

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA**

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E AVALIAÇÃO DE SILAGENS DE 25 HÍBRIDOS DE SORGO

**BELO HORIZONTE
2006**

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA
DEPARTAMENTO DE ZOOTECNIA**

CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS E AVALIAÇÃO DE SILAGENS DE 25 HÍBRIDOS DE SORGO

**BELO HORIZONTE
2006**

Tese defendida e aprovada em 25 de maio de 2006, pela Comissão examinadora constituída por:

Eloísa de Oliveira Simões Saliba
(Orientadora)

Iran Borges

José Avelino Santos Rodrigues

Lúcio Carlos Gonçalves

Rogério Martins Maurício

RESUMO: Vinte e cinco híbridos de sorgo para produção de silagem foram avaliados quanto às suas características agronômicas e qualidade das silagens. Para o experimento de características agronômicas foi utilizado um delineamento em blocos ao acaso. Para as avaliações da qualidade das silagens o delineamento utilizado foi inteiramente casualizado. Para comparação de médias utilizou-se o teste de Skott-knott ($P < 0,05$). A produção de matéria verde/ha foi diferente entre os cultivares e variou de 19,61 a 48,09 tonMV/ha. Quanto à produção de matéria seca/ha apenas o híbrido VOLUMAX se destacou em relação aos demais. A altura dos híbridos, as porcentagens de colmo, folha e panícula, a MS, proteína bruta, $N-NH_3/N_{total}$, fibra em detergente e lignina foram diferentes entre o híbridos avaliados. As silagens não apresentaram diferenças significativas quanto aos valores de pH, fibra em detergente ácido (FDA), hemiceluloses, celulose, DIVMS, e ácidos orgânicos. As silagens dos híbridos avaliados não tiveram degradabilidades efetivas da MS diferentes para o tempo final de incubação de 96 horas. A silagem do híbrido Volumax apresentou maior degradabilidade potencial e maior taxa de degradação da MS e as maiores porcentagens de desaparecimento da FDN. Para avaliação da cinética de degradação das silagens de seis híbridos de sorgo pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases foram realizadas leituras de produção de gases nos tempos de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 19, 24, 30, 36, 48, 72 e 96 horas após a inoculação dos substratos. A silagem do híbrido Volumax apresentou a maior produção cumulativa de gases e os maiores picos de produção de gases por hora. A silagem do híbrido ATF54*9929036 obteve o maior potencial máximo de produção de gases; a silagem do híbrido CMSXS217*9929012 o menor tempo de colonização. Nas avaliações em microscópio eletrônico de varredura foi observado que durante o processo de fermentação das silagens não houve degradação do amido e que as hemiceluloses são utilizadas pelas bactérias ácido lácticas como fonte adicional de substrato. O acompanhamento da degradação das forrageiras com o avanço do tempo de incubação no rúmen permitiu descrever as etapas de desaparecimento dos tecidos pela ação dos microrganismos: parênquima primário, parênquima secundário, esclerênquima e floema. Além disso, permite concluir que as estrutura intimamente ligadas à lignina apresenta resistência à degradação inclusive nos períodos mais avançados de incubação ruminal.

Palavras-chave: conservação, degradabilidade, forragem, microscopia eletrônica, produção de gás.

ABSTRACT: Agronomic traits and silage quality of twenty five sorghum hybrids for silage production were evaluated. A block design was used for the agronomic traits experiment. A completely randomized block design was used for the silage quality experiment. Skott-knott test was used to compare means ($P < 0,05$). There were difference among the hybrids for green matter and varied from 19,61 to 48,09 ton/ha. For the dry matter production Volumax hybrid had the greatest dry matter production. There were difference among the hybrids higher, stems, leaves, head, dry matter contents, crude protein and fibrous fractions (NDF, ADF and lignin). There were no difference among the sorghum silage for pH, ADF, hemicelluloses, cellulose, *in vitro* dry matter digestibility and organic acids. Dry matter *in situ* degradability was no different among the silages. Volumax had had the greatest potential degradability, degradation rate and NDF disappearance. There were evaluated the ruminal fermentations kinetics using the semi-automatic gas production technique. Incubations times used were 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 19, 24, 30, 36, 48, 72 e 96 hours. Volumax silage has had the greatest cumulative gas production and gas production outbreaks for hour. ATF54*9929036 silage has have the greatest pottencial gas production, and CMSXS217*9929012 silage has have the lower lag phase. The electronic microscopic evaluations showed that starch was not used during the silage fermentation, and that hemicelluloses was used by acid lactic bacteria inside the silo. The observation of forage degradation at the degradation time showed the tissues disappearance: primary parenchyma, secondary parenchyma, sclerenchyma e phloem. Still, showed that structures closely linked to lignin had higher resistance to degradation until at the latest ruminal incubation times.

Key-words: conservation, degradability, forage, gas production, electronic microscopy.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por mais esta vitória, pela saúde e oportunidades.

À família pelo apoio e compreensão pelos momentos de ausência: minha mãe Jandira, meu pai Espedito e meus irmãos Júnior e Luciana.

Agradeço à Escola de Veterinária e todos os professores e funcionários que acompanharam toda minha formação, da graduação ao doutorado.

Agradeço à professora Eloísa pela brilhante orientação, amizade, ensinamentos, compreensão durante todo o curso.

Ao professor Lúcio pela amizade, companheirismo, estímulo e exemplo.

Ao professor Iran pela amizade e ajuda constante.

Ao professor Norberto pelo exemplo.

Aos professores Último, Lobão, Helton e Ana Luiza, exemplos, dos quais sentirei tanta falta.

Ao José Avelino, o Piu, pela parceria durante toda a pós-graduação.

Aos funcionários do laboratório de Nutrição Animal pela amizade e apoio desde a iniciação científica: Toninho, Luciene, Margot, Kelly, Marcos e Carlos.

Ao amigo Luiz pelos momentos felizes, companheirismo, apoio e pelo empréstimo dos animais e de sua fazenda (Rancho Alegre) para desenvolvimento de parte deste trabalho.

À Embrapa Milho e Sorgo pelo desenvolvimento dos experimentos e pela parceria.

À CAPES pela concessão das bolsas.

Aos funcionários da fazenda Rancho Alegre pelo apoio.

Às meninas do colegiado de pós-graduação: Eliane, Nilda.

Aos amigos da Escola de Veterinária: Roberto Guimarães, Karina, Roberto Camargos, Luiz Gustavo, Fabiana, Diego, Joana, Cristiano, Eliane, Sabará, Breno, Ana Cristina, Patrícia, Janaína, Maria Paula, Paula, Luciano Cabeção, Luciano Mossoró, Guilherme, Bel, Telma, Chiquinho, Petrônio, Thierry, Claudinha sem vocês nada teria sido possível.

Às amigas: Thaís, Fabiene, Patrícia Maluf, Renata, Daniele, Manuela e Keth, pelo apoio, companhia constante, e pelos bons momentos que passamos juntas.

À Marina Greco, a bolsista do ano.

Aos amigos da graduação: Alex, Guilherme, Cristiana, Coelhão, Tarcísio, Paulo Henrique, Gustavão, Paulo Márcio, Daniel, Fran, Henry, Kênia, Marcelão, Soneca, Rodrigo Mayrink

Aos amigos: Dote, Loló e Alessandro (Preto).

1. INTRODUÇÃO	11
CAPÍTULO 1	12
1. REVISÃO DE LITERATURA	12
1.1. A cultura do sorgo	12
1.2. Princípios da fermentação anaeróbica de forrageiras	14
1.3. Qualidade das silagens de sorgo	15
1.4. A caracterização da lignina como metodologia de avaliação de forrageiras	16
1.4.1.1. Carboidratos	16
1.4.1.2. Ligninas	17
1.4.1.2.1. Definição e classificação	17
1.4.1.2.2. Biossíntese da lignina	18
1.4.1.2.3. Mecanismos de inibição da digestibilidade pela lignina	18
1.4.1.2.4. Avaliação de forrageiras utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV)	19
1.5. A estimativa da digestibilidade de forrageiras utilizando-se métodos laboratoriais	20
1.5.2. A técnica da degradabilidade <i>in situ</i>	20
1.5.4. A técnica de produção de gases na avaliação da qualidade dos alimentos	21
1.5.4.1. Fatores que influenciam a técnica de produção de gases	22
1.5.4.1.1. Preparo das amostras	22
1.5.4.1.2. Fluido ruminal e anaerobiose	22
1.5.4.1.3. Tamponamento	23
1.5.5. Técnicas de mensuração <i>in vitro</i> da produção de gases	23
1.5.7. Cinética de fermentação e descrição matemática das curvas de produção de gases	24
1.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	24
CAPÍTULO 2. EXPERIMENTO 1 - CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DE 25 HÍBRIDOS DE SORGO PARA PRODUÇÃO DE SILAGEM	30
2.1. INTRODUÇÃO	30
2.2. MATERIAL E MÉTODOS	30
2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
2.4. CONCLUSÕES	35
2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	35
CAPÍTULO 3. EXPERIMENTO 2 -DIGESTIBILIDADE <i>IN VITRO</i>, GRUPOS FUNCIONAIS E QUALIDADE DAS SILAGENS DE 25 HÍBRIDOS DE SORGO	37
3.1. INTRODUÇÃO	37
3.2. MATERIAL E MÉTODOS	38
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	39
3.4. CONCLUSÕES	46
3.5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	46

CAPÍTULO 4. EXPERIMENTO 3: DEGRADABILIDADE *IN SITU* DOS COMPONENTES NUTRICIONAIS DAS SILAGENS DE SEIS HÍBRIDOS DE SORGO

.....	49	
4.1. INTRODUÇÃO	49	
4.2. MATERIAL E MÉTODOS	50	
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .	52	
4.4. CONCLUSÕES	58	
4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	59	
CAPÍTULO 5. EXPERIMENTO 4. AVALIAÇÃO DA DEGRADABILIDADE E DA CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO RUMINAL PELA TÉCNICA <i>IN VITRO</i> SEMI-AUTOMÁTICA DE PRODUÇÃO DE GASES	61	
5.1. INTRODUÇÃO	61	
5.2. MATERIAL E MÉTODOS	62	
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .	63	
5.4. CONCLUSÕES	66	
5.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	67	
CAPÍTULO 6. EXPERIMENTO 5. AVALIAÇÃO DA PAREDE CELULAR DE SILAGENS DE HÍBRIDOS DE SORGO E SEUS RESÍDUOS DA DEGRADAÇÃO <i>IN SITU</i> PELA TÉCNICA DA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)		
.....	69	
6.1. INTRODUÇÃO	69	
6.2. MATERIAL E MÉTODOS	70	
6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO .	71	
6.4. CONCLUSÕES	80	
6.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Produção de matéria verde (t/ha), produção de matéria seca (t/ha), número de plantas por hectare e altura das plantas (cm).....	30
Tabela 2. Porcentagem de colmo, panícula e folha na matéria natural das plantas de sorgo	32
Tabela 3. Valores de matéria seca, pH, proteína bruta e nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total das silagens de 25 híbridos de sorgo.....	37
Tabela 4. Valores de FDN, FDA, hemiceluloses, celulose e lignina das silagens de 25 híbridos de sorgo	40
Tabela 5. Valores de porcentagens de DIVMS e caracterização dos grupos funcionais da lignina (mg/ml) das silagens de 25 híbridos de sorgo.....	42
Tabela 6. Valores de ácidos orgânicos (mg %) das silagens de 25 híbridos de sorgo	43
Tabela 7. Composição bromatológica das silagens avaliadas.	50
Tabela 8. Desaparecimento médio (%) da MS das silagens de sorgo nos horários de incubação no rúmen (horas).....	50
Tabela 9. Parâmetros de degradação ruminal da MS das silagens de sorgo incubadas no rúmen.....	51
Tabela 10. Degradabilidades efetivas (%) da MS das silagens de sorgo incubadas no rúmen simuladas em três tempos de passagem	52
Tabela 11. Desaparecimento médio (%) da FDN das silagens de sorgo nos horários de incubação no rúmen (horas).....	52
Tabela 12. Parâmetros de degradação ruminal da FDN das silagens de sorgo incubadas no rúmen.....	53
Tabela 13. Degradabilidades efetivas (%) da FDN das silagens de sorgo incubadas no rúmen simuladas em três tempos de passagem	54
Tabela 14. Desaparecimento médio (%) da FDA das silagens de sorgo nos horários de incubação no rúmen (horas).....	55
Tabela 15. Parâmetros de degradação ruminal da FDA das silagens de sorgo incubadas no rúmen.....	56
Tabela 16. Degradabilidades efetivas (%) da FDA das silagens de sorgo incubadas no rúmen simuladas em três tempos de passagem	56
Tabela 17. Produções cumulativas de gases (ml/g de MS) após os tempos de incubação de 6, 12, 24, 48 e 96 horas, das silagens de seis híbridos de sorgo	62
Tabela 18. Equações de regressão entre os valores de DMS e DMO com a PCG das silagens de seis híbridos de sorgo	63
Tabela 19. Parâmetros da cinética de produção de gases da MS das silagens de seis híbridos de sorgo	64
Tabela 20. Degradabilidade efetiva das silagens de seis híbridos de sorgo para taxas de passagens de 0,02, 0,05 e 0,08/h.....	64

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.....71
FIGURA 2.....71
FIGURA 3.....71
FIGURA 4.....71
FIGURA 5.....71
FIGURA 6.....71
FIGURA 7.....73
FIGURA 8.....73
FIGURA 9.....73
FIGURA 10.....73
FIGURA 11.....73
FIGURA 12.....73
FIGURA 13.....75
FIGURA 14.....75
FIGURA 1575
FIGURA 1675
FIGURA 17.....75
FIGURA 18.....75
FIGURA 19.....75
FIGURA 20.....77
FIGURA 21.....77
FIGURA 22.....77
FIGURA 23.....77

1. INTRODUÇÃO

A pecuária mais econômica é aquela na qual o próprio animal faz o corte da forrageira diretamente da pastagem. No entanto, no Brasil devido a nossas condições climáticas, ocorre uma distribuição irregular de produção de forragem durante todo o ano, com 80 a 90 % desta, concentrada na época mais quente e chuvosa. A sazonalidade climática brasileira é responsável tanto pela baixa disponibilidade de forragem verde quanto pelo baixo valor nutritivo dessa durante o período de seca. Esta estacionalidade de produção de forrageira torna instável a cadeia produtiva e a economia da atividade agropecuária, acarretando perda de desempenho dos animais e menor produtividade por hectare durante o período de entressafra.

