

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB  
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE SILAGENS DA  
PARTE AÉREA E RAÍZES DE MANDIOCA**

**CAMILLA FLÁVIA PORTELA GOMES DA SILVA**

**ITAPETINGA  
BAHIA – BRASIL  
2009**

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB  
PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA**

**CAMILLA FLÁVIA PORTELA GOMES DA SILVA**

**AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE SILAGENS DA PARTE AÉREA E RAÍZES  
DE MANDIOCA**

**Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, como parte integrante das exigências do Programa de Pós-Graduação em Zootecnia, Área de Concentração em Produção de ruminantes, para obtenção do título de “Mestre”.**

**Orientador:**

**Prof. *D.Sc.* Márcio dos Santos Pedreira**

**Co-orientador:**

**Prof. *D.Sc.* Mauro Pereira de Figueiredo**

**ITAPETINGA  
BAHIA – BRASIL  
2009**

636.085 Silva, Camilla Flávia Portela Gomes da.  
S579a Avaliação nutricional de silagens da parte aérea de raízes de  
mandioca. / Camilla Flávia Portela Gomes da Silva. - Itapetinga:  
Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2009.  
91 fl.

Dissertação apresentada, como parte das exigências para obtenção do título de MESTRE EM ZOOTECNIA, no Programa de Pós-Graduação em Zootecnia da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Sob a orientação do Prof. D. Sc. Márcio dos Santos Pedreira e coorientação do Prof. D. Sc. Mauro Pereira de Figueiredo.

1. Mandioca - Alimentação de ruminantes. 2. Nutrição animal - Mandioca. 3. Mandioca - Silagem - Composição química. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Programa de Pós-Graduação em Zootecnia. II. Pedreira, Márcio dos Santos. III. Figueiredo, Mauro Pereira de. IV. Título

CDD(21): 636.085

Catálogo na fonte:

Cláudia Aparecida de Souza – CRB/5-1014  
Bibliotecária – UESB – Campus de Itapetinga-BA

Índice Sistemático para Desdobramento por Assunto:

1. Mandioca : Alimentação de ruminantes
2. Nutrição animal : Mandioca
3. Mandioca : Silagem : Composição química

UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA - UESB  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ZOOTECNIA  
Área de Concentração: Produção de Ruminantes

Campus Itapetinga-BA

DECLARAÇÃO DE APROVAÇÃO

**Título:** "Avaliação Nutricional de Silagens da Parte Aérea e Raízes de Mandioca".

**Autor (a):** Camilla Flávia Portela Gomes da Silva

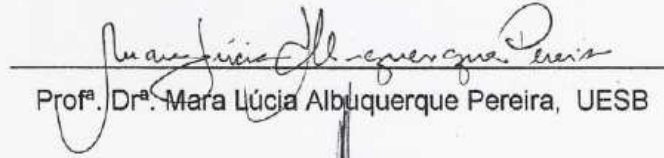
**Orientador (a):** Prof. Dr. Márcio dos Santos Pedreira

**Co-Orientador (a):** Prof. Dr. Mauro Pereira de Figueiredo

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ZOOTECNIA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: PRODUÇÃO DE RUMINANTES, pela Banca Examinadora:



Prof. Dr. Márcio dos Santos Pedreira, UESB

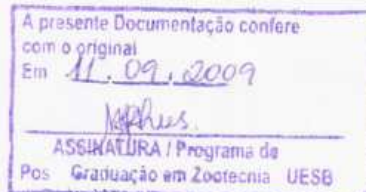


Prof.ª Dr.ª Mara Lúcia Albuquerque Pereira, UESB



Prof.ª Dr.ª Soraia Vanessa Matarazzo, UESC.

Data de realização: 04 de março de 2009.



*À minha mãe, Mirália, pelo amor, dedicação e paciência.*

*À minha irmã, pelo amor, amizade e apoio.*

*À minha pequena e doce sobrinha, Duda, a quem amo muito.*

*À minha avó, “Mainha D. Edelzita” (in memorian), pelo seu cuidado, dedicação e amor,  
minhas eternas saudades!*

*Aos meus tios e primos a quem tanto amo!*

**DEDICO!!!**

*À Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia (UESB), pela oportunidade de realização este curso e financiamento do projeto.*

*Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pela concessão da bolsa no transcorrer do curso.*

*Ao Prof. Dr. Márcio Pedreira, pela boa orientação.*

*Ao Prof. Dr. Mauro Figueiredo, pela elaboração do projeto, co-orientação competente, ajuda nas análises estatísticas, pela disposição em ajudar e pelo exemplo de profissionalismo.*

*Ao Dr. Fernando Bernardino pela elaboração do projeto, sugestões e pela ajuda inestimável durante a condução deste trabalho.*

*Ao prof. Dr. José Augusto Azevedo pela ajuda valiosa nas análises estatísticas.*

*Ao Prof. Dr. Luiz Gustavo, pelo incentivo para realização do mestrado e disponibilidade em ajudar.*

*Aos colegas de mestrado, pelo aprendizado e agradável convivência.*

*Aos amigos, Paulo Eduardo Ferreira (Dudu), Antônio Eustáquio Filho (Tuníco), Luiz Eduardo, Fabiano, Neusete, que ganhei durante esta caminhada pela companhia, amizade, horas de estudo e momentos de alegria compartilhados.*

*À amiga Rosali, pela amizade leal e pela maravilhosa convivência.*

*Aos amigos do LNA-Uesb/VC, Anderson, Thiago, Elizângela, Vera, Juliana, Lara e Kelle pela ajuda na condução das análises e momentos de descontração.*

*À amiga Dani da Hora, pela dedicação, apoio e amizade, que esteve ao meu lado nos momentos mais difíceis.*

*À amiga Aline Oliveira, que mesmo a distância contribuiu com incentivo, apoio, amizade e bons momentos.*

*A todos que contribuíram direta e indiretamente para realização deste trabalho.*

**AGRADEÇO!!!**

## RESUMO

SILVA, C.F.P.G. **Avaliação nutricional de silagens da parte aérea e raízes de mandioca. Itapetinga – BA: UESB, 2009. 91 p.** (Dissertação – Mestrado em Zootecnia – Produção de Ruminantes).\*

A alimentação representa o componente de maior custo na produção animal. A busca de alimentos alternativos que apresentem valor nutritivo adequado, ausência de princípios tóxicos e/ou antinutricionais, boa disponibilidade e custo compatível com sistema de produção empregado, pode ser uma importante ferramenta para o incremento da produção de carne e leite no semi-árido. O conhecimento detalhado da composição química e o valor nutricional destes alimentos são imprescindíveis à adequação de sua aplicabilidade nos sistemas de produção desta região. A mandioca, planta tradicionalmente cultivada nas regiões semi-áridas, pode representar uma boa alternativa para a alimentação de ruminantes, visto que detém na parte aérea, alto valor protéico e considerável qualidade energética em suas raízes. Sua conservação na forma de silagem tem sido avaliada separadamente apresentando bons resultados, entretanto não há informações na literatura sobre a ensilagem em conjunto destes alimentos. Objetivou-se com este trabalho avaliar os parâmetros fermentativos, a composição química e os parâmetros da fermentação ruminal *in vitro* das silagens de parte aérea e raízes de mandioca, utilizando-os como subsídios para avaliação da necessidade de secagem da parte aérea e do nível mais adequado de adição de raízes as silagens. O experimento foi conduzido nas dependências dos laboratórios de nutrição animal da Universidade Estadual de Sudoeste da Bahia, campus de Vitória da Conquista-Ba. Para produção das silagens foram utilizados silos experimentais de PVC, adaptados com válvula de Bunsen, com capacidade de 15 kg. O experimento foi conduzido em esquema fatorial 2 x 4, sendo dois níveis de umidade da PAM (com e sem emurchecimento) e quatro níveis de inclusão de raízes (0,15, 30, 45%), dispostos em um delineamento inteiramente casualizado, com 3 repetições. Os silos foram abertos aproximadamente 90 dias após a ensilagem, quando se procedeu a avaliação das características fermentativas, pH, nitrogênio amoniacal (N-amoniacal), e avaliação sensorial. Foram ainda determinados os constituintes químicos, frações de carboidratos e compostos nitrogenados e, cinética de fermentação ruminal *in vitro* através da técnica de produção de gases. Para análise do efeito do emurchecimento utilizou-se o teste de Tukey ( $P < 0,05$ ), enquanto a inclusão de raízes foi avaliada por meio de análise de regressão. Os parâmetros fermentativos foram afetados positivamente pelo emurchecimento e inclusão de raízes, os tratamentos apresentaram valores de pH entre 3,9 e 4,2, valores de N-NH<sub>3</sub> inferiores a 5% do nitrogênio total e ótima qualidade à avaliação sensorial. Os componentes químicos foram afetados pelos tratamentos, sendo observados redução dos componentes fibrosos com a adição de raízes e elevação com a secagem, comportamento inverso ocorreu em relação ao teor de proteína, e matéria seca. O conteúdo energético aumentou linearmente com a inclusão de raízes, sendo apenas as estimativas de nutrientes digestíveis totais e energia líquida de manutenção reduzidas pela secagem. Em relação à cinética de fermentação ruminal, houve grande variação dos resultados, em função da inclusão de raízes e do emurchecimento, a degradabilidade, pH e a produção de biomassa microbiana ainda foram influenciadas pelo tempo de incubação. As silagens apresentaram bom padrão fermentativo e valor nutritivo compatível com alimentos de boa qualidade utilizados na alimentação de ruminantes. Com destaque para as silagens incrementadas com 30% de raízes, cujos resultados cinéticos e composição química predizem melhor resposta animal.

**Palavras-chave:** características fermentativas, cinética ruminal, composição química, digestibilidade, fracionamento, produção microbiana.

---

\* Orientador: Márcio dos Santos Pedreira, *D.Sc.*, UESB e Co-Orientador: Mauro Pereira de Figueiredo, *Phd.*, UESB.

## ABSTRACT

SILVA, C.F.P.G. **Nutritional evaluation of silage of foliage and roots of cassava. Itapetinga** - BA: UESB, 2009. 91 p. (Dissertation - Master in Zootecnia - Production of Ruminants).\*

Food represents the largest component of cost in livestock production. The search for alternative foods that have adequate nutritional value, absence of toxic principles and / or antinutritional, good availability and cost compatible with the production system employed, may be an important tool to increase the production of meat and milk in the semi-arid. Detailed knowledge of chemical composition and nutritional value of foods are essential to the appropriateness of its application in production systems in this region. The cassava, plant traditionally grown in semiarid regions may represent a good alternative to the feeding of ruminants, as has in the air, high quality protein and considerable energy in their roots. Its conservation as silage has been evaluated separately showing good results, however, there is no information in literature on the ensilage in all these foods. The objective of this study was to evaluate the fermentative parameters, chemical composition and fermentative parameters of silages in in vitro shoots and roots of cassava, using them as subsidies to assess the need for drying the shoot and the most appropriate level of addition of the root fraction. The experiment was conducted in facilities of the laboratories of animal nutrition at the State University of Southwest Bahia, Campus de Vitória da Conquista-Ba. For production of the silages were used PVC experimental silos, equipped with Bunsen valve, with a capacity of 15 kg. The experiment was conducted in a factorial 2 x 4, two levels of humidity cassava foliage (with and without fading) and four levels of inclusion of roots (0.15, 30, 45%), arranged in a randomized design with 3 replications. The silos were opened 90 days after ensiling, when evaluating the fermentation characteristics, pH, ammonia nitrogen (ammonia-N) and sensory evaluation. Yet determined the chemical constituents, fractions of carbohydrates and nitrogen compounds, and kinetics of rumen fermentation in vitro by the technique of gas production. In the annals of the fading effect using the Tukey test ( $P < 0.05$ ), while the inclusion of roots was assessed by the regression analysis. The fermentative parameters were positively affected by wilting and inclusion of roots, the treatments had pH values between 3.9 and 4.2,  $\text{NH}_3\text{-N}$  values of less than 5% of total nitrogen and great quality for the sensory evaluation. The chemical components were affected by the treatments, and observed reduction of fibrous components with the addition of roots and increase the drying, behavior opposite occurred with the contents of protein and dry matter. The energy content increased linearly with the inclusion of roots, only estimates of TDN and ELL reduced by drying. Regarding the kinetics of rumen fermentation, there was great variation in results, depending on the inclusion of roots and wilting. The silages showed good standard fermentation and nutritive value of food compatible with good quality used in ruminant feed. With emphasis on the silages increased with 30% of roots, whose chemical composition and kinetic results predict better response feed.

**Key words:** fermentation characteristics, ruminal kinetics, chemical composition, digestibility, fractionation, microbial production

---

\* Adviser: Márcio dos Santos Pedreira, D.Sc., UESB and Co-Adviser: Mauro Pereira de Figueiredo, Phd., UESB

## LISTA DE TABELA

### CAPÍTULO I

Tabela – 1	Silagens da parte aérea da mandioca submetida a diferentes tratamentos.	22
Tabela – 2	Valores médios de matéria seca, densidade, pH e porcentagem do nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total (N-NH <sub>3</sub> /NT) de silagens de parte aérea e raízes de mandioca, e, suas respectivas equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R <sup>2</sup> ).	25
Tabela – 3	Avaliação sensorial das silagens de parte aérea e raízes de mandioca.	28

### CAPÍTULO II

Tabela – 4	Teores médios percentuais de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hemicelulose (HEM), lignina (LIG), carboidratos totais (CT), carboidratos não fibrosos (CNF), expressos em %MS da parte aérea com e sem emurchecimento (PAM U2 e U1, respectivamente) e raízes de mandioca.	33
Tabela – 5	Teores médios percentuais de frações nitrogenadas e frações de carboidratos expressos com base no nitrogênio total (NT) e carboidratos totais (CT), respectivamente, da parte aérea com e sem emurchecimento (PAM U2, U1, respectivamente) e raízes de mandioca.	35
Tabela – 6	Teores percentuais médios de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose (CEL), hemicelulose (HEM), lignina (LIG), carboidratos totais (CT), carboidratos não-fibrosos (CNF) e silagens de parte aérea e raízes de mandioca.	37
Tabela – 7	Frações de compostos nitrogenados expressos em relação ao nitrogênio total (NT) de silagens da parte aérea e raízes de mandioca, e respectivas equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R <sup>2</sup> ).	44
Tabela – 8	Frações de carboidratos das silagens de parte aérea e raízes de mandioca, carboidratos não-fibrosos (CNF), fibra disponível (B2) e fibra indisponível (C) expressas em relação aos carboidratos totais (CT), e respectivas equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R <sup>2</sup> ).	48
Tabela – 9	Valores médios do conteúdo energético das silagens da parte aérea e raízes de mandioca, nutrientes digestíveis totais (NDT em %MS), energia digestível (ED), energia metabolizável (EM), energia líquida de manutenção (ELm), energia líquida de ganho (ELg) e energia líquida de lactação (ELI) em Mcal/Kg de MS, e suas respectivas equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R <sup>2</sup> ).	51

### CAPÍTULO III

Tabela – 10	Teores percentuais médios de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose (CEL), hemicelulose (HEM), lignina (LIG), carboidratos totais (CT), carboidratos não fibrosos (CNF) de silagens de parte aérea e raízes de mandioca.	57
-------------	---	----

Tabela – 11	Valores médios da produção acumulada de gases (PAG; mL) e fator de partição (FP) de silagens da parte aérea da mandioca em função da inclusão de raízes, respectivamente as 96 e 48 horas de incubação <i>in vitro</i> .	61
Tabela – 12	Equações de regressão ajustadas para produção acumulada de gases (PAG 96 h) e fator de partição (FP 48h) das silagens de parte aérea com e sem emurchecimento (U2 e U1, respectivamente), em função da inclusão de raízes.	62
Tabela – 13	Valores de pH do meio ruminal <i>in vitro</i> contendo silagens da parte aérea da mandioca em função da inclusão de raízes (R) e do tempo de incubação (T).	64
Tabela – 14	Estimativas dos parâmetros cinéticos da produção de gases <i>in vitro</i> da matéria seca (MS) das silagens de parte aérea com (U1) e sem emurchecimento (U2) e, raízes de mandioca.	70

## LISTA DE FIGURA

### CAPÍTULO I

- Figura – 1 Estimativas de MS, pH, densidade, nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) de silagens da PAM emurhecida ou não, em função da inclusão de raízes. 26
- Figura – 2 Formação de colônias de fungos em silagens da PAM não emurhecida sem inclusão de raízes. 28

### CAPÍTULO II

- Figura – 3 Estimativas de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra detergente neutra (FDN) e fibra detergente ácida (FDA) de silagens da PAM emurhecida ou não, em função da inclusão de raízes. 38
- Figura – 4 Estimativas de celulose, hemicelulose, lignina, carboidratos totais e carboidratos não fibrosos de silagens da PAM emurhecida ou não, em função da inclusão de raízes. 42

### CAPÍTULO III

- Figura – 5 Produção acumulada de gases em 96 horas de incubação das silagens de parte aérea com e sem emurhecimento, em função da inclusão de raízes de mandioca. 63
- Figura – 6 Fator de partição às 48 horas de incubação de silagens de parte aérea da mandioca, em função da inclusão de raízes. 63
- Figura – 7 Valores de pH do meio ruminal contendo silagens da parte aérea da mandioca, em função da inclusão de raízes (R) e do tempo de incubação ruminal (T) *in vitro*/gás. 65
- Figura – 8 Degradabilidade *in vitro* da matéria seca de silagens da parte aérea da mandioca não emurhecida, em função da inclusão de raízes (R) e do tempo de incubação (T) ruminal *in vitro*/gás. 66
- Figura – 9 Degradabilidade *in vitro* da matéria seca de silagens da parte aérea da mandioca emurhecida, em função da inclusão de raízes (R) e do tempo de incubação ruminal (T) *in vitro*/gás. 67
- Figura – 10 Produção de biomassa microbiana *in vitro*, em função dos níveis de inclusão de raízes (R) e do tempo de incubação (T) de silagens da parte aérea da mandioca. 68

## LISTA DE SÍMBOLOS

CEL	Celulose
CT	Carboidratos totais
CNF	Carboidratos não fibrosos
CV	Coefficiente de variação
DENS	Densidade
DVIMS	Digestibilidade verdadeira <i>in vitro</i> da matéria seca
DAIMS	Digestibilidade aparente <i>in vitro</i> da matéria seca
EE	Extrato etéreo
FDA	Fibra em detergente ácido
FDN	Fibra em detergente neutro
HEM	Hemicelulose
LIG	Lignina
MO	Matéria Orgânica
MS	Matéria seca
N-NH <sub>3</sub>	Nitrogênio amoniacal (% do nitrogênio total)
PB	Proteína bruta
PG	Produção de gases
pH	Potencial hidrogeniônico

## SUMÁRIO

### CAPÍTULO I

1	INTRODUÇÃO	13
---	------------	----

### CAPÍTULO II - PARÂMETROS FERMENTATIVOS DE SILAGENS DE PARTE AÉREA E RAÍZES DE MANDIOCA

1	REFERENCIAL TEÓRICO	15
1.1	Mandioca	15
1.2	Mandioca na alimentação de ruminantes	
1.2.1	Parte aérea	15
1.2.2	Raízes	17
1.3	Silagem de forrageiras tropicais	18
1.4	Avaliação qualitativa da silagem	19
2	MATERIAL E MÉTODOS	22
2.1	Local do experimento	22
2.2	Delineamento experimental	22
2.3	Confecção das silagens e silos experimentais	22
2.4	Densidade das silagens	23
2.5	Abertura dos silos e amostragem do material	23
2.6	Avaliação sensorial	23
2.7	Nitrogênio amoniacal	24
2.6	Análises estatísticas	24
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	25
4	CONCLUSÕES	29

### CAPÍTULO III - CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FRAÇÕES DE CARBOIDRATOS E COMPOSTOS NITROGENADOS DE SILAGENS DE PARTE AÉREA E RAÍZES DE MANDIOCA

1	REFERENCIAL TEÓRICO	30
1.1	Caracterização química dos alimentos	30
1.2	Valor energético de alimentos para ruminantes	31
2	MATERIAL E MÉTODOS	33
2.1	Análises químico-bromatológicas	33
2.2	Fracionamento de compostos nitrogenados	33
2.3	Fracionamento de carboidratos	34
2.4	Estimativas de energia e nutrientes digestíveis totais	35
2.5	Análises estatísticas	36

3	RESULTADOS E DISCUSSÃO	37
4	CONCLUSÕES	53
<b>CAPÍTULO IV - CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO RUMINAL <i>IN VITRO</i> DE SILAGENS DE PARTE AÉREA E RAÍZES DE MANDIOCA</b>		
1	REFERENCIAL TEÓRICO	54
1.1	Técnica <i>in vitro</i> semi-automática de produção de gases	54
1.2	Produção de biomassa microbiana, degradabilidade verdadeira <i>in vitro</i> da matéria seca e fator de partição	55
2	MATERIAL E MÉTODOS	57
2.1	Preparo das amostras	57
2.2	Coleta e preparo do inoculo	58
2.3	Horários de leitura	58
2.4	Degradabilidade <i>in vitro</i> e pH ruminal	58
2.5	Produção de biomassa microbiana	59
2.6	Fator de partição	59
2.7	Análises estatísticas	59
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	60
5	CONCLUSÕES	74
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	75
	ANEXOS	85
	APÊNDICES	88

# AVALIAÇÃO NUTRICIONAL DE SILAGENS DA PARTE AÉREA E RAÍZES DE MANDIOCA

## 1 INTRODUÇÃO

A alimentação representa o componente de maior custo na produção animal. A busca de alimentos alternativos que apresentem valor nutritivo adequado, ausência de princípios tóxicos e/ou antinutricionais, boa disponibilidade e custo compatível com sistema de produção empregado, pode ser uma importante ferramenta para o incremento da produção de carne e leite no semi-árido. O conhecimento detalhado da composição química e o valor nutricional destes alimentos são imprescindíveis à adequação de sua aplicabilidade nos sistemas de produção desta região.

A produção e a qualidade de gramíneas tropicais, principal recurso forrageiro para ruminantes no Brasil, apresenta uma ampla flutuação ao longo do ano em virtude de fatores climáticos e, representa um dos maiores entraves na exploração pecuária. Dessa forma, a produção de silagem como volumoso suplementar para os períodos de escassez constitui uma alternativa para manutenção de índices produtivos satisfatórios.

No Brasil, o milho tem sido a principal cultura utilizada para ensilagem, pois apresenta alto valor nutritivo e características favoráveis ao processo fermentativo. Entretanto, seu cultivo apresenta elevadas exigências edafoclimáticas e, seus grãos, apresentam grande valorização no mercado, em virtude de serem também utilizadas na alimentação humana e de animais monogástricos. Sendo assim a produção de milho está sujeita a grandes flutuações de preço, o que torna a produção destas silagens uma opção pouco propícia aos sistemas de produção no semi-árido.

A ensilagem de co-produtos agroindustriais e culturas alternativas têm ganhado espaço em substituição às culturas tradicionais. Neste sentido, destaca-se a cultura da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz), em função do bom valor nutricional, rusticidade, alta produtividade e grande difusão no país. Tradicionalmente cultivada em países de clima tropical, tem suas raízes empregadas na alimentação humana e animal, representando a principal fonte calórica para aproximadamente 600 milhões de pessoas que habitam países em desenvolvimento (ROCA et al., 1991).

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de mandioca, com produção anual estimada de 27 milhões de toneladas, sendo as maiores produções registradas nos Estados do Paraná, Pará, Bahia, Maranhão e Piauí. A indústria farinheira é a principal consumidora das raízes produzidas, utilizando aproximadamente 80% da produção brasileira de mandioca (SEAB, 2006). No Estado da Bahia, o Planalto da Conquista destaca-se como uma das maiores

zonas produtoras de mandioca, onde grande parte dos municípios tem nesta cultura uma das principais fontes de renda agrícola (IBGE, 2004).

Inúmeros co-produtos são gerados no processamento industrial, além da parte aérea considerada como resto cultural, ambos com alta potencialidade no arraçoamento de ruminantes. Estima-se que cerca de 14 a 16 milhões de parte aérea sejam desperdiçadas por ano, sendo deixadas no campo por ocasião da colheita das raízes, enquanto poderiam ser transformados em produtos de origem animal (Carvalho e Kato, 1987).

Além das apreciadas características nutricionais, como elevada concentração de proteína (20% da MS) e teor de fibra (50% da MS) inferior à maioria das forrageiras tropicais (MODESTO et al., 2002; LEONEL, 2001), a parte aérea da mandioca apresenta boas características fermentativas, despertando o interesse em sua conservação na forma de silagem (AZEVEDO et al., 2006). Este processo de conservação ainda promove um benefício adicional, reduzindo o potencial tóxico do ácido cianídrico em até 65% (GIL e BUTIAGRO, 2001).

Por outro lado a inclusão de raízes, ricas em amido, à silagem da parte aérea representaria uma elevação do teor energético destas, podendo melhorar o valor nutritivo e o padrão fermentativo das silagens, devido ao seu maior conteúdo de matéria seca e carboidratos solúveis. Analogamente seria comparada às silagens de milho e sorgo, as quais se preconizam elevada participação de grãos.

Dessa forma, associar um alimento de alto valor protéico, como a parte aérea da mandioca, com as raízes, de reconhecida qualidade energética, poderia resultar em um alimento de bom valor nutritivo, adequado equilíbrio proteína/energia e baixo custo, potencialmente utilizável para ruminantes de alta produção. Assim, o objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito do emurchecimento da parte aérea e da inclusão de níveis crescentes de raízes (0, 15, 30 e 45% da matéria natural) sobre a qualidade nutricional das silagens de mandioca, através da avaliação de parâmetros fermentativos, composição química, fracionamento de carboidratos e compostos nitrogenados, além da cinética de fermentação ruminal *in vitro*.

# CAPÍTULO I

## PARÂMETROS FERMENTATIVOS DE SILAGENS DE PARTE AÉREA E RAÍZES DE MANDIOCA

### 1. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 1.1 Mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) é uma planta heliófila, perene, arbustiva, pertencente à família das Euforbiáceas. É bastante tolerante à seca, possui ampla adaptação às mais variadas condições de clima e solo, com alta eficiência fotossintética (LORENZI, 2003). Devido à sua adaptabilidade a diferentes ambientes ecológicos e seu potencial produtivo, a mandioca é cultivada em praticamente todos os estados brasileiros (COSTA et al., 2007). A Bahia figura entre os maiores produtores, onde a mandiocultura assume um importante papel econômico e social.

Seu cultivo destina-se principalmente a obtenção de raízes tuberosas, que são ricas em fécula, sendo utilizadas na alimentação humana e animal ou como matéria-prima para diversas indústrias (RODRIGUES e CAMPOS, 2001). A parte aérea, apesar de apresentar boas características nutricionais, como alta concentração de proteínas, vitaminas e minerais, é subaproveitada, uma vez que não há tradição de uso e difusão das suas qualidades como alimento na nutrição humana e animal. Recentemente passou a ser utilizada na composição de multimisturas, como suplemento alimentar para crianças desnutridas; na fabricação de farelo de folhas ou silagem para nutrição animal; e de carvão prensado (briquete) que tem como matéria prima o caule (LATINA, 2006).

