA, Ú.T.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C.; PEREIRA, L.G.R. Predição da degradação da matéria seca pelo volume de gases utilizando a técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.58, p.901-909, 2006.
- PEREIRA, E.S.; MIZUBUTI, I.Y.; PINHEIRO, S.M. *et al.* Avaliação da qualidade nutricional de silagens de milho (*Zea mays*, L). *Caatinga*, v.20, p.08-12, 2007.
- SÁ, J.F. *Avaliação nutricional de alimentos para ruminantes.* 2007. 70f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga.
- SCHOFIELD, P.; PELL, A.N. Validity of using accumulated gas pressure reading to measure forage digestion *in vitro*: A comparison involving three forages. *J. Dairy Sci.*, v.78, p.2230-2238, 1995.
- SCHOFIELD, P.; PITT, R.E.; PELL, A.N. Kinetics of fiber digestion from *in vitro* gas production. *J. Anim. Sci.*, v.72, p.2980-2991, 1994.
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.S. *et al.* A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets. II. Carbohydrate and protein availability. *J. Anim. Sci.*, v.70, p.3562-3577, 1992.

STATISTICAL Analysis System-SAS. Software, version 6.0. Cary: SAS Institute, 1996.

THEODOROU, M.K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA, M.S.; MCALLAN, A.B. A simple gas production method using a pressure transducer to determine fermentation kinetics of ruminant feeds. *Anim. Feed Sci. Technol.*, v.48, p.185-197, 1994.

TOMICH, T.R.; GONÇALVES, L.C.; MAURÍCIO, R.M. *et al.* Composição bromatológica e cinética de fermentação ruminal de híbridos de sorgo com capim-sudão. *Arq. Bras. Med. Vet. Zootec.*, v.55, p.747-755, 2003.

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

VELHO, J.P. *Qualidade nutritiva de silagens de milho (Zea mays L.) "safrinha" de planta inteira submetida a diferentes maturidades submetidos a distintos procedimentos de ensilagem e "desensilagem"*. 2005. 147f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Santa Maria.