Existem opções para reduzir e aliviar o problema da sazonalidade de produção de forragem como a formação de capineiras, utilização de cana de açúcar e conservação da forrageira na forma de feno e silagem, sendo esta última mais difundida e melhor adaptada às nossas condições climáticas. As forrageiras destinadas à produção de silagem devem possuir algumas características como: elevado potencial de produção, boa adequação à mecanização, ser boa fonte de energia para os ruminantes, além de características que permitam uma fermentação adequada dentro do silo como: conteúdo de carboidratos solúveis e teores de matéria seca adequados.

Dentre as forrageiras tropicais o sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench), vem sendo utilizado com sucesso para produção de silagem como substituto do milho. O sorgo é uma gramínea de origem asiática que produz silagens com excelente qualidade fermentativa, e produz alimento variando de 72 a 92 % do valor nutritivo das silagens de milho. A cultura tem sido recomendada principalmente para regiões onde regime pluviométrico é mais rigoroso e a cultura do milho não tem condições de expressar seu potencial de produção. Além disso, o sorgo possui vantagens como taxa de rebrota de 60 % da primeira produção, e não apresenta problemas como o roubo de espigas, muito comum em plantações de milho.

As estatísticas sobre o cultivo do sorgo são mais específicas para o sorgo graníferos. Já a quantidade exata de sorgo cultivado para produção de silagem não é bem conhecida uma vez que esta não é comercializada, sendo cultivada e produzida na propriedade onde será utilizada. Segundo Zago

(1991) a cultura de sorgo contribui com aproximadamente 15-20% da área total cultivada para produção de silagem no Brasil.

Um programa de melhoramento de forrageiras para produção de silagem tem como objetivos determinar características herdáveis da forrageira que estejam relacionadas com o processo fermentativo anaeróbico, além de características relacionadas com a digestibilidade, consumo da forrageira e desempenho dos animais. Os programas de melhoramento genético para seleção de cultivares de sorgo destinados à produção de silagem adotam como critérios: a produtividade da planta, altura, produção de grãos, relação colmo/folha/panícula, resistência a pragas e doenças, tolerância à seca, entre outras. A grande variabilidade genética para características nutricionais permite o avanço do processo de melhoramento genético no sorgo para produção de silagem, responsável pelo desenvolvimento de materiais com elevado valor nutricional, capazes de imprimir desempenho cada vez maior à bovinocultura seja ela de corte ou leiteira.

O objetivo deste trabalho foi fornecer informações para auxiliar o programa brasileiro de melhoramento genético de sorgo e para tanto teve como objetivos específicos:

- 1 Avaliar 25 híbridos de sorgo quanto às suas características agronômicas;
- 2 Avaliar a qualidade das silagens de 25 híbridos de sorgo e determinar a composição química das ligninas destas silagens;
- 3 Avaliar a cinética de degradação e o perfil de produção de gases das silagens de seis híbridos de sorgo utilizando a técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases;
- 4 Avaliar a degradabilidade e a cinética de fermentação de silagens de sorgo pela técnica *in situ*.
- 5 Obter informações sobre a composição anatômica, organização e degradação dos tecidos que compõem a parede celular de silagens de sorgo.

Para atingir os objetivos acima descritos este trabalho foi dividido em seis capítulos:

- 1 Capítulo 1. Revisão de literatura suporte para posteriores discussões dos resultados observados.

- 2 Capítulo 2. Experimento 1: Características agronômicas de 25 híbridos de sorgo para produção de silagem
- 3 Capítulo 3. Experimento 2: Avaliação da digestibilidade *in vitro*, determinação dos grupos funcionais da lignina e da qualidade das silagens de 25 híbridos de sorgo.
- 4 Capítulo 4. Experimento 3: Degradabilidade *in situ* dos componentes nutricionais das silagens de seis híbridos de sorgo.
- 5 Capítulo 5. Experimento 4: Degradabilidade e cinética de fermentação das silagens de seis híbridos de sorgo pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases.
- 6 Capítulo 6. Experimento 5: Avaliação da parede celular de silagens de híbridos de sorgo pela técnica da microscopia eletrônica de varredura.

CAPÍTULO 1

1. REVISÃO DE LITERATURA

1.1. A cultura do sorgo

Em 1753 no livro *Species Plantarum*, Linneus foi quem primeiro descreveu três espécies de sorgo cultiváveis: *Holcus sorghum*, *Holcus saccharatus* e *Holcus bicolor*. Em 1794 Moench separou o gênero *Sorghum* do gênero *Holcus*. Person em 1805 mudou o nome *Sorghum vulgare* para *Holcus sorghum* (L.). Só em 1961, Clayton adotou *Sorghum bicolor* (L.) Moench como nome específico para sorgos cultivados (Compton, 1990).

O *Sorghum bicolor* (L.) Moench é uma gramínea de origem africana e asiática, introduzido no Brasil no início do século XX, e que vem sendo utilizada tanto para produção de grãos como para produção de forragem. A produção de grãos de um modo geral é quase sempre integrada a empresas produtoras de ração para aves, suínos e ruminantes. Já como forrageira tem sido utilizado na alimentação de ruminantes em sistema de corte, pastejo e produção de silagem. A cultura tem se destacado no processo de produção de silagem por ser uma gramínea de elevado potencial de produção, principalmente em regiões sujeitas a estresse hídrico, ter boa adequação à mecanização, ser boa fonte de energia na alimentação de ruminantes, ser versátil na sua utilização, e principalmente, de ter elevado valor

nutritivo. No entanto, apesar de seu potencial é até hoje uma cultura marginal à do milho, devido a dificuldades comerciais, de estocagem, sendo até mesmo seu preço atrelado ao milho, cotado ao redor de 80 % do valor deste (Demarchi et al., 1995; Duarte, 2003).

Apesar das dificuldades comerciais encontradas pelos produtores de sorgo, a produção vem crescendo no Brasil, na última década. A área plantada de sorgo granífero, para produção de silagem e forragem no ano agrícola de 2001/2 segundo Mezzena (2002) é de 779.000 hectare. Já a determinação exata da quantidade de sorgo produzido para silagem é difícil, uma vez que não há comercialização desta, devendo ser estimada pela venda de sementes.

O sorgo é uma cultura rústica que tolera elevadas temperaturas melhor do que a maioria das outras culturas. O desenvolvimento de híbridos de maturação precoce permite o plantio da cultura em regiões onde a precipitação pluviométrica não exceda a 380 mm anuais, embora se desenvolva melhor sob condições favoráveis de temperatura e umidade. A elevada resistência da cultura à desidratação deve-se ao ritmo de transpiração eficaz e características foliares das plantas xerófitas que retardam a perda de água pela planta. No entanto, a exigência em umidade torna-se crítica nos períodos logo após a germinação e nas fases de polinização e germinação (Antunes, 1979).

De acordo com Duarte (2003) apesar do sorgo ter sido apresentado no Brasil como rústico, devido suas origens de regiões áridas e semi-áridas, a cultura apresentou dificuldades de estabilização na região Nordeste do país, por não ser tão resistente à seca prolongada da região como se pensava, dependendo também de boas práticas de manejo para atingir melhores índices produtivos.

As plantas de sorgo crescem em uma ampla faixa de solos, tolerando variações de fertilidade e de equilíbrio de nutrientes, no entanto, apresenta melhores rendimentos à medida que as condições de fertilidade sejam elevadas e equilibradas. Segundo Baruqui (1979) solos profundos, friáveis, bem estruturados e que ocorrem em áreas mais planas a suavemente onduladas prestam-se melhor à cultura do sorgo. Sugere ainda que devem ser evitados solos rasos e muito rasos (solos litólicos), solos hidromórficos (mal drenados) e solos arenosos, devido a dificuldades culturais nestes.

Os sorgos de maior interesse agrícola cultivados no Brasil podem ser divididos em dois grandes grupos: os graníferos e os forrageiros. Os sorgos graníferos são plantas de altura inferior a 1,60 m, com elevada produção de grãos e panículas, com grãos bem desenvolvidos. No Brasil são cultivados principalmente com a finalidade de produção de grãos para alimentação animal, sendo um importante cereal utilizado na alimentação humana na África e Ásia. Outras utilizações descritas para os grãos de sorgo são a produção de amido, óleo comestível e industrial, álcool, cerveja e cera. Já os sorgos forrageiros destacam-se pela elevada produção de matéria seca, altura superior a 2,0 m e possuem ciclo mais longo. Os sorgos forrageiros podem ser ainda subdivididos em cinco categorias. A primeira é composta pelos forrageiros com baixa produção de grãos e baixo teor de açúcares solúveis e altura superior a 3,0 m. A segunda categoria são os chamados sorgos sacarinos, composta por cultivares com baixa produção de grãos, altura superior a 3,0 m, com colmos com porcentagem de sacarose entre 10 e 14 % e ricos em açúcares redutores, sendo assim matéria prima para usinas produtoras de álcool e melação. Produzem silagens com bom padrão de fermentação, entretanto, esta utilização deve ser bem avaliada uma vez que possuem pequena porcentagem de grãos. Outra categoria é chamada de sorgo de duplo propósito os quais apresentam boa produção de grãos, altura menor (entre 2,0 e 2,5 m), sendo então uma boa opção para produção de silagem de elevado valor nutricional devido às maiores porcentagens de grãos. Na quarta categoria estão os denominados sorgos tipo vassoura, que produzem pequena porcentagem de grãos, panículas abertas e bem ramificadas e são utilizados basicamente para produção de vassouras. A quinta e última categoria é composta por sorgos forrageiros especializados em pastejo, corte ou fenação, denominados de sorgo ou capim Sudão (*Sorghum bicolor* subespécie *sudanense*) ou simplesmente *Sorghum sudanense* (Piper) ou seus híbridos com sorgo (Zago, 1991; Demarchi et al., 1995).

O comportamento produtivo de uma forrageira destinada à produção de silagem é uma das principais características a serem utilizadas na avaliação econômica da atividade. Segundo Valente (1992) produções de matéria verde inferiores a 40 toneladas tornariam a atividade inviável economicamente. Devido aos mais variados tipos de sorgos já descritos acima e a uma enorme diversidade de cultivares disponíveis no mercado, a literatura apresenta uma variedade de dados de produção. Pereira et al. (1993) obtiveram produções de matéria seca de 18,0; 16,6 e 14,6 toneladas de

matéria seca para cultivares de sorgo de porte alto, médio e baixo, respectivamente. Já Rocha Júnior et al. (2000) encontraram produtividades de matéria seca variando de 3,3 a 5,5 toneladas por hectare para híbridos de porte baixo, e de 9,3 a 12,2 para híbridos de porte médio e alto. O baixo rendimento de matéria seca encontrado por Rocha Júnior et al. (2000) foi atribuído pelos autores à época de corte a que foram submetidos os híbridos, em estágio de grãos leitosos/pastosos. De acordo com Correa (1996) a produção de matéria seca de híbridos de duplo propósito e de um híbrido forrageiro aumentou com o avanço do estágio de maturação, com os maiores valores observados nos estádios de grão pastoso e farináceo.

No Brasil existem vários grupos ligados ao melhoramento genético do sorgo que ao longo dos anos vêm mudando o perfil dos materiais comercializados e utilizados na alimentação animal. Os programas de melhoramento genético vêm buscando selecionar materiais que melhor representem ganhos quanto ao valor nutritivo e econômico. Para ser recomendada uma cultivar é submetida a várias etapas de avaliação. Os critérios de julgamento de cultivares para produção de silagem iniciam-se com avaliações das características agrônomicas como: produtividade de matéria seca e matéria verde, altura das plantas, relação colmo/folha/panícula, tolerância a pragas e doenças e resistência ao acamamento no campo. Além disso, ao final de um programa de melhoramento é também fundamental o estudo das interações genótipo e ambiente, com avaliações do comportamento das cultivares obtidas em vários locais e anos agrícolas, com a finalidade de desenvolvimento de cultivares específicas para determinadas regiões (Oliveira et al., 2002).

No entanto, a avaliação de uma forrageira não pode prescindir a utilização de animais em avaliações de consumo, digestibilidade e desempenho uma vez que são características determinantes do valor nutritivo da forrageira. Contudo, avaliações utilizando animais são muito laboriosas e onerosas, sendo comumente substituídas por técnicas de laboratórios de mais fácil determinação. As frações fibrosas e a digestibilidade *in vitro* da matéria seca são determinações laboratoriais que podem ser utilizadas para estimar a digestibilidade e o consumo de forrageiras. Segundo Minson (1990) as frações fibra em detergente ácido e neutro e ligninas estão negativamente correlacionadas a digestibilidade das forrageiras. Por sua vez a fração FDN está também negativamente correlacionada ao consumo voluntário.