#### 1.2 Mandioca na alimentação de ruminantes

##### 1.2.1 Parte aérea

A parte aérea da mandioca (PAM) compreende a porção da planta que fica acima do solo, composta por hastes, pecíolos e limbos. A porcentagem deste constituinte é dada em função do crescimento vegetativo, época do ano e variedade, correspondendo a aproximadamente 50% do peso da planta colhida aos 18 meses (LEONEL, 2001). No terço superior encontra-se maior concentração de folhas, o que lhe confere maior riqueza nutricional e aproveitabilidade para alimentação humana ou animal.

Durante a colheita da mandioca, apenas parte da haste lenhosa é usada para plantio, sendo o restante, geralmente deixado no campo e incorporado ao solo como fonte de matéria orgânica. A falta de conhecimento dos produtores sobre a qualidade nutricional e possibilidade de seu uso na alimentação animal tem contribuído para o baixo aproveitamento desta fonte de

proteína, principalmente durante o período seco, quando a produtividade e qualidade das pastagens são acentuadamente reduzidas (COSTA et al., 2007).

A produtividade tanto de forragem quanto de raízes difere entre as cultivares, o que permite a seleção das mais promissoras, de acordo com a finalidade a que se destinam. Kato et al. (1985), avaliando cultivares de mandioca na região de Altamira, Pará, obtiveram rendimentos de forragem verde que variaram de 43,0 a 61,7 t/ha. Já Guedes et al. (2007) trabalhando com dez variedades de mandioca objetivando a produção de forragem e raízes no Agreste Paraibano, verificaram produções variáveis, entre 7,25 a 38,8 t/ha para a PAM e 3,44 a 42,71 t/ha de raízes.

Irmão (2007) relatou o efeito da idade de colheita sobre a produção e qualidade nutricional do feno da parte aérea de mandioca, sendo observado aumento da produtividade e decréscimo da qualidade nutricional com avanço do tempo de colheita. Aos 18 meses, foi mencionada a maior redução na quantidade e qualidade da proteína desse volumoso, ao passo que aos 8 meses após o plantio obteve-se a maior participação do terço superior da parte aérea da mandioca em relação à parte aérea total e, conseqüentemente, maior teor e disponibilidade da proteína.

Neste sentido, pesquisas têm sido conduzidas objetivando obter máxima produtividade associada ao melhor valor nutricional da PAM (COSTA et al. 2007). Nestes cultivos, o corte é feito aos cinco meses após o plantio, obtendo-se forragem de excelente qualidade. Apesar de existirem na literatura recomendações de corte aos 12 e 18 meses (LEONEL, 2001), cortes mais precoces podem ser recomendados, por resultarem em forragem de maior valor nutritivo.

A parte aérea da mandioca pode ser armazenada sob a forma de feno ou silagem, tornando viável seu emprego durante os períodos críticos de alimentação dos rebanhos, possibilitando redução considerável dos custos de produção (CARVALHO et al., 1993).

Azevedo et al. (2006) verificaram a qualidade fermentativa e nutricional de algumas cultivares de mandioca e concluíram que todas as cultivares utilizadas apresentaram valores bromatológicos e nutricionais satisfatórios para serem usados na alimentação de ruminantes.

Modesto et al. (2004) analisaram a composição químico-bromatológica da silagem do terço superior da rama de mandioca, e verificaram elevados teores de proteína bruta (19,5%), sendo maiores que o observado para forrageiras normalmente empregadas na alimentação de ruminantes. A silagem apresentou ainda, moderado teor de FDN (50,8%) e FDA (40,86%), elevada concentração de lignina (12,4%) e baixa de taninos (0,2%).

Wanapat et al. (1997), testando o valor nutricional da PAM, forneceram este alimento como única fonte de volumoso para bovinos, verificando alto consumo (3% do peso vivo) e digestibilidade da MS (70%). Penchegvichit e Ledin (2006) obtiveram resultados concordantes suplementando cabras em crescimento com níveis crescentes de PAM emurhecida (0, 20, 30 e

40%) mantidas em pasto de capim andropogon, resultando em elevação linear do consumo de MS e da digestibilidade dos nutrientes (MS, N, FDN e FDA).

Carvalho et al. (2006) relataram valores de degradabilidade ruminal da MS e da PB, de 51,72% e 74,18%, respectivamente para o feno da PAM. Valores semelhantes foram obtidos por Veloso et al. (2006) após 48hs de fermentação ruminal para as folhas e folíolos de mandioca, de 67,92 e 71,65%, respectivamente para degradação da MS e PB.

Em relação ao desempenho animal com o uso da PAM os resultados são promissores (GUEDES et al., 2007; MODESTO et al., 2003; MODESTO et al., 2006), embora poucos estudos tenham sido conduzidos com este objetivo.

Guedes et al. (2007) fornecendo mandioca integralmente (feno da parte aérea e raspas de mandioca) para bezerras em substituição parcial à ração composta por capim elefante e cana, e comparativamente àquelas mantidas em regime exclusivo de pastejo. Os autores verificaram ganho de peso superior para os animais que receberam mandioca na alimentação, sendo os melhores resultados observados quando esta substituiu 75% da ração tradicional.

Modesto et al. (2003) testaram níveis de substituição da silagem de milho por silagem da PAM, avaliando a produção e o perfil de ácidos graxos no leite e não verificaram diferenças entre os tratamentos até o nível de 60% de substituição.

### **1.2.2 Raízes**

As raízes da mandioca apresentam em média 32-38% de matéria seca (MS), 3,6% de matéria mineral (MM), 3,0% de proteína bruta (PB), 1,3% de extrato etéreo (EE), 8,5% de FDN, 5,7% de FDA (MARQUES, 2000; RODRIGUES e CAMPOS, 2001; ZEOULA et al., 2002). Devido ao seu alto conteúdo de carboidratos totais (90%), predominantemente não estruturais e baixo conteúdo protéico, a raiz é caracterizada como alimento energético.

Na alimentação de ruminantes podem ser utilizadas na forma *in natura*, fenada (raspas) ou ensiladas, as duas últimas são as formas mais seguras do ponto de vista toxicológico, reduzindo o potencial tóxico do ácido cianídrico em 65 e 63%, respectivamente (CARVALHO et al., 1984; GIL e BUTIAGRO, 2001).

Ainda destaca-se o uso de co-produtos resultantes dos processos industriais de obtenção de fécula e farinha. As raízes e seus co-produtos vêm sendo bastante utilizados como fonte energética alternativa ao milho na alimentação de ruminantes, pelo seu baixo custo e bons resultados (CALDAS NETO et al. 2000; MARQUES, 2000; CALDAS NETO et al., 2002; JORGE et al., 2002; ZEOULA et al. 2002; MENEZES et al. 2004).

O amido, nutriente mais abundante nas raízes de mandioca (85%MS), é formado por duas moléculas: amilose, polímero linear de glicose unido por ligações  $\alpha$ 1-4 glicopiranosídicas e, amilopectina, polímero altamente ramificado constituído por ligações  $\alpha$ 1-4 e  $\alpha$ 1-6 glicopiranosídicas entre monômeros de glicose. A proporção destes constituintes varia entre as

espécies vegetais e é o fator determinante para solubilidade em água, velocidade de digestão e digestibilidade total (NUNES, 1998).

O amido da mandioca apresenta maior degradabilidade efetiva (79,1%) em relação aos grãos de cereais (milho: 57,8% e sorgo: 67,6%), devido à inexistência de pericarpo, endosperma córneo e periférico, matriz protéica, além da menor proporção de amilose e lipídios nos grânulos de amido, diminuindo a quantidade de pontes de hidrogênio na molécula de amido o que aumenta a capacidade de expansão do amido da mandioca em meio aquoso (ZEOULA et al., 2003; RANGEL et al., 2008).

O valor energético e a degradabilidade ruminal dos alimentos são fatores importantes a serem considerados na determinação do seu valor nutritivo para ruminantes, pois segundo Clark et al. (1992) a disponibilidade energética é apontada como principal fator limitante para o crescimento microbiano.

A raspa de mandioca apresenta 3,04 Mcal de energia metabolizável/kg MS (Holzer et al. 1997; citados por Jorge et al., 2002) demonstrando que este alimento apresenta valor energético semelhante ao milho, sorgo e trigo, que contém respectivamente 3,25; 3,10; 3,17 Mcal de EM/kg de MS (NRC, 2001) e alta potencialidade para ser utilizada na alimentação de ruminantes.

### **1.3 Silagem de forrageiras tropicais**

Silagem é definida como o alimento succulento obtido por estocagem direta ou com secagem mínima da forragem em condições anaeróbicas no silo, cuja preservação é garantida por ambiente anaeróbico e fermentação bacteriana de açúcares, os quais propiciam queda do pH através da produção de ácido lático e acético. O processo de ensilagem tem como objetivo a manutenção da qualidade ou características do alimento com mínimas perdas de matéria seca e energia durante a sua preservação (MUCK, 1988).

De acordo com McDonald et al. (1991), para produção de uma boa silagem, as plantas devem atender as seguintes premissas: quantidades adequadas de substratos fermentescíveis (6-8% de CHO solúveis na MS), poder tampão relativamente reduzido e porcentagem de MS acima de 30%. Tais características contribuem para obtenção de padrões desejáveis de fermentação.

As plantas forrageiras nos trópicos são caracterizadas por apresentarem baixa concentração de matéria seca e carboidratos solúveis, nos estágios de crescimento em que apresentam bom valor nutritivo, colocando em risco o processo de conservação, devido à maior probabilidade de ocorrência de fermentações secundárias (McDONALD et al., 1991; VILELA, 1998). Tais limitações podem ser parcialmente controladas através do emurchecimento.

A técnica de emurchecimento consiste na redução da atividade de água da forragem ou elevação da pressão osmótica intracelular, em forragens com elevados teores de umidade

(CAMARGO, 2006). Entre os efeitos positivos destaca-se a elevação do teor de MS, concentração dos CHO solúveis e redução do poder tampão, melhorando as condições para atuação das bactérias lácticas (BERTO e MÜHLBACH, 1997; MONTEIRO, 1999).

Wieringa (1960), citado por Igarasi (2002), destacou que os microrganismos do gênero *Clostridium* são mais sensíveis à falta de umidade do que à acidez, podendo tolerar altos níveis de ácidos e hidrogênio quando em meio úmido, sendo sua resistência diretamente proporcional ao teor de umidade.

Os benefícios do emurhecimento estão diretamente relacionados à velocidade de secagem. Em condições tropicais, quentes e úmidas, muitas vezes a secagem é lenta e perdas bioquímicas decorrentes da respiração podem ser maiores que as perdas de forragem não emurhecida, reduzindo a digestibilidade da MS. Diferentemente, em condições semi-áridas, cujo menor tempo de secagem, cerca de 3 a 4 horas, melhoraria as condições fermentativas sem perda na digestibilidade (THOMAS e THOMAS, 1985; citados por IGARASI, 2002).

Castro (2002), avaliando o efeito do emurhecimento na ensilagem do capim Tifton-85, verificou melhoria no processo fermentativo, com redução da proteólise, aumento da estabilidade após abertura e elevação na recuperação da massa digestível e, conseqüentemente silagens com melhor valor nutritivo. Andrade et al. (2001) observaram que silagens pré-emurhecidas de capim Coast-cross apresentaram maior concentração de NDT e maior consumo voluntário de MS em comparação a forragem conservada na forma de feno ou silagem sem pré-murcha.

Wright et al. (2000), revisando 85 trabalhos de pesquisa, verificaram que animais alimentados com silagens pré-emurhecidas apresentaram desempenho superior em relação àqueles alimentados com silagem sem pré-murcha, devido ao maior consumo de MS e de energia metabolizável.

#### **1.4 Avaliação qualitativa da silagem**

Qualidade de silagem é o termo usado para avaliar se o processo fermentativo ocorreu de maneira desejável, podendo-se utilizar como indicadores os índices de pH, concentração de nitrogênio amoniacal (McDonald et al., 1991), teor de MS (MUCK, 1988), densidade (TOMICH et al., 2003) e a avaliação sensorial (FIGUEIREDO, 2000), dentre outros.

LAVEZZO (1992) afirmou que uma fermentação ideal no silo é esperada, quando a forragem a ser ensilada apresenta de 28 a 34% da matéria seca, sendo que, nestas condições, teores de carboidratos solúveis de 6 a 8% seriam suficientes para desencadear fermentações lácticas, desde que o poder tampão não seja elevado.

O pH ideal para conservação é dependente da umidade do material ensilado e também da temperatura, sendo que em silagens com teor de MS superior a 20% é aceitável um pH equivalente a 4 para obter conservação satisfatória (PEREIRA et al., 2007). A acidez é

considerada um fator importante na conservação de silagem, pois atua inibindo ou controlando o desenvolvimento de microrganismos prejudiciais, como as bactérias do gênero *Clostridium*, assim como a atividade das enzimas vegetais, que reduzem o valor energético e a qualidade protéica das silagens (MUCK, 1988; PEREIRA et al., 2007).

O nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total ( $N-NH_3/NT$ ) expressa o conteúdo de amônia da silagem, refletindo a extensão da proteólise durante o processo fermentativo. De acordo com Van Soest (1994), o aumento da produção de amônia provocado pela proteólise neutraliza os ácidos desejáveis, interferindo diretamente, de forma negativa, na qualidade final do material ensilado.

Conforme Pereira et al (2007), em silagens de baixa qualidade, a maior parte do nitrogênio não protéico (NNP) é representada por amônia ( $NH_3$ ) e nitratos, já silagens de boa qualidade apresentam maior parte do NNP na forma de aminoácidos. A proteólise expressiva é indesejável, pois a amônia não atende as exigências em nitrogênio de todos os microrganismos ruminais. Assim dietas com maior parte do N nesta forma, requerem fonte suplementar de proteína para evitar prejuízos no desempenho dos animais. Além disso, este composto é volátil sendo perdido durante a abertura do silo e utilização da silagem.

Brito et al. (1998), McDonald et al (1991), Van Soest et al (1994) consideraram como indicativos de fermentação adequada valores inferiores a 10% de  $N-NH_3/NT$ . Valores acima de 15% indicam proteólise excessiva.

Outro fator que pode influenciar a qualidade das silagens é a densidade de compactação. Maiores densidades propiciam maior expulsão do oxigênio da massa ensilada, minimizando a respiração, o que previne perdas excessivas de MS e energia, decorrente da oxidação de açúcares solúveis. A respiração prolongada atrasa o declínio do pH, devido à redução do substrato necessário à produção de ácidos orgânicos, possibilitando que a atividade de enzimas da planta e de microrganismos deletérios continue. Finalmente a respiração produz calor, podendo aumentar a formação de produtos de Maillard, incluindo o nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) (MUCK, 1988).

Ruppel et al. (1995) avaliaram a influência da densidade da silagem de alfafa sobre as perdas do material ensilado e verificaram decréscimo de 20 para 10 % nas perdas de MS, aumentando a densidade de 160 para 350 kg MS/m<sup>3</sup>. Segundo Muck e Shinnars (2001), altas densidades garantem condições de anaerobiose, além de reduzir o custo de estocagem da forragem, haja vista a amortização da estrutura e a redução das perdas por deterioração. Para Holmes e Muck (1999), citados por Igarasi (2002), 225 kg MS/m<sup>3</sup> é o limite mínimo para que a densidade não seja fator de restrição na obtenção de silagem de qualidade satisfatória.

Melhores compactações são obtidas com a fragmentação do material. Amaral et al. (2007) trabalhando com silagens de capim Marandu, verificaram redução do pH, nitrogênio

ligado à fibra e aumento da digestibilidade verdadeira e da recuperação de MS à medida que se elevaram as densidades de compactação.

De acordo com Figueiredo (2000) a análise sensorial da silagem se constitui num processo eficaz em fornecer informações valiosas sobre o estado de conservação do material, aspectos sanitários, composição botânica e valor nutritivo. Sendo tão importante quanto à determinação de nutrientes por meio da análise química no laboratório. A metodologia é baseada na inspeção e manipulação do material na observância de sua coloração, textura, odor, presença de substâncias estranhas, contaminação por fungos e leveduras, dentre outros aspectos.

Desta forma objetivou-se neste capítulo avaliar as características fermentativas das silagens da parte aérea da mandioca emurchecida ou não e acrescida de níveis distintos de raízes de mandioca.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Local do experimento

O experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, no Laboratório de Nutrição Animal, campus de Vitória da Conquista – Bahia, entre os meses de dezembro de 2007 e dezembro de 2008.

### 2.2 Delineamento experimental

O experimento foi conduzido num delineamento inteiramente casualizado, com um arranjo fatorial 2x4, sendo dois níveis de umidade da parte aérea da mandioca (PAM) (com e sem emurchecimento) e quatro níveis de inclusão de raízes de mandioca (0, 15, 30 e 45%, com base na matéria natural), com três repetições. O sumário dos tratamentos pode ser visualizado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Silagens da parte aérea da mandioca submetida a diferentes tratamentos.

Níveis de Umidade	Níveis de inclusão de raízes de mandioca (% MN)*			
	0	15	30	45
<b>Sem emurchecimento</b>	U1M0	U1M15	U1M30	U1M45
<b>Com emurchecimento</b>	U2M0	U2M15	U2M30	U2M45

\*Matéria natural

### 2.3 Confeção das silagens e silos experimentais

A forragem utilizada foi a parte aérea da mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) obtida 150 dias após o último corte, realizado no campo agrostológico da UESB – Vitória da Conquista/Ba. Após a colheita, o material foi processado em máquina forrageira estacionária, obtendo o tamanho de partícula de 2-5 cm. As raízes de mandioca foram adquiridas no mercado local, e picadas em máquina cortadora do tipo Tailândia, constituída basicamente por uma estrutura metálica de suporte e um disco cortador. Em seguida, uma parte deste material volumoso foi acrescida pelas devidas proporções de raízes, conforme os tratamentos propostos e imediatamente ensilada. A outra parte da PAM foi submetida à secagem natural durante quatro horas (emurchecimento), após esse período procedeu-se a inclusão das raízes e efetuou-se a ensilagem.

Uma amostra da PAM com e sem emurchecimento e, das raízes foram coletadas e armazenadas como material original, para análises posteriores.

O material foi ensilado em mini-silos experimentais de policloreto de vinil “PVC”, com 50 cm de altura e 20 de diâmetro, dotados de válvulas de Bunsen, para escape dos gases da

fermentação e, na parte inferior uma camada de 5 cm de areia protegida por meio de uma tela, para coleta dos efluentes. 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.

#### **2.4 Densidade das silagens**

Para estimativa da densidade das silagens os mini-silos foram pesados antes e após a ensilagem, encontrando-se gravimetricamente o peso da massa ensilada. Aplicando-se a seguinte equação:

$$\text{Densidade (Kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Massa ensilada (Kg)}}{\text{Volume do silo (m}^3\text{)}}$$

#### **2.5 Abertura dos silos e amostragem do material**

Decorridos 90 dias após a ensilagem, os mini-silos foram abertos, tendo a porção superficial de aproximadamente 10 cm descartada e restante do seu conteúdo despejado e homogeneizado sobre uma lona plástica, retirando-se três amostras de cada unidade experimental para análises posteriores.

Uma das amostras foi submetida à prensagem em prensa hidráulica para obtenção do extrato aquoso da silagem, no qual foi determinado o pH por meio de um potenciômetro digital (WILSON e WILKINS, 1972).

Uma segunda amostra de aproximadamente 500g foi acondicionada em sacos de papel e pré-secas em estufa com circulação forçada de ar a 55°C, durante 72 horas ou até que apresentasse peso estável. Após esse período as amostras foram trituradas em moinho de facas tipo *Willey*, em malha de 1 mm, identificadas e acondicionadas em frascos de polietileno para análises posteriores. A terceira amostra, com aproximadamente 300 g, foi armazenada em sacos plásticos, devidamente identificados e congelados imediatamente para posterior determinação do nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>).

#### **2.6 Avaliação sensorial**

No momento da abertura dos silos procedeu-se a avaliação sensorial das silagens conforme os critérios estabelecidos por Meyer et al. (1989), quanto aos aspectos odor, coloração e manipulação (teor de matéria seca), para os quais as silagens recebem pontuações e, a partir do somatório destas, as silagens foram então classificadas em boa a muito boa, satisfatória, regular e insatisfatória (ANEXO A e B).

## 2.7 Nitrogênio amoniacal

Para determinação do N-NH<sub>3</sub>, as silagens foram descongeladas, e retiradas amostras de aproximadamente 25 g. Estas foram tratadas com 200 mL de solução de ácido sulfúrico a 0,2N, sendo vedadas com filme plástico em béquer de vidro e mantidas em repouso durante 48 horas para solubilização do N-NH<sub>3</sub>. Em seguida foram filtradas em papel filtro de rápida filtração e o filtrado submetido à destilação com hidróxido de potássio (KOH) 2 N em aparelho do tipo micro-kjeldahl e em seguida titulado com ácido clorídrico (HCl) 0,1N, conforme Bolsen et al. (1992) (ANEXO C).

## 2.8 Análises estatísticas

Os tratamentos foram distribuídos em um delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições, analisado em um esquema fatorial 2 x 4, sendo dois níveis de secagem da parte aérea (com e sem pré-emurchecimento) e quatro níveis de inclusão de raízes de mandioca (0, 15, 30 e 45% da MN), conforme o modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk}, \text{ onde:}$$

$\mu$  = média geral da variável em estudo;

$\alpha_i$  = efeito do i-ésimo nível de umidade (i = PAM sem emurchecer; PAM emurchecida);

$\beta_j$  = efeito do j-ésimo nível de inclusão de raízes (j = 0, 15, 30, 45% raiz na MN);

$\alpha\beta_{ij}$  = efeito da interação entre o i-ésimo nível de  $\alpha$  e o j-ésimo nível de  $\beta$ ;

$\epsilon_{ijk}$  = erro aleatório associado à observação  $Y_{ijk}$ ;

Para a análise estatística, os dados foram submetidos à análise de variância utilizando o procedimento General Linear Models do programa estatístico SAS (*Statistical Analysis System*). Para estudo detalhado da interação entre a umidade da parte aérea e dos níveis de inclusão de raiz quando esta foi significativa, foram realizados os desdobramentos adequados. Para estudo do efeito do emurchecimento dentro de todos os níveis de raízes, aplicou-se o teste de “t” de Student ao nível de 5% de significância. E de outro modo, o efeito dos níveis de inclusão de raízes em cada nível de umidade da PAM por meio da análise de regressão, sendo a escolha do modelo baseada na significância dos parâmetros testados pelo teste “t” Student, e nos valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios das variáveis MS, densidade, pH, N-NH<sub>3</sub> das silagens em função do emurchecimento e nível de inclusão de raízes encontram-se na Tabela 2. Com relação aos teores de MS, densidade e pH verificou-se interação significativa ( $p < 0,05$ ) entre o emurchecimento e os níveis de inclusão de raiz.

**Tabela 2.** Valores médios de matéria seca, densidade, pH e porcentagem do nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total (N-NH<sub>3</sub>/NT) de silagens de parte aérea e raízes de mandioca, e, suas respectivas equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>).

PAM	Inclusão de raiz (% MN)				CV (%)	Equação regressão	R <sup>2</sup>
	0	15	30	45			
<b>Parâmetros (%MS)</b>							
Sem emurchecimento	12,6 <sup>b</sup>	16,5 <sup>b</sup>	22,0 <sup>b</sup>	23,9 <sup>b</sup>	8,15	$\hat{Y}=12,848+0,2619x$	0,90
Com emurchecimento	20,2 <sup>a</sup>	24,2 <sup>a</sup>	24,5 <sup>a</sup>	26,5 <sup>a</sup>	4,54	$\hat{Y}=20,985+0,1282x$	0,81
<b>Densidade (kg/m<sup>3</sup>)</b>							
Sem emurchecimento	637,1 <sup>a</sup>	699,7 <sup>a</sup>	786,8 <sup>a</sup>	847,8 <sup>a</sup>	4,18	$\hat{Y}=635,007+4,79x$	0,88
Com emurchecimento	551,7 <sup>b</sup>	523,8 <sup>b</sup>	552,7 <sup>b</sup>	619,2 <sup>b</sup>	5,76	$\hat{Y}=527,091+1,54x$	0,38
<b>pH</b>							
Sem emurchecimento	4,2 <sup>b</sup>	4,0 <sup>a</sup>	3,9 <sup>a</sup>	3,9 <sup>a</sup>	1,49	$\hat{Y}=4,116-0,0062x$	0,79
Com emurchecimento	4,0 <sup>a</sup>	4,0 <sup>a</sup>	4,0 <sup>b</sup>	4,0 <sup>b</sup>	0,33	$\hat{Y}=4,039-0,00071x$	0,44
<b>N-NH<sub>3</sub> (%N-NH<sub>3</sub>/NT)</b>							
Sem emurchecimento	4,5	4,1	3,7	3,4	15,02	$\hat{Y}=3,90$	-
Com emurchecimento	4,4	5,4	4,2	4,0	27,46	$\hat{Y}=4,49$	-

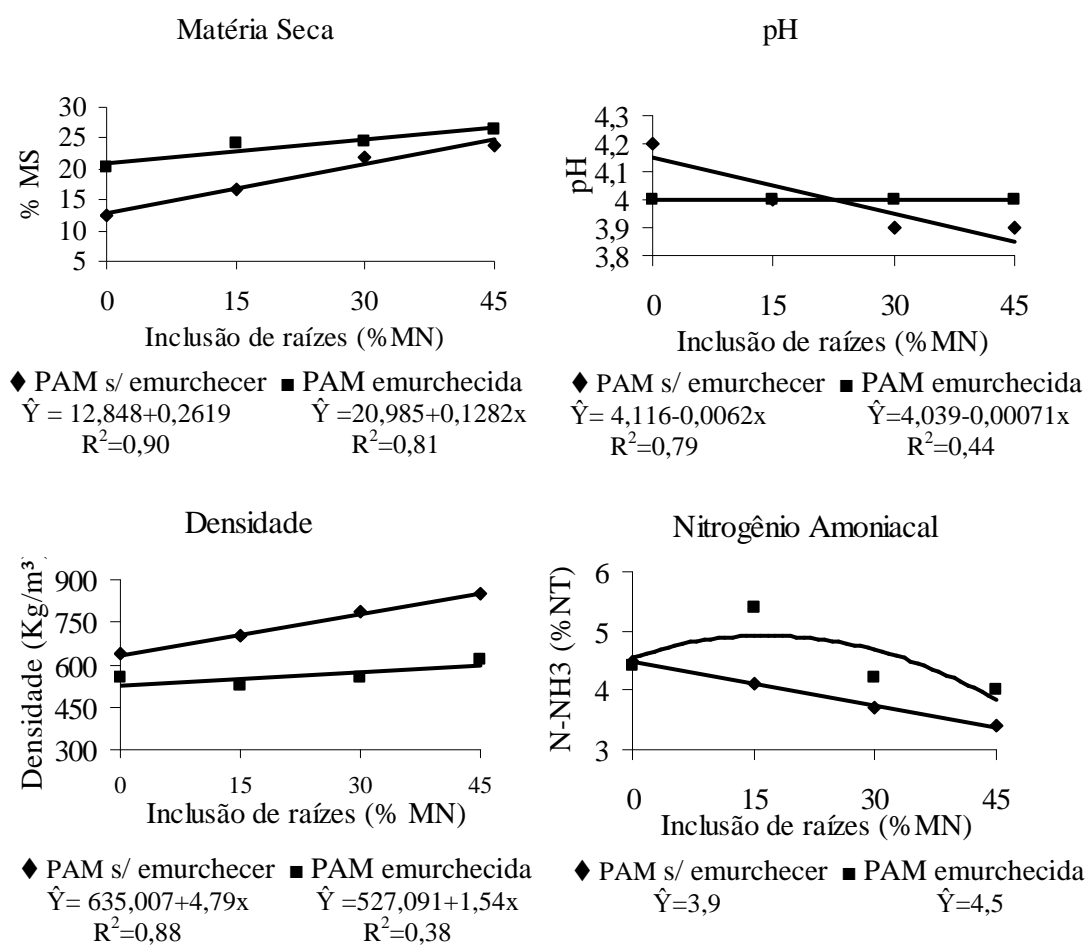
\*Letras distintas na mesma coluna diferem a 5% de probabilidade pelo teste "t" Student ( $P < 0,05$ ).