1.2. Princípios da fermentação anaeróbica de forrageiras

O processo de ensilagem nada mais é do que a conservação da forrageira por fermentação por bactérias ácido lácticas, obtida em condições de anaerobiose, dos açúcares presentes na forrageira a ácidos orgânicos, principalmente ácido láctico e acético. As alterações bioquímicas que ocorrem na forrageira iniciam-se antes mesmos da ensilagem, imediatamente após o corte da planta com a morte da planta e exaustão do oxigênio e início do desenvolvimento da fermentação ácida. Segundo McDonald et al. (1991) e Van Soest (1994) a preservação adequada da forrageira pelo processo de ensilagem depende da produção de ácido láctico a fim de estabilizar o pH da silagem produzida. A rápida estabilização do pH é então dependente do conteúdo de açúcares disponíveis para a fermentação e do poder de tamponamento da forrageira.

Quatro processos biológicos podem influenciar negativamente a ensilagem de uma forrageira: a respiração da planta, a atividade enzimática da planta, a atividade clostrídica, e finalmente a atividade de microrganismos aeróbicos. Logo após a ensilagem a planta ainda continua respirando, sendo o processo de respiração responsável pela eliminação do oxigênio de dentro do silo, criando assim um ambiente de anaerobiose, com produção de CO₂, água e energia, sendo esta energia produzida convertida em calor. Um dos mais importantes fatores que afetam a qualidade da silagem produzida é a disponibilidade de oxigênio dentro do silo. Quando o silo é vedado de maneira inadequada o processo de respiração se prolonga excessivamente permitindo o crescimento de fungos, e conseqüente aquecimento da massa forrageira. No campo este calor produzido é dissipado na atmosfera, mas no silo este é retido, podendo ser responsável por perdas no valor nutritivo da planta devido a reações de Maillard, incluindo formação de nitrogênio insolúvel em detergente ácido. A aceleração da respiração em relação à temperatura é exponencial o que leva a um aumento progressivo do processo até a completa exaustão do oxigênio. Sendo assim, a rápida obtenção das condições de anaerobiose dentro do silo é primordial para a melhor preservação do valor nutritivo da forrageira (Muck, 1987; Henderson, 1993; Van Soest, 1994).

Além das enzimas do processo de respiração, enzimas responsáveis por hidrólise de amido e hemiceluloses a monossacarídeos também

continuam ativas. Esta hidrólise é responsável por uma fonte adicional de açúcares para o processo de fermentação láctica. A utilização da fração hemiceluloses é também responsável pela redução da concentração da fibra em detergente neutro da silagem. Já as enzimas proteolíticas produzem nitrogênio não protéico, como aminoácidos livres, peptídeos, aminas e amônia, a partir de nitrogênio protéico, com conseqüente redução do valor nutritivo da forrageira (Muck, 1987; Borges, 1995; Silva, 1997; Brito, 1997).

A porcentagem de matéria seca da forrageira exerce importante influência sobre a qualidade da silagem. A proporção de matéria seca atua diretamente sobre o perfil de fermentação que ocorre dentro do silo. A ensilagem de materiais de elevada umidade estimula a fermentação clostrídica, responsável por degradação excessiva de proteína com formação de nitrogênio não protéico, e redução do valor nutritivo da silagem. O pH no qual a atividade clostrídica cessa é dependente da atividade da água. Quanto menor for o teor de matéria seca da forrageira ensilada, tanto mais baixo deverá ser o pH final a fim de inibir fermentações por microrganismos do gênero *Clostridium*. Forrageiras com baixo teor de matéria seca precisam de uma queda de pH abaixo de 4,0 para a completa inibição da atividade clostrídica. Entretanto, um baixo pH não é garantia de a atividade clostrídica foi totalmente prevenida e que a proteólise foi mínima. Mais importante do que o pH final da massa ensilada é a velocidade de queda do pH. Forrageiras ensiladas com adequado teor de matéria seca estabilizam o pH normalmente em cinco dias de fermentação, com o mínimo de perdas na qualidade nutricional da silagem. Além disso, silagens com baixo teor de matéria seca produzem quantidade elevada de efluentes, os quais arrastam considerável quantidade de nutrientes altamente digestíveis. Outra característica indesejável das silagens de baixo teor de matéria seca é baixo consumo voluntário de matéria seca, principalmente pela presença de ácido butírico, amônia e aminas (Forbes, 1986; Van Soest, 1994).

Se por um lado a ensilagem de materiais de elevada umidade favorece fermentações indesejáveis, por outro, a ensilagem de materiais com teores de matéria seca acima de 45 % também não é desejada, uma vez que não permitem uma compactação adequada, impedindo a eliminação do oxigênio de dentro do silo, e propiciando condições para o aquecimento, desenvolvimento de mofo e reações de Maillard (Van Soest, 1994). Quanto maior a compactação imposta ao material tanto menor a movimentação de oxigênio na massa ensilada. A

deterioração aeróbica é também comum em silos mal vedados, ou vedados com materiais permeáveis ao oxigênio. Segundo Oliveira (1998) quando a fase de fermentação aeróbica é muito extensa e a temperatura da massa ensilada alcança temperaturas acima de 49°C, ocorre um significativo aumento da porcentagem de nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA).

1.3. Qualidade das silagens de sorgo

O sorgo é uma gramínea amplamente utilizada para produção de silagem por apresentar características agronômicas desejáveis, possuir características propícias a uma adequada fermentação anaeróbica e produzir silagem de qualidade compatível à silagem de milho. Uma das principais vantagens do sorgo é produzir silagem de elevada qualidade sem que haja necessidade de adição de aditivos. Vieira et al. (2004) avaliando o efeito da adição de uréia, CaCO₃ e uréia + CaCO₃ em silagens de sorgo não observaram efeito destes aditivos sobre o padrão de fermentação, frações fibrosas e DIVMS, sendo sua utilização só foi justificada quando se utilizou 0,5 % de uréia às silagens dos híbridos BR700, BR601 e AG2002, uma vez que elevou o teor de proteína bruta destes materiais.

Para qualquer gramínea que seja ensilada o conteúdo de matéria seca desempenha papel fundamental para uma adequada fermentação no silo, na elevação da proporção de nutrientes e diminuindo fermentações indesejáveis, seja ela por bactérias do gênero *Clostridium* ou por fungos. Sendo assim, o teor de matéria seca é um dos mais importantes critérios na determinação do momento mais adequado de colheita da forrageira. As recomendações acerca do teor de matéria seca de forrageiras no momento de ensilagem são variáveis, e segundo McDonald et al. (1991) forrageiras com conteúdo de matéria seca acima de 25 % associadas a um adequado conteúdo de carboidratos solúveis, apresentariam um bom perfil de fermentação. Brito (1999) avaliando sorgos de porte alto, médio e baixo conseguiu produzir silagens de boa qualidade a partir de materiais com teores de matéria seca variando de 25,5 a 31,5 %. Para outros autores seriam necessários em torno de 30 a 35 % de matéria seca para favorecimento da fermentação láctica (Paiva, 1976; Van Soest, 1994). Segundo Zago (1991) silagens de milho colhido com 33 % de matéria seca, aumentaram a produção de espiga de 37 para 51 %, maximizando o consumo voluntário e a produção de leite e reduzindo o custo do transporte.

O avanço do estágio de maturação no sorgo é caracterizado por diminuição da proporção de colmo e folhas, e acentuado aumento da participação de panículas, devido à intensa formação dos grãos. Segundo Pereira et al. (1993) o teor de matéria seca se eleva mais rapidamente em híbridos de portes médio e baixo, devido à maior participação da fração panícula nestes. Araújo (2002) analisando os componentes estruturais de híbridos de sorgo de duplo propósito colhidos em cinco diferentes estádios de maturação observou que a panícula foi a maior responsável pela elevação do teor de matéria seca, com correlação de (r=0,80) entre as duas variáveis. Os teores de matéria seca da panícula variaram de 43,14 % a 77,91 %; 43,25 % a 81,81 % e 43,81 % a 77,08 % do estágio de grão leitoso até grão duro. Neumann et al. (2002a) comparando as partes físicas constituintes da planta de sorgo, observaram que os teores de matéria seca dos componentes da planta, colmo e folhas representaram 60,03 % e 56,93 % do teor de matéria seca da panícula, respectivamente. Sendo assim, a panícula o componente de maior importância para a determinação do momento ideal de corte do sorgo para ensilagem.

O valor nutritivo da silagem de sorgo normalmente reduz com o avançar da maturidade da planta, o que, no entanto, pode ser compensada por uma maior participação da fração de amido proveniente dos grãos, principalmente em cultivares de elevada produção de grãos. A redução da digestibilidade do sorgo, com o avanço da maturidade da planta ocorre devido à lignificação e formação de ligações entre a lignina e as hemiceluloses. Entretanto, existem vários trabalhos contraditórios na literatura acerca do efeito da idade de corte do sorgo sobre o valor nutritivo deste. Araújo (2002) não observou diferenças nos teores de fibra em detergente neutro, fibra em detergente ácido, lignina e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) para híbridos de dupla aptidão colhidos em estádios de grãos leitoso, leitoso/pastoso, pastoso, farináceo e duro. Já Correa (1996) avaliando oito estádios de maturação (do florescimento até grãos secos) de híbridos de sorgo de dupla aptidão, observou um comportamento diferente entre os híbridos para as características de acumulação das frações fibrosas e DIVMS.

De acordo com Church (1988) a dieta de ruminantes deve conter pelo menos 7 % de proteína bruta para fornecimento de nitrogênio adequado ao crescimento das bactérias ruminais, e fermentação eficiente. Andrade e Carvalho (1992) observaram que o teor de proteína na cultivar de sorgo AG2002 variou com o estágio de maturação, sendo encontrados valores

de 5,36 %, 5,86 % e 5,47 % para plantas colhidas em estádio de grãos leitosos, farináceos e duros, respectivamente; e que a panícula foi responsável por mais de 60 % do acúmulo de proteína bruta produzida.

Neumann et al. (2002b) avaliando silagens de sorgo encontraram valores médios de proteína bruta de 6,38 % e 5,37 % para híbridos de dupla aptidão e forrageiro, respectivamente. Esta variação nos teores de proteína bruta entre os híbridos foi justificada pelas diferenças quanto às porcentagens nos componentes colmo, folha e panícula, assim como pela variação nos teores de proteína bruta nestes componentes entre os híbridos. Silva (1997) trabalhando com silagem de sorgo de porte baixo, médio e alto observou aumento dos teores de proteína bruta com o aumento progressivo da participação da fração panícula. A grande variabilidade genética em híbridos de sorgo para produção de silagem serve de base para que os programas de melhoramento genético busquem a seleção de materiais com melhor qualidade de colmo e folhas visando melhorias no valor nutricional dos materiais.

Demarchi (1933) avaliando um híbrido de sorgo com elevada porcentagem de grãos na alimentação de ovinos encontraram digestibilidades de 58 %, 61 %, 61%, 58 % e 57 %, para plantas colhidas em estádios de grãos leitosos, pastosos, pastosos/farináceos, farináceos e duros, respectivamente. Já Andrade e Carvalho (1992) utilizando carneiros não observaram diferenças entre a digestibilidade para as silagens colhidas nos estádios de grãos leitosos, farináceos e duros. No entanto, observaram maiores consumos quando as silagens foram confeccionadas em estádios de grãos farináceos e duros.

1.4. A caracterização da lignina como metodologia de avaliação de forrageiras

1.4.1. Componentes da parede celular

1.4.1.1. Carboidratos

Os carboidratos são os componentes mais abundantes em plantas, sendo responsáveis por 50-80 % do peso seco das forrageiras. A energia oriunda da fotossíntese é fixada em carbonos via ciclo de Calvin para compor o metabolismo intermediário da planta. Na planta os carboidratos têm papel chave no metabolismo intermediário, na transferência e estocagem de energia e também na estrutura da planta. Os carboidratos compõem a

maior parte da parede celular da planta, desenvolvendo papel primordial na integridade estrutural das células, tecidos e órgãos (Van Soest, 1994; Moore e Hatfield, 1994).

A parede celular pode ser considerada como um composto constituído de fibrilas de celulose embebidas em uma matriz de lignina e de hemiceluloses. Além desses componentes a parede celular intacta contém água, solventes orgânicos e compostos fenólicos. A composição da parede celular é variável entre diferentes órgãos e tecidos, e em nível sub-celular. A parede celular primária é formada adjacente ao plasmalema durante a alongação da célula, e consiste quase que exclusivamente de polissacarídeos. Já a parede celular secundária é formada durante a diferenciação celular interior a parede primária, e tem a composição variada dependendo do tipo celular. Células individuais são juntadas na lamela média, a qual consiste em substâncias pécticas as quais funcionam como cimento intercelular (Cutter, 1986; Moore e Hatfield, 1994).

A parede celular é formada durante o processo de divisão celular, sendo que durante a divisão nuclear é então formada uma placa na posição equatorial do fuso. A natureza da placa celular ainda não é conhecida, mas dá origem à lamela média, que é composta por substâncias pécticas. A parede primária é a primeira a ser formada pela célula e é depositada sobre cada lado da lamela média pelas células adjacentes. É composta principalmente por celulose, hemiceluloses e outros polissacarídeos. Já a parede secundária é formada após a célula ter completado seu alongamento. Onde é formada a parede secundária, ela é depositada no lado interno da parede existente, junto ao lúmen celular. É constituída principalmente de celulose e outros polissacarídeos, com pouca participação da hemiceluloses. Muitas substâncias podem ser depositadas na parede, como, por exemplo, a lignina. Onde a parede secundária torna-se lignificada a parede primária também o faz, sendo que a lignificação geralmente se inicia pela parede primária ou pela lamela média. De maneira geral, considera-se que a parede secundária seja responsável pela resistência mecânica da planta (Cutter, 1986).