O emurchecimento elevou significativamente ( $p < 0,05$ ) o teor de MS das silagens em todos os níveis de inclusão de raízes. Resultados concordantes com os obtidos por Berto e Mulhbach (1997), que constataram elevação de 100% do conteúdo de MS da aveia preta (*Avena strigosa* Schreb.) com o emurchecimento, semelhante aos 60,31% de incremento observado neste trabalho.

De acordo com McDonald et al. (1991), o emurchecimento permite a ensilagem de plantas forrageiras com elevado teor de umidade num processo relativamente simples de diminuição da atividade de água ou elevação da pressão osmótica, restringindo a extensão da fermentação e ocorrência de fermentações indesejáveis durante o processo de conservação.

Pinho et al. (2004), avaliando fermentação e valor nutritivo de silagens da PAM com e sem pré-secagem encontraram teores de MS de 25 e 27,7%, respectivamente, valores superiores aos observados neste estudo (12,6 e 20,2%). As diferenças observadas podem ser atribuídas às diferentes idades de maturação das plantas utilizadas, 13 meses e 5 meses, respectivamente. Com o avanço da maturidade, as plantas tendem a aumentar seu conteúdo de MS, em função da lignificação, aumento da proporção das frações fibrosas e da relação haste/folha (EUCLIDES, 1995).

Observando a Figura 1, nota-se que o incremento na inclusão de raízes elevou linearmente a concentração de MS, em ambos os níveis de secagem. Esse aumento ocorreu em função do maior conteúdo de MS nas raízes (34,4%), em relação à PAM com e sem pré-secagem (22,1 e 17 %). Por conseguinte, como a adição destas foi baseada na matéria natural, sua contribuição no aumento dos percentuais de MS foi superior nos tratamentos com parte aérea não emurchecida. Foram observados incrementos de 0,12 e 0,26% no teor de MS, para cada unidade percentual de inclusão de raiz, nas silagens de PAM emurchecida ou não, respectivamente.



**Figura 1.** Estimativas de MS, pH, densidade, nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) de silagens da PAM emurchecida ou não, em função da inclusão de raízes.

O teor de MS é considerado o fator mais importante no processo de ensilagem, pois influencia diretamente o crescimento clostridiano, que resulta em perdas e baixo valor nutricional, além de influenciar o consumo voluntário da forragem conservada (MCDONALD et al., 1991).

Para a variável densidade verificou-se efeito linear crescente com a inclusão da raiz nas silagens da PAM sem e com emurhecimento (Figura 1). Em ambas as silagens, a densidade máxima de compactação foi observada quando as raízes estavam presentes em percentual mais elevado. De acordo Narciso Sobrinho et al. (1998), a elevação do teor de MS, promovida pelo emurhecimento, dificulta a compactação da massa diminuindo a densidade final das silagens.

Os valores de densidade para todos os tratamentos ficaram próximos à faixa de 600 a 800 kg/m<sup>3</sup> (Tabela 2), considerada como adequada por Tomich et al. (2003), por promover expulsão do oxigênio em níveis suficientes para evitar prejuízos no processo de fermentação, sendo que os mesmos autores fazem uma ressalva para silagem com alto teor de umidade, recomendando uma densidade de 550 kg/m<sup>3</sup> para evitar a alta produção de efluentes.

Maiores densidades podem refletir compactações mais eficientes, situação desejável por promover uma maior expulsão do ar, minimizando as perdas de MS, via oxidação dos açúcares durante a fase de respiração dentro do silo. McDonald et al. (1991), avaliando duas densidades de compactação, verificaram diferença significativa nos valores de pH e N-NH<sub>3</sub>, obtendo melhor fermentação com maior nível de compactação.

Com relação aos valores de pH, houve decréscimo linear ( $P < 0,05$ ) em função da inclusão de raízes nas silagens cuja PAM não foi submetida à secagem. Tal fato, possivelmente ocorreu, devido ao incremento no conteúdo de MS e de carboidratos solúveis proporcionado pela maior adição de raízes. De acordo com Lorenzi et al. (1978) o teor de carboidratos solúveis das raízes de mandioca pode variar entre 7,7 e 17,5% da MS.

Nas silagens em que a PAM foi emurhecida houve estabilização do pH em valores ligeiramente superiores aos encontrados nas silagens sem emurhecimento. Entretanto, todas as silagens obtidas neste trabalho apresentaram valores de pH inferiores a 4,2, estando dentro da faixa ideal de 3,8-4,2, preconizada por McDonald et al. (1991), demonstrando que mesmo nas silagens com menor conteúdo de MS, houve um bom padrão fermentativo. Valores similares foram obtidos por Pinho et al. (2004) em silagens de PAM submetida ou não a pré-secagem, respectivamente 3,60 e 3,57.

Em relação ao N-NH<sub>3</sub> não houve interação nem efeito significativo ( $P > 0,05$ ) da secagem e/ou inclusão de raiz, apresentando uma média de 3,9 e 4,49 %NT para as silagens contendo PAM emurhecida ou não, respectivamente. O N-NH<sub>3</sub> está presente em forragens verdes em concentração inferior a 1% do nitrogênio total, valores elevados em silagens são reflexos de intensa proteólise mediante ação de enzimas da planta ou dos clostrídeos, que são inibidos pelo rápido decréscimo do pH, e resultam em compostos que inibem o consumo e reduzem a eficiência de utilização do nitrogênio pelos microrganismos ruminais. De acordo com Van Soest (1994), silagens de boa qualidade apresentam baixas concentrações de amônia, objetivando valores inferiores a 10% do N-NH<sub>3</sub> no NT, conforme os apresentados nas silagens avaliadas.

Apesar dos resultados isolados de N-NH<sub>3</sub> e pH não serem suficientes para avaliação apropriada da qualidade das silagens, através da análise concomitante destes parâmetros pode-se inferir que mesmo nas silagens com menor teor de MS houve condições propícias ao desenvolvimento de bactérias que favorecem uma conservação adequada. Entretanto, o baixo conteúdo de MS das silagens confeccionadas com forragem sem emurcheçar pode refletir diretamente no seu consumo pelos animais e, por conseguinte, no consumo de nutrientes, como resultado do efeito neurológico de saciedade pela água.

As silagens de uma forma geral apresentaram uma boa qualidade à avaliação sensorial (Tabela 3). Menor qualidade foi verificada para as silagens de PAM não emurhecida com os níveis 0 e 45 % de adição de raiz, as quais mediante avaliação indireta, relativa ao aspecto odor durante a abertura dos silos, sugeriria teores moderados de ácido butírico. As mesmas apresentaram em sua superfície desenvolvimento de colônia de fungos (Figura 2), o que pode ter decorrido de uma vedação ineficiente, já que os índices de compactação obtidos se mostraram adequados.

**Tabela 3.** Avaliação sensorial das silagens de parte aérea e raízes de mandioca.

Tratamentos	Inclusão de raiz (% MN)			
	0	15	30	45
	<b>Classificação<sup>a</sup></b>			
<b>PAM sem emurcheçar</b>	Satisfatória	Muito boa	Muito boa	Satisfatória
<b>PAM emurhecida</b>	Muito boa	Muito boa	Muito boa	Muito boa

<sup>a</sup> Conforme critérios estabelecidos por Meyer et al. (1989).



**Figura 2.** Formação de colônias de fungos em silagens da PAM não emurhecida sem inclusão de raízes.

## **5 CONCLUSÕES**

O emurchecimento e a inclusão de raízes até o nível de 45% na matéria natural propiciam melhorias nos teores de matéria seca e conseqüentemente no pH das silagens de parte aérea da mandioca.

## CAPÍTULO II

### CARACTERIZAÇÃO QUÍMICA, FRAÇÕES DE CARBOIDRATOS E COMPOSTOS NITROGENADOS DE SILAGENS DA PARTE AÉREA E RAÍZES DE MANDIOCA

#### 1. REFERENCIAL TEÓRICO

##### 1.1 Caracterização química dos alimentos

A avaliação químico-bromatológica dos alimentos tem como objetivo principal caracterizá-los de acordo com suas propriedades químicas comuns, fornecendo informações para o balanceamento de rações, que visam atender os requerimentos nutricionais dos ruminantes, e assim proporcionar um melhor desempenho produtivo.

No entanto, apenas o conhecimento estático da composição químico-bromatológica dos alimentos ainda não é apropriada para garantir o atendimento mais adequado das necessidades nutricionais dos animais, isto se deve ao fato de que não se pode inferir muito acerca da dinâmica de utilização e disponibilidade dos nutrientes nos alimentos por meio destes métodos analíticos. Dentre os nutrientes, os carboidratos e os compostos nitrogenados são os que maiores variações apresentam neste contexto.

Neste sentido, o Sistema Cornell (CNCPS, 2000) fraciona os carboidratos e as proteínas da dieta de acordo com a natureza química e como tal influencia na utilização dos mesmos pelos microrganismos ruminais, primeiramente, e em seguida, pelo organismo animal.

O fracionamento de carboidratos e proteínas dos alimentos provê informações sobre a biodisponibilidade destes compostos bem como de suas taxas de degradação no rúmen, o que permite a combinação de ingredientes propiciando uma sincronização entre a disponibilidade de energia e compostos nitrogenados no ambiente ruminal, otimizando a síntese de proteína microbiana (RUSSEL et al., 1992).

A proteína do alimento pode ser dividida em três frações: nitrogênio não protéico (fração A), rapidamente convertido em amônia no rúmen; proteína verdadeira (fração B), que apresenta as sub-frações: B1, proteína solúvel, completa e rapidamente degradável; B2, proteína parcialmente degradável, dependendo da taxa passagem e digestão e, B3 proteína associada à parede celular, sendo, portanto lentamente degradável e; proteína indisponível (fração C), formada por associações da proteína com lignina, taninos complexados e produtos de Maillard, que são altamente resistentes à degradação microbiana. Esta fração, além de não ser degradada, não provê aminoácidos pós-ruminais (SNIFFEN et al. 1992).

Os carboidratos são fracionados pelo sistema CNCPS (2000) em: Fração A, carboidratos de rápida degradação, composta por açúcares e ácidos orgânicos. B1: fração composta por amido e pectina e apresenta taxa de degradação intermediária. As frações A e B1

representam os carboidratos não-fibrosos (CNF); Fração B2: parede celular disponível para degradação microbiana, a uma taxa de degradação lenta, por meio da ação de bactérias que requerem amônia como fonte de nitrogênio (RUSSEL et al., 1992). E, finalmente a fração C: que corresponde à parede celular não disponível, fibra indigestível, lignificada (SNIFFEN et al. 1992).

O conhecimento mais profundo das frações dos alimentos permite propor alternativas mais adequadas que podem refletir diretamente na melhoria dos sistemas produtivos. Desta forma, os dados de fracionamento de carboidratos e proteínas permitem prever o desempenho animal, e melhorar o ajuste nutricional das dietas.

## **1.2 Valor energético de alimentos para ruminantes**

O conhecimento da digestibilidade do alimento em conjunto com dados de composição bromatológica é essencial para a determinação de seu valor nutritivo. A digestibilidade está relacionada à capacidade do animal em utilizar, em maior ou em menor escala os nutrientes de um alimento. Tendo o valor nutritivo deste alimento uma relação direta com a sua digestibilidade (COSTA, 2005).

Van Soest (1994) destaca a importância das medidas de digestibilidade para o desenvolvimento de sistemas de descrição dos alimentos para ruminantes. Conforme Cappelle et al. (2001) o conhecimento do valor energético dos alimentos é crucial para o correto balanceamento da dieta, visto que *déficits* energéticos reduzem o desempenho produtivo e reprodutivo, e a imunidade dos animais. Por outro lado rações com energia excedente em relação às exigências nutricionais aumentam o custo com alimentação e a incidência de problemas metabólicos.

As maiores dificuldades da adequação das dietas às necessidades energéticas dos animais advêm da grande variação na disponibilidade de energia entre os alimentos, bem como pela dificuldade de medição direta desta, por inexistência de técnicas analíticas simples e rotineiras. Dessa forma, o método mais habitual para conhecimento do conteúdo energético dos alimentos, é a sua estimativa através de equações de regressão obtidas a partir de resultados experimentais com animais (CAPPELLE et al., 2001).

Tais equações são propostas pelo NRC (2001), e para estimativa dos nutrientes digestíveis totais em nível de manutenção (NDT) são consideradas as frações químicas digestíveis do alimento (carboidratos fibrosos, carboidratos não-fibrosos, lipídeos e proteína bruta), medidas ou estimadas, a partir de equações. O NDT representa uma das medidas avaliativas mais comuns do conteúdo energético, dada sua praticidade em procedimentos de análise de alimentos e cálculo de dietas para ruminantes.

Rocha Júnior et al. (2003) verificaram a eficácia das equações propostas pelo NRC (2001) para avaliação energética dos alimentos, comparando valores preditos pelas equações e

observados em experimentos com ovinos a uma ampla base de dados obtidos na literatura nacional a partir de experimentos “*in vivo*”. Os autores concluíram que as equações são válidas para prever o valor energético dos alimentos nas condições brasileiras. Resultados semelhantes foram verificados por Costa et al. (2005), em ensaios com bovinos.

Conforme o NRC (2001) o sistema de energia líquida (EL) é mais preciso para determinação da disponibilidade energética do que o NDT, entretanto o uso deste último ainda permanece devido à maior praticidade em sua determinação e à grande quantidade de informações disponíveis.

As concentrações de energia digestível, energia metabolizável e energia líquida dos alimentos podem ser também obtidas por meio de equações a partir dos valores de NDT (NRC, 2001).

Cappelle et al. (2001) destacaram a importância das equações na estimativa das variáveis supracitadas, devido ao alto custo e conseqüente inviabilidade da realização de testes de digestão para todos os alimentos ou dietas. Considerando-se que a disponibilidade de energia relaciona-se a muitos componentes químicos, e que as equações de predição partem deste princípio e apresentam relativa acurácia, são métodos válidos e viáveis, já que se baseiam nas análises químicas, e estas são obtidas por testes rápidos, baratos e executados rotineiramente.

Diante de tais considerações, objetivou-se neste capítulo avaliar o efeito do emurhecimento e da inclusão de raízes sobre a composição química e frações de carboidratos e compostos nitrogenados e, conteúdo energético de silagens da parte aérea da mandioca.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Análises químico-bromatológicas

As amostras das silagens de PAM e raízes de mandioca e material original utilizado na ensilagem foram submetidas às análises de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), de acordo com AOAC (1990). As análises de fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose e lignina (em ácido sulfúrico 72%) foram determinadas de acordo com Goering e Van Soest (1990), conforme descrito por Silva e Queiroz (2002). Os teores de hemicelulose foram calculados como a diferença entre os teores de FDN e a FDA.

A composição químico-bromatológica da PAM com e sem emurchecimento e das raízes utilizadas na ensilagem esta apresentada na Tabela 4.

**Tabela 4.** Teores médios percentuais de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hemicelulose (HEM), lignina (LIG), carboidratos totais (CT), carboidratos não fibrosos (CNF), expressos em %MS da parte aérea com e sem emurchecimento (PAM U2 e U1, respectivamente) e raízes de mandioca.

Alimento	MS	MM	PB	EE	FDN	FDA	HEM	CEL	Lig	CT	CNF
PAM U1	17,0	7,92	19,06	3,77	55,10	45,68	9,42	32,4	13,28	66,25	15,85
PAM U2	22,27	7,80	22,50	4,09	54,02	43,59	10,43	28,83	14,76	65,30	16,24
Raízes	34,41	2,65	2,44	0,78	12,01	2,07	9,94	1,86	0,21	94,13	83,21

### 2.2 Fracionamento de compostos nitrogenados

As frações de compostos nitrogenados foram obtidas conforme procedimento descrito por Licitra et al. (1996). A fração A foi determinada a partir do tratamento de 0,2 g de amostra com 20 mL de água, por 30 minutos e, em seguida, adicionado 4 mL de ácido tricloroacético (TCA) a 10%, deixando a amostra descansar por mais 30 minutos. A seguir, o resíduo foi filtrado em papel filtro quantitativo de velocidade de filtração média (Quanty JP40), cujas características são similares ao papel filtro Whatman nº 54. Posteriormente determinou-se o teor de nitrogênio residual pelo método micro-Kjeldahl, para tanto as amostras foram mantidas por cerca de 1 hora e meia em ácido sulfúrico antes de se iniciar o aquecimento das amostras na fase de digestão, objetivando prevenir o refluxo da amostra nesta etapa. Assim obteve-se a Fração “A” pela diferença entre o nitrogênio total (NT) e o nitrogênio insolúvel em TCA (NR), conforme se segue:

$$\text{Fração "A" (\%)} = \% \text{ NT} - \% \text{ NR}$$

O nitrogênio solúvel total foi obtido através da incubação de 0,2 g de amostra com 20 mL de tampão borato-fosfato (TBF) e 0,4 mL de azida sódica a 10%, permanecendo em repouso nessa solução por 3 horas. Após esse período a amostra foi filtrada em papel filtro Quanty JP40 e o resíduo foi analisado para o nitrogênio insolúvel em TBF pelo processo micro Kjeldahl.

Após o tratamento com o TBF, o nitrogênio solúvel total, correspondente às frações “A” e “B1”, foi solubilizado restando no resíduo obtido o restante das frações nitrogenadas (frações “B2”, “B3” e “C”). A fração “B1” foi obtida após o desconto da fração “A”, como se segue:

$$\text{Fração "B1" (\%)} = \%NT - (\%NR - \%N \text{ na Fração "A"})$$

Para estas determinações analíticas as quantidades das soluções, tanto para a determinação do nitrogênio solúvel (fração “A”) quanto para a determinação do nitrogênio solúvel total (fração “A” e “B1”), foram reduzidas, assim como as quantidades de amostras utilizadas. Este procedimento foi necessário para prevenir o refluxo na fase da digestão para a determinação do nitrogênio residual. As quantidades de soluções e amostras guardaram as mesmas proporções descritas por Licitra et al. (1996).

A fração “B3” foi determinada pela diferença entre o nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e o nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA), como se segue:

$$\text{Fração "B3" (\%)} = \%NIDN - \%NIDA$$

Onde o NIDN e NIDA, respectivamente, são as frações de nitrogênio determinado no resíduo da FDN e da FDA.

A fração “C” foi considerada como o NIDA e a fração “B2” foi obtida pela diferença entre o nitrogênio total e as frações “A”, “B1”, “B3” e “C”.

### 2.3 Fracionamento de carboidratos

As frações dos carboidratos foram estimadas conforme Sniffen et al. (1992), seguindo as equações:

$$CT(\%) = 100 - (\%PB + \%EE + \%MM)$$

Onde CT representam carboidratos totais; PB a proteína bruta; EE o extrato etéreo e MM a matéria mineral;

Os carboidratos não-fibrosos (CNF) (Fração A+B1) foram obtidos a partir da seguinte equação:

$$CNF(\%) = CT - FDNcp$$

Onde FDNcp corresponde a fração FDN livre de proteína e matéria mineral;

A fração “C” foi obtida pelo produto entre a % lignina e o fator 2,4, conforme a equação:

$$\text{Fração "C"} = \% \text{ lignina} \times 2,4$$

A fração “B2” foi obtida a partir da subtração entre a fração de FDNcp e a fração “C”.

$$\text{Fração "B2"} = \text{FDNcp} (\%) - \text{Fração "C"} (\%)$$

Os dados médios do fracionamento de carboidratos e compostos nitrogenados da PAM com e sem emurchecimento e das raízes utilizadas na ensilagem estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5.** Teores médios percentuais de frações nitrogenadas e frações de carboidratos expressos com base no nitrogênio total (NT) e carboidratos totais (CT), respectivamente, da parte aérea com e sem emurchecimento (PAM U2, U1, respectivamente) e raízes de mandioca.

Alimento	Frações nitrogenadas (%NT)					NT (%MS)	Frações de Carboidratos (%CT)			CT (%MS)
	A	B1	B2	B3	C		A+B1	B2	C	
<b>PAM U1</b>	43,93	2,55	26,08	12,30	15,41	3,05	28,45	23,45	48,10	66,25
<b>PAM U2</b>	55,01	2,36	21,52	11,11	10,00	3,60	26,40	19,37	54,23	65,30
<b>Raiz</b>	10,26	15,38	0	69,23	5,13	0,39	88,40	11,06	0,53	94,13

U1= parte aérea da mandioca sem emurchecer; U2= parte aérea da mandioca emurchecida

#### 2.4 Estimativas de energia e nutrientes digestíveis totais

Para estimar o teor de nutrientes digestíveis totais (NDT) das silagens e do material original foram utilizadas as equações propostas por Weiss (1992), com as modificações sugeridas pelo NRC (2001):

$$\text{NDT} (\%) = \text{CNFdv} + \text{PBdv} + (\text{AGdv} * 2,25) + \text{FDNdv} - 7$$

Sendo:

$$\text{CNFdv} = 0,98 * \{ 100 - [(\text{FDN} - \text{PIDN}) + \text{PB} + \text{EE} + \text{Cinzas}] \}$$

$$\text{PBdv} = \text{PB} * \exp[ - 1,2 * (\text{PIDA}/\text{PB}) ]$$

$$\text{AGdv} = \text{AG}$$

$$\text{FDNdv} = 0,75 * \{ [(\text{FDN} - \text{PIDN}) - \text{L}] * [1 - (\text{L}/\text{FDNn})^{0,667}] \}$$

Em que: CNFdv = carboidratos não-fibrosos verdadeiramente digestíveis; PBdv = proteína bruta verdadeiramente digestível; AGdv = ácidos graxos verdadeiramente digestíveis e FDNdv = fibra em detergente neutro verdadeiramente digestível; FDN = fibra em detergente neutro; PIDN = proteína insolúvel em detergente neutro; PB = proteína bruta; EE = extrato etéreo; AG = ácidos graxos, nos quais AG = EE - 1 ; FDNn = FDN corrigido para a proteína;

PIDA = proteína insolúvel em detergente ácido; L = lignina; o fator 7 refere-se ao NDT recuperado nas fezes.

As estimativas do conteúdo energético das silagens, em Mcal/kg MS, foram obtidas por intermédio das equações sugeridas pelo NRC (2001), onde energia digestível (ED), energia metabolizável (EM), energia líquida de manutenção (ELm), energia líquida de ganho (ELg) e energia líquida de lactação (ELI):

$$ED = (CNFdv/100) \times 4,2 + (FDNdv/100) \times 4,2 + (PBdv/100) \times 5,6 + (AG/100) \times 9,4 - 0,3$$

$$EM = [1,01 \times (ED) - 0,45] + 0,0046$$

$$ELm = 1,37 EM - 0,138EM^2 + 0,0105EM^3 - 1,12$$

$$ELg = 1,42EM - 0,174 EM^2 + 0,0122 EM^3 - 1,65$$

$$ELI = 0,0245 \times \text{NDT}\% - 0,12$$

## 2.5 Análises estatísticas

Os tratamentos foram distribuídos em um delineamento experimental inteiramente casualizado, com três repetições em um esquema fatorial 2 x 4, sendo dois níveis de umidade da parte aérea (com e sem pré-emurchecimento), e quatro níveis de inclusão de raízes de mandioca (0, 15, 30 e 45% da MN), conforme o modelo matemático:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk}, \text{ onde:}$$

$\mu$  = média geral da variável em estudo;

$\alpha_i$  = efeito do i-ésimo nível de umidade (i = PAM não emurchecida; PAM emurchecida);

$\beta_j$  = efeito do j-ésimo nível de inclusão de raízes (j = 0, 15, 30, 45% raiz na MN);

$\alpha\beta_{ij}$  = efeito da interação entre o i-ésimo nível de  $\alpha$  e o j-ésimo nível de  $\beta$ ;

$\epsilon_{ijk}$  = erro aleatório associado à observação  $Y_{ijk}$ ;

Para análise estatística, os dados foram submetidos à análise de variância utilizando-se o procedimento General Linear Models do programa estatístico SAS (*Statistical Analysis System*). Para estudo detalhado da interação secagem da parte aérea e níveis de inclusão de raiz quando esta foi significativa, foram realizados os desdobramentos adequados. Para estudo do efeito do emurchecimento em cada nível de raízes, aplicou-se o teste de “t” de Student ao nível de 5% de significância. De outro modo, o efeito dos níveis de inclusão de raiz em cada nível de umidade da PAM foi analisado por meio da análise de regressão, sendo a escolha do modelo baseada na significância dos parâmetros testados pelo teste “t” Student, e nos valores dos coeficientes de determinação ( $R^2$ ).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados percentuais médios das análises químicas das silagens de parte aérea e raízes de mandioca estão descritos na Tabela 6 e as equações de regressão ajustadas para cada componente químico e seus respectivos coeficientes de determinação na Figura 3 e 4. À exceção dos teores de fibra em detergente ácido (FDA) e lignina todos os demais nutrientes apresentaram interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre o emurchecimento da parte aérea e nível de adição de raízes.

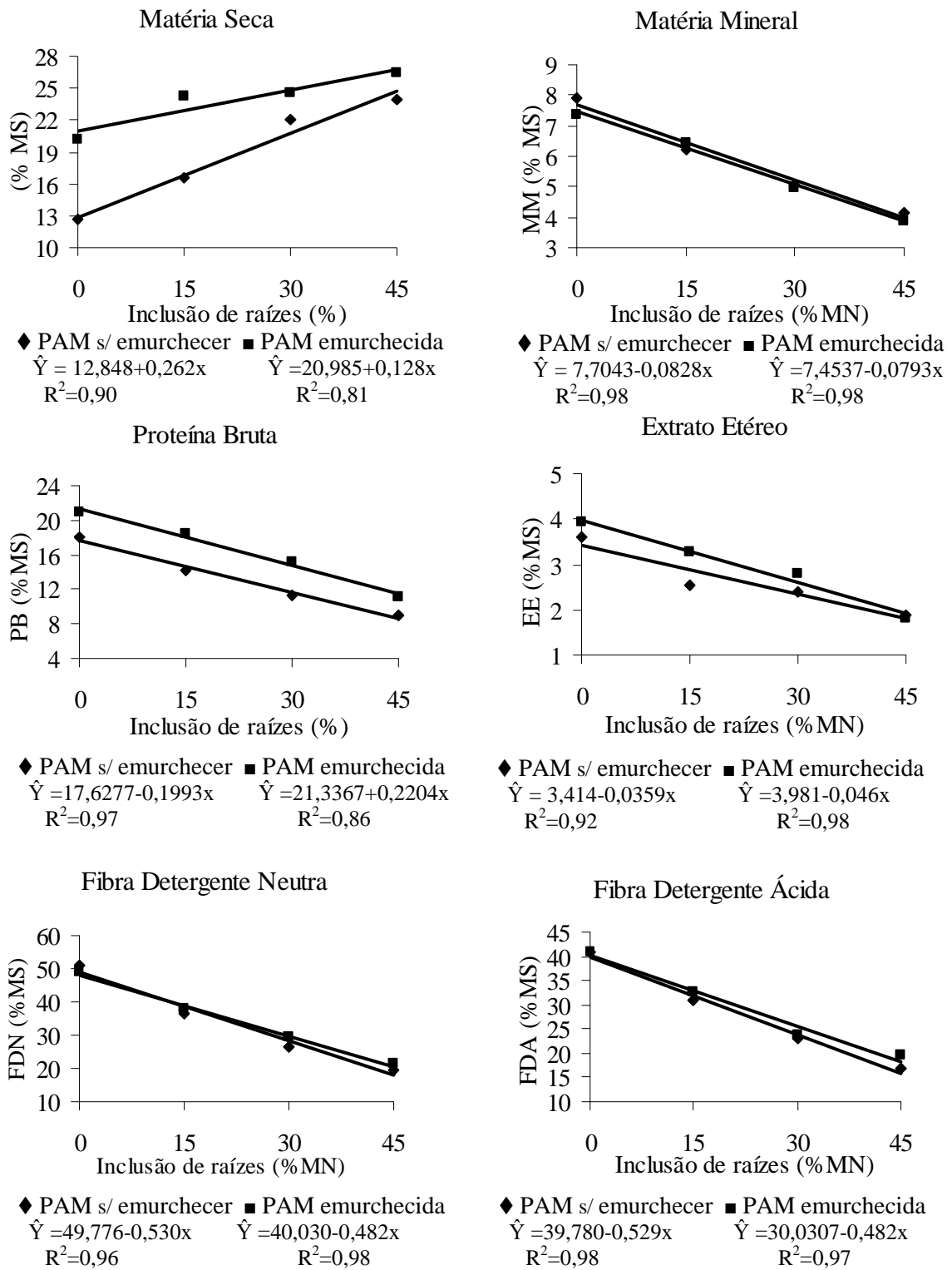
**Tabela 6.** Teores percentuais médios de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose (CEL), hemicelulose (HEM), lignina (LIG), carboidratos totais (CT), carboidratos não-fibrosos (CNF) de silagens de parte aérea e raízes de mandioca.

Parâmetros (%MS)	PAM <sup>1</sup>	Inclusão de raízes (% MN)				Média	CV <sup>2</sup> (%)	Efeitos <sup>3</sup>		
		0	15	30	45			U	R	U*R
MS	U1	12,59 <sup>b</sup>	16,53 <sup>b</sup>	21,98 <sup>b</sup>	23,88 <sup>b</sup>	18,75	5,39	*	*	*
	U2	20,21 <sup>a</sup>	24,18 <sup>a</sup>	24,61 <sup>a</sup>	26,48 <sup>a</sup>	23,87				
MM	U1	7,92 <sup>a</sup>	6,20 <sup>a</sup>	5,10 <sup>a</sup>	4,14 <sup>a</sup>	5,84	2,72	*	*	*
	U2	7,37 <sup>b</sup>	6,43 <sup>a</sup>	4,98 <sup>a</sup>	3,89 <sup>a</sup>	5,67				
PB	U1	18,01 <sup>b</sup>	14,21 <sup>b</sup>	11,36 <sup>b</sup>	8,99 <sup>b</sup>	13,14	4,02	*	*	*
	U2	20,90 <sup>a</sup>	18,50 <sup>a</sup>	15,06 <sup>a</sup>	11,03 <sup>a</sup>	16,37				
EE	U1	3,62 <sup>b</sup>	2,54 <sup>b</sup>	2,40 <sup>b</sup>	1,87 <sup>a</sup>	2,61	7,27	*	*	*
	U2	3,94 <sup>a</sup>	3,28 <sup>a</sup>	2,78 <sup>a</sup>	1,82 <sup>a</sup>	2,96				
FDN	U1	51,03 <sup>a</sup>	36,60 <sup>a</sup>	26,38 <sup>a</sup>	19,74 <sup>a</sup>	33,44	3,79	ns	*	*
	U2	49,04 <sup>a</sup>	37,80 <sup>a</sup>	29,49 <sup>b</sup>	21,35 <sup>a</sup>	34,42				
FDA	U1	40,74	30,76	23,13	16,81	27,86 <sup>b</sup>	3,04	*	*	ns
	U2	40,81	32,54	23,72	19,64	29,18 <sup>a</sup>				
CEL	U1	28,37 <sup>a</sup>	22,12 <sup>a</sup>	16,46 <sup>a</sup>	11,97 <sup>a</sup>	19,73	3,87	ns	*	*
	U2	27,30 <sup>a</sup>	23,06 <sup>b</sup>	15,22 <sup>a</sup>	13,83 <sup>b</sup>	19,85				
HEM	U1	10,29 <sup>a</sup>	5,84 <sup>a</sup>	3,25 <sup>a</sup>	2,93 <sup>a</sup>	5,58	14,80	ns	*	*
	U2	8,23 <sup>b</sup>	3,25 <sup>a</sup>	2,93 <sup>b</sup>	1,71 <sup>a</sup>	4,03				
LIG	U1	12,37	8,63	6,67	4,84	8,13 <sup>b</sup>	7,63	*	*	ns
	U2	13,51	9,48	8,50	5,81	9,33 <sup>a</sup>				
CT	U1	70,91 <sup>a</sup>	77,56 <sup>a</sup>	81,47 <sup>a</sup>	85,21 <sup>a</sup>	78,79	0,82	*	*	*
	U2	67,68 <sup>b</sup>	72,21 <sup>b</sup>	77,07 <sup>b</sup>	83,11 <sup>b</sup>	75,02				
CNF	U1	25,08 <sup>a</sup>	44,75 <sup>a</sup>	58,13 <sup>a</sup>	67,88 <sup>a</sup>	48,96	2,70	*	*	*
	U2	23,93 <sup>a</sup>	38,77 <sup>b</sup>	51,11 <sup>b</sup>	64,41 <sup>b</sup>	44,56				

<sup>1</sup>U1=parte aérea da mandioca não emurchecida; U2=parte aérea da mandioca emurchecida; <sup>2</sup> Coeficiente de variação; <sup>3</sup> Significância das fontes experimentais de variação: U- Umidade da parte aérea; R- inclusão de raiz; UxR- interação; \*efeito significativo ( $P < 0,05$ ); ns: não significativo ( $P > 0,05$ ); \*\* Letras distintas na mesma coluna, para o mesmo parâmetro, diferem a 5% de significância pelo teste "t" Student ( $P > 0,05$ ).

Analisando o efeito do emurchecimento dentro dos níveis de raízes, constata-se maior teor de MS ( $P < 0,05$ ) nas silagens de PAM emurchecida, em todos os níveis de inclusão de raízes estudados (Tabela 6). Ao se analisarem os teores de MS em função da inclusão das raízes, verificam-se acréscimos de 0,26 e 0,13% para as silagens sem e com emurchecimento, a cada

unidade percentual de raiz adicionada (Figura 3). O aumento linear do conteúdo de MS com a adição das raízes de mandioca se deve ao maior teor de MS desta em relação à PAM.



**Figura 3.** Estimativas de matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína bruta (PB), extrato etéreo (EE), fibra detergente neutra (FDN) e fibra detergente ácida (FDA) de silagens da PAM emurchecida ou não, em função da inclusão de raízes.

Pinho et al. (2004) avaliando o efeito do emurhecimento sobre a qualidade das silagens de PAM obtiveram valores de MS de 25 e 27% (sem e com pré-emurhecimento), não sendo essa amplitude suficiente para que a secagem fosse recomendada. Estes valores foram superiores aos encontrados neste estudo para as silagens de PAM sem inclusão de raízes, que se situaram entre 12,6 e 20,2% de MS. Conforme Souza e Fialho (2003) o teor de umidade inicial da PAM varia com a idade e variedade da planta utilizada.

Ferrari Jr. e Lavezzo (2001) e Oliveira (2008) relataram elevação substancial nos teores de MS em silagens de capins emurchecidos, e acrescidos por farelo de mandioca, recomendando estes procedimentos para o preparo de silagens com melhor padrão fermentativo e consequentemente qualidade superior.

Em relação aos teores de MM, no desdobramento da interação efeito do emurhecimento dentro de inclusão de raízes, observou-se diferença ( $P < 0,05$ ) apenas para as silagens sem inclusão de raízes, apresentando o maior valor para a silagem não emurchecida (Tabela 6). Já para os teores de MM em função dos níveis de raízes, a análise de regressão revelou um comportamento linear decrescente para ambas as silagens de PAM emurchecidas ou não, com reduções de 0,079 e 0,083%, respectivamente a cada unidade percentual de raiz acrescida (Figura 3). Tal comportamento pode ser explicado pela maior concentração de minerais na PAM em relação às raízes. Souza e Fialho (2003) destacaram esta riqueza em minerais, sobretudo cálcio e ferro, como vantagem na utilização da PAM na alimentação animal.

Para a PB, constatou-se que a secagem elevou significativamente ( $P < 0,05$ ) os teores deste nutriente em todos os níveis de raízes (Tabela 6). O processo de secagem implicou em maior proporção de PAM na MS total das silagens emurchecidas, e conseqüente aumento do teor de proteína destas silagens em comparação as não emurchecidas. No que concerne ao incremento de raízes, houve efeito linear decrescente ( $P < 0,05$ ) em ambas as silagens emurchecidas ou não, estimando-se uma redução de 0,22 e 0,20% na concentração protéica, respectivamente, a cada unidade incrementada de raiz (Figura 3). Este comportamento pode ser explicado pelo baixo conteúdo protéico das raízes da mandioca, que são caracteristicamente fornecedoras de energia, em relação a sua parte aérea.

Estes resultados concordam com os encontrados por Oliveira (2008) e Silva et al. (2007) que também verificaram redução no conteúdo protéico em silagens de capim elefante acrescidas com níveis de farelo e bagaço de mandioca, respectivamente.

De acordo com Van Soest (1994), o teor mínimo de PB na dieta de ruminantes para suprir N para as atividades ruminais e não comprometer o consumo e a digestibilidade deve ser entre 6-8% da MS, sendo assim mesmo as silagens com maior proporção de raízes (Tabela 6) apresentam-se dentro deste limite.

A concentração de PB encontrada na parte aérea da mandioca supera a maioria daquelas observadas em volumosos de boa qualidade utilizados na alimentação de vacas leiteiras, como silagem de sorgo, silagem de milho, silagem de girassol e feno de coast-cross, respectivamente 9,1; 6,7; 11,7 e 7,2% MS; sendo semelhante à alfafa (19,2%) (VALADARES FILHO, 2000).

Azevedo et al. (2006), caracterizando a parte aérea de cinco cultivares de mandioca quanto à qualidade nutricional com vistas à alimentação de ruminantes, encontraram teores de PB variando entre 7,2 a 10,4%, inferiores aos obtidos para silagens de PAM sem acréscimo de raízes neste trabalho (18 a 20,9% PB). Valores próximos foram relatados por Faustino et al. 2003 e Modesto et al. (2004), respectivamente 20,58 e 19,5% PB. As variações no conteúdo de proteína das silagens de PAM estão relacionadas à idade de maturação, variedade e porção da planta utilizada, pois quanto mais jovens forem as folhas e quanto maior for o seu percentual na parte aérea obtêm-se um volumoso mais protéico (IRMÃO, 2007).

No tocante aos componentes fibrosos, as concentrações de FDN, hemicelulose, e celulose apresentaram efeito da interação ( $P < 0,05$ ) inclusão de raízes e emurchecimento da PAM. Ao analisar o efeito do emurchecimento dentro dos níveis de raízes, verificou-se elevação dos teores de FDN e hemicelulose na silagem de PAM emurchecida acrescida com 30% de raízes, enquanto que para a celulose tal comportamento ocorreu nos níveis 15 e 45% de adição de raízes (Tabela 6). Por outro lado a inclusão de raízes resultou em decréscimo linear ( $P < 0,05$ ) nos teores das variáveis supracitadas, tanto nas silagens de PAM emurchecida ou não (Figura 3 e 4).

O efeito de interação sobre as frações fibrosas pode estar relacionado à proporção de raízes na MS total das silagens que se reduziu em função da secagem, uma vez que a inclusão destas foi baseada na MN. A redução dos componentes fibrosos (FDN, FDA, celulose, hemicelulose e lignina) observadas diante da inclusão de raízes pode ser facilmente explicada tendo em vista a composição destas, constituídas predominantemente por amido. Resultados similares foram relatados por Ferrari Jr. e Lavezzo (2001), Silva et al. (2007) e Oliveira (2008), com inclusão de co-produtos industriais do processamento das raízes de mandioca às silagens de capim elefante.

As silagens avaliadas neste trabalho apresentaram conteúdo de FDN inferior aos relatados em volumosos de boa qualidade utilizados na alimentação de vacas de alta produção, como as silagens de milho e sorgo 60,7 e 58,3%, respectivamente (Valadares Filho, 2000).

De acordo com Mertens (1994) o conteúdo de parede celular das forrageiras é o principal limitante do consumo de forrageiras tropicais por ruminantes, já que a capacidade de ingestão da FDN é limitada a 1,2% do peso vivo, devido ao efeito físico de repleção ruminal. Dessa forma, a redução na concentração de FDN nas dietas contendo altas proporções de volumosos pode contribuir para aumentar o consumo de MS, e ao mesmo tempo a densidade energética das

rações de ruminantes (JUNG e ALLEN, 1995), em detrimento das elevadas proporções de concentrado na dieta.

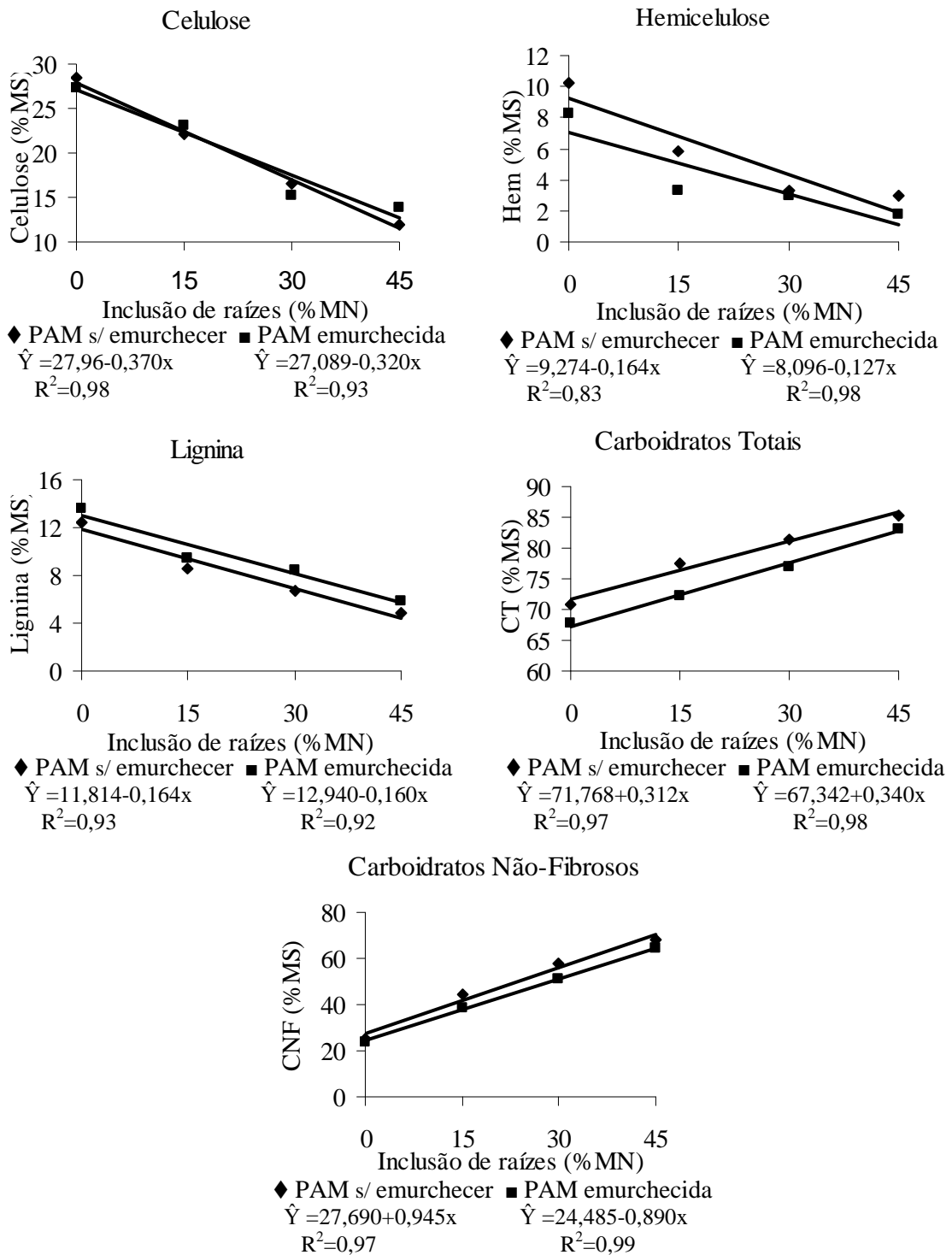
Por outro lado, a FDN desempenha papel fundamental na manutenção do ambiente ruminal adequado, devido aos estímulos sobre mastigação, ruminação, salivação e motilidade, condições necessárias para a manutenção do pH e ambiente satisfatório à sobrevivência e atividade das bactérias celulolíticas (Van Soest, 1994). Conforme o NRC (2001), dietas com menos de 25% de FDN na MS resultam em reduções na concentração de gordura do leite. Com exceção do nível de 45% de adição de raízes, em todas as outras silagens estudadas os percentuais médios da FDN situaram-se acima do limite mínimo.

Nas variáveis FDA e lignina a análise de variância revelou efeito significativo do emurhecimento ( $P < 0,05$ ) e da adição de raízes ( $P < 0,05$ ) (Tabela 6). A secagem promoveu aumento médio de 4,52% nos teores de FDA e de 12,86% nos de lignina em comparação as silagens não emurhecidas. Já a inclusão de raízes propiciou um decréscimo linear nas concentrações de FDA 0,48 e 0,53%, e lignina de 0,160 e 0,164%, respectivamente, para as silagens de PAM com e sem emurhecimento, a cada unidade percentual de raiz acrescida (Figura 3).

Os efeitos do emurhecimento sobre as concentrações de FDA encontrados nesta pesquisa estão em discordância com aqueles observados na literatura, onde tal processamento reduz (LOURES, 2004; IGARASI, 2002) ou não afeta significativamente (BERTO e MUHLBACH, 1997; CASTRO, 2002; PINHO, 2004) os teores da variável supracitada. Berto e Muhlbach, (1997) e Castro (2002) verificaram tendência de aumento nos teores de lignina com o emurhecimento, similar ao observado neste trabalho.

O processo de emurhecimento permite a eliminação do excesso de umidade da planta, o que conseqüentemente eleva o conteúdo de material seco. Por outro lado, pode indesejavelmente resultar em decréscimo dos açúcares solúveis em função da atividade respiratória da planta e, por conseguinte, modificar o percentual de outros nutrientes, com elevação das frações protéicas e fibrosas e redução dos CNF.

Para as variáveis CT e CNF, ao analisar o desdobramento da interação estatística, verificaram-se redução nas concentrações de CT e CNF ( $P < 0,05$ ) nas silagens de PAM submetida ao emurhecimento, exceto para o nível 0% de inclusão de raízes, cujos teores de CT não diferiram ( $P > 0,05$ ) da silagem de PAM sem emurhecimento (Tabela 6). A inclusão de raízes promoveu efeito linear crescente tanto para os CT como CNF, sendo respectivamente, de 0,31 e 0,94%, para a silagem de PAM não emurhecida, e de 0,34 e 0,89% para as silagens de PAM emurhecida com o incremento de uma unidade percentual de raízes (Figura 4).



**Figura 4.** Estimativas de celulose, hemicelulose, lignina, carboidratos totais e carboidratos não fibrosos de silagens da PAM emurcheceida ou não, em função da inclusão de raízes.

Conforme pode ser observado na Tabela 5, as raízes de mandioca apresentam cerca de 94% de CT, sendo sua quase totalidade composta por carboidratos não-fibrosos (88%), desta forma, o incremento de raízes nas silagens proporciona elevação linear do conteúdo destes componentes. Os CNF são altamente digestíveis e representam a maior fonte de energia na dieta

de vacas leiteiras de alta produção. Entretanto, quando presentes em proporções muito elevadas podem resultar em distúrbios metabólicos e decréscimo na digestibilidade da fibra, dessa forma preconiza-se que esta fração não exceda 30-40% da MS total da ração (NOCEK, 1997).

Batajoo e Shaver (1994) concluíram que vacas com produção acima de 40 kg de leite podem receber dietas com concentração de CNF superiores a 30%. Hoover e Stokes (1991) citados pelo NRC (2001), analisando dados de Nocek e Russel (1988), reportaram que a produção de leite decresceu quando a concentração de CNF foi superior a 45-50% ou inferior a 25-30% da MS.

O amido pode compor de 50-100% dos carboidratos não estruturais de muitos alimentos. Além da quantidade total, a taxa e a extensão da digestão ruminal da fonte de amido podem afetar o nível seguro de sua inclusão na dieta (NRC, 2001). O amido da mandioca apresenta alta degradabilidade, sendo superior a do milho e do sorgo (Zeoula et al., 2003). Conforme o NRC (2001) o desempenho de vacas lactantes pode variar em função da degradabilidade, processamento e nível de consumo de amido, qualidade da forragem da dieta, e degradabilidade da fonte protéica. Lykos et al. (1997) citados pelo NRC (2001) demonstraram que o aumento da taxa de digestão dos CNF de 6 para 7,9 %/hora elevaram significativamente a produção de leite em 2,5 kg/dia, e a concentração de proteína no leite em 130 g/dia.

Assim, a utilização de silagens de parte aérea acrescida de raízes de mandioca pode representar uma alternativa viável para substituir volumosos de alta qualidade como silagem de milho, sorgo ou alfafa, sem afetar o desempenho dos animais.

Na Tabela 7 estão representados os teores médios das frações nitrogenadas, representadas por nitrogênio não-protéico (NNP) (fração A), nitrogênio protéico de rápida, intermediária e lenta degradação (B1, B2 e B3) e nitrogênio indisponível (C), das silagens estudadas e as equações de regressão ajustadas com seus respectivos coeficientes de determinação.

Para a fração A, verificou-se interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre o emurchecimento e os níveis de raízes. Analisando o efeito do emurchecimento dentro dos níveis de raízes, observou-se diferença apenas para as silagens dos níveis 0 e 45% de raízes, em que as silagens sem emurchecimento apresentaram valores inferiores às emurchecidas. A análise de regressão revelou comportamento quadrático para as silagens não emurchecidas e linear decrescente para as emurchecidas. Entretanto, os baixos coeficientes de determinação observados sugerem que os modelos não explicam adequadamente o comportamento desta variável em função do acréscimo de raízes, e que outros fatores podem influenciar a variação no conteúdo da fração A (Tabela 7).



**Tabela 7.** Frações de compostos nitrogenados expressos em relação ao nitrogênio total (NT) de silagens da parte aérea e raízes de mandioca, e respectivas equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>).

Frações nitrogenadas (%NT)	PAM	Inclusão de raiz (% MN)				Média	CV (%)	Efeitos <sup>1</sup>			Equação regressão	R <sup>2</sup>
		0	15	30	45			U	R	UxR		
A	U1	42,42 <sup>b</sup>	47,19 <sup>a</sup>	46,93 <sup>a</sup>	44,47 <sup>b</sup>	45,28	4,18	*	*	*	$\hat{Y}=42,66+0,394x-0,008x^2$	0,45
	U2	48,52 <sup>a</sup>	49,93 <sup>a</sup>	45,43 <sup>a</sup>	52,39 <sup>a</sup>	49,06		*	*	*	$\hat{Y}=49,399-0,233x$	0,39
B1	U1	7,06	3,33	4,27	7,47	5,50 <sup>a</sup>	23,00	*	*	ns	$\hat{Y}=6,826-0,324x-0,008x^2$	0,66
	U2	4,59	2,86	3,59	4,37	3,85 <sup>b</sup>		*	*	ns	$\hat{Y}=4,47-0,126x+0,003x^2$	0,76
B2	U1	20,30	33,21	33,68	33,95	30,28	7,48	Ns	*	ns	$\hat{Y}=21,118+0,85x-0,013x^2$	0,81
	U2	21,55	29,52	33,70	29,36	28,52		Ns	*	ns	$\hat{Y}=21,118+0,85x-0,013x^2$	0,81
B3	U1	16,01 <sup>a</sup>	4,94 <sup>a</sup>	4,48 <sup>a</sup>	7,67 <sup>a</sup>	8,27	19,37	*	*	*	$\hat{Y}=15,657-0,883+0,016x^2$	0,89
	U2	15,61 <sup>a</sup>	8,86 <sup>b</sup>	9,50 <sup>b</sup>	6,41 <sup>a</sup>	10,09		*	*	*	$\hat{Y}=15,058-0,36x+0,004x^2$	0,72
C	U1	14,23 <sup>a</sup>	11,33 <sup>a</sup>	10,64 <sup>a</sup>	6,43 <sup>a</sup>	10,65	12,01	*	*	*	$\hat{Y}=14,25-0,16x$	0,84
	U2	9,72 <sup>b</sup>	8,84 <sup>b</sup>	7,79 <sup>b</sup>	7,47 <sup>a</sup>	8,45		*	*	*	$\hat{Y}=9,627-0,052x$	0,43

<sup>1</sup> Significância das fontes experimentais de variação: U- Umidade da parte aérea; R – inclusão de raiz; UxR – interação; \* Efeito significativo (p<0,05); ns: Não significativo (p>0,05)

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

Nas raízes de mandioca o NNP representa apenas 10% do NT, em contrapartida o nitrogênio da parte aérea está predominantemente encontrado nesta fração (Tabela 5). Dessa maneira, seria esperado que à medida que se elevasse a concentração de raízes fosse observada redução linear deste constituinte, fato que ocorreu apenas nas silagens emurhecidas.