Os carboidratos são a principal fonte de energia para os ruminantes, sendo que 90 % ou mais da digestão destes ocorrem no rúmen, numa extensão dependente da taxa de passagem. A extensão da degradação ruminal depende do tipo de carboidratos submetidos à degradação. Açúcares simples são

rapidamente fermentados a ácidos graxos voláteis os quais são absorvidos diretamente pela parede ruminal. Já os polissacarídeos devem primeiro ser degradados, para então serem fermentados. Os polissacarídeos não estruturais, como amido e frutanas e as pectinas são rapidamente, e geralmente, completamente degradados no rúmen. Enquanto os polissacarídeos celulose e hemiceluloses são lenta e incompletamente degradados. A digestibilidade da celulose de forrageiras varia de 25-90 %, enquanto a digestibilidade da hemiceluloses varia 45-90 % (Van Soest, 1994; Moore e Hatfield, 1994).

Segundo Chesson e Forsberg (1994) a degradação dos polissacarídeos da parede celular é afetada mais especificamente pelas interações entre os polímeros da parede celular do que pelas propriedades particulares destes polímeros. A celulose é degradada no rúmen por um complexo de microrganismos que incluem bactérias, fungos e protozoários. *Ruminococcus flavefaciens*, *R. Albus* e *Fibrobacter succinogenes* são as principais bactérias responsáveis pela degradação da celulose.

As bactérias celulolíticas se aderem à superfície da parede celular, liberando enzimas próximas ao substrato. A extensão a qual a celulose é utilizada pelos microrganismos é principalmente limitada pela associação entre a lignina e os outros constituintes da parede celular. A degradação da hemiceluloses ocorre de maneira similar àquela da celulose, com participação mais ativa da *Butirivibrio fibrisolvens*, que possui grande potencial na degradação de xilanas. A participação de fungos e protozoários na degradação de hemiceluloses por sua vez tem menor importância quando comparado à celulose (Hobson e Stewart, 1997).

1.4.1.2. Ligninas

1.4.1.2.1. Definição e classificação

A digestão de polissacarídeos da parede celular é limitada pela presença de compostos fenólicos na matriz da parede. Estes compostos fenólicos são compostos principalmente por lignina e ácidos fenólicos, ligados à lignina ou diretamente à parede celular. A lignina é o maior componente não polissacarídeo presente na parede celular, e é considerada como totalmente indigestível por ruminantes. A principal função da lignina na planta é como componente estrutural dando rigidez e resistência à parede celular. É também um importante limitador da perda de água reduzindo a

permeabilidade celular e impedindo a invasão de microrganismos causadores de doenças (Cutter, 1986; Van Soest, 1994).

A composição da lignina é de difícil determinação devido tanto à sua complexidade quanto também por sofrer modificações em sua estrutura durante seu isolamento da parede celular. A lignina é definida como um polímero de unidades fenilpropanóides denominadas C_6C_3 , ou simplesmente C_9 , repetidas de forma irregular, originadas da polimerização desidrogenativa do álcool coniferílico. Desta maneira a lignina é fundamentada na unidade básica C_6C_3 , designando os carbonos da cadeia alifática, C3, como α , no caso do carbono benzílico, e β e γ , seqüencialmente, para os demais átomos. C_6C_3 designa os carbonos da cadeia alifática, onde C3 designa a ligação (Saliba et al., 2001).

Lapierre (1993) classificou a lignina em *core* e *não core*, com base em sua susceptibilidade à hidrólise. A lignina *core* consiste de polímeros altamente condensados formados por polimerização desidrogenativa dos álcoois hidroxicinâmicos, p-cumáricos, coniferol e álcoois sinapil. A lignina *não core* é aquela de baixo peso molecular, que é liberada da parede celular por hidrólise em álcalis ou ácido, e é representada por ácidos p-hidroxicinâmico éster ligados. Os ácidos ferúlicos e p-cumáricos são predominantes na lignina *não core*.

As ligninas são freqüentemente classificadas segundo sua composição de monômeros. Os precursores aromáticos da lignina são referidos como p-hidroxifenil, guaiacil e siringil, baseados em sua substituição nas posições 3 e 5. As ligninas formadas predominantemente a partir do álcool p-cumárico são classificadas como p-hidroxifenil (H) ligninas; aquelas formadas predominantemente a partir do álcool coniferil são classificadas como guaiacil (G); e aquelas formadas a partir do álcool sinapil são classificadas como siringil (S). A composição monomérica da lignina geralmente é determinada por quantificações das proporções relativas de benzaldeídos liberados por oxidação em nitrobenzeno (Chen, 1991; Pilo-Veloso et al., 1993; Van Soest, 1994).

Sarkanem e Ludwig (1971) classificaram as ligninas quanto à presença destes monômeros como: ligninas de madeiras duras ou angiospermas, formadas principalmente por unidades G e S; ligninas de madeiras moles ou gimnospermas, formadas principalmente de unidades G; e ligninas de gramíneas formadas por unidades de G-S-H. No

entanto, Chen (1991) encontrou lignina de gramíneas com abundância de G e S.

Segundo Saliba et al. (2001) a nomenclatura da lignina se fundamenta na unidade básica fenilpropanóide C_6C_3 , e nomeia os carbonos da cadeia alifática, C_3 , como α no caso do carbono benzílico, e como β e γ , para os demais átomos. A numeração do anel aromático inicia-se pelo carbono ligado à cadeia alifática, C_3 . Dessa forma, o anel aromático é denominado de acordo com seus substituintes:

Guaiacila (G) $R_1 = OH; R_2 = H$ e $R_3 = OCH_3$
Siringila (S) $R_1 = OH; R_2$ e $R_3 = OCH_3$
p-Hidroxifenila (H) $R_1 = OH; R_2$ e $R_3 = H$

Ralph e Helm (1993) propõem que a lignina seja definida como unidades hidroxifenilpropanóides e seus conjugados, devido à ligação da lignina com as hemiceluloses.

1.4.1.2.2. Biossíntese da lignina

A lignina é formada a partir da reação de um radical livre na qual os precursores são condensados inteiramente ao acaso. A extração da lignina com álcalis produz predominantemente os derivados do ácido cinâmico, ácido p-cumárico e ácido ferúlico. Todas as ligninas e seus compostos fenólicos, como as flavonas e isoflavonas, têm origem da via do ácido chiquímico, a qual é responsável pela produção de todos produtos fenilpropanóides. A biossíntese dos compostos aromáticos nas plantas pode ocorrer por três vias: alguns compostos são formados diretamente pela via do ácido chiquímico; outros são formados pela via do ácido gálico, através do ácido quínico; já os compostos terpenóides são formados pela polimerização do isopreno (3-metilbuteno). Uma quarta rota não biológica é a reação de Maillard, na qual os catecóis são formados a partir de açúcares devido ao calor, umidade e aminoácidos. Os compostos fenólicos nas plantas são frequentemente combinados com substâncias de outras classes, como terpenóides, ou conjugados com açúcares. Já por sua vez, a lignina se liga covalentemente às hemiceluloses (Van Soest, 1994; Moore e Hatfield, 1994).

Os principais polifenóis para formação da lignina pertencem ao grupo dos fenilpropanóides, incluindo os aminoácidos aromáticos fenilalanina, tirosina e triptofano. Os produtos polifenólicos incluem as flavonas, os taninos condensados, as lignanas, as ligninas e isoflavonas. Os ácidos cinâmicos são

produzidos a partir da tirosina e fenilalanina (Van Soest, 1994).

1.4.1.2.3. Mecanismos de inibição da digestibilidade pela lignina

A digestão dos polissacarídeos da parede celular é limitada pela presença de compostos fenólicos na matriz da parede celular. Os mecanismos pelos quais a degradação ruminal da celulose e das hemiceluloses das forrageiras é limitado pelos compostos fenólicos não são totalmente compreendidos. A íntima associação física entre a lignina e os polissacarídeos da parede celular e as ligações covalentes são os maiores fatores limitadores do acesso das hidrolases microbianas ao substrato, limitando assim a digestibilidade dos polissacarídeos estruturais. A interferência da lignina sobre as enzimas que degradam a parede celular é considerada o mecanismo primário pelo qual a lignina limita a digestibilidade dos polissacarídeos estruturais (Moore e Hatfield, 1994; Van Soest, 1994).

Existem grandes evidências das implicações dos ácidos hidroxicinâmicos (p-cumárico e ferúlico) na digestão da parede celular. Segundo Jung (1989) existe uma correlação negativa entre a concentração de ácidos hidroxicinâmicos que são extraídos por álcalis e a digestibilidade de forrageiras. A concentração de ácido p-cumárico aumenta na planta com o avanço da maturidade, mas a do ácido ferúlico se mantém relativamente constante. Possivelmente, o ácido ferúlico encontra-se primariamente associado com o desenvolvimento da parede celular, enquanto a deposição de ácido p-cumárico ocorre ao longo de toda formação da parede, incluindo a formação da parede secundária.

Vários estudos utilizam os ácidos p-cumárico e ferúlico, ou seus derivados (hidroxibenzaldeído, vanilina e siringaldeído) como index de digestibilidade de forrageiras. Os ácidos cinâmicos podem ser esterificados ou eterificados aos polissacarídeos da parede celular (Jung, 1988; Ralph e Helm, 1993; Noguera, 2002). Devido a esta natureza bifuncional, os ácidos cinâmicos são capazes de formar pontes entre os componentes da parede celular através de ligações éster ou éter. Segundo Moore e Hatfield (1994) os ácidos cinâmicos esterificados inibem mais fortemente a degradação da celulose mais intensamente que ácidos cinâmicos livres. O ácido p-cumárico muitas vezes está envolvido em ligações éter e éster com outros polímeros da parede celular.

Segundo Noguera (2002) o avanço do estágio de maturação de híbridos de sorgo foi acompanhado por aumento na concentração de hidroxibenzaldeído, vanilina e siringaldeído. Considerando que a vanilina é o principal derivado do ácido ferúlico, e que este é o maior responsável pelas ligações fortes entre a lignina e as hemiceluloses, neste mesmo experimento Noguera (2002) e Saliba (1998) observaram menor digestibilidade de materiais que tiveram maior relação vanilina/siringaldeído.

Outros mecanismos para o efeito inibitório dos fenólicos sobre a digestão de forrageiras incluem toxicidade sobre os microrganismos ruminais, inibição da adesão dos microrganismos às partículas de fibra durante a digestão ruminal e um efeito hidrofóbico da lignina que impede a presença de água no espaço adjacente ao substrato, limitando assim o acesso de enzimas ao substrato (Jung, 1988; Moore e Hatfield, 1994).

1.4.1.2.4. Avaliação de forrageiras utilizando microscopia eletrônica de varredura (MEV)

A performance animal é o produto do suprimento e concentração de energia e nutrientes, do consumo, da digestibilidade e do metabolismo. Destes o consumo é dos principais a influenciar o desempenho animal, e sofre efeito direto da qualidade da forrageira. Segundo Minson e Wilson (1994) a anatomia da planta influencia o consumo de acordo com diferenças na quantidade de parede celular e digestibilidade desta, o que é devido principalmente a diferentes proporções entre células de parede fina e espessa, e ao grau de lignificação.

Em geral as gramíneas C4 apresentam menos tecido mesófilo por unidade de célula que gramíneas da rota C3, e que a concentração de proteína nas células mesófilas das plantas C4 é normalmente menor que das C3, causando geralmente um menor valor nutritivo das gramíneas da rota C4 (Nelson e Moser, 1994). Segundo Reid (1994) a degradação de folhas e caules de plantas forrageiras por microrganismos ruminais mostrou nítidas diferenças nas proporções de tipos de tecido entre plantas da rota C3 e C4, indicando que o arranjo anatômico do esclerênquima foi o maior fator que influenciou a digestão celular.

A organização da estrutura anatômica influencia o tamanho da estrutura da fibra e sua resistência à quebra das partículas suficientemente pequenas para deixar o rúmen. O tecido vascular e o esclerênquima são aqueles que mais contribuem para aumentar o

tamanho de partícula no rúmen, uma vez que são intensamente lignificados (Saliba, 1988). Juntamente com a epiderme eles são responsáveis pela manutenção da integridade das folhas e colmo, sendo necessário a mastigação durante a alimentação e ruminação para quebra destes tecidos (Minson e Wilson, 1994).

As análises químicas dos alimentos, não conseguem por si só, explicar vários aspectos da digestão de ruminantes. Estas técnicas dão informações sobre frações como celulose, hemiceluloses, pectina e ligninas, mas não conseguem avaliar o efeito da distribuição destas frações na parede celular, que em grande parte é responsável por variações na digestibilidade dos componentes da parede celular. Informações sobre a estrutura da planta relacionadas à quebra da parede celular podem em muito complementar as informações de caracterização química e de digestibilidade da matéria seca (Grenet, 1991; Akin et al., 1983).

Estudos de gramíneas utilizando a técnica de microscopia são capazes de detectar diferenças anatômicas entre plantas, especialmente na parede celular e seus sítios de lignificação que afetam a digestibilidade, tanto entre plantas quanto entre as diferentes partes das plantas. Além da digestão a microscopia pode oferecer uma forma adicional de comparação da taxa e extensão da degradação ruminal, permitindo também acompanhar os processos de colonização dos tecidos pelos microrganismos (Noguera, 2002). A microscopia eletrônica de varredura (MEV) consegue grande definição a qual é capaz de determinar perdas teciduais na superfície das amostras após a degradação, o que permite uma visualização mais fácil da quebra de diferentes tecidos da planta e do ataque seletivo dos microrganismos sobre os diferentes tecidos. Sendo assim, a avaliação microscópica pode em particular ser aplicada em programas de melhoramento genético de forrageiras, através da avaliação na variação da micro-anatomia ou na disponibilidade da parede celular aos microrganismos ruminais. Ou ainda pode ser utilizada em programas que envolvem a avaliação de manejo e meio ambiente que possivelmente podem alterar a digestibilidade da fibra. Nestes casos a MEV mostra-se uma técnica de avaliação rápida e eficiente (Akin, 1979, Noguera, 2002).