O NNP é rapidamente convertido em amônia no rúmen podendo suprir totalmente as demandas nitrogenadas das bactérias celulolíticas e 1/3 dos requisitos de microrganismos fermentadores de CNE (RUSSEL et al. 1992). Considera-se que a maior proporção da proteína solúvel das silagens encontra-se nesta forma (SNIFFEN et al. 1992; NRC, 2001). Os altos teores de NNP encontrados na PAM exigem associação desta à fontes energéticas de rápida disponibilidade, como os CNE presentes nas raízes.

De acordo com Zeoula et al (2002) a sincronização entre fontes de carboidratos (que fornecem energia e esqueletos carbônicos) e de nitrogênio, pode acarretar uma maximização da eficiência microbiana e uma diminuição da perda de nitrogênio na forma de  $N-NH_3$ .

Embora Van Soest (1994) sugira que altos teores de NNP encontrados nas silagens possam ser reflexos da proteólise que ocorre no silo durante a fermentação, os índices inexpressivos de  $N-NH_3$  encontrados no presente estudo não indicam que esta seja a explicação para os resultados obtidos. Aparentemente este fato está relacionado às características da forragem original que apresentou alta concentração de nitrogênio solúvel (Tabela 5).

Os altos valores obtidos para a fração A (Tabela 7) nas silagens sem acréscimos de raízes corroboram com os relatados por Azevedo et al. (2006) para cultivar Frita, que apresentaram cerca de 46 % do NT na forma de NNP. Entretanto, estes foram superiores aos obtidos por Ferreira et al. (2007); Modesto et al. (2004) e Faustino et al. (2003) para o terço superior da rama de mandioca cultivar Fibra, com respectivamente, 30,9; 34,9 e 7,9% da fração A em relação ao NT. A grande variabilidade verificada para esta fração nitrogenada pode ser um reflexo do genótipo e/ou idade de maturação da planta utilizada, bem como das interações desta com o ambiente.

Irmão (2007) trabalhando com a cultivar Coqueiro, ou seja, a mesma utilizada neste trabalho, encontrou ampla variação no conteúdo total e nas frações de nitrogênio do feno da PAM obtidos com diferentes idades de colheita. Os maiores valores da fração A foram obtidos no feno da PAM entre 10-14 meses, de aproximadamente 43%, decrescendo substancialmente para 9% do NT aos 16 meses.

No que se refere à fração B1, relativa ao nitrogênio protéico de rápida degradação, a análise de variância revelou efeito significativo para o emurhecimento ( $P<0,05$ ) e para adição de raízes ( $P<0,05$ ), conforme pode ser visto na Tabela 7. O emurhecimento resultou em uma redução média de 30% em relação ao material não emurhecido, sugerindo ação de enzimas proteolíticas do vegetal durante o processamento. A inclusão de raízes resultou em comportamento quadrático para esta variável em ambas as silagens emurhecidas ou não,

estimando-se os valores mínimos de 3,15 e 3,02 %NT, obtidas para a inclusão de 21 e 20,25% de raízes, respectivamente.

Esta fração geralmente é de pequena magnitude em forragens verdes, sendo sua concentração inferior a 5% do NT (SNIFFEN et al., 1992), conforme o observado para o material original (Tabela 5), variando entre 2,55 e 2,36% para PAM sem e com emurhecimento. Ela representa o nitrogênio protéico solúvel e de rápida degradação ruminal, prontamente disponível para atender os requisitos microbianos para este elemento.

A fração B2 foi afetada significativamente apenas pela adição de raízes ( $P < 0,05$ ), que propiciou um efeito quadrático nos teores desta variável, obtendo-se valor máximo de 26,18 %NT com incremento de 32,7% de raízes nas silagens. O comportamento verificado para esta fração pode está relacionado ao seu maior conteúdo nas raízes (Tabela 5), entretanto, como o teor protéico destas é baixo em relação à PAM, seu acréscimo mantém relação inversa com o conteúdo total do nitrogênio, não sendo suficiente para elevar linearmente os valores desta fração.

De acordo com Sniffen et al. (1992), a fração B2 refere-se ao nitrogênio insolúvel, com taxa de degradação ruminal semelhante à taxa de passagem, de forma que a quantidade efetivamente degradada é função direta da taxa de passagem. Esta fração atende boa parte da demanda de nitrogênio pelos microrganismos ruminais.

Com relação às frações B3 e C, verificaram-se interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre os níveis de raízes e o emurhecimento (Tabela 7). Para a primeira, a análise do desdobramento emurhecimento dentro de raízes, revelou diferença ( $P < 0,05$ ) apenas nos níveis 15 e 30% de acréscimo, sendo os maiores valores atribuídos à silagem pré-seca. Já à análise da regressão constatou-se efeito quadrático em ambas as silagens, estimando-se valores mínimos de 6,96 e 3,47 (%NT) para silagens com e sem emurhecimento acrescidas com 45 e 27,6% de raízes, respectivamente.

A fração B3 representa o nitrogênio ligado à parede celular potencialmente degradável no rúmen, é obtido pela subtração entre o nitrogênio insolúvel em detergente neutro e em detergente ácido. Em função da sua reduzida taxa de degradação ruminal, grande parte deste nitrogênio não é disponibilizado no rúmen, de acordo com o CNCPS (2000). Nas silagens estudadas, pequeno percentual do nitrogênio encontrou-se nesta forma, contribuindo assim, com menores proporções de aminoácidos dietéticos no pós-rúmen.

A análise do emurhecimento dentro dos níveis de raiz revelou diferença significativa para todos os níveis de acréscimo, com exceção de 45%, sendo os maiores valores da fração C encontrados para as silagens não emurhecidas (Tabela 7). Por outro lado ao se avaliarem os teores desta em função dos níveis de raízes, observaram-se decréscimos lineares em ambas as silagens, sendo estimadas reduções de 0,16 e 0,05% nas silagens de sem e com pré-secagem.

Os altos percentuais da fração C nas silagens de PAM sem emurchecimento, podem ser resultantes do aquecimento das silagens com alta umidade, levando a formação de produtos de Maillard (VAN SOEST, 1994), ou mesmo devido às próprias características da forrageira. A fração C corresponde a nitrogênio indisponível, sendo insolúvel em detergente ácido. Esta fração contém a proteína associada à lignina, taninos e compostos de Maillard altamente resistentes à degradação microbiana e enzimática, sendo considerada inaproveitável, tanto no rúmen como no intestino (SNIFFEN et al., 1992).

As raízes de mandioca apresentam baixa concentração de nitrogênio, sendo uma fração ínfima deste encontrado na forma indisponível (5%) (Tabela 5), assim o incremento destas nas silagens reduziu proporcionalmente o teor da fração C, provavelmente por efeito de diluição.

Os resultados de fração C encontrados neste trabalho para a silagem da PAM não emurchecida e sem adição raízes (14,2% NT) foram superiores aos obtidos por Faustino et al. (2003); Pinho et al. (2004) e Azevedo et al. (2006) de aproximadamente 6,4; 11,3 e 9,9 %NT. Porém inferiores aos relatados por Modesto et al. (2004) e Ferreira et al. (2007) que citam 25,5 e 25,6 %NT, respectivamente.

Os valores médios das frações de carboidratos expressos em relação aos carboidratos totais das silagens, as equações de regressão ajustadas, em função do emurchecimento e da inclusão de raízes e, seus respectivos coeficientes de variação estão descritos na Tabela 8.

Os valores da fração A+B1 (em % CT), foram influenciados negativamente pelo emurchecimento ( $p < 0,05$ ), com decréscimo de 7% em relação à PAM não emurchecida. Já a inclusão de níveis de raízes elevou linearmente ( $P < 0,05$ ) o percentual da fração supracitada em ambas as silagens da PAM, sendo estimados para cada unidade percentual de raízes aumentos de 0,97 e 0,93% dos CNF na silagem de PAM sem e com pré-emurchecimento.

Como a pré-secagem ocorreu de forma rápida neste experimento, é provável que o consumo de açúcares livres pela atividade respiratória da planta não tenha alterado significativamente o conteúdo de carboidratos solúveis, sendo mais provável que o efeito negativo do emurchecimento sobre esta fração se deva a menor participação das raízes na MS das silagens de PAM pré-emurchecida, já que a inclusão destas foi baseado na MN, assim as raízes representaram uma menor proporção da MS nestas silagens em relação às não emurchecidas, variando entre 26-60% da MS na primeira e 18-54% na última.

Conforme pode-se verificar na Tabela 5, as frações de A+B1, correspondentes aos CNF, representam aproximadamente 90% dos carboidratos presentes nas raízes. Portanto, a inclusão de raízes às silagens resultou em elevação do teor de CNF e decréscimo dos constituintes estruturais em relação aos carboidratos totais.

**Tabela 8.** Frações de carboidratos das silagens de parte aérea e raízes de mandioca, carboidratos não-fibrosos (CNF), fibra disponível (B2) e fibra indisponível (C) expressas em relação aos carboidratos totais (CT), e respectivas equações de regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>)

Carboidratos (%CT)	Umidade PAM	Inclusão de raiz (% MN)				Média	CV (%)	Efeitos			Equações regressão	R <sup>2</sup>
		0	15	30	45			U	R	UxR		
Fração A +B1	U1	35,15	58,00	71,59	79,43	61,04 <sup>a</sup>	2,70	*	*	ns	$\hat{Y}=39,037+0,977x$	0,99
	U2	28,65	53,77	66,33	77,50	56,56 <sup>b</sup>		$\hat{Y}=37,34+0,927x$	0,98			
Fração B2	U1	22,97	15,27	8,76	6,95	13,48 <sup>a</sup>	15,08	*	*	ns	$\hat{Y}=21,719-0,365x$	0,90
	U2	23,39	14,71	7,19	5,72	12,75 <sup>b</sup>		$\hat{Y}=17,18-0,270x$	0,83			
Fração C	U1	41,88	26,73	19,65	13,62	25,47 <sup>b</sup>	8,51	*	*	ns	$\hat{Y}=39,248-0,612x$	0,92
	U2	47,96	31,52	26,48	16,78	30,69 <sup>a</sup>		$\hat{Y}=45,477-0,657x$	0,92			

<sup>1</sup>U1 = Parte aérea sem emurhecimento; U2 = Parte aérea emurhecida. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey (P>0,05).

Os CNF constituem uma fonte energética de rápida degradação ruminal, e quando associadas a fontes protéicas adequadas podem resultar em aumento da eficiência microbiana. Stokes et al. (1991) verificaram aumento linear na produção de proteína microbiana, à medida que a quantidade de CNF na dieta aumentou de 25 para 54%.

A silagem de PAM não emurhecida e sem acréscimo de raízes apresentou 35,2 % dos CT para a fração A+B1 semelhante aos resultados obtidos por Azevedo et al. (2006) para as cultivares S60-10; RS13 e FRITA, com 34,7; 35,9 e 37,9 % dos CT, respectivamente. Porém, ligeiramente superiores aos 25 e 28,3% relatados por Modesto et al. (2004) e Faustino et al. (2003), respectivamente, para a cultivar Fibra.

As frações B2 e C, que correspondem às frações potencialmente degradável e indigestível da parede celular, respectivamente, foram influenciadas pelo emurhecimento ( $P < 0,05$ ) e pela inclusão de raízes ( $P < 0,05$ ). O emurhecimento provocou em média decréscimo de 5% na fração B2 e acréscimo de 20% na fração C. À análise de regressão revelou-se decréscimo linear ( $P < 0,05$ ) de ambas as variáveis em função dos níveis de raízes (Tabela 8). Provavelmente, os baixos teores de FDN e lignina das raízes (Tabela 4) provocaram um efeito de diluição nestas frações, reduzindo seus valores.

A fração B2 é obtida pela diferença entre a FDN e a fração C, desta forma como a primeira praticamente não foi alterada, mas a última se elevou em função do emurhecimento, tem-se como resultado decréscimo nos teores de fibra potencialmente degradável nas silagens emurhecidas.

Oliveira (2008) ao fracionar os carboidratos de silagens de capim elefante emurhecidas ou não, acrescidas com farelo de mandioca, verificou acréscimos na fração B2 com o emurhecimento, contudo não houve alterações na fração C, diferindo dos resultados aqui obtidos. Entretanto, de forma semelhante a este estudo, verificou-se redução linear em ambas as frações em função do acréscimo de farelo.

Segundo esta autora, os subprodutos das raízes de mandioca podem ser utilizados como fonte suplementar de energia rapidamente disponível quando ensilados com volumosos, que geralmente apresentam alta proporção de carboidratos de lenta degradabilidade (fração B2), e, por conseguinte, podem melhorar a eficiência microbiana quando não houver limitações protéicas em quantidade e qualidade.

O maior percentual de lignina nas silagens emurhecidas resultou em concentração superior de fibra indisponível nestas silagens. A lignina é um composto fenólico, que se associa aos carboidratos estruturais no processo de formação da parede celular. Este composto tem sido implicado como o principal componente químico que afeta a digestibilidade da fibra devido à complexação da celulose e hemicelulose, tornando-as indisponíveis a degradação microbiana (VAN SOEST, 1994). O decréscimo dessa fração por adição das raízes está relacionado à baixa concentração do fenol encontrada neste alimento e pode propiciar melhoria no consumo, em

virtude da maior digestibilidade e taxa de passagem, elevando a disponibilidade energética para a produção de proteína microbiana, e como resposta melhor desempenho animal.

Modesto et al. (2004) destacaram que o teor da fração C na silagem do terço superior da rama da mandioca é superior a outros alimentos tropicais. Estes autores encontraram para esta fração 43% dos CT, semelhante aos 41,9% obtido neste trabalho para a silagem da PAM sem emurhecimento e não acrescida de raízes.

Para o conteúdo energético das silagens de PAM emurhecida ou não, acrescidas com níveis crescentes de raízes de mandioca, as equações de regressão ajustadas para cada componente e, seus respectivos coeficientes de determinação estão apresentados na Tabela 9.

Nenhum dos componentes energéticos avaliados apresentou interação significativa ( $P > 0,05$ ) entre emurhecimento e inclusão de níveis de raízes. O emurhecimento afetou negativamente ( $P < 0,05$ ) o conteúdo de NDT e de Energia líquida para lactação (ELI). Enquanto a inclusão de raízes promoveu aumento linear nos teores destas variáveis, sendo atribuídos acréscimos percentuais de 0,47 e 0,45; e, 0,012 e 0,011 para o NDT e ELI a cada unidade de raiz adicionada às silagens de PAM sem e com emurhecimento, respectivamente.

Os valores de NDT das silagens foram obtidos através das equações propostas por Weiss et al. (1992) adaptadas pelo NRC (2001), que levam em consideração o conteúdo de FDN verdadeiramente digestível e este por sua vez considera o conteúdo de lignina da forragem. Desta forma, os teores mais elevados de lignina nas silagens emurhecidas, refletiram diretamente na estimativa de NDT, reduzido-a conseqüentemente. Como a ELI das silagens foram calculadas com base nos teores de NDT, seu conteúdo foi igualmente afetado.

Corroborando com os resultados deste estudo, Oliveira (2008) estudando o efeito do emurhecimento e inclusão de farelo de mandioca sobre a ensilagem do capim elefante, verificou aumento linear do conteúdo de NDT das silagens. Cabral et al. (2002) também encontraram acréscimos lineares nos teores de NDT em silagens de milho à medida que a participação de grãos foi elevada. As silagens com inclusão de 45% de raízes avaliadas neste estudo atingiram valores de NDT similares aos relatados por estes autores para silagens de milho contendo 45% de grãos (75,42%).

O incremento de raízes nas silagens propiciou redução da FDN e concomitantemente elevação dos CNF. De acordo com o NRC (2001) o conteúdo de energia das forragens é negativamente correlacionado ao teor de FDN, devido à menor digestibilidade desta fração quando comparada aos CNE, que apresentam 95-98% de disponibilidade para ruminantes.

**Tabela 9.** Valores médios do conteúdo energético das silagens da parte aérea e raízes de mandioca, nutrientes digestíveis totais (NDT em %MS), energia digestível (ED), energia metabolizável (EM), energia líquida de manutença (ELm), energia líquida de ganho (ELg) e energia líquida de lactação (ELI) em Mcal/Kg de MS, e suas respectivas equações regressão ajustadas e coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>).

Itens	PAM*	Inclusão de raiz (% MN)				Média	CV (%)	Efeitos			Equações regressão	R <sup>2</sup>
		0	15	30	45			U	R	UxR		
NDT (%MS)	U1	53,28	62,87	69,67	74,61	65,11 <sup>a</sup>	1,28	*	*	ns	$\hat{Y}=54,49+0,47x$	0,97
	U2	52,18	62,56	67,31	72,84	63,72 <sup>b</sup>					$\hat{Y}=53,717+0,445x$	
ED	U1	2,44	2,81	3,06	3,24	2,89	1,14	Ns	*	ns	$\hat{Y}=2,503+0,017x$	0,94
	U2	2,44	2,85	3,01	3,19	2,88						
EM	U1	2,02	2,39	2,64	2,83	2,47	1,35	Ns	*	ns	$\hat{Y}=2,083+0,017x$	0,95
	U2	2,02	2,44	2,60	2,78	2,46						
ELm	U1	1,17	1,51	1,73	1,89	1,58	2,02	Ns	*	ns	$\hat{Y}=1,232+0,015x$	0,94
	U2	1,17	1,55	1,69	1,85	1,57						
ELg	U1	0,61	0,92	1,11	1,25	0,97	2,82	Ns	*	ns	$\hat{Y}=0,663+0,014x$	0,94
	U2	0,61	0,95	1,08	1,22	0,96						
ELI	U1	1,19	1,42	1,59	1,71	1,48 <sup>a</sup>	1,35	*	*	ns	$\hat{Y}=1,213+0,012x$	0,97
	U2	1,16	1,41	1,53	1,66	1,44 <sup>b</sup>					$\hat{Y}=1,195+0,011x$	

<sup>1</sup>U1 = Parte aérea sem emurhecimento; U2 = Parte aérea emurhecida. Médias seguidas de letras distintas na coluna diferem a 5% de probabilidade pelo teste "T" de Student (P>0,05).

O NDT e os índices de energia podem viabilizar a descrição dos efeitos ingestivos e a disponibilidade digestiva dos nutrientes e da ração como um todo (NRC, 2001). Rocha Júnior (2003) comprovaram a acurácia das estimativas de NDT a partir das equações propostas pelo NRC (2001) nas condições brasileiras, embora o cálculo tenha subestimado a digestibilidade de algumas frações (FDN, EE e CNF) dos alimentos tropicais.

Assim, a quantidade máxima de FDN e a mínima de CNF incluída na dieta devem ser definidas em função dos requerimentos de energia líquida do animal, considerando os riscos de alterações indesejáveis sobre a fermentação ruminal e ingestão de MS (NRC, 2001). Mertens (1994) constatou que as concentrações de FDN não contrastam com o consumo de MS, quando as dietas são formuladas para prover adequado nível de EL.

Para as variáveis energia digestível (ED), energia metabolizável (EM), energia líquida par manutenção (ELm) e para ganho (ELg) verificou-se efeito ( $P < 0,05$ ), apenas para a inclusão de raízes. A adição de níveis crescentes de raiz propiciou comportamento linear crescente para os valores das variáveis supracitadas (Tabela 9).

Modesto et al. (2004) encontraram para a silagem do terço superior da rama da mandioca 58,75 % de NDT, 2,64; 2,22; 1,46 e 0,77 Mcal/ kg de MS para ED, EM, ELm e ELg resultados ligeiramente superiores aos obtidos neste estudo para a silagem da PAM sem inclusão de raízes, que estiveram mais próximos dos encontrados por Ferreira (2007) para estas mesmas variáveis, respectivamente 55,80%, 2,50; 2,15; 1,30 e 0,72.

Os teores energéticos semelhantes compatibilizam a silagem da PAM com a alfafa, a silagem de sorgo e a silagem de aveia, forragens usualmente empregadas na alimentação de vacas leiteiras de alta produção. Contudo, o acréscimo de raízes proporcionou elevação do conteúdo energético deste volumoso. A adição de 30% de raízes às silagens de PAM resultou em conteúdo de NDT de 68%, ED, EM e ELg, 3,0; 1,6 e 1,1Mcal/Kg de MS, respectivamente, estes resultados são comparativamente superiores aos apresentados para silagem de milho com valores respectivamente de 65%, 2,84, 2,19 e 0,87 Mcal/kg (NRC, 2001) para estas mesmas variáveis, com a vantagem da silagem da PAM em apresentar um conteúdo de PB superior.

#### 4 CONCLUSÕES

Do ponto de vista nutricional, o emurchecimento influenciou negativamente algumas variáveis bromatológicas, como componentes fibrosos (FDA e lignina), e conseqüentemente as frações indigestíveis dos carboidratos e o conteúdo energético (NDT e ELI) e positivamente outras, como a PB e MS. Entretanto, este efeito pode estar mais relacionado à proporção de raízes em relação à matéria seca das silagens do que propriamente ao processo de secagem. Por outro lado, a intensidade dos efeitos negativos não é suficiente para que o processo de secagem seja contra-indicado, tendo em vistas os seus benefícios.

A inclusão de raízes promoveu melhoria nas qualidades nutritivas das silagens, reduzindo o conteúdo de fibra e aumentando os componentes digestíveis e energia das silagens. Ressalvas devem ser feitas para o nível de 45% de adição, pois o alto teor de CNF pode causar distúrbios metabólicos.

# CAPÍTULO III

## CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO RUMINAL *IN VITRO* DE SILAGENS DE PARTE AÉREA E RAÍZES DE MANDIOCA

### 1. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 1.1 Técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases

A potencialidade dos alimentos a serem utilizados na alimentação de ruminantes deve ser comprovada por meio da determinação do seu valor nutritivo, que mantém relação direta com sua digestibilidade e desempenho dos animais. Tais determinações podem ser obtidas por métodos *in vivo*, *in situ* ou *in vitro*. Os primeiros são os mais precisos, entretanto demandam consideráveis recursos financeiros pelo uso de grandes quantidades de animais, alimento, mão-de-obra e tempo, limitando sua aplicabilidade (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 o consumo e a digestibilidade *in vivo*, constituindo-se alternativas válidas na avaliação da qualidade nutricional de forrageiras. Makkar (2005) destaca ainda a importância destas técnicas, pela minimização dos custos, possibilidade de avaliação de grande número de amostras, menor tempo necessário e maior controle das condições ambientais em relação aos experimentos *in vivo*.

A técnica de produção de gás *in vitro* registra o volume de gases produzidos durante a fermentação microbiana por meio da leitura direta com seringas graduadas (MENKE et al., 1988) ou por predição a partir de dados de pressão (PELL e SCHOFIELD, 1993; THEODOROU et al., 1994; MAURÍCIO et al., 1999).

O método semi-automático utilizado por MAURÍCIO et al. (1999) se diferencia dos sistemas completamente automáticos pela utilização de um único transdutor de pressão para todos os frascos de fermentação. As aferições de pressão produzidas pelos gases no interior dos frascos de volumes conhecidos são então ajustadas às equações de regressão para obtenção do volume ocupado pelos gases.

Através 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 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 a degradabilidade aparente e verdadeira *in vitro*, e degradabilidade ruminal *in vivo* (BLÜMMEL et al. 1997).

Os gases mensurados por meio da técnica semi-automática 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 manutenção das células microbianas. Eles são constituídos por ácidos graxos voláteis (AGV), succinato, formato, lactato, etanol, dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), traços de hidrogênio (H<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>) (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, resultam em maior produção de gases em relação aqueles ricos em amido, devido a diferente relação acetato:propionato entre estes substratos. Conforme destacado por Hungate (1966) citado por Nogueira et al. (2006) a produção de propionato pode consumir H<sub>2</sub> do meio, diminuindo a produção de gases (PG) dentro dos frascos. Por outro lado, a produção de acetato gera excedentes de H<sub>2</sub>, que são utilizados em associação com CO<sub>2</sub> para a produção de CH<sub>4</sub>, aumentando a pressão interna dos frascos e, conseqüentemente a PG (RUSSELL, 2002).

Assim, Nogueira et al. (2006) destacaram que a avaliação de alimentos apenas pela produção total de gases pode conduzir a erros, uma vez que alimentos potencialmente menos degradáveis, como forragens, podem ser considerados nutricionalmente superiores aos concentrados ou outros alimentos de maior degradabilidade. Por este motivo, fica demonstrada a importância da avaliação simultânea da degradabilidade da matéria seca (DMS) e da PG para a avaliação nutricional dos alimentos.

## **1.2 Produção de biomassa microbiana, degradabilidade verdadeira *in vitro* da matéria seca e fator de partição**

A biomassa microbiana produzida no rúmen é a maior fonte de proteína para o ruminante e a predição da eficiência de sua produção é determinante para a nutrição destes animais (GRINGS et al., 2005). Atualmente, os sistemas de alimentação para ruminantes (NRC, 1996; NRC, 2001) consideram a produção microbiana na predição do desempenho animal.

A produção microbiana pode ser mensurada através da metodologia de produção de gases, a partir da diferença entre o substrato verdadeiramente degradado e o substrato aparentemente degradado após a incubação ruminal *in vitro* (BLÜMMEL et al., 1997). O resíduo verdadeiramente não degradado é obtido após o tratamento do resíduo de incubação com solução detergente neutro, objetivando a remoção da biomassa microbiana (GOERING e VAN SOEST, 1970). Por fim, o substrato aparentemente degradado é calculado gravimetricamente a partir da subtração substrato incubado e do resíduo obtido após a incubação.

A relação entre os produtos da fermentação *in vitro* e o aporte de substrato pode ser generalizada por três equações, conforme Blümmel et al. (1997):

**Equação 1:** Substrato incubado – substrato verdadeiramente degradado = biomassa microbiana + AGV + Gases;

**Equação 2:** Substrato incubado – substrato aparentemente degradado = AGV + Gases;

**Equação 3:** Substrato aparentemente degradado – substrato verdadeiramente degradado = biomassa microbiana.

A relação entre o substrato verdadeiramente degradado (mg) e o volume de gás (mL) produzido em determinado tempo, permite a determinação do fator de partição (FP) e pode refletir variações na produção de biomassa microbiana (BLÜMMEL et al., 1997). Segundo Lopez et al. (1998), este fator diminui com o tempo de incubação, uma vez que a produção de gases, AGV e biomassa microbiana por unidade de substrato verdadeiramente degradado não é constante, podendo existir uma relação inversa entre eles.

Dessa forma, Blümmel et al. (1999) reforçaram a importância das determinações do resíduo verdadeiramente degradado (DMS) após alguns períodos de incubação em conjunto com as medições de gás *in vitro*.