Noguera (2002) avaliando a degradabilidade de diferentes genótipos de sorgo e Saliba et al. (2001) estudando a degradação da palha de milho e de soja observaram que a extensão da digestão dos tecidos da planta segue a seguinte ordem: parênquima

primário, parênquima secundário, esclerênquima e por fim o tecido vascular lignificado. Segundo Noguera (2002) o tecido cutinizado constituiu uma barreira limitante da degradabilidade dos genótipos de sorgo avaliados. Desta forma torna-se claro a importância dos processos de mastigação e ruminação na digestão das forrageiras, uma vez que permitem maiores áreas de colonização pelos microrganismos ruminais. Grenet (1991) avaliando a degradação *in situ* do milho nos tempos de oito, 24, 48 e 72 horas, observou que o floema foi o primeiro tecido a sofrer degradação completa, seguido do parênquima interno do caule, em último lugar pelo parênquima externo.

1.5. A estimativa da digestibilidade de forrageiras utilizando-se métodos laboratoriais

A obtenção de dados acurados sobre a digestibilidade e consumo de forrageiras é um importante parâmetro na formulação dietas para ruminantes. No entanto, a determinação destes parâmetros em alimentos utilizando técnica *in vivo* é extremamente laboriosa, tem elevado custo, exigem uma quantidade muito grande de amostras, além de ser incompatível com uma grande escala de produção. Todos estes problemas têm sido responsáveis pelo desenvolvimento de técnicas biológicas e químicas que possam ser utilizadas para estimativa da digestibilidade de alimentos. A grande preocupação se concentra no desenvolvimento de equações de regressão capazes de prever satisfatoriamente uma ampla variedade de forrageiras (Weiss, 1994; Minson e Wilson, 1994).

Os métodos biológicos simulam o processo de digestão e podem ser utilizados para estimar a digestibilidade dos alimentos. Os métodos biológicos de maior disponibilidade utilizados rotineiramente são: o método *in vitro* de dois estádios descrito por Tilley e Terry (1963), a metodologia de produção de gases (Menke et al., 1979), os métodos enzimáticos e a técnica de desaparecimento *in situ*.

1.5.1. A técnica *in vitro* de dois estágios

O primeiro relato da determinação da digestibilidade de alimentos utilizando-se a incubação em conteúdo ruminal é datado de 1919 por Waentig e Gierisch (Hungate, 1966), sendo, no entanto, os resultados obtidos muito aquém dos valores obtidos pelas técnicas *in vivo*. O maior avanço da técnica de digestibilidade *in vitro* ocorreu quando McDougall

(1948) descreveu a composição da saliva de ovinos e desenvolveu o sistema de tamponamento, que simula a saliva, até hoje utilizado em sistemas de incubação em conteúdo ruminal.

A técnica *in vitro* para determinação da digestibilidade da matéria seca sofreu muitas modificações ao longo do tempo, e em 1963 Tilley e Terry desenvolveram a técnica dos dois estágios que até hoje é amplamente utilizada. A técnica *in vitro* dos dois estágios consiste da incubação de uma pequena quantidade de amostra (0,5 g) em 10 ml de líquido ruminal e em 40 ml de solução tamponante, em frascos mantidos em condições de anaerobiose por um período de 48 horas. Após 48 horas de incubação a fermentação é então paralisada pela adição de mercúrio clorídrico. Em seguida a amostra é centrifugada, e o resíduo digerido em pepsina ácida. Após 48 horas de digestão, a amostra é finalmente centrifugada e seca para determinação da digestibilidade *in vitro* da matéria seca.

Devido a necessidade de uma técnica mais rápida, precisa e acurada para análise de rotina de forrageira a técnica de Tilley e Terry (1963) sofreu algumas modificações, sem sacrifícios a acurácia ou precisão. Alexander e McGowan (1966) retiraram a fase de centrifugação entre as fases de fermentação e o estágio da pepsina. Já Minson e McLeod (1972) foram os primeiros a incubar as amostras em tubos de centrífuga, eliminando assim o passo de transferência.

Embora o método de Tilley e Terry (1963) tenha sido exaustivamente validado com valores *in vivo*, apresenta ainda assim algumas desvantagens: dá apenas uma observação da amostra, é uma técnica laboriosa, não dá informações sobre a cinética de digestão, é uma análise destrutiva, requer número elevado de réplicas e manutenção constante de um animal doador de líquido ruminal (Getachew et al., 1998).

1.5.2. A técnica da degradabilidade *in situ*

O fator principal que controla a produção animal é a quantidade de alimento que o animal consegue consumir por dia. O consumo voluntário está positivamente relacionado com a digestibilidade de forrageiras, sendo uma das características mais utilizadas em programas de melhoramento e seleção de forrageiras. A digestibilidade da parede celular no rúmen representa cerca de 80 % da digestibilidade da forrageira no trato digestivo.

Nas últimas décadas, os métodos *in vitro* e *in situ* acrescentaram um grande avanço no conhecimento

da cinética da degradação de alimentos no rúmen. A maior fonte de dados experimentais utilizados na modelagem de degradação tem origem em estudos do desaparecimento do nitrogênio, os quais têm sido amplamente utilizados pelos sistemas modernos de elaboração de requerimentos protéicos e na avaliação de alimentos para ruminantes (Sauvant, 1997).

Os sistemas de caracterização da fração nitrogenada reconhecem a importância da fração nitrogenada no rúmen, permitindo estimar a quantidade de nitrogênio disponível para a síntese microbiana e aquela que sofrerá digestão enzimática e será absorvida no intestino delgado (Romero, 1990).

Existem duas maneiras de se estimar a degradabilidade de alimentos no rúmen: o método *in vivo* e o *in situ*. O método *in vivo* utiliza animais fistulados no rúmen e no duodeno, de onde são coletadas amostras por longos períodos. Outro inconveniente é não permite calcular a taxa de degradação dos alimentos no rúmen.

A técnica da degradabilidade *in situ* consiste na incubação de alimentos em sacos de náilon no rúmen de um animal fistulado em diferentes períodos. É uma técnica frequentemente utilizada para estimativa do potencial de degradabilidade, da taxa e extensão de desaparecimento das várias frações constituintes do alimento. O AFRC (1992) adota esta técnica como metodologia padrão para caracterização da degradabilidade ruminal do nitrogênio por fornecer valores mais acurados com aqueles *in vivo*.

A desvantagem do método é que apenas um pequeno número de amostras pode ser avaliado ao mesmo tempo, e que é necessário, no mínimo três animais fistulados para descontar a variação do animal. Outra grande crítica à metodologia é a baixa repetibilidade dos resultados de degradabilidade da proteína de um mesmo alimento. Esta elevada variação dos resultados pode ser decorrente de uma falta de padronização na determinação do nitrogênio e na lavagem dos sacos após a incubação entre diferentes pesquisadores (Romero, 1990; Getachew et al., 1998).

1.5.4. A técnica de produção de gases na avaliação da qualidade dos alimentos

O desempenho produtivo dos ruminantes é amplamente influenciado pela qualidade da forrageira presente na alimentação, refletindo diretamente sobre a digestibilidade e consumo

voluntário (Minson, 1990). No entanto, a determinação do consumo e digestibilidade de um alimento utilizando metodologias *in vivo* é de uma forma geral muito laboriosa e cara. Por este motivo muita pesquisa tem sido realizada focando o desenvolvimento de técnicas laboratoriais na determinação do valor nutritivo de alimentos.

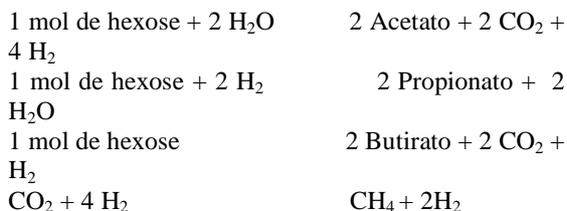
Existe uma íntima associação entre a fermentação no rúmen com a produção de gases durante a fermentação, sendo que desde a década de 40 várias técnicas vêm sendo desenvolvidas para quantificação dos gases produzidos com a finalidade de avaliação do valor nutritivo dos alimentos (Quin, 1943). A partir de então, várias técnicas de determinação da produção de gases foram desenvolvidas baseadas no deslocamento de água. No entanto, a técnica de produção de gases foi introduzida como método de rotina na avaliação de alimentos apenas após o trabalho de Menke et al. (1979) no qual foi descrita a elevada correlação entre a produção de gases *in vitro* e a degestibilidade aparente *in vivo*.

No rúmen os microrganismos hidrolisam os polissacarídeos das plantas como a celulose, hemiceluloses, pectina, frutanas e amido a monômeros ou dímeros de açúcar, os quais são então fermentados. Os principais produtos finais oriundos do consórcio ruminal de bactérias, fungos e protozoários são os ácidos: acético, propiônico e butírico, além dos gases metano e dióxido de carbono (Hobson, 1997). No ruminante *in vivo* estes gases são naturalmente eliminados pela eructação, no entanto, quando um alimento é incubado em líquido ruminal tamponado, estes gases podem ser mensurados pela técnica *in vitro* de produção de gases. Já a produção de gases oriunda da fermentação ruminal de proteína é relativamente bem menor daquela oriunda de carboidratos, e irrisória quando advém da fermentação de gordura (Getachew et al., 1998). A técnica de produção *in vitro* de gases também mede de maneira indireta o CO₂ liberado do tampão bicarbonato presente no líquido ruminal.

O gás é produzido principalmente quando o substrato é fermentado a acetato e butirato. Já o substrato fermentado a propionato produz gás apenas do tamponamento do ácido, com relativamente pequena quantidade de gás sendo produzido a partir do propionato. A proporção molar dos ácidos graxos de cadeia curta (acético, butírico e propiônico) produzida tem estreita relação com o tipo de substrato fermentado. Carboidratos rapidamente fermentáveis produzem relativamente maiores proporções de propionato do que de acetato, e

conseqüentemente menos gases diretos. Desta maneira a comparação de substratos diferentes deve levar em conta relação acetato: propionato no final da fermentação.

Hungate (1966) descreveu a estequiometria das reações da fermentação das hexoses no rúmen:



Um importante aspecto dos sistemas anaeróbicos é que as leis estequiométricas do balanço fermentativo podem ser aplicadas, desde que os produtos da fermentação sejam derivados do substrato incubado. De acordo com Getachew et al. (1998) existe uma elevada correlação entre a produção de gases calculada pela estequiometria e os valores calculados. O balanço estequiométrico permite o cálculo teórico da quantidade equilibrada dos produtos, ácidos graxos de cadeia curta e gases. Se a proporção molar e a quantidade de ácidos graxos de cadeia curta são conhecidas, a quantidade teórica de CH₄ e CO₂ oriundas da fermentação no rúmen podem ser calculadas.

1.5.4.1. Fatores que influenciam a técnica de produção de gases

1.5.4.1.1. Preparo das amostras

O preparo das amostras para estudo *in vitro* inicia-se com a secagem seguida da moagem do material. A secagem de amostras a baixa temperatura por períodos mais prolongados são mais recomendadas para se evitar alterações no valor nutritivo causadas pelo calor (Van Soest, 1994). Segundo Vik-Mo (1989) a utilização de microondas, liofilização e secagem a frio de amostras de silagens podem reduzir as alterações indesejáveis, com melhor conservação dos ácidos graxos voláteis e da fração nitrogenada.

A redução do tamanho de partícula da amostra favorece a adesão dos microrganismos, aumentando a taxa de degradação. A moagem mecânica é a forma mais comum de redução do tamanho de partículas de um alimento. A maioria dos trabalhos utilizando a técnica *in vitro* de produção de gases recomenda moagem utilizando peneiras de um (1)

mm (Menke et al., 1979; Theodorou et al., 1994; Mauricio et al., 1999). Tamanho de partícula menor garantem a homogeneidade do material, permitindo a utilização de menores quantidades reduzida da amostra.

1.5.4.1.2. Fluido ruminal e anaerobiose

A composição do fluido ruminal pode variar entre diferentes dias, dependendo da dieta recebida pelo animal doador, do tipo de animal e do horário da coleta em relação ao horário da alimentação. Devido a estes fatores as pesquisas utilizando técnicas de fermentação *in vitro* devem descrever na metodologia de pesquisa dados sobre a espécie doadora do líquido como condição fisiológica e sexo, raça, além de dados sobre a dieta e horário de coleta (Schofield, 2000).

Segundo Williams (2000) o líquido ruminal coletado antes do fornecimento da dieta é mais homogêneo e de melhor composição, porém menos ativo que aquele coletado duas horas após a refeição. Mauricio et al. (1999) afirmam que o líquido ruminal coletado de duas a quatro horas após a refeição apresenta aumento da população microbiana, com tendência a domínio de espécies sacarolíticas e aminolíticas. Alguns autores recomendam que a coleta seja realizada antes da refeição (Menke et al., 1979; Theodorou et al., 1994, Mauricio et al., 1999); outros recomendam coleta duas horas após a refeição (Pell e Schofield, 1993).

Segundo Mauricio et al. (1999) o líquido ruminal deve ser coletado de várias partes distintas do rúmen, e o transporte realizado em garrafas térmicas completamente cheias, para total eliminação do oxigênio. Vários métodos são utilizados para coleta do fluido ruminal, separação do fluido contendo os microrganismos da digesta. Para estudos de digestibilidade *in vitro* a filtragem direta é a metodologia mais utilizada, recuperando muitos microorganismo, especialmente os celulolíticos. Após a coleta a manutenção das condições de anaerobiose é conseguida gaseando-se o meio de cultura com CO₂ continuamente.