Alimentos com maior FP indicam que proporcionalmente maior parte da matéria degradada é incorporada em massa microbiana, ou seja, maior eficiência de síntese microbiana. De modo que forragem com maior FP tem refletido maior ingestão de matéria seca (MAKKAR, 2002). Diferentes FP *in vitro* podem também refletir diferenças na síntese de proteína microbiana *in vivo*, estimados a partir dos derivados de purina e produção de metano em ruminantes. Portanto, estimativas do FP podem fornecer importantes informações para a predição do consumo de matéria seca, eficiência de produção de massa microbiana e emissão de metano pelos animais (BLÜMMEL et al., 1997).

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Preparo das amostras

A técnica de produção de gases *in vitro* foi conduzida de acordo com o descrito por Maurício et al. (1999). Em frascos de 160 mL foi adicionado CO<sub>2</sub> e 1 g das amostras (1mm), com uma réplica para cada silagem de PAM (com e sem emurchecimento) e raízes de mandioca (0, 15, 30 e 45%), além destes foram incluídos mais dois frascos contendo apenas fluido ruminal e meio de cultura (saliva artificial), servindo como controle. A produção de gases destes últimos foi descontada das obtidas nos frascos que continham amostras.

A cada frasco foi adicionado 90 mL 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.

Os valores percentuais médios da composição química das silagens estão descritos na Tabela 10.

**Tabela 10.** Teores percentuais médios de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), celulose (CEL), hemicelulose (HEM), lignina (LIG), carboidratos totais (CT), carboidratos não fibrosos (CNF) de silagens de parte aérea e raízes de mandioca.

Itens (%MS)	PAM*	Inclusão de raízes (% MN)				Média	CV <sup>1</sup> (%)	Efeitos		
		0	15	30	45			U	R	U*R
MS	U1	12,59 <sup>b</sup>	16,53 <sup>b</sup>	21,98 <sup>b</sup>	23,88 <sup>b</sup>	18,75	5,39	*	*	*
	U2	20,21 <sup>a</sup>	24,18 <sup>a</sup>	24,61 <sup>a</sup>	26,48 <sup>a</sup>	23,87				
PB	U1	18,01 <sup>b</sup>	14,21 <sup>b</sup>	11,36 <sup>b</sup>	8,99 <sup>b</sup>	13,14	4,02	*	*	*
	U2	20,90 <sup>a</sup>	18,50 <sup>a</sup>	15,06 <sup>a</sup>	11,03 <sup>a</sup>	16,37				
FDN	U1	51,03 <sup>a</sup>	36,60 <sup>a</sup>	26,38 <sup>a</sup>	19,74 <sup>a</sup>	33,44	3,79	ns	*	*
	U2	49,04 <sup>a</sup>	37,80 <sup>a</sup>	29,49 <sup>b</sup>	21,35 <sup>a</sup>	34,42				
FDA	U1	40,74	30,76	23,13	16,81	27,86 <sup>b</sup>	3,04	*	*	ns
	U2	40,81	32,54	23,72	19,64	29,18 <sup>a</sup>				
CEL	U1	28,37 <sup>a</sup>	22,12 <sup>a</sup>	16,46 <sup>a</sup>	11,97 <sup>a</sup>	19,73	3,87	ns	*	*
	U2	27,30 <sup>a</sup>	23,06 <sup>b</sup>	15,22 <sup>a</sup>	13,83 <sup>b</sup>	19,85				
HEM	U1	10,29 <sup>a</sup>	5,84 <sup>a</sup>	3,25 <sup>a</sup>	2,93 <sup>a</sup>	5,58	14,80	ns	*	*
	U2	8,23 <sup>b</sup>	3,25 <sup>a</sup>	2,93 <sup>b</sup>	1,71 <sup>a</sup>	4,03				
LIG	U1	12,37	8,63	6,67	4,84	8,13 <sup>b</sup>	7,63	*	*	ns
	U2	13,51	9,48	8,50	5,81	9,33 <sup>a</sup>				
CT	U1	70,91 <sup>a</sup>	77,56 <sup>a</sup>	81,47 <sup>a</sup>	85,21 <sup>a</sup>	78,79	0,82	*	*	*
	U2	67,68 <sup>b</sup>	72,21 <sup>b</sup>	77,07 <sup>b</sup>	83,11 <sup>b</sup>	75,02				
CNF	U1	25,08 <sup>a</sup>	44,75 <sup>a</sup>	58,13 <sup>a</sup>	67,88 <sup>a</sup>	48,96	2,70	*	*	*
	U2	23,93 <sup>a</sup>	38,77 <sup>b</sup>	51,11 <sup>b</sup>	64,41 <sup>b</sup>	44,56				

<sup>1</sup> Significância das fontes experimentais de variação: U- Umidade da parte aérea; R – inclusão de raiz; UxR – interação; \*: efeito significativo (p<0,05); ns: não significativo (p>0,05)

\* Letras distintas na mesma coluna diferem a 5% de probabilidade pelo teste “t” Student (p>0,05).

\*\*U1: parte aérea da mandioca não emurchecida; U2: parte aérea da mandioca emurchecida.

## 2.2 Coleta e preparo do inóculo

O fluido ruminal utilizado nas inoculações foi composto por uma mistura dos fluidos ruminais de três vacas de raça holandesa, portadoras de cânulas ruminais, mantidas em confinamento cuja dieta foi composta por silagem de capim-elefante com casca de café *ad libitum*, 3,8 kg 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, estes foram armazenados em garrafas térmicas para transporte até o laboratório, onde foram filtrados em tecido de nylon com porosidade de 100 micras, misturados nas mesmas proporções e saturados com CO<sub>2</sub>, enquanto mantidos em banho-maria a 39°C.

O fluido ruminal (10ml) foi inoculado nos frascos contendo amostras e meio de cultura, vedados com tampas de borracha expansivas e mantidos em estufa (39°C) até o momento das leituras.

## 2.3 Horários de leitura

As leituras de pressão dos gases produzidos durante as fermentações foram realizadas às 2, 4, 6, 8, 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 polegada quadrada) foram realizadas de forma semi-automática por intermédio de um transdutor de pressão (tipo T443A, Bailey e Mackey, Inglaterra), com uma agulha acoplada a sua extremidade. 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):

$$V = -0,02 + 4,30p + 0,07 p^2$$

Onde “V” é o volume dos gases (ml) e “p” é a pressão dos gases dentro dos frascos de fermentação (psi).

## 2.4 Degradabilidade *in vitro* e pH ruminal

As degradações *in vitro* das silagens foram determinadas as 6, 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 por filtração em cadinho de porosidade nº 1 (Vidrotec®), de pesos previamente conhecidos.

Para estimar o efeito das silagens sobre o pH do meio ruminal, determinou-se o pH, por meio de potenciômetro digital, no conteúdo dos frascos a cada tempo de degradação, antes da filtração das amostras. Este procedimento objetivou acompanhar a evolução deste parâmetro ao

longo do processo de fermentação a fim de garantir que este se mantivesse dentro da faixa biológica *in vivo*.

## 2.5 Produção de biomassa microbiana

A produção de biomassa microbiana foi estimada a partir da diferença obtida entre a degradabilidade verdadeira e aparente da matéria seca.

Em uma das réplicas foi determinada a degradabilidade aparente da MS através da filtração direta do resíduo obtido após a fermentação da amostra em cadinho de vidro nº 1, e posterior secagem em estufa a 105° C durante 24 horas (MAURÍCIO et al., 1999). Para determinação da degradabilidade verdadeira da MS, a outra réplica da mesma amostra foi submetida à digestão com solução detergente neutro por 1 hora, em seguida filtrada em cadinho de vidro nº 1 e seca em estufa a 105°C por 24 horas (GOERING e VAN SOEST, 1970). As degradabilidades foram determinadas em cada tempo de degradação (6, 12, 24, 48 e 96 h de incubação).

A biomassa microbiana (mg.100 mg<sup>-1</sup> de MS digestível) foi obtida de acordo com BLÜMMEL et al. (1997):

$$\text{Biomassa microbiana (mg. 100 mg}^{-1}\text{)} = \text{DVIMS (mg. 100 mg}^{-1}\text{)} - \text{DAIMS (mg. 100 mg}^{-1}\text{)}$$

Em que DVIMS corresponde a degradabilidade verdadeira *in vitro* da MS e DAIMS à degradabilidade aparente *in vitro* da MS.

## 2.6 Fator de partição

Fator de partição (FP) é definido como a relação entre o substrato verdadeiramente degradado *in vitro* e o volume de gás (ml) produzido pela mesma amostra em determinado tempo de incubação (BLÜMMEL et al., 1997).

$$\text{FP} = \frac{\text{mg de MS verdadeiramente degradada}}{\text{produção de gases (mL)}}$$

## 2.7 Análises estatísticas

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<sup>-1</sup>), a taxa de degradação da fração de rápida digestão (CNF); L,

latência ou tempo de colonização em horas; T, o tempo (h); Vf2, o volume de gás da fração de lenta degradação (B2); Kd2 (h<sup>-1</sup>), taxa de degradação da fração B2.

As análises estatísticas foram conduzidas segundo um delineamento inteiramente casualizado, composto de três repetições (onde cada repetição do silo foi incubada em uma rodada distinta), em um arranjo fatorial 2x4, sendo 2 níveis de secagem da PAM (com e sem emurhecimento), e 4 níveis de inclusão de raízes de mandioca (0, 15, 30 e 45% da MN) de acordo com o modelo:

$$Y_{ijk} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \alpha\beta_{ij} + \epsilon_{ijk}, \text{ onde:}$$

$\mu$  = média geral da variável em estudo;

$\alpha_i$  = efeito do i-ésimo nível de umidade (i = PAM não emurhecida; PAM emurhecida);

$\beta_j$  = efeito do j-ésimo nível de inclusão de raízes (j = 0,15, 30, 45% raiz na MN);

$\alpha\beta_{ij}$  = efeito da interação entre o i-ésimo nível de  $\alpha$  e o j-ésimo nível de  $\beta$ ;

$\epsilon_{ijk}$  = erro aleatório associado à observação  $Y_{ijk}$ ;

Os dados foram submetidos à análise de variância utilizando programa estatístico SAS (*Statistical Analysis System*). Para estudo detalhado da interação secagem da parte aérea por níveis de inclusão de raiz quando esta foi significativa, foram realizados os desdobramentos adequados. Para o estudo do efeito do emurhecimento, aplicou-se o teste de Tukey ao nível de 5% de significância e, de outro modo, o efeito dos níveis crescentes de inclusão de raiz em cada umidade da PAM por meio da análise de regressão, sendo a escolha do modelo baseada na significância dos parâmetros testados pelo teste “t” Student, e nos valores dos coeficientes de determinação.

Para as variáveis pH, degradabilidade verdadeira da MS e produção de biomassa microbiana ainda foi considerado o efeito do tempo de incubação, em um esquema de análise de parcelas subdivididas no tempo: 0, 6, 12, 24, 48 e 96 horas (*split-plot* no tempo), utilizando-se a análise de regressão polinomial (superfície de resposta), para analisar a influência do tempo de incubação e dos níveis de inclusão de raízes.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados médios de produção acumulada de gases (PAG) em 96 horas e fator de partição (FP) às 48 horas após a incubação das silagens de PAM emurchecidas ou não, e acrescidas com raízes de mandioca estão descritos na Tabela 11. As equações de regressão ajustadas para estas variáveis e seus respectivos coeficientes de determinação encontram-se na Tabela 12.

**Tabela 11.** Valores médios da produção acumulada de gases (PAG; mL) e fator de partição (FP) de silagens da parte aérea da mandioca em função da inclusão de raízes, respectivamente as 96 e 48 horas de incubação *in vitro*.

PAM*	Inclusão de raiz (% MN)				CV (%)	Efeitos		
	0	15	30	45		U	R	UxR
<b>PAG (96hs)</b>								
U1	144,0 <sup>a</sup>	204,1 <sup>a</sup>	172,2 <sup>b</sup>	249,0 <sup>a</sup>	17,28	ns	*	*
U2	125,8 <sup>a</sup>	190,3 <sup>a</sup>	235,5 <sup>a</sup>	199,8 <sup>b</sup>	13,18			
<b>FP (48hs)</b>								
U1	3,98	3,29	4,00	3,21	14,46	ns	*	ns
U2	4,69	3,11	3,49	3,84				

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

Houve interação significativa ( $P < 0,05$ ) entre o emurchecimento e a inclusão de raízes para a variável PAG às 96 horas de incubação (Tabela 11). Ao analisar o efeito do emurchecimento dentro dos níveis de raízes constata-se que este afetou a produção de gases apenas nos níveis 30 e 45% de incremento, apresentando efeito positivo no primeiro e negativo no segundo.

Por outro lado, ao se avaliar a PAG em função da adição de raízes (Tabela 12), verifica-se que nas silagens não emurchecidas houve elevação linear de 1,88 mL a cada unidade de raiz adicionada. Em relação às silagens emurchecidas a análise da regressão revelou comportamento quadrático, sendo a produção máxima de 226 mL 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 125,8 mL) em relação aos demais substratos contendo raízes, o que pode ser atribuído à menor proporção de CNF e elevado teor de PB (Tabela 10). Os CNF apresentam maior taxa de fermentação no rúmen e contribuem significativamente com a produção de AGV's. 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  $\text{CO}_2$  e amônia, reduzindo, assim, a contribuição de  $\text{CO}_2$  para a produção total de gás.

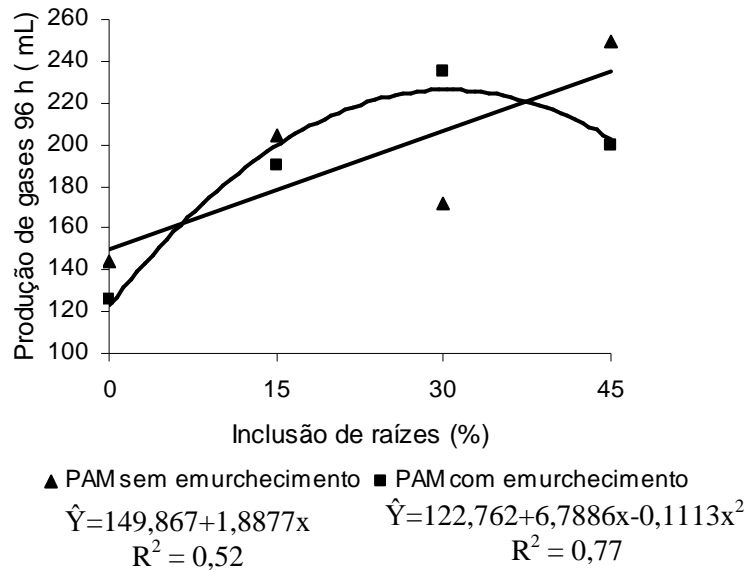
**Tabela 12.** Equações de regressão ajustadas para produção acumulada de gases (PAG 96 h) e fator de partição (FP 48h) das silagens de parte aérea com e sem emurhecimento (U2 e U1, respectivamente), em função da inclusão de raízes.

Variáveis	Equações Regressão	R <sup>2</sup>
<b>PAG (96hs)</b>		
U1	$\hat{Y}=149,867+1,8877x$	0,52
U2	$\hat{Y}=122,762+6,7886x -0,1113x^2$	0,77
<b>FP (48hs)</b>		
U1	$\hat{Y}=4,333-0,1863x -0,00012x^2+0,0092x^3$	0,42
U2		

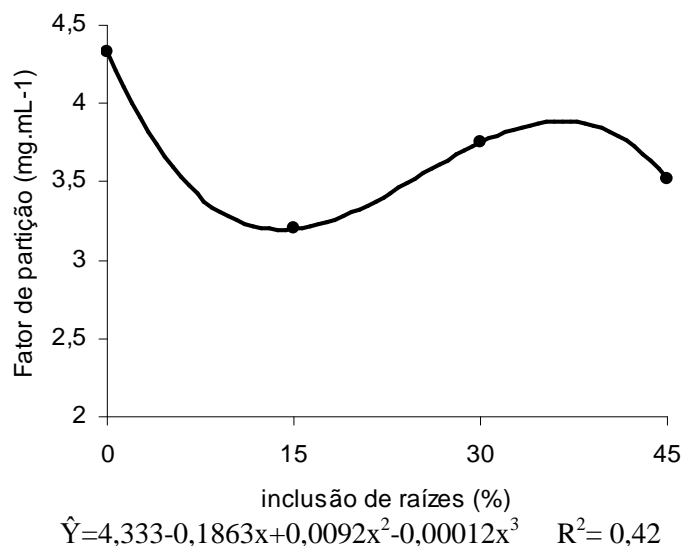
A inclusão de raízes proporcionou elevação da fração de CNF (Tabela 10), representada principalmente pelo amido, resultando em maior PAG, corroborando com Cabral et al. (2002) que verificaram aumento linear do volume de gases com o acréscimo de diferentes níveis de grãos a silagem de milho. Entretanto Blümmel et al. (1997) afirmam 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 e, conseqüentemente apresentam produção de gases superior. Isso ocorre porque a formação do propionato é a única via metabólica na produção dos três principais AGV's que consome hidrogênio e não envolve a produção de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), além de não contribuir para a formação de gases mensurados pela técnica (VAN SOEST, 1994). A divergência encontrada neste trabalho pode estar relacionada à menor fermentabilidade da PAM, devido aos altos teores de lignina e de PB, ambos reduzidos com a inclusão de raízes.

Pereira et al. (1995) utilizando 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<sup>-1</sup> de amostra, o que equivale a 231 mL.g<sup>-1</sup>, valor similar ao observado para silagens de PAM emurhecida com 30% de raízes (235,4 mL.g<sup>-1</sup>).

O FP às 48 horas não apresentou efeito significativo (P>0,05) para interação, nem tampouco para secagem (P>0,05), sendo influenciado apenas pela inclusão de raízes (P<0,05) (Tabela 11). Para explicar o comportamento desta variável em função da inclusão de raízes, estimou-se uma equação de terceiro grau, cujo coeficiente de determinação (0,42) pode ser considerado baixo, demonstrando que o modelo adotado explica menos de 50% da variação total deste parâmetro (Tabela 12). A inexistência de uma tendência clara no comportamento desta variável com o incremento na produção de raízes nas silagens da PAM pode ser atribuída às variações nas estimativas de DVIMS e produção de gases, cujo comportamento em função da inclusão de raízes nas silagens com e sem emurhecimento não foi similar para ambas as variáveis (Figura 5).



**Figura 5.** Produção acumulada de gases em 96 horas de incubação das silagens de parte aérea com e sem emurchecimento, em função da inclusão de raízes de mandioca.



**Figura 6.** Fator de partição às 48 horas de incubação de silagens de parte aérea da mandioca, em função da inclusão de raízes.

Os valores estimados de FP às 48 h de incubação ruminal *in vitro* variaram entre 4,7 e 3,1 mg.mL<sup>-1</sup>, respectivamente para as silagens contendo 0 e 15% de inclusão de raízes. Velho (2005), analisando silagens de milho contendo grãos com diferentes estágios de maturidade, leitoso e, ½ leitoso e ½ farináceo, encontraram FP de 4,61 e 3,77, respectivamente. Cruz (2007) relatou valores médios de 3,5 para genótipos de cana-de-açúcar.

De acordo com Makkar et al. (2005), o FP mensura a eficiência de síntese de proteína microbiana, cuja amplitude pode variar entre 2,74 e 4,41 mg.mL<sup>-1</sup>. Blümmel et al. (1999)

encontraram os valores de 3,1 e 3,3 mg.mL<sup>-1</sup> para esta variável em 24 h de incubação para folhas de duas variedades de milho. Estes autores verificaram que os valores de FP *in vitro* apresentaram alta correlação com a síntese microbiana *in vivo* (em que maiores FP ocasionaram maior excreção de derivados de purina) e a produção de dióxido de carbono e metano no rúmen (sendo os maiores valores de FP associados às menores produções destes gases).

Conforme Van Soest (1994) um mol de ATP pode gerar de 10 até 32 mg de biomassa microbiana. Em produções similares de ATP, maiores proporções de propionato conduzem a maiores FP quando comparados a fermentações que geram mais acetato. Assim, concentrados e volumosos de melhor qualidade geralmente apresentam maiores valores de FP.

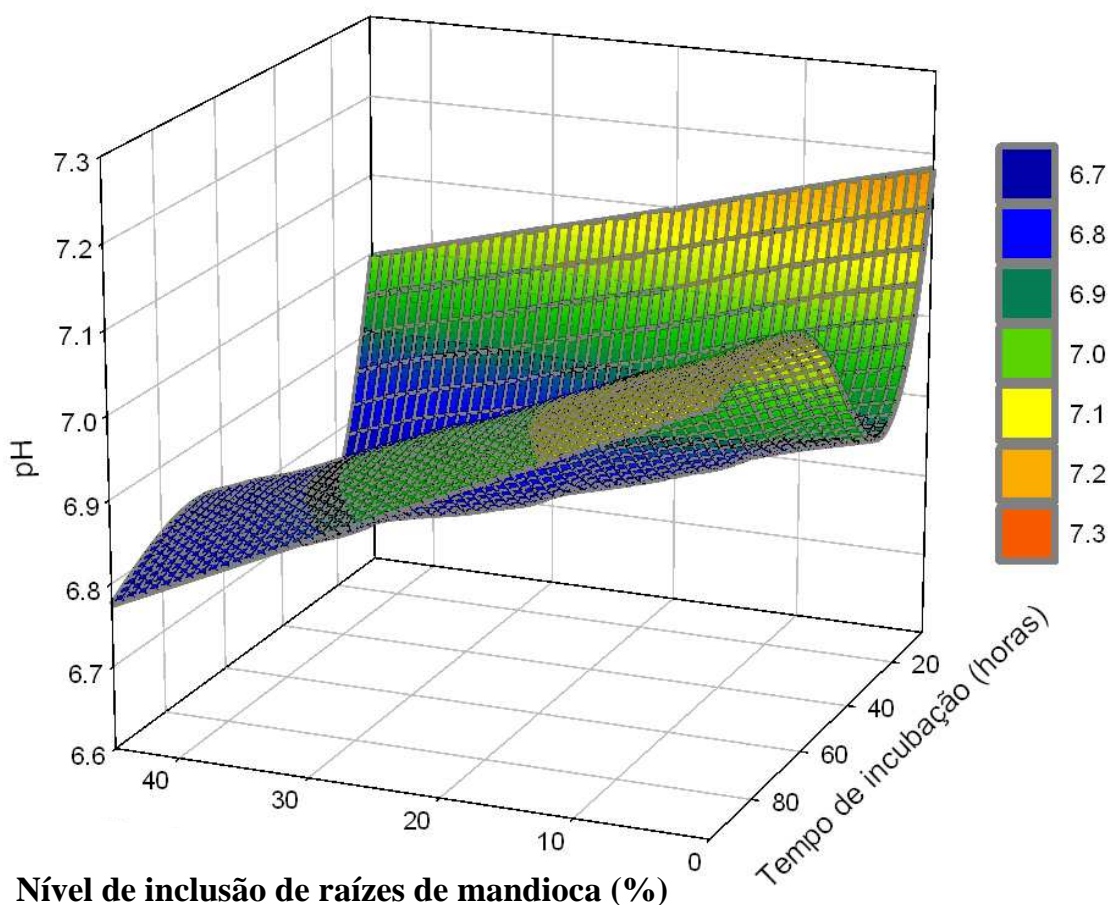
Na análise de variância do pH das silagens de PAM observou-se significância para interação (P<0,05) nível de inclusão de raízes e tempo de incubação (Tabela 13). Verifica-se na Figura 5 que em quaisquer tempos de incubação o incremento no nível de raízes provocou decréscimos no pH, este comportamento pode ser explicado em virtude do aumento na concentração de amido nas silagens. A fermentação do amido promove a redução no pH ruminal, devido a maior e mais rápida produção de AGV's em relação à fibra (Van Soest, 1994), o que pode ser facilmente notado quando se comparam as PAG nas silagens com maior porcentagem de raízes em sua composição (Figura 5).

**Tabela 13.** Valores de pH do meio ruminal *in vitro* contendo silagens da parte aérea da mandioca em função da inclusão de raízes (R) e do tempo de incubação (T).

T (h)	Inclusão de raiz (% MN)				CV (%)	Equações Regressão	R <sup>2</sup>
	0	15	30	45			
6	7,18	7,12	7,06	7,00			
12	7,04	6,98	6,91	6,85	1,17	$\hat{Y} = 7,382 - 0,00392R - 0,03874T - 0,000034RT + 0,00093T^2 - 0,0000058T^3$	0,78
24	6,91	6,84	6,77	6,70			
48	7,02	6,94	6,86	6,78			
96	7,10	6,99	6,88	6,77			

Regressão: variáveis independentes: R= nível de raiz (%MN); T= tempo (horas);

O tempo de incubação propiciou efeito cúbico nos valores de pH sendo os valores mínimos observados por volta de 24-30 horas de incubação seja nas silagens com baixa e alta proporção de raízes (Figura 7). Tais resultados diferem daqueles relatados *in vivo*, onde as principais alterações por incremento de carboidratos de rápida degradação nas dietas ocorrem entre 0,5 a 5 horas após a alimentação (ØRSKOV, 1986). No entanto, tais condições diferem de estudos *in vitro*, pois o tamponamento em condições reais é dependente da salivação que é inversamente proporcional à redução na concentração da fibra.



$$\hat{Y}=7,382-0,00392R-0,03874T-0,000034R*T+0,00093T^2-0,0000058T^3$$

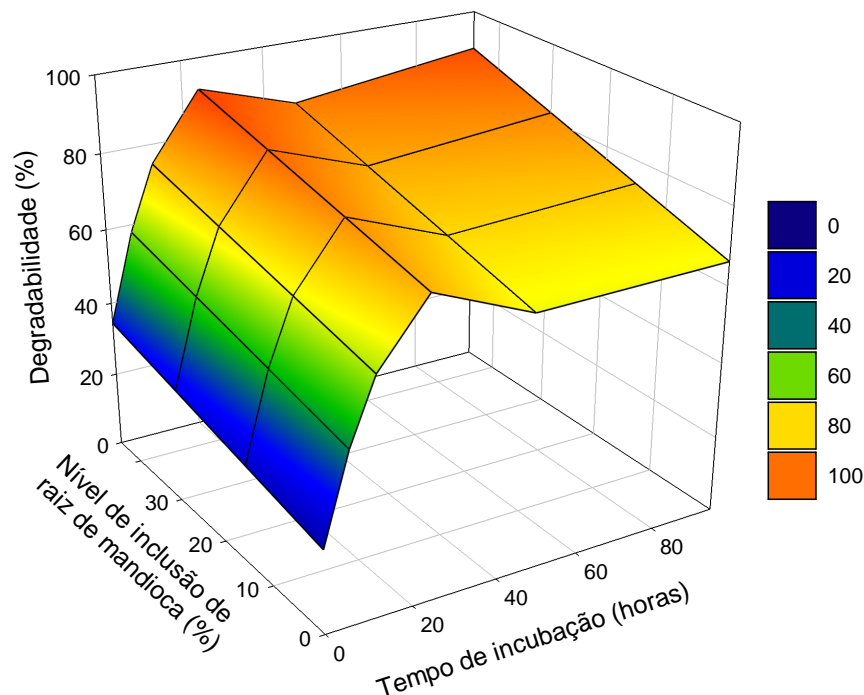
$$(R^2=0,78)$$

**Figura 7.** Valores de pH do meio ruminal contendo silagens da parte aérea da mandioca, em função da inclusão de raízes (R) e do tempo de incubação ruminal (T) *in vitro*/gás.

Contudo, os valores médios de pH do meio ruminal *in vitro* apresentaram pequena amplitude seja em função do acréscimo de raízes como do tempo de incubação (Figura 7), variando entre 6,7 e 7,2, estando dentro dos limites considerados adequados por Grant e Mertz (1992), que apontaram reduções significativas na digestão da fibra quando o pH foi inferior a 6,2. Esses autores ainda relataram aumento no tempo de colonização e reduções na taxa de digestão da FDN quando o pH caiu de 6,8 para 5,8, atribuindo o fato à redução no número e na atividade das bactérias celulolíticas. Além disso, pH ácido resulta em baixa produção microbiana, pois a energia da fermentação é desviada para função extra crescimento, como a manutenção da neutralidade das células microbianas (Strobel e Russel, 1986). Hoover e Stokes (1991) trabalhando com culturas contínuas, encontraram melhores índices de digestão da fibra e da matéria orgânica com o pH 6,5, relatando decréscimos significativos em pH de 5,5 ou 7,5. Ørskov (1986) aponta a faixa de pH entre 6,7 e 7,1 como ponto ótimo de digestão da fibra.

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, os resultados foram expressos por meio de gráficos de superfície resposta. As Figuras 8 e 9 representam as silagens sem e com emurchecimento, respectivamente.

Os valores das estimativas de DVIMS para as silagens não emurchecidas se ajustaram ao modelo polinomial de regressão. Através da análise da figura 8 pode-se verificar que no tempo zero de incubação as silagens apresentaram valores de degradação entre 20 e 35 %, ocorrendo uma elevação linear dos valores à medida que se incrementaram a inclusão de raízes, estes valores expressam um alto conteúdo de compostos solúveis prontamente disponíveis no rúmen. Com o decorrer da incubação verifica-se aumento da degradação das silagens, tendo por volta de 24 horas um pico de degradação em todas as silagens avaliadas sendo de maior magnitude para as silagens com maior percentual de raízes.



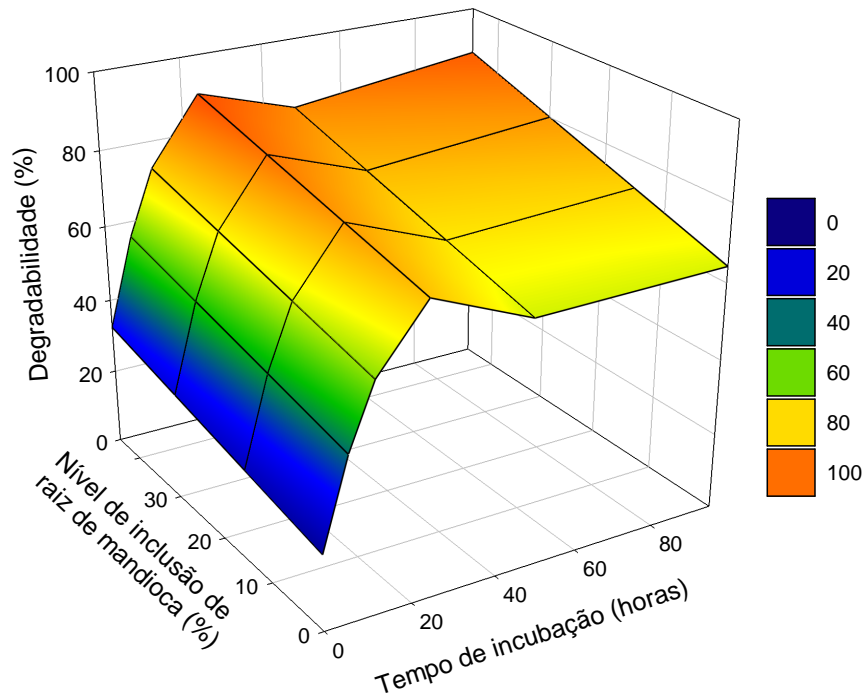
$$\hat{Y} = 21,8019 + 0,2799R + 4,414T - 0,1047T^2 + 0,00066T^3 + 0,0026RT$$

$$R^2 = 0,88$$

**Figura 8.** Degradabilidade *in vitro* da matéria seca de silagens da parte aérea da mandioca não emurchecida, em função da inclusão de raízes (R) e do tempo de incubação (T) ruminal *in vitro*/gás.

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 (Figura 9). 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 uma maior contribuição da PAM na MS total, e conseqüentemente menor degradabilidade do que àquelas com maior proporção de raízes (silagens de PAM não emurchecidas).



$$\hat{Y} = 19,8389 + 0,2799R + 4,414T - 0,1047T^2 + 0,00066T^3 + 0,0026RT$$

$$R^2 = 0,88$$

**Figura 9.** Degradabilidade *in vitro* da matéria seca de silagens da parte aérea da mandioca emurchecida, em função da inclusão de raízes (R) e do tempo de incubação ruminal (T) *in vitro*/gás.

A elevada degradabilidade às 24 horas indica que as silagens podem prover um rápido fluxo de partículas para fora do rúmen permitindo maior ingestão de alimentos e possivelmente melhor desempenho.

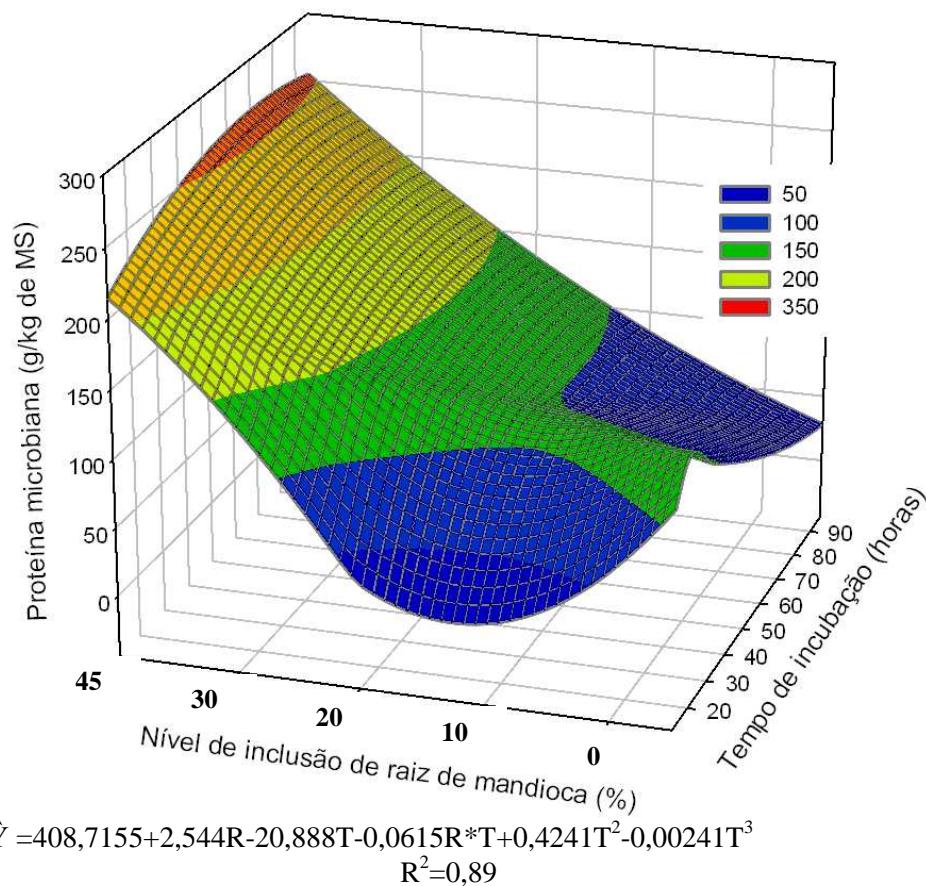
Velho (2005) obteve DIVMS às 24 horas de incubação em silagens de milho com estágio de maturação leitoso e, ½ leitoso ½ farináceo, de respectivamente 76,9 e 77,0%. Valores próximos aos encontrados para a silagem de PAM sem inclusão de raízes que variaram entre 74,6 e 76,6%, com e sem emurchecimento. Já Maurício et al. (2003) encontraram resultados inferiores para as silagens de híbridos de sorgo e capim sudão, que variaram entre 56,4 a 63,1 % de degradação em 48 horas de fermentação.

A degradabilidade das silagens ao final das 96 horas variou entre 64,6 e 88,4 % da MS nas silagens não emurchecidas e, 62,6 e 86,4% para as silagens emurchecidas, respectivamente para os níveis 0 e 45% de inclusão de raízes. Resultados semelhantes aos 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 %.

Nogueira et al. (2006) utilizando como substrato a silagem de milho, cana de açúcar, capim colômbio, milho grão e um concentrado comercial com 20% de PB relataram em 96 horas de degradação os valores de 77, 70, 74, 97 e 87 % da MS. Observa-se, portanto, que as silagens avaliadas no presente experimento apresentaram degradabilidade ruminal semelhante quando comparadas a estes alimentos.

Os valores de DVIMS das silagens foram bastante superiores às estimativas de NDT, sendo os resultados mais próximos encontrados para o tempo de incubação de 12 horas, cuja degradabilidade variou entre 60,8 e 74,8 (53,3 a 74,6 % NDT) e 58,9 a 72,9 % da MS (52,2 a 72,84 % NDT) nas silagens sem e com emurchecimento, com menor e maior nível de adição de raízes.



**Figura 10.** Produção de biomassa microbiana *in vitro*, em função dos níveis de inclusão de raízes (R) e do tempo de incubação (T) de silagens da parte aérea da mandioca.

Em relação à produção de biomassa microbiana (BIO) houve efeito da interação entre a inclusão de raízes e tempo de incubação ( $P < 0,05$ ) conforme pode-se verificar na Figura 10, não sendo verificado efeito do emurchecimento ( $P > 0,05$ ).

As maiores produções de biomassa microbiana (superiores a  $200\text{g.Kg}^{-1}$  MS degradada), foram obtidas para as silagens de PAM acrescidas com níveis de raízes superiores a 40% entre os tempo de 6 a 12 horas de incubação (Figura 10), possivelmente devido a maior degradabilidade verdadeira destas (Figura 8 e 9), o que acarreta uma maior disponibilidade energética e de esqueletos carbônicos para síntese de aminoácidos pelos microrganismos, considerando a inexistência de efeitos deletérios sobre o pH.

Resultados semelhantes foram obtidos por Zeoula et al. (2002) que verificaram aumento da biossíntese microbiana *in vivo*, a partir do aumento da disponibilidade de CNF no rúmen, com a substituição do milho por farelo de varredura e raspa de mandioca, destacando a importância da manutenção do pH adequado para ocorrência de efeitos favoráveis. Hoover e Stokes (1991) afirmaram que a taxa de digestão dos carboidratos tem grande impacto sobre a síntese protéica pelos microrganismos, fato comprovado neste estudo, sendo os melhores resultados observados para as silagens cuja taxa de degradação dos carboidratos foi superior.

De acordo com Russel et al. (1992) quando o suprimento de carboidratos disponíveis no rúmen aumenta, existe mais energia para induzir a síntese de proteína microbiana e a utilização de amônia. Os microrganismos crescem mais eficientemente quando suas taxas de crescimento são rápidas (menos energia é alocada para a manutenção), pois seu crescimento é limitado mais por energia do que por outros nutrientes.

Os resultados obtidos permitem inferir que nestas silagens houve também uma melhor sincronia na degradação dos carboidratos e compostos nitrogenados, propiciando utilização mais eficiente da energia e N para o crescimento microbiano, concordando com os achados do fracionamento.

A contribuição microbiana é de suma importância para o atendimento das necessidades protéicas dos ruminantes. De acordo com Clark et al. (1992), a proteína microbiana representa em média 59% da proteína que chega ao intestino delgado. Sua composição em aminoácidos é similar à composição de produtos de origem animal, tais como o leite e a carne, contendo alta proporção de lisina e metionina (NRC, 2001) e, desta forma um bom valor biológico. A produção de BIO é um produto da eficiência microbiana, que pode variar em função de fatores relacionados à dieta (disponibilidade de energia e N, sincronia entre a degradação de CHO e PB, e fatores antinutricionais) e ao ambiente ruminal (principalmente pH), podendo atingir 14 a 60 g Nmicrobiano.kg<sup>-1</sup> de MO degradada no rúmen (CHEN e GOMES, 1992).

A análise da Figura 10 permite constatar que com o decorrer do tempo de fermentação a produção de BIO declinou de forma diferenciada, sendo a redução mais proeminente nas silagens com maiores proporções de componentes de rápida degradação (maior inclusão de raízes). Nestas silagens, a elevada disponibilidade de energia favoreceu o crescimento inicial dos microrganismos, entretanto, com o decorrer da incubação, a exaustão dos substratos da silagem provavelmente levou à fermentação das próprias células microbianas para geração de

energia, declinando a massa microbiana com o decorrer do tempo. Por outro lado, nas silagens com maior proporção de PAM, a lenta fermentação da fibra propiciou uma liberação paulatina da energia e de esqueletos carbônicos, o que pôde sustentar *in vitro* uma maior produção microbiana nos tempos finais de incubação avaliados.

Entretanto, é importante ressaltar que em condições *in vivo*, a rápida degradação do alimento e produção de BIO é mais interessante, visto que estas permitiram elevação da taxa de passagem e provavelmente do consumo de forragem, promovendo melhoria do desempenho animal, devido à maior disponibilidade de aminoácidos e energia para a produção.

Os valores de BIO encontrados neste trabalho foram bastante superiores aos relatados por Cruz (2007) avaliando genótipos de cana de açúcar, cuja produção máxima alcançou 59,3 g.kg<sup>-1</sup> MS degradável às 12 h de incubação. Nesse trabalho, houve também uma tendência de diminuição da produção com o decorrer da incubação. Estes resultados indicam superioridade nutricional do volumoso aqui avaliado, provavelmente em virtude do maior conteúdo de proteína e degradabilidade da MS.

Na Tabela 14 estão descritos os volumes máximos de produção de gases dos CNF e CF (Vf1 e Vf2, respectivamente), suas respectivas taxas de digestão (Kd1 e Kd2), e o tempo de colonização (L) para as silagens de PAM emurchecidas ou não, acrescidas de raízes.

**Tabela 14.** Estimativas dos parâmetros cinéticos da produção de gases *in vitro* da matéria seca (MS) das silagens de parte aérea com (U1) e sem emurchecimento (U2) e, raízes de mandioca.

PAM	Inclusão de raiz (% MN)				CV (%)	Equação regressão	R <sup>2</sup>
	0	15	30	45			
<b>Vf1 (mL.g<sup>-1</sup>)</b>							
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
<b>Kd1 (h<sup>-1</sup>)</b>							
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
<b>L (h)</b>							
U1	7,58	8,00	7,83	8,72	4,45	$\hat{Y}=8,03$	-
U2	8,01	7,40	7,69	8,47		$\hat{Y}=7,89$	-
<b>Vf2 (mL.g<sup>-1</sup>)</b>							
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
<b>Kd2 (h<sup>-1</sup>)</b>							
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

Para as variáveis Vf1 e Kd1 verificou-se significância ( $P < 0,05$ ) para interação entre emurchecimento da PAM e inclusão de raízes. Ao se avaliarem os valores de Vf1 em função dos níveis de acréscimo de raízes para a silagem sem emurchecimento, nenhum modelo ajustou-se aos dados, estimando-se uma média de  $103,104 \text{ mL.g}^{-1}$ , nestas silagens constatou-se a maior taxa de digestão dos CNF ( $0,114 \text{ .h}^{-1}$ ) com o nível de adição 29,4% de raízes. Com relação à silagem emurchecida a inclusão de raízes promoveu um efeito quadrático sobre o Vf1, com uma produção máxima de gases de  $205,67 \text{ mL.g}^{-1}$  observada com a adição de 26,43% de raízes de mandioca, e aumento linear do Kd1 (Tabela 14).

As taxas de digestão estimadas para os CNF nas silagens com maior participação de raízes estão de acordo com os limites de 10 a  $40\% \text{ .h}^{-1}$  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 inferiores, o que provavelmente está relacionado à natureza destes carboidratos, predominantemente ácidos orgânicos, compostos que não são fermentados no rúmen.

Cabral et al. (2002) avaliando a melhoria 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 aqui ocorrido. Segundo estes mesmos autores, em sistemas *in vitro* a alteração dos parâmetros cinéticos pode ser atribuída ao acúmulo de metabólitos (AGV's) em taxas elevadas ao ambiente de incubação ou mesmo a 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 CHO 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 7,49 h, 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 (Tabela 10). 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 função de diferentes quantidades e espécies de microrganismos no inóculo.

Tomich et al. (2003) avaliando sorgo e híbridos de sorgo e capim Sudão, não encontraram diferença estatística para valores de L, que variaram de 2 horas e 6 minutos a 3 horas e 30 minutos. Já Campos et al. (2000), encontraram para silagens de milho com diferentes teores de MS, taxas de colonização entre 5,6 e 7,6 horas, estando mais próximos dos resultados observados para as silagens avaliadas (Tabela 14). Entretanto, os valores de L obtidos nesta pesquisa foram inferiores aos relatados para gramíneas tropicais, conforme os relatos de Sá (2007) para *Brachiaria bryzantha* cv. Marandu, em diferentes idades de crescimento, uma média de 15,6 horas, e Malafaia (1997) para o capim elefante, capim gordura, *Brachiaria bryzantha* e *Brachiaria decumbens*, com valores de L respectivamente de 8,5, 12,2, 10,4 e 8,1 h.

A inclusão de raízes influenciou positivamente ( $P < 0,05$ ) os valores de Vf2 das silagens sem e com emurchecimento, sendo estimados acréscimos de 1,07 e 0,96 mL de gases.g<sup>-1</sup>, respectivamente, para cada unidade adicionada. Para as taxas de digestão da fração fibrosa (Kd2) houve efeito dos níveis 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 acréscimo 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 rápida fermentação podem estimular a degradação da fibra, fato que parece ter ocorrido neste trabalho.

Modesto et al. (2004) avaliando silagens do terço superior da rama da mandioca, obtiveram para Kd1 e Kd2, os valores de 0,123 e 0,025 h<sup>-1</sup>, respectivamente. Valor similar de Kd2 (0,025.h<sup>-1</sup>) foi obtido neste estudo para a silagem de PAM sem acréscimo de raízes, porém inferior para a Kd1 (0,084.h<sup>-1</sup>). 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<sup>-1</sup>, mas foram ligeiramente superiores aos obtidos para sorgo e híbridos de sorgo e capim Sudão observados por Tomich et al. (2002). A menor taxa de digestão da fração fibrosa da silagem da PAM é provavelmente devida à elevada concentração de lignina em sua FDN, o que de acordo com Cabral et al. (2000), pode limitar o acesso microbiano, retardando a degradação dos compostos da parede celular.

Tomich et al. (2002) ressaltam 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 em 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 podem prover dados sobre a eficiência de utilização dos alimentos, fornecendo parâmetros importantes para avaliação e seleção dos alimentos. Uma vez que 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.

#### 4 CONCLUSÕES

O emurchecimento afeta negativamente a produção de gases e a degradabilidade da matéria seca, contudo não apresenta efeitos sobre o pH e a produção de biomassa microbiana.

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, sem efeitos deletérios sobre o pH, o que conseqüentemente propicia maior degradação da MS e produção microbiana, destacando-se o nível de 30% de adição de raízes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, J.B.; FERRARI JUNIOR, E.; LAVEZZO, W. et al. Dry matter and nutritive value of coast-croos n°1 preserved as hay, silage and haylage. (Compact disc). In: INTERNATIONAL, GRASSLAND CONGRESS, 19., São Pedro, 2001. **Proceedings**. Piracicaba: FEALQ, 2001.

ASSOCIATION OFFICIAL ANALÝTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official methods of analysis**. 13.ed. Washington, D.C.: AOAC, 1980. 1015p.

AZEVEDO, E.B.; NÖRNBERG, J.L.; KESSLER, J.D. et al. Silagem da parte aérea de cultivares de mandioca. **Ciência Rural**, v.36, n.6, p.1902-1908, 2006.

AMARAL, R.C.; BERNARDES, T.F.; SIQUEIRA, G.R.; REIS, R.A. Características fermentativas e químicas de silagens de capim-marandu produzidas com quatro pressões de compactação. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 36, n. 3, p. 532-539, 2007.

BATAJOO, K. K.; SHAVER, R.D. Impact of nonfiber carbohydrate on intake, digestion, and milk production by dairy cows. **Journal Dairy Science**, v.77, p.1580–1587, 1994.

BERTO, J.L.; MUHLBACK, P.R.F. Silagem de aveia preta no estágio vegetativo, submetida a ação de inoculantes e efeito de emurchecimento. **Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia**, v.26, n.4, p.651-659, 1997.

BRITO, A.F.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUES, J.A.S. et al. Qualidade das silagens de sete genótipos de sorgo e seus padrões de fermentação. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35, 1988, Botucatu. **Anais...** Botucatu: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1998. p.690-692.

BLÜMMEL, M.; ØRSKOV, E.R. Comparison of *in vitro* gas production and nylon degradability of roughage in predicting feed intake in cattle. **Animal Feed Science and Technology**, 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 <sup>15</sup>N incorporation and its implications for the prediction of voluntary feed intake of roughages. **British Journal of Nutrition**, v.77, p.911-921, 1997.

BLÜMMEL, M.; MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. *In vitro* gas production: a technique revisited. **Journal Animal Physiology Nutrition**, v.77, p.24-3, 1997.

BOLSEN, K. K.; LIN, C.; BRENT, B. E. Effect of silage additives on the microbial succession and fermentation process of alfalfa and corn silages. **Journal of Dairy Science**, v.75, n.11, p.3066-3083, 1992.

CABRAL, L.S.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E.; ZERDAVOUDAKIS, J.T. 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. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.6, p.2332-2339, 2002.

CALDAS NETO, S.F.; ZEOULA, L.M; BRANCO, A.F; et al. Mandioca e resíduos de farinhas na alimentação de ruminantes: digestibilidade total e parcial. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.3, p.1582-1593 (suplemento), 2002.

CALDAS NETO, S.F.; ZEOULA, L.M; BRANCO, A.F; et al. Mandioca e resíduos das farinhas na alimentação de ruminantes: pH, concentração de amônia e eficiência microbiana. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 37., 2000. Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 2000, p.447. 1 CD.

CAMARGO, M. S. **Utilização de glifosato na produção de silagem emurchecida de *Brachiaria brizantha*, stapf. cv. Xaraés.** 2006, 102p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

CAMPOS, F.P.; BOSE, M.L.V.; BOIN, C.; LANNA, D.P.D. et al. Avaliação do sistema de monitoramento computadorizado de digestão *in vitro*.3. Desaparecimento da matéria seca e/ou FDN pela produção de gás. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.2, p.537-544, 2000.

CASTRO, F.G.F. **Uso de pré-emurchecimento, inoculante bacteriano-enzimático ou ácido propiônico na produção de silage, de Tifton 85 (*Cynodon sp.*).** 2002, 136p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

CAPPELLE, E.R.; VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, J.F.C.; CECON, P.R. Estimativas do Valor energético a partir de características químicas e bromatológicas dos alimentos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, vol. 30, n.6, p. 1837-1856, 2001.

CARVALHO, G.G.P., PIRES, A.J.V., VELOSO, C.M. et al. Degradabilidade ruminal do feno de alguns alimentos volumosos para ruminantes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.58, n.4, p.575-580, ago. 2006.

CARVALHO, J.L.H. de. A parte aérea da mandioca na alimentação animal. **Informe Agropecuário**, v.10, n.119, p.29-36, 1984.

CARVALHO, V. D.; CHAGAS, S. J. de R. E.; BOTREL, N. Produtividade e qualidade de raízes em diferentes épocas de colheita de variedades de mandioca. **Revista Brasileira de Mandioca**, v.12, n.1/2, p.49-58, 1993.

CARVALHO, V.D.; KATO, M.S.A. Potencial de utilização da parte aérea da mandioca. **Informe Agropecuário**, v.13, n.145, p.23-28, 1987.

CHEN, X.B. e GOMES, M.J. Estimation of microbial protein supply to sheep and cattle based on urinary excretion of purine derivatives – an overview of technical details. **INTERNATIONAL FEED RESEARCH UNIT**. Rowett Research Institute. Aberdeen, UK. (Occasional publication). 21p, 1992.

CLARK, J.H.; KLUSMEYER, T.H.; CAMERON, M.R. Microbial protein synthesis and flows of nitrogen fractions to the duodenum of dairy cows. **Journal Dairy Science**, v.75, p.2304-2323, 1992.

COSTA, M.A.L.; VALADARES FILHO, S.C. VALADARES, R.F.D. et al. Validação de equações do NRC (2001) para predição do valor energético de alimentos nas condições brasileiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.1, p.280-287, 2005.

COSTA, N.L.; MOURA, G.M; MAGALHÃES, J.A. et al. Regimes de cortes em cultivares de mandioca para alimentação animal em Porto Velho, Rondônia, Brasil. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 8, n.9, setembro 2007.

CRUZ, P.G. **Avaliação nutricional de cinco variedades de cana-de-açúcar para ruminantes**. 2007. 93p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UESB, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2007.

EUCLIDES, V.P.B., MACEDO, M.C.M., VALLE, L.C.S. et al. **Avaliação de acessos de *Panicum maximum* sob pastejo**. Campo Grande: EMBRAPA-CNPQC, 1995. 7p. (EMBRAPA, Programa de Produção Animal. Subprojeto 06.0.94.172.04).

FAUSTINO, J.O.; SANTOS, G.T.; MODESTO, E.C.; et al. Efeito da ensilagem do terço superior da rama da mandioca triturada ou inteira e dos tempos de armazenamento. **Acta Scientiarum animal Sciences**, Maringá, v.25, n.2, p.403-410, 2003.

FIGUEIREDO, M.P. Avaliação da qualidade da silagem. **Revista Bahia Agrícola**, Salvador/Bahia, v.4, n.1, p.71-76, 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 uréia, 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. Santa Maria. **Anais...** Santa Maria, RS, 2003. CD-ROM.

FERRARI JR., E.; LAVEZZO, W. Qualidade de silagens de capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) emurhecido ou acrescido de farelo de mandioca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.5, p.1424-1431, 2001.

FERREIRA, G.D.G.; OLIVEIRA, R.L.; CARDOSO, E.C. et al. Valor nutritivo de Co-produtos da mandioca. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.8, n.4, p. 364-374, 2007.

GETACHEW, G.; BLÜMMEL, M.; MAKKAR, H.P.S. et al. *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutrition quality of feeds: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v.72, p.261-281, 1998.