Van Soest (1994) recomenda que a concentração do substrato não exceda 1 % do volume da cultura a fim de se evitar hiperatividade dos microrganismos e elevação da pressão osmótica, garantindo assim capacidade de tamponamento do meio. Os meios de cultura para estudos *in vitro*, são normalmente diluídos com uma solução tampão antes da inoculação do substrato. Tilley e Terry (1963) e Pell e Schofield (1993) recomendam de 20 a 25 % de

conteúdo ruminal; Menke et al. (1979) e Cone et al. (1996) 33 %; já Theodorou et al. (1994) recomendam 10 %. Hidayat et al. (1993) observaram que o aumento da densidade microbiana do inóculo foi responsável por um aumento na taxa de produção de gases nas primeiras 24 horas, embora sem diferenças entre a produção total de gás. Segundo estes autores a densidade microbiana aumentou a taxa, mas não a extensão da digestão, podendo-se afirmar assim que a taxa de digestão no rúmen é afetada pelo ambiente ruminal, mas a extensão é controlada pela composição da forrageira.

1.5.4.1.3. Tamponamento

O rúmen é um sistema onde há um constante influxo de água e ingesta, e produção de ácidos oriundos da fermentação. O pH ruminal, entretanto, permanece constante (6-7) uma vez que os ácidos da fermentação são removidos do meio por absorção através da parede ruminal e/ou neutralizados pelo sistema tampão. Entretanto, os sistemas de cultura de fermentação *in vitro* se diferenciam do rúmen, principalmente por não apresentarem este sistema de remoção dos produtos finais da fermentação. Para estudos em sistemas de fermentação que avaliam a produção *in vitro* de gás recomenda-se um intervalo de pH entre 6,2 e 6,8 (Schofield, 2000).

Os tampões utilizados em incubações *in vitro* são baseados nos estudos da saliva desenvolvida por McDougal (1949). Existe alguma variação na composição das salivas artificiais utilizadas por diferentes laboratórios, mas de uma maneira geral recomenda-se um tampão bicarbonato e fosfato, uma fonte de nitrogênio, solução mineral e resazurina como indicador do potencial redox. Durante a preparação do meio recomenda-se a contínua utilização de CO₂ para manutenção do baixo potencial redox para que não haja prejuízo aos microrganismos estritamente anaeróbicos, como os celulolíticos e aminolíticos. Recomenda-se também sempre considerar a quantidade de amostra e volume do meio para se evitar exaustão do tampão e redução da atividade microbiana.

1.5.5. Técnicas de mensuração *in vitro* da produção de gases

A técnica de produção de gases *in vitro* apresenta algumas vantagens quando compara com a técnica *in vitro* de Tilley e Terry (1963). Os métodos *in vitro* são baseados em medidas gravimétricas do

desaparecimento de componentes que nem sempre contribuem para fermentação e produção de gases. Além disso, na metodologia de produção de gases a cinética de fermentação pode ser avaliada em uma única amostra utilizando uma pequena quantidade de amostra.

McBee (1953) avaliou a produção de gases de vários substratos utilizando um método manométrico. Já em 1965 El-Shazly e Hungate mediram as taxas de fermentação ruminal utilizando um método manométrico de volume constante. Embora o método manométrico permita avaliar quantitativamente os ácidos e gases produzidos durante a fermentação, tem a desvantagem de não permitir o manejo de um grande número de amostras, sendo, portanto, de pouca aplicabilidade na rotina para avaliação de alimentos.

As técnicas de produção de gases mais utilizadas para avaliação de alimentos, dos mecanismos de fermentação microbiana e de ação de fatores antinutricionais disponíveis atualmente são: Método de Hohenheim ou das seringas de vidro (Menke et al., 1979), sistema de deslocamento de líquidos (Beuvink et al., 1992), métodos manométrico (Waghorn e Stafford, 1993), sistemas de transdutores de pressão manual (Theodorou et al., 1994) e sistemas automáticos (Pell e Schofield, 1993; Devies et al., 1995).

O sistema descrito por Theodorou et al. (1994) utiliza um transdutor de pressão para avaliação do gás produzido durante a fermentação de alimentos, com o auxílio de agulhas hipodérmicas acopladas ao transdutor de pressão com leitor digital, as quais são inseridas manualmente no frasco. Este método permite avaliação de um grande número de amostra com um custo bastante baixo. Uma vantagem do método de Theodorou et al. (1994) com relação ao de Pell e Schofield (1993) é que no primeiro um único transdutor faz as leituras em todos os frascos, enquanto no segundo método cada frasco necessita de seu próprio sensor de pressão. Uma desvantagem dos dois métodos é que a pressão acumulada não é liberada a cada leitura e isto pode influenciar negativamente a fermentação microbiana. Por outro lado um aumento da pressão pode também alterar a solubilidade dos gases no meio, implicando em erros nas leituras.

Mauricio et al. (1999) modificaram a técnica de Theodorou et al. (1994) e desenvolveram a *Reading Pressure Technique* (RTP). A RTP é uma técnica semi-automática na qual o substrato é incubado em fluido ruminal tamponado em frascos selados. A

técnica reduz consideravelmente o tempo de mensuração, permitindo maior número de observações e permite uma descrição mais acurada do tempo de colonização. Além disso, o sistema é relativamente barato, de fácil manutenção e de fácil adaptabilidade.

1.5.7. Cinética de fermentação e descrição matemática das curvas de produção de gases

As curvas de produção de gases apresentam forma sigmoideal, criando assim dificuldades na escolha de um modelo apropriado para sua descrição. O perfil da curva tende do zero no estágio inicial de fermentação, onde há pouca ou nenhuma produção de gases, caracterizando a fase de hidratação e colonização do substrato ou *lag phase*. Em seguida, a curva assume uma forma exponencial com rápida produção de gases, onde há rápida fermentação do substrato insolúvel e lenta fermentação da fração lentamente degradável, até que o consumo do substrato potencialmente degradável faça com que a curva assumida uma forma assintótica, com lenta ou nenhuma produção de gases.

Uma função ideal é aquela capaz de modelar ambos, a variação na forma da curva sem um ponto de inflexão, e uma variação na forma sigmoideal onde o ponto de inflexão é variável. Permitindo o adequado ajuste estatístico dos dados e a quantificação dos parâmetros com valores biológicos. A princípio as equações propostas para experimentos *in situ* foram empregadas na técnica *in vitro* de produção de gases, e continuamente vários outros modelos têm sido propostos com este propósito (Ørskov e McDonald, 1979; McDonald, 1981; France et al. 1993; Schofield et al., 1994; France et al. 2000; France et al., 2005). O modelo exponencial proposto por Ørskov e McDonald (1979) é baseado em uma cinética de primeira ordem, e assume que a taxa de fermentação fracional é constante. Devido a diferentes taxas de fermentação das diferentes frações dos alimentos (rapidamente fermentável, lentamente fermentável e do *turnover* microbiano), um modelo exponencial não consegue se ajustar bem as curvas de produção de gases (Schofield et al., 1994).

Cone et al. (1999) e Groot et al. (1996) descreveram um modelo tri-fásico no qual são descritos a fermentação da fração solúvel, da fração não solúvel e o *turnover* microbiano. Este modelo apresenta dados importantes, no entanto, para sua utilização é necessário equipamento sofisticado para determinação da produção de gases em diferentes

tempos de incubação. De acordo com Blummel et al. (2005) o modelo tri-fásico proposto por Cone et al. (1999) e Groot et al. (1996) não foi eficiente em prever o consumo voluntário, explicando apenas 24 % da variação no consumo voluntário.

France et al. (2005) derivaram equações para produção *in vitro* de gases obtidas por sistemas manual e automático utilizando um modelo compartimental, onde os compartimentos são representados pela fração potencialmente degradável e não degradável, e pelos gases acumulados. As equações derivadas incluem a equação de Gompertz, obtidas permitindo a variação taxa de degradação com o tempo. Sendo assim, as equações permitem a extensão da degradação ruminal, e a passagem de proteína microbiana para o duodeno, o que permite integrar a técnica de produção de gases com a produção animal.

1.6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AFRC. Agricultural and Food Research Council: Technical committee on responses to nutrients: Nutritive requirements of ruminant animal protein. *Nutrition Abstract Reviews*, v.68, p.65-71, 1992.

AKIN, D.E. Microscopic evaluation of forage digestion by rumen microorganisms – a review. *Journal of Animal Science*, v.48, n.3, 701-710, 1979.

AKIN, D.E.; BARTON, F.E.; COLEMAN, S.W. Structural factors affecting leaf degradation of old world bluestem and weeping love grass. *Journal of Animal Science*, v.56, n.6, 1983.

ANDRADE, J.B.; CARVALHO, D.D. Estádio de maturação na produção e qualidade da silagem de sorgo. II. Digestibilidade e consumo da silagem. *Boletim Indústria Animal*, v.49, n.2, p.101-106, 1992.

ALEXANDER, R.H.; MCGOWAN, M. The routine determination of *in vitro* digestibility of organic matter in forages – an investigation of the problems associated with continuous large-scale operation. *Journal British Grassland Society*, v.21, part 1, p.140-147, 1966.

ANDRES, S.; CALLEJA A.; LOPEZ, S.; GONZALES, J.S.; RODRIGUEZ, P.L.; GIRALDEZ, F.J. *Animal Feed Science and Technology*, v. 123-124, p. 487-499, 2005.

- ANTUNES, F.Z. Exigências climáticas da cultura de sorgo. *Informe Agropecuário*, v.5, n.56, p.6-12, 1979.
- ARAÚJO, V.L. Momento de colheita de três híbridos de sorgo para produção de silagem. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2002. 47p. (dissertação).
- BARUQUI, A.M. Solos para a cultura de sorgo. *Informe Agropecuário*, v.5, n.56, p.13-15, 1979.
- BEUVINK, J.M.W. SPOELSTRA, S.F. HOGENDORP, R.J. An automated method for measuring time-course of gas production of feedstuff incubated with buffered rumen fluid. *Neth Journal Agriculture Science*, v.40, p.401-407, 1992.
- BLUMMEL, M.; MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. *In vitro* gas production: a technique revised. *Journal of Animal Physiology and Animal Nutrition*, v.77, p.24-34, 1997.
- BLUMMEL, M.; CONE, J.W.; GELDER, A.H. van; NSHALAI, I.; UMUNNA, N.N.; MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. Prediction of forage intake using *in vitro* gas production methods: comparison of multiphase fermentation kinetics measured in an automated gas test, and combined gas volume and substrate degradability measurements in a manual syringe system. *Animal Feed Science and Technology*, v.123-124, part 1, p. 517-526, 2005.
- BLUMMEL, M.; STEINGASS, H.; BECKER, K. ; KOPPENHAGEN, M. Production of SCFA, CO₂, CH₄ and microbial cells *in vitro*. *Proc. Soc. Nutr. Physiology*, v. 1, 1993.
- BLUMMEL, M.; ØRSKOV, E.R. Comparison of gas production and nylon bag degradability of roughage in predicting feed intake in cattle. *Animal Feed Science and Technology*, v.40, p.109-119, 1993.
- BRITO, A.F. Avaliação das silagens de sete genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) e seus padrões de fermentação. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 1997, 104 p. (dissertação).
- CHEN, C.L. Lignins: Occurrence in wood tissues isolation reactions and structure. In: LEWIS, M. GOLDSTEIN, I.S. (Ed.). WOOD STRUCTURE AND COMPOSITION. Orlando: Marcel Dekker, 1991.
- CHERNEY, D.J.R.; PATTERSON, J.A.; LEMENAGER, R.P. Influence of *in situ* rising technique on determination of dry matter disappearance. *Journal of Dairy Science*, v.73, p.391-397, 1990.
- CHESSON, A.; FORSBERG, C.W. Polysaccharide degradation by rumen microorganisms. In: HOBSON, P.N.; STEWART, C.S. THE RUMEN MICROBIAL ECOSYSTEM. Aberdeen: Blackie Academic and Professional, 1994, p.329-381.
- CHURCH, D.C. *The ruminant animal digestive physiology and nutrition*. New Jersey: Prentice Hall, 1988, 564p.
- CONE, J.W.; GELDER, A.H. van. Influence of protein fermentation on gas production profiles. *Animal Feed Science and Technology*, v.76, p. 251-264, 1999.
- COMPTON, L.P. *Agronomia del sorgo*. India: ICRISAT, 1990, 75p.
- CORREA, C.E.S. Qualidade das silagens de três híbridos de sorgo em diferentes estádios de maturação. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 1996. 119p. (dissertação).
- CUTTER, E.G. *Anatomia vegetal – Parte I – Células e Tecidos*. 2ªEd., São Paulo: Livraria Roca LTDA, 1986, 304p.
- DHANOVA, M.S. On the analysis of dracon bag data for low degradability feeds. *Grass and Forage Science*, v.43, p. 441-444, 1988.
- DEVIES, D.R.; THEODOROU, M.K.; BAUGHAN, J. BROOKS, A.E. NEWBOLD, J.R. An automated pressure evaluation system (APES) for determining the fermentation characteristics of ruminant feeds. *Annual Zootechnique*, v.44, 1995.
- DEMARCHI, J.J.A. Produção, valor nutritivo e características do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) colhido em cinco estádios de maturação e de suas silagens. Piracicaba: ESALQ/USP, 1993, 230p. (dissertação).
- DEMARCHI, J.J.A. A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) para a produção de silagens de alta qualidade. *Zootecnia*, v.33, n.3, p.111-136, 1995.