GIL, J.L.; BUTIAGRO, J.A. La yuca na alimentación animal. In: BUTIAGRO, J.A. **La yuca en el tercer milênio**. Colombia: CIAT. 2001. 569p. Disponível em <[http://www.ciat.cgiar.org/yuca/libro\\_yuca\\_alimentacion\\_animal.htm?codigo=P327](http://www.ciat.cgiar.org/yuca/libro_yuca_alimentacion_animal.htm?codigo=P327)>

GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. **Forage fiber analysis** (Apparatus, reagents, procedures, and some applications). Agricultural Handbook, n.379, ARS USDA, Wasinhgton DC. 1970.

GRANT, R.J.; MERTENS, D.R. Influence of buffer pH and raw corn starch addition on in vitro fiber digestion kinetics. **Journal of Dairy Science**, v.75, p.2762-2768, 1992.

GRINGS, E.E.; BLUMMEL, M.; SUDEKUM, H. Methodological considerations in using gas preoction techniques for estimating ruminal microbial efficiencies for silage-based diets. **Animal Feed Science and Technology**, v.123-124, p.527-545, 2005.

GUEDES, P.L.C.; LEMOS, P.F.B.A.; ALBUQUERQUE, R.P.F. et al. Produção de forragem de mandioca para alimentação de bovinos leiteiros no agreste paraibano. **Tecnologia e Ciência Agropecuária**, João Pessoa, v.1, n.2, p.53-59, dez. 2007.

HOLMES, B.J.; MUCK, R.E. **Factors affecting bunker silos densities**. Madison: University of Wisconsin, 1999. 7p.

HOOVER, W.H.; STOKES, S.R. Balancing carboydrates and proteins for optimum rúmen microbial yield. **Journal Dairy Science**, v.74, p.3630-3644.

IBGE. Sistema IBGE de recuperação automática – SIDRA 2004. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso dezembro de 2008.

IGARASI, M.S. **Controle de perdas na ensilagem de capim tanzânia (*Panicum maximum* Jacq. Cv. Tanzânia) sob efeitos do teor de matéria seca, do tamanho de partícula, da estação do ano e da presença de inoculante bacteriano**. 2002. 151p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2002.

IRMÃO, J.N. **Efeito da idade de colheita sobre a produção e qualidade nutricional do feno da parte aérea da mandioca**. 2007. 105p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – UESB, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Vitória da Conquista, 2007.

JORGE, J.R.V.; ZEOULA, L.M.; PRADO, I.N.; GERON L.J.V. Substituição do milho pela farinha de varredua (*Manihot esculenta* Crantz) na ração de bezerros holandeses. 2. Digestibilidade e valor energético. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.1, p.205-212, 2002.

JUNG, H.G.; ALLEN, M.S. Characteristics of plant cell walls affecting intake e digestibility of forages by ruminants. **Journal of Animal Science**, v.73, n.9, 0.2774-2790.

KATO, M. de A.; OLIVEIRA, R.P. de; KATO, O.R. Competição de cultivares de mandioca em diferentes ambientes da transamazônica. **Revista Brasileira de Mandioca**, Cruz das Almas, BA, v.3, n.2, p.39-45. 1985.

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. **Animal Science**, Edinburgh, v. 61, n. 3, p. 527-538, Dec. 1995.

LATINA, J. Odebrecht produz farelo de mandioca na Bahia. **Revista Química e Derivados**, v. 41, n. 451, p.71, 2001.

LAVEZZO, W. Ensilagem do capim-Elefante. In: SIMPOSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 10, 1992, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba:FEALQ, 1992. p.169-275.

LEONEL, M. Uso dos subprodutos da industrialização da mandioca na alimentação animal. In: **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**, São Paulo: Fundação Cargill, 2001. p.229-239.

LICITRA, G.; HERNANDEZ, T. M.; VAN SOEST, P. J. Standardization of procedures for nitrogen fractionation of ruminant feed. **Animal Feed Science and Technology**, Amsterdam, v.57, n.4, p.347-358, 1996.

LORENZI, J. O. Mandioca – **Boletim Técnico CATI**, Campinas (SP), nº 245, agosto 2003.

LORENZI, J.O.; GUTIERREZ, L.E.; NORMANHA, E.S.; CIONE, J. Variação de carboidratos e ácido cianídrico em raízes de mandioca, após a poda da parte aérea. **Bragantia**, v.37, n.16, p.139-144, 1978.

LOURES, D.R.S. **Enzimas fibrolíticas e emurchecimento no controle de perdas da ensilagem e na digestão de nutrientes em bovinos alimentados com rações contendo silagem de capim tanzânia**. 2004. 146p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

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. **Scientific Journals and Conference Proceedings**, 23-42, 2002. IAEA TECDOC-1294: **Development and field evaluation of animal feed supplementation packages**.

MAKKAR, H.P.S. Recent advances in vitro gas method for evaluation of nutritional quality of feed resources. 2005. Disponível em: <[http://www.fao.org/DOCREP?ARTICLE/AGRIPPA/570\\_en\\_doc.htm](http://www.fao.org/DOCREP?ARTICLE/AGRIPPA/570_en_doc.htm)>. Acesso: 12 dezembro 2008.

MARQUES, J. A., PRADO, I. N., ZEOULA, L. M. et al. Avaliação da mandioca e seus resíduos industriais em substituição ao milho no desempenho de novilhas confinadas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.5, p.1528-1536, 2000.

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

MAURÍCIO, R.M.; PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L.C; RODRIGUEZ, N.M. et al. Potencial da técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases para avaliação de silagens de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**. vol.32, n.4, p.1013-1020, 2003.

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. **Arquivos Brasileiros de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.55, p.216-219, 2003

MENEZES, M.P.C.; RIBEIRO, M.N.; COSTA, R.G.; et al. Substituição do milho pela casca de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) completas para caprinos: Consumo, Digestibilidade de Nutrientes e Ganho de Peso. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.3, p.729-737, 2004.

MENKE, K.H.; RAAB, L.; SALEWSKY, a. et al. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *Journal of D Agricultural Science, Cambridge*, v. 93, p. 217-222, 1979.

MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: Fahey, G.C. et al. (Eds.) **Forage quality, evaluation, and utilization**, 1994, p. 828-868.

MEYER, H.; BRONSCH, K.; LEIBETSEDER, J. *Supplemente zu vorlesungen und übungen in der tierernährung*. Hannover: Verlag M. e H. Schaper, 1989. 255p.

MODESTO, E.C.; SANTOS, G.T.; SILVA, D.C. et al. Substituição da silagem de milho pela silagem do terço superior da rama de mandioca na alimentação de vacas leiteiras. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40, 2003, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: SBZ, 2003. CD-Rom.

MODESTO, E.C.; SANTOS, G.T.; VILELA, D. Caracterização químico-bromatológica da silagem do terço superior da rama de mandioca. **Acta Scientiarum**, v.26, n.1, p.137-146, 2004.

MODESTO, E.C.; SANTOS, G.T.; JOBIM, C.C.; et al. Inclusão de silagem da rama de mandioca na alimentação de vacas em lactação, mantidas em pasto de *Cynodon*: consumo e digestibilidade. **Acta Scientiarum**, Maringá, v.28, p.127-135, April/June. 2006.

MONTEIRO, A.L.G. Silagem pré-secada. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 7., Piracicaba, 1999. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 1999. p.97-122.

McDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. J. E. **Biochemistry of silage**. 2. ed. Marlow: Chalcombe, 1991. 340 p.

MUCK, R.E. Factores influencing silage quality and their implications. **Journal Dairy Science**, v. 71, p. 2992-3002, 1988.

MUCK, R.E., SHINNERS, K.J. Conserved forage (silage and hay): progress and priorities. In: International Grassland Congress, xix. São Pedro. **Proceedings...** Piracicaba: Brazilian Society of Animal Husbandry. p. 753-762. 2001.

NARCISO SOBRINHO, J. *et al.* Silagem de capim Elefante, em três estádios de maturidade, submetido ao emurchecimento. II – Qualidade das silagens. **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa, v. 55, n. 2, p. 113-125, 1998.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrients requirements of beef cattle**. 7.rev.ed. Washington, D.C.: National Academic Press, 1996. 246p.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrients requirements of dairy cattle**. 7.rev.ed. Washington, D.C.: National Academic of Sciences, 2001. 381p.

NOCEK, J. E. Bovine acidosis: implications on lameness. **Journal Dairy Science**, v.80, p.1005-1028, 1997.

NOCEK, J.E., RUSSELL, J.B. Protein and energy as an integrated system. Relationship of ruminal protein and carbohydrate availability to microbial synthesis and milk production. **Journal Dairy Science**, v.71, p.2070-2107, 1988.

NOGUEIRA, Ú.T.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C. and 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. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 58, n. 5, 2006.

NUNES, I. J. **Nutrição Animal**. 2. ed, rev. aum. Belo Horizonte: FEP-MVZ Editora, 1998, 388pp.

OLIVEIRA, A.C. **Capim elefante com e sem emurchecimento, acrescido de farelo de mandioca, na produção de silagem**. 2008. 55p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) — UFV - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008.

ØRSKOV, E.R. Starch digestion and utilization in ruminants. **Journal Animal Science**, v.63, n.5, p.1624-1633, 1986.

PATHAK, A.K. Various factors affecting microbial protein synthesis in the rumen. centre of advance studies in animal nutrition. Indian Veterinary Research Institute, izatnagar-243 122, bareilly. Disponível em:  
<<http://www.veterinaryworld.org/Vol.1%20No.6%20Full%20Text/Various%20factors%20affecting%20microbial%20protein.htm>>. Acesso 27 de fevereiro 2009.

PENCHENGVICHIT, V; LEDIN, I. Effect of feeding different levels of wilted cassava foliage (*Manihot esculenta*, Crantz) on the performance of growing goats. **Small Ruminant Research**, p.1-8, May. 2006.

PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computadorized monitoring of gas production to measure forage digestion in vitro. **Journal of Dairy Science**, v.76, p.1063-1073, 1993.

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, n.3, p.08-12, 2007.

PINHO, E.Z.; COSTA, C.; ARRIGONI, M.B. et al. Fermentation and nutritive value of silage and hay made from the aerial part of cassava (*Manihot esculenta* Crantz.). **Scientia Agricola**, v.61, n.4, p.364-370, 2004.

RANGEL, A.H.N.; LEONEL, F.P.; BRAGA, A.P. et al. Utilização da mandioca na alimentação de ruminantes. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, v.3, n.2, p.01-12, abril/junho de 2008.

ROCA, W. M.; NOLT, B.; MAFLA, G. et al. Eliminación de virus e propagación de clones en la yuca (*M. esculenta* Crantz). In: ROCA, W. M., MROGINSKI, L. A. (Eds.) **Cultivo de tejidos en la agricultura, fundamentos y aplicaciones**. Cali, Colombia: CENTRO INTERNACIONAL DE AGRICULTURA TROPICAL. 1991. p.403-420.

ROCHA JR., V.R.; VALADARES FILHO, S.C.; BORGES, A.M. et al. Estimativa do valor energético dos alimentos e validação das equações propostas pelo NRC (2001). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.2, p.480-490, 2003.

RODRIGUES, A.A.; CAMPOS, O.F. Resíduos industriais da raiz de mandioca na alimentação de bovinos. In: **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**, São Paulo: Fundação Cargill, 2001. p.240-258.

RUPPEL, K.A.; PITT, R.E.; CHASE, L.E. et al. Bunker silo management and its relationship to forage preservation on dairy farms. **Journal of Dairy Science**, v.78, p.141-153, 1995.

RUSSEL, J.B.; O'CONNOR, J.D.; FOX, D.G. et al. A net carbohydrate and Protein System for evaluation cattle diets. I. Ruminal fermentation. **Journal of Animal Science**, v.70, n.11, p.3351-3561, 1992.

SAS, **Statistical Analysis System**. Software, version 6.0. Cary: SAS Institute, 1996.

SÁ, J.F. **Avaliação nutricional de alimentos para ruminantes**. 2007. 70p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga, 2007.

SCHOFIELD, P.; PELL, A.N. Validity of using accumulated gas pressure reading to measure forage digestion in vitro: A comparison involving three forages. **Journal Dairy Science**, v.78, n.10, p.2230-2238, 1995.

SCHOFIELD, P.; PITT, R.E.; PELL A.N. Kinetics of fiber digestion from *in vitro* gas production. **Journal of Animal Science**, v.72, n.11, p. 2980-2991, 1994.

SEAB/DERAL/CEPA/PR. **Acompanhamento da situação agropecuária no Paraná**, 113 p. 1998.

SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa, MG: UFV, Impr. Univ, 2002. 235p.

SILVA, F.F. da; AGUIAR, M. do S.M.A.; VELOSO, C.M. et al., Bagaço de mandioca na ensilagem de capim elefante: qualidade das silagens e digestibilidade dos nutrientes. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, p.719-729, 2007.

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, **Journal of Animal Science**, v.70, n.11, p.3562-3577, 1992.

SOUZA, L. C.; FIALHO, J. F. Cultivo da Mandioca para a Região do Cerrado. **EMBRAPA Mandioca e fruticultura. Sistema de produção**, 8 ISSN 1678-8796 Versão eletrônica, Jan/2003. Disponível em: <[http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca\\_cerrados/index.htm](http://sistemasdeproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Mandioca/mandioca_cerrados/index.htm)>. Acesso em: 01/2009.

STROBEL, H.J.; RUSSELL, J.B. Effect of pH and energy spilling on bacterial protein synthesis by carbohydrate-limited cultures of mixed rumen bacteria. **Journal Dairy Science**, v.69, p.2941-2947, 1986.

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. **Animal Feed Science Technology**, v.48, p.185-197, 1994.

TOMICH, T.R.; GONÇALVES, L.C.; MAURÍCIO, R.M.; PEREIRA, L.G.R. et al. Composição bromatológica e cinética de fermentação ruminal de híbridos de sorgo com capim-sudão. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 55, n. 6, pp. 747-755, 2003.

VALADARES FILHO, S. C. Nutrição, avaliação de alimentos e tabelas de composição de alimentos para bovinos. In: SIMPÓSIOS E WORKSHOPS DA XXXVII REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2000, Viçosa. **Anais... Viçosa:UFV**, 2000, p.267-338.

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

VELOSO, C.M., RODRIGUEZ, N.M.; CARVALHO, G.G.P.; et al. Degradabilidade ruminal da matéria seca e da proteína bruta de folhas e folíolos de forrageiras tropicais. **Revista Brasileira Zootecnia**, v.35, n.2, p.613-617, 2006.

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. 147p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – UFRG, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Santa Maria, 2005.

VILELA, D. Aditivos para silagem. In: Aditivos para silagem de plantas de clima tropical. In: REUNIÃO anual da sociedade brasileira de zootecnia, 35., Botucatu, 1998. **Anais... Botucatu: SBZ**, 1998. p.73-108.

WANAPAT, M.; PIMPA, O.; PETLUM, A.; et al. Cassava hay: A new strategic feed for ruminants during the dry season. **Livestock Research for Rural Development**, v.9, n.2, 1997.

WILSON, R. F.; WILKINS, R. J. The ensilage of autumn-sown rye. **Journal of British Grassland Society**, v.27, p.35-41, 1972.

WOOLFORD, M.K. **The silage fermentation**. New York: Marcel Dekker, 1984. 350p.

WRIGHT; D.A.; GORDON, F.J.; STEEN, R.W.J. et al. Factors influencing the response in intake of silage and animal performance after wilting of grass before ensiling: a review. **Grass and Forage Science**, v.55, p.1-13, 2000.

ZEOULA, L.M.; CALDAS NETO, S.F.; BRANCO, A.F.; et al. Mandioca e resíduos de farinhas na alimentação de ruminantes: pH, concentração de N-NH<sub>3</sub> e eficiência microbiana. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.3, p1582-1593, 2002 (suplemento).

ZEOULA, L.M.; CALDAS NETO, S.F.; GERON, L.J.V.; et al. Substituição do milho pela farinha de varredura de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) em rações de ovinos: consumo, digestibilidade, balanços de nitrogênio e energia e parâmetros ruminais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.2, p.491-502, 2003.

## **ANEXOS**

**Anexo A.** Avaliação da qualidade da silagem por meio de análise sensorial

<b>Parâmetro</b>	<b>Caracterização</b>	<b>Pontos</b>
<b>Odor</b>	- Agradável, ácido/aromático (típico)	17
	- Traços de ácido butírico, excessivamente ácido ou cheiro agradável de queimado	12
	- Teores moderado de ácido butírico, cheiro intenso de queimado	6
	Odor intenso de ácido butírico, traços de odor amoniacal	2
	- Típica (esverdeada)	2
<b>Coloração</b>	- Mais clara ou escura	1
	- Muito clara	0
<b>Através da manipulação</b>	Teor de MS:	
	- adequado	6
	- inadequado	2
<b>Aspectos sanitários: (olfato)</b>	- Presença de algumas leveduras	-2
	- Presença de leveduras, natureza alcoólica da silagem	-4
	- Presença de fungos, cheiro de bolor	-6
<b>(Manipulação)</b>	- Presença de grande quantidade de fungos, odor fecal	-10
	- Material ligeiramente morno ou aquecido (fermentação secundária)	-2 ou -4
	- Perda da estrutura típica por ação de microrganismos, consistência pegajosa ou pastosa	-2 ou -10
<b>(Cor)</b>	Pontos brancos, esverdeados ou escuros característicos por fungos de diferentes gêneros:	
	- Pouco freqüentes	- 4
	- Muito freqüentes	-10

Fonte: MEYER et al. (1989)

A pontuação obtida pelas silagens avaliadas pela metodologia da análise sensorial é então somada e classificada de acordo com o estabelecido no apêndice 2.

**Anexo B.** Classificação das silagens conforme pontuação obtida na análise sensorial

<b>Características associadas ao valor nutritivo</b>	<b>Pontos</b>	<b>Características associadas ao estado sanitário</b>	<b>Pontos</b>
Boa a muito boa	21-25	- Boa a muito boa	-0 a -5
Satisfatória	15-20	- Avaliar as possibilidades de risco	-5 a -10
Regular	10-14	- Inadequada	-11a -20
Insatisfatória	≤ 9	- Deteriorada	Abaixo- 20

Fonte: MEYER et al. (1989)

## Anexo C

### DETERMINAÇÃO DO NITROGÊNIO AMONIAICAL

Modificado por BOLSEN et al. (1992).

#### PROCEDIMENTO

##### I. Solubilização do N-NH<sub>3</sub> e coleta do sobrenadante

1. Pesar 25 g de amostra in natura de silagem em becker de 250 mL;
2. Adicionar 200 mL de ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>) 0,2 N;
3. Vedar o becker com filme plástico ou similar e levar à geladeira por 48 horas;
4. Filtrar o sobrenadante em papel-filtro de filtragem rápida, recepcionando-o em frasco plástico com tampa hermética;
5. Conservar os frascos em congelador até poucas horas antes da destilação.

##### II. Destilação

1. Pipetar uma alíquota de 4,0 mL do filtrado e levar ao aparelho do tipo micro-kjeldahl;
2. Adicionar 10 mL de hidróxido de potássio (KOH) 2 N;
3. Adicionar água destilada até um volume aproximado de 20,0 mL;
4. Adaptar recipiente contendo 10,0 mL de ácido bórico 2%, para receber o destilado;
5. Destilar por 3 a 4 minutos, até um volume de aproximadamente 100,0 mL.

##### III. Titulação

1. Titular o destilado com ácido clorídrico (HCL) 0,1N.

##### IV. Reagentes e material

Ácido sulfúrico

Hidróxido de potássio

Ácido bórico

Ácido clorídrico

Balança analítica

“Beckers” com capacidade para 250 mL

Filme plástico

Papel-filtro de filtragem rápida

Frascos plásticos de no mínimo 50 mL, com tampa hermética

Pipeta volumétrica para 4,0 mL

“Erlenmeyers” com capacidade para 100 mL

Destilador micro-kjeldahl

#### CÁLCULO DO PERCENTUAL DE N-NH<sub>3</sub>/ N-TOTAL

$$\% \text{ N amoniacal na MST} = \frac{\text{mL HCl} \times \text{N HCl} \times \text{fc} \times 14 \times 100}{500\text{mg} \times \text{ASA} \times \text{ASE}}$$

$$\% \text{ N amoniacal/ N total} = \frac{\% \text{ N amoniacal na MST} \times 100}{\% \text{ N total na MST}}$$

Em que:

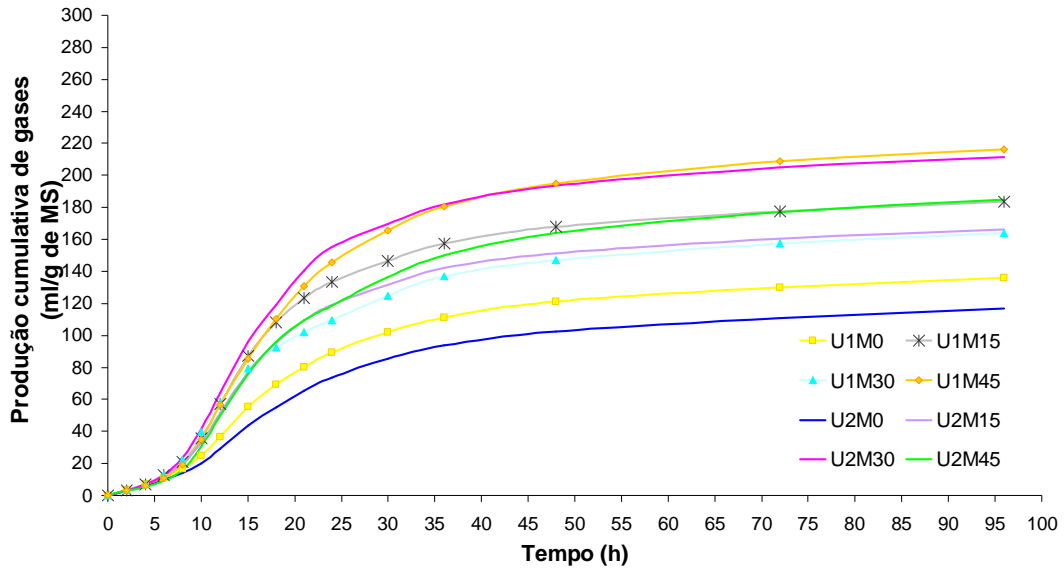
mL HCl = volume de ácido gasto na titulação;

N HCl = normalidade do ácido utilizado na titulação;

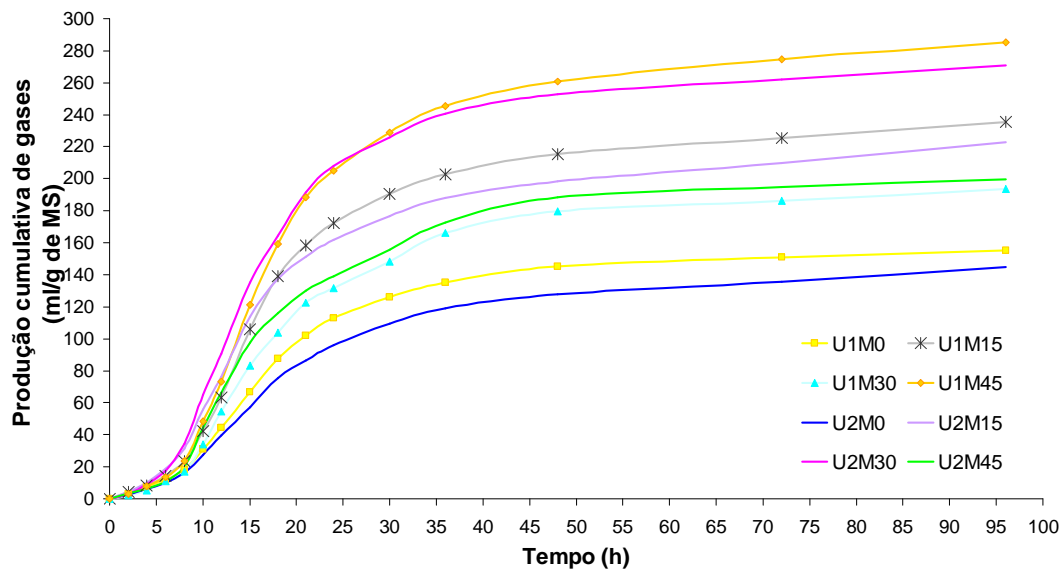
fc = fator de correção do ácido utilizado na titulação; e

MST (matéria seca total) = ASA (amostra seca ao ar) x ASE (amostra seca na estufa).

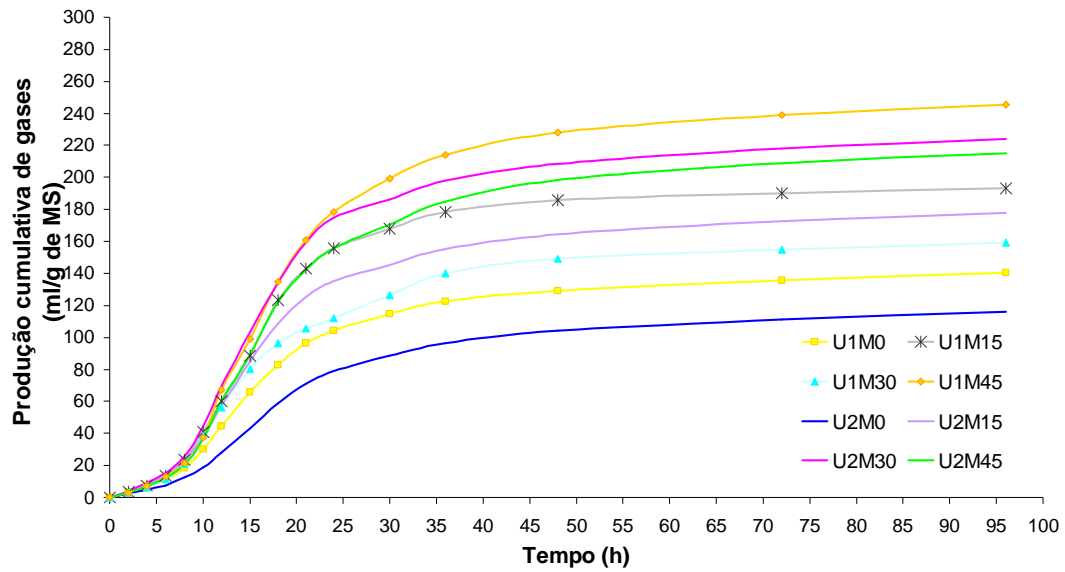
## **APÊNDICES**



**Apêndice A.** Produção acumulada de gases da matéria seca (MS) das silagens de parte aérea de mandioca com e sem emurchecimento (U2 e U1, respectivamente), acrescidas com níveis de raízes (0,15, 30 e 45%), repetição 1.



**Apêndice B.** Produção acumulada de gases da matéria seca (MS) das silagens de parte aérea de mandioca com e sem emurchecimento (U2 e U1, respectivamente), acrescidas com níveis de raízes (0,15, 30 e 45%), repetição 2.



**Apêndice C.** Produção acumulada de gases da matéria seca (MS) das silagens de parte aérea de mandioca com e sem emurchecimento (U2 e U1, respectivamente), acrescidas com níveis de raízes (0, 15, 30 e 45%), repetição 3.