- DUARTE, J.O. Sorgo – Aspectos econômicos. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 65p. 2003. (Documentos).
- EL-SHAZAY, K.; HUNGATE, R.E. Fermentation capacity as a measure of net growth of rumen microorganisms. *Appl. Microbiology*, v. 13, p.62-69, 1965.
- FORBES, J.M. *The voluntary intake of farm animals*. Londres: Butterworths, 1986.
- FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; THEODOROU, M.K.; LISTER, S.J.; DAVIES, D.R. ISAC, D.A. A model to interpret gas accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds. *Journal of Theoretical Biology*, v.163, p.99-111, 1993.
- FRANCE, J.; DIJKSTRA, J.; DHANOA, M.S.; LOPEZ, S.; BANNINK, A. Estimating the extent of degradation of ruminant feeds from a description of their gas production profiles observed *in vitro*: derivation of models and other mathematical considerations. *British Journal Nutrition*, v.83, p.131-142, 2000.
- FRANCE, J.; LOPEZ, S.; KEBREAB, E.; BANNINK, A.; DHANOA, M.S.; DIJKSTRA, J. A general compartmental model for interpreting gas production profiles. *Animal Feed Science and Technology*, v. 123-124, part 1, p.473-485, 2005.
- FIGROID, W.; HALE, W.H.; THEURER, B. An evaluation of the nylon bag technique for estimating rumen utilization of grains. *Journal of Animal Science*, v.35, p. 113-120, 1972.
- GETACHEW, G.; BLUMMEL, M.; MAKKAR, H.P.S., BECKER, K. *In vitro* gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. *Animal Feed Science and Technology*, v.72, p.261-281, 1988.
- GRENET, E. Electron microscopy as a method for investigation cell wall degradation in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, v32, p.27-33, 1991.
- GROOT, J.C.J., CONE, J.W.; WILLIAMS, B.A.; DEBERSAQUES, F.M.A.; LANTINGA, E.A.; Multiphasic analysis of gas production kinetics on *in vitro* ruminal fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, v.64, p.77-89, 1996.
- HENDERSON, N. Silage additives. *Animal Feed Science and Technology*, v.45, p.35-56, 1993.
- HIDAYAT, K.H.; NEWBOLD, C.J.; STEWART, C.S. The contributions of bacteria and protozoa to ruminal forage fermentation *in vitro*, as determined by microbial gas production. *Animal Feed Science and Technology*, v. 42, p. 193-208, 1993.
- HUNTINGTON, J.A.; GIVENS, D.I. The *in situ* technique for studying the rumen degradation of feeds: a review of procedure. *Nutrition Abstracts and Reviews* (Serie B), v.65, p.63-93, 1995.
- HUNGATE, R.E. *The rumen and its microbes*. New York/London: Academic Press, 1966.
- HOBSON, P.N. Introduction. In: HOBSON, P.N.; STEWART, C.S. (Ed.) THE RUMEN MICROBIAL ECOSYSTEM. London: Blackie Academic and Professional, p.1-9, 1997.
- HOBSON, P.N.; STEWART, C.S. (Ed.) THE RUMEN MICROBIAL ECOSYSTEM. London: Blackie Academic and Professional, 1997, 719p.
- JUNG, H.G. Forage lignins and their effects on fiber digestibility. *Agronomic Journal*, v.84, p.33-38, 1989.
- KHAZAAL, K.; PARISI, Z.; TSIIOUVARAS, C.; NASTIS, A.; ØRSKOV, E.R. Assessment of phenolics-related antinutritive levels using the *in vitro* gas production technique: a comparison between different types of polyvinylpyrrolidone or polyethylene glycol. *Journal of Science Food Agriculture*, v.71, p.405-414, 1996.
- KHAZAAL, K.; ØRSKOV, E.R. The *in vitro* gas production technique: an investigation on its potential use with insoluble polyvinylpyrrolidone for the assessment of phenolics-related antinutritive factors in browse species. *Animal Feed Science and Technology*, v.47, p.305-320, 1994.
- KRISTENSEN, E.S.; MOLLER, P.D. HVELPLUND, T. Estimation of the effective protein degradability in the rumen of cows using the nylon bag technique combined with the outflow rate. *Acta Agricultura Scandinavica*, v.32, p. 123-127, 1982.
- LAPIERRE, C.; TOLLIER, M.T.; MONTIES, B. A new type of constitutive unit in lignins from the corn BM3 mutant. *C.R. Academic Science*, v.3, p.723-728, 1992.

- MAKKAR, H.P.S. In vitro gas methods for evaluation of feeds containing phytochemicals. *Animal Feed Science and Technology*, V. 123-124, part 1, p.291-302, 2005.
- MAURICIO, R.M.; MOULD, F.L.; DHANOA, M.S.; OWEN, E.; CHANNA, K.S., THEODOROU, M.K. A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. *Animal Feed Science and Technology*, V. 79, P. 321-330, 1999.
- McBEE, R.H. Manometric method for the evaluation of microbial activity of rumen with application to utilization of cellulose and hemicellulose. *Appl. Microbiology*, v1, p.106-110, 1953.
- McDOUGAL, E.L. Studies on ruminant saliva. I. The composition and output of sheep's saliva. *Biochemical Journal*, v.43, p.49-54, 1948.
- McDONALD, P; HENDERSON, N.; HERON, S. *The biochemistry of silage*. 2^{ed}. Marlow: Chalcombe Publications, 1991, 339p.
- McDONALD, I. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *Journal of Agricultural Science*, Cambridge, v.96, p.251-252, 1981.
- MENKE, K.H.; STEINGASS, H. Estimation of the energetic feed value obtained from chemical analysis and in vitro gas production using rumen fluid. *Animal Research and Development*, v.28, p.7-55, 1988.
- MENKE, K.H.; RAAB, L.; SALWSKI, A.; STEINGASS, H.; FRITS, D.; SHNEIDER, W. The estimation of the digestibility and energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they incubated with liquor *in vitro*. *Journal of Agricultural Science*, v.93, p.217-222, 1979.
- MEHREZ, A.Z.; ØRSKOV, E.R. A study of the artificial fiber bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *Journal Agriculture Science*, v.88, p.645-650, 1977.
- MEZZENA, A.L. O papel estratégico do sorgo no abastecimento do mercado de grãos. XXIV CONGRESSO BRASILEIRO DE MILHO E SORGO, Florianópolis, 2002 (palestra).
- MICHAEL-DOREAU, B.; OULD-BAH, M.Y. *In vitro* e *in situ* methods for the estimation dietary nitrogen degradability in the rumen: a review. *Animal Feed Science and Technology*, v. 40, part 1, p.57-86, 1992.
- MINSON, D.J. *Forage in ruminant nutrition*. San Diego: Academic Press, 1990.
- MINSON, D.J.; McLEODO, M.N. The *in vitro* technique: Its modification for estimating digestibility of large numbers of tropical pasture samples. *Technique Paper*, n.8, Div. Tropical Pastures. Commonwealth Science Industry Research, Australia, 1972.
- MINSON, D.J.; WILSON, J.R. Prediction of intake as an element of forage quality. In: FAHEY Jr, G.C. FORAGE QUALITY, EVALUATION AND UTILIZATION. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, p. 533-563, 1994.
- MOLINA, L.R.; RODRIGUEZ, N.M.; SOUSA, B.M.; GONÇALVES, L.C.; BORGES, I. Parâmetros de degradabilidade potencial da matéria seca e da proteína bruta das silagens de seis genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) com e sem tanino no grão, avaliados pela técnica *in situ*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.32, n.1, p.222-228, 2003.
- MOORE, K.J.; HATFIELD, R.D. Carbohydrates and forage quality. In: FAHEY Jr, G.C. FORAGE QUALITY, EVALUATION AND UTILIZATION. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, p. 229-280, 1994.
- MOTA, M.; RODRIGUEZ, R.; SOLANAS, E.; FONDEVILA, M. Evaluation of four tropical browse legumes as nitrogen sources: comparison of in vitro gas production with other methods to determine N degradability. *Journal of Animal Science and Technology*, v.123-124, part 1, p. 341-350, 2005.
- MUCK, R.E. Factors influencing silage quality and their implications for management. *Journal Dairy Science*, v.71, p.2992-3002, 1988.
- NELSON, C.J.; MOSER, L.E. Plant factors affecting forage quality. In: FAHEY Jr, G.C. FORAGE QUALITY, EVALUATION AND UTILIZATION. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, p. 115-154, 1994.
- NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D.C.; BRONDANI, I.L.; PELLEGRINI, L.G.; FREITAS, A.K. Avaliação do valor nutritivo de

- planta e da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.1, p.293-301, 2002 (suplemento)a.
- NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D.C.; BERNARDES, R.A.C.; ARBOITE, M.Z.; CERDÓTES, L.; PEIXOTO, L.A.O. Avaliação de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) quanto aos componentes da planta e silagens produzidas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.1, p.302-312, 2002 (suplemento)b.
- NOCEK, J.E. Evaluation of specific variables affecting *in situ* estimates of rumen dry matter and protein digestion. *Journal of Animal Science*, v.60, p.1347-1358, 1985.
- NOCEK, J.E.; GRANT, A.L. Characterization of *in situ* nitrogen and fiber digestion and bacterial nitrogen contamination of hay crop forages preserved at different dry matter percentages. *Journal of Animal Science*, v.64, p. 552-564, 1984.
- NOGUERA, J.R.R. Estudo químico, *in situ*, *in vitro* e microscópico da parede celular de cinco genótipos de sorgo colhidos em três épocas de corte. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2002, 148p. (tese).
- NOZIÈRE, P.; MICHALET-DOREAU, B. *In sacco* methods. In: FARM ANIMAL METABOLISM AND NUTRITION. Wallingford (UK). CAB International. 2000, 450p.
- OLIVEIRA, J.S. Produção e utilização de silagem de milho e sorgo. Juiz de Fora: EMBRAPA-CNPGL, 1998, 34p (EMBRAPA-CNPGL. Circular Técnica, 47).
- OLIVEIRA, J.S.; FERREIRA, R.P.; CRUZ, C.D.; PEREIRA, A.V.; BOTREL, M.A.; von PINHO, R.G.; RODRIGUES, J.A.S.; LOPES, F.C.F.; MIRANDA, J.E.C. Adaptabilidade e estabilidade em cultivares de sorgo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.2, p.883-889, 2002.
- OLUBOBOKUN, J.A.; CRAIG, W.M.; POND, K.R. Effects of mastication and microbial contamination in ruminal *in situ* forage disappearance. *Journal of Animal Science*, v. 68, p.3371-3381, 1990.
- ØRSKOV, E.R.; HOVELL, F.D.; MOULD, F. Uso de la técnica de la bolsa de nylon para valoración de los alimentos. *Prod. Animais Tropicales*, v. 5, p. 213-233, 1980.
- ØRSKOV, E.R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. *Journal of Agriculture Science*, v. 92, p. 499-503, 1979.
- PAIVA, J.A. Qualidade da silagem da região metalúrgica de Minas Gerais. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 1976, 85p. (dissertação).
- PEREIRA, O.G., OBEID, J.A., GOMIDE, J.A. et al.. Produtividade de uma variedade de milho (*Zea mays* L.) e de três variedades de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) e o valor nutritivo de suas silagens. *Rev. Soc. Bras. Zootec.*, v.22, p.31-38, 1993.
- PILÓ-VELOSO, D.; NASCIMENTO, E.A.; MORAIS, S.A.L. Quantitative chemical and ¹³C NMR analyses of *Eucaliptus grandis* Lignin. Proceeding of the third symposium on the chemistry of lignin and other wood components. Belo Horizonte: Química Nova, p. 150-150, 1993.
- PEEL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. *Journal of Dairy Science*, v.76, p.1063-1073, 1993.
- QUINN, J.I. Studies on the alimentary tract of merino sheep in South Africa. 7. Fermentation in the forestomachs of sheep. *Onderspoor Journal of Veterinary Science and Animal Industry*, v.2, p. 91-117, 1943.
- RABELO, E. Degradabilidade *in situ* de silagens de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) de porte médio com diferentes teores de taninos e suculência no colmo. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 1997. 98p. (dissertação).
- RALPH, R.; HELM, R.F. Lignin/Hydroxynamic acid/polysaccharide complexes: synthetic models for radiochemical. In: JUNG, H.G.; BUXTON, D.R.; HATFIELD, R.D. FORAGE CELL WALL STRUCTURE AND DIGESTIBILITY. Madison: American Society of Agronomy, p.201-241, 1993.
- REID, R.L. Milestones in forage research (1969-1994). In: FAHEY Jr, G.C. FORAGE QUALITY, EVALUATION AND UTILIZATION. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, p. 1-58, 1994.
- ROCHA Jr, V.R.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUES, J.A.S.; BRITO, A.F.; RODRIGUEZ, N.M.; BORGES, I. Avaliação de sete genótipos de

- sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) para produção de silagem. I. Características agrônômicas. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.52, n.5, 2000.
- ROMERO, F. Utilización de la técnica de digestión in situ para la caracterización de forrajes. In: RUIZ, M.E.; RUIZ, A. (Ed.). *NUTRICIÓN DE RUMINANTES – GUÍA METODOLÓGICA DE INVESTIGACIÓN*. San José: Imprenta y Litografía Ambar, p.105-114, 1990.
- SALIBA, E.O.S.; RODRIGUEZ, N.M.; MORAIS, S.A.L.; PILÓ-VELOSO, D. Ligninas – Métodos de obtenção e caracterização química. *Ciência Rural*, v.31, n.5, p. 917-928, 2001.
- SAMPAIO, I.B.M. Experimental designs and modeling techniques in the study of roughage degradation in the rumen and growth of ruminants. Reading: University of Reading, 228p. 1988 (Thesis).
- SARKANEN, K.V.; LUDDWING, C.H. Lignins: occurrence, formation, structure and reactions. *Wiley-Interscience*, New York, 1971.
- SAUVANT, D. Rumen mathematical modelling. In: HOBSON, P.N.; STEWART, C.S. (Ed.) *THE RUMEN MICROBIAL ECOSYSTEM*. London: Blackie Academic and Professional, p.685-708, 1997.
- SCHOFIELD, P. An inexpensive incubator for the biology laboratory. *American Biology Teacher*, v.58, p.494-498, 1996.
- SCHOFIELD, P. Gas production methods. In: *FARM ANIMAL METABOLISM AND NUTRITION*. Wallingford (UK). CAB International. 450p., 2000.
- SILVA, F.F. Qualidade de silagens de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) de portes baixo, médio e alto com diferentes proporções de colmo, folha e panícula. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 1997, 94p. (dissertação).
- THEODOROU, M.K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA, M.S.; McALLAN, A.B.; FRANCE, J. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, v. 48, p.185-197, 1994.
- TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Journal of British Grassland Society*, v. 18, n.2, p.104-111, 1963.
- VALENTE, J.O. Introdução. *Manejo cultural do sorgo para forragem*. Sete Lagoas: EMBRAPA/CNPMS, n.17, 1992. p.5-7. (Circular Técnica).
- VAN SOEST, P. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2ed. Ithaca, New York: Cornell University Press, 476p. 1994.
- VIEIRA, F.AP. Qualidade de silagens de sorgo com aditivos. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.56, n.6, p.764-772, 2004.
- VIK-MO, L. Degradability of forage *in sacco* I. Grass crops and silages after oven and freeze drying. *Acta Agricultura Scandinavica*, v.39, p.43-52, 1989.
- WAGHORN, G.C. STAFFORD, K.J. Gas production and nitrogen digestion by rumen microbes from deer and sheep. *New Zealand J. Agriculture*, v.36, p. 493-497, 1993.
- WEISS, W.P. Estimation of digestibility of forage by laboratory methods. In: FAHEY Jr, G.C. *FORAGE QUALITY, EVALUATION AND UTILIZATION*. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, p. 644-681, 1994.
- WILKINS, J.R. Pressure transducer method for measuring gas production by microorganisms. *Appl. Microbiology*, v.27, p.135-140, 1974.
- WILLIAMS, A.G.; WITHERS, S.E.; SATTER, L.D. Postprandial variations in the activity of polysaccharide-degrading enzymes in microbial populations from the digest solids and liquor fractions of rumen contents. *Journal Applied Bacteriology*, v.66, p. 15-26, 1989.
- WILLIAMS, B.A. Cumulative gas production techniques for forage evaluation. In: GIVENS, D.I., OWEN, E., OMED, H.M., AXFORD, R.F.E. (Ed). *Forage Evaluation in Ruminant Nutrition*. Wallingford (UK). CAB International, 475p. 2000.
- ZAGO, C.P. Cultura de sorgo para a produção de silagem de alto valor nutritivo. In: *SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO DE BOVINOS*, 4, 1991, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: FEALQ, p.169-217, 1991.

CAPÍTULO 2. EXPERIMENTO 1 - CARACTERÍSTICAS AGRONÔMICAS DE 25 HÍBRIDOS DE SORGO PARA PRODUÇÃO DE SILAGEM

RESUMO: Vinte e cinco híbridos de sorgo para produção de silagem foram avaliados quanto às suas características agronômicas: número de plantas por hectare, altura de plantas, produção de matéria verde e seca, proporção de colmo, folha e panícula. Foi utilizado um delineamento em blocos ao acaso, com três repetições por tratamento. Para comparação de médias utilizou-se o teste de Skott-knott ($p < 0,05$). A produção de matéria verde/ha foi estatisticamente diferente entre os cultivares e variou de 19,61 a 48,09 tonMV/ha. Quanto à produção de matéria seca/ha apenas o híbrido VOLUMAX se destacou em relação aos outros com produção de 26,09 tonMS/ha. A altura dos híbridos apresentou diferença significativa entre os híbridos e variou de 1,60 m a 2,46 m. As porcentagens de colmo, folha e panícula variaram de 50,38 a 72,32 %, 4,7 a 16,44 % e 19,97 a 34,85 %, respectivamente.

PALAVARAS-CHAVES: forrageira, produtividade, ruminante, seleção genética

2.1. INTRODUÇÃO

A introdução do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) no Brasil é recente e segundo Bernadino (1996) a cultura contribui com cerca de 30 a 35 % da área total cultivada destinada para produção de silagem. Vários fatores são responsáveis pelo destaque da cultura do sorgo no país. Apesar da cultura apresentar de 85 a 90 % do valor nutritivo do milho, a cultura do sorgo destaca-se por apresentar elevada concentração de carboidratos solúveis necessário para uma adequada fermentação láctica, produzindo assim silagem de muito boa qualidade. Além disso, o sorgo para confecção de silagem tem apresentado maiores produções de matéria seca por hectare que o milho, principalmente em condições marginais de fertilidade e sob estresse hídrico, além de produzir até 60 % do primeiro corte na rebrota (White et al., 1991).

Atualmente, existe uma enorme variedade de híbridos de sorgo novos no mercado, entretanto, a escolha de um cultivar ideal para uma determinada região nem sempre é uma tarefa fácil, devido a pouca informação sobre o comportamento produtivo e nutricional dos materiais disponíveis. Estudos comparativos entre híbridos contribuem com os

programas de melhoramento genético e disponibilizam no mercado materiais com melhores índices produtivos e nutritivos. De acordo com Zago (1991) a caracterização agronômica de materiais genéticos disponíveis para produção de silagem é relevante para se obter material de maior valor nutritivo e melhor rendimento. Dentro do programa de melhoramento genético do sorgo as principais características agronômicas avaliadas são: produção de matéria seca, altura da planta, produção e bom equilíbrio entre proporção de colmo, panículas e folhas, tipo de colmo, teores de taninos, tolerância à seca e pragas e porcentagem de acamamento (White et al., 1991).

Segundo Zago (1991) o porte da planta determina a proporção dos componentes planta como colmo, folha e panícula, classificando os híbridos de sorgo para produção de silagem em graníferos (porte baixo), duplo propósito (porte intermediário) e forrageiros (porte alto). Os híbridos de duplo propósito possuem altura variando entre 2,0 e 2,5 m e tem sido indicados para produção de silagem por apresentarem bons índices produtivos, elevada produção de panícula e NDT também elevado (Demarchi et al., 1995; Neumann et al., 2002a). Silva (1997) observou que o aumento da participação da panícula em híbridos de sorgo reduziu os teores dos constituintes da parede celular e aumentou a digestibilidade *in vitro* da matéria seca e orgânica de híbridos de porte baixo, médio e alto.

O objetivo deste experimento foi selecionar os melhores híbridos de sorgo pertencentes ao programa nacional de melhoramento de sorgo da Embrapa Milho e Sorgo para produção de silagem quanto às características agronômicas: produção de matéria verde e seca, proporções de colmo, folha e panícula, altura e número de plantas por hectare.

2.2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados 25 híbridos de sorgo de duplo propósito, sendo 22 híbridos novos pertencentes ao programa de melhoramento genético de sorgo da Embrapa Milho e Sorgo (ainda não lançados no mercado): ATF53*9929036, ATF54*9929036, ATF53*9930022, BR BR 007*9929054, CMSXS CMSXSCMSXS212*9929048, CMSXS CMSXS217*9929012, ATF54*9930002, ATF53*9930002, ATF53*9929024, ATF53*9929028, CMSXS CMSXS212*9929044, CMSXS 212* 9929024, CMSXS 217* 9929024, CMSXS CMSXS205*9929046, CMSXS CMSXS217*9929028, CMSXS

CMSXS212*9929028, CMSXS
CMSXS205*9930002, CMSXS
CMSXS206*9930002, CMSXS
CMSXS156*9930002, CMSXS
CMSXS157*9930002, CMSXS
CMSXS222*9930002, TX635*9930002, e três
híbridos testemunhas: BR 601, BR 700 e
VOLUMAX. Os materiais foram cultivados na
EMBRAPA Milho e Sorgo, localizada no município
de Sete Lagoas, no ano agrícola de 2001/2002.

O solo da área experimental foi classificado como latossolo vermelho escuro argiloso, fase cerrado, com 5 % de declividade. No preparo do solo foram realizadas uma aração e duas gradagens. A semeadura foi feita utilizando-se plantadeira de parcela manual, utilizando-se 400 kg/ha da fórmula 08:28:16 (N:P:K)+ 0,5 % Zn e adubação de cobertura aos 40 dias após o plantio usando-se 100 kg de uréia/ha. O material foi semeado em canteiros de 7 m de comprimento e 3,5 m de largura, com espaçamento entre linhas de 0,70 m. No controle de plantas invasoras realizou-se a aplicação de herbicida à base de atrazina na dosagem de 3,5 l/ha na fase de pré-emergência. O corte foi realizado em duas linhas centrais, descartando-se um metro nas extremidades dos canteiros.

No momento da colheita dos híbridos todos os materiais foram amostrados e fragmentados em suas partes constituintes da planta - colmo, folhas e panícula, e pesados para determinação de suas proporções na planta inteira. Ao corte, foram avaliados a altura das plantas (cm) e o estande da área colhida (número de plantas colhidas convertido a mil plantas por hectare - 1000/ha). O material amostrado de cada canteiro foi pesado, para avaliação da produção de matéria verde e seca por hectare. Este material foi imediatamente picado em picadeira estacionária, amostrado de forma homogênea e identificado. Posteriormente foram levados ao Laboratório de Nutrição Animal da Escola de Veterinária da UFMG, onde os materiais foram submetidos à pesagem e pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 65°C durante 72 horas. Após este período o material foi deixado à temperatura ambiente por duas horas, para estabilização e obtenção de peso constante, e imediatamente pesado para determinação da matéria pré-seca. As amostras pré-secas foram então moídas em moinho tipo Willey utilizando peneira de um milímetro, amostrado e submetido a determinação de matéria seca em estufa a 105°C (AOAC, 1995).

O delineamento estatístico utilizado foi em blocos ao acaso com três repetições por tratamento (híbrido).

Foi utilizado o teste de Scott-knott para a comparação de médias dos híbridos ($p < 0,05$). Os dados foram analisados pelo pacote estatístico SAEG (1997).

2.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O número de plantas colhidas convertido a mil plantas por hectare - mil/ha, altura das plantas, produção de matéria verde (PMV), produção de matéria seca (PMS) se encontram na Tabela 1. O número de plantas por hectare dos híbridos avaliados variaram de 128,10 a 176,67 mil/ha, e não apresentaram diferenças entre si ($P > 0,05$), demonstrando que as condições de uniformização de plantio foram adotadas e que os híbridos apresentaram capacidades similares de germinação, estabelecimento e perfilhamento durante o desenvolvimento da cultura.

Tabela 1. Produção de matéria verde (t/ha), produção de matéria seca (t/ha), número de plantas por hectare e altura das plantas (cm)

Híbrido	Mil plantas/ha ¹	Altura (cm) ²	PMV (t/ha) ³	PMS (t/ha) ⁴
ATF53*9929036	150,95 A	206,66 B	28,95 C	9,69 B
ATF54*9929036	170,95 A	220,00 B	41,61 A	14,17 B
ATF53*9930022	170,95 A	213,33 B	34,28 B	12,86 B
BR 007*9929054	167,62 A	223,33B	26,00 D	11,05 B
CMSXS212*9929048	173,33 A	236,66 A	30,47 C	12,92 B
CMSXS217*9929012	161,91 A	210,00 B	29,14 C	12,50 B
ATF54* 9930002	165,24 A	175,00 C	32,76 B	11,67 B
ATF53*9930002	143,33 A	176,66 C	26,19 D	9,29 B
ATF53*9929024	150,95 A	176,66 C	30,57 C	10,98 B
ATF53*9929028	166,67 A	198,33 C	33,14 B	12,55 B
CMSXS212*9929044	148,57 A	213,33 B	28,28 C	11,53 B
CMSXS212*9929024	155,24 A	183,33 C	19,90 D	7,89 B
CMSXS217*9929024	171,43 A	193,33 C	24,28 D	9,60 B
CMSXS205*9929046	130,48 A	246,66 A	30,66 C	13,12 B
CMSXS217*9929028	158,57 A	186,66 C	28,95 C	10,98 B
CMSXS212*9929028	176,67 A	200,00 C	25,71 D	10,34 B
CMSXS205*9930002	148,57 A	196,66 C	35,52 B	12,98 B
CMSXS206*9930002	135,24 A	180,00 C	32,76 B	12,02 B
CMSXS156*9930002	140,48 A	176,66 C	30,19 C	10,03 B
CMSXS157*9930002	139,05 A	180,00 C	25,04 D	9,18 B
CMSXS222*9930002	165,24 A	193,33 C	25,71 D	9,18 B
TX635*9930002	128,10 A	160,00 C	20,85 D	7,48 B
BR 601	149,52 A	230,00A	33,43 B	11,23 B
BR 700	130,95 A	180,00 C	19,61 D	6,82 B
VOLUMAX	157,14 A	236,66 A	48,09 A	16,09A

(Médias seguidas por letras iguais, na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott $p < 0,05$). $CV^1 = 14,41\%$; $CV^2 = 26\%$; $CV^3 = 13,46\%$; $CV^4 = 8\%$

Para a variável altura das plantas observou-se diferença entre os híbridos ($P < 0,05$). Os híbridos experimentais CMSXS212*9929048, CMSXS205*9929046 e os testemunhas BR 601 e Volumax apresentaram valores superiores para a característica, variando de 2,30 m a 2,47 m. Já os híbridos ATF53*9929036, ATF54*9929036, ATF53*9930022, BR 007*9929054, CMSXS217*9929012, CMSXS212*9929044 apresentaram valores intermediários de altura das plantas, variando de 2,07 a 2,23 m. As demais unidades experimentais ATF 54*9930002, ATF53*9930002, ATF53*9929024, CMSXS212*9929024, CMSXS217*9929024, CMSXS217*9929028, CMSXS212*9929028, CMSXS205*9930002, CMSXS206*9930002, CMSXS156*9930002, CMSXS157*9930002, CMSXS222*9930002, TX635*9930002 e o híbrido testemunha BR 700 obtiveram os menores valores de altura das plantas variando de 1,6 a 2,0 m. De modo geral a altura dos híbridos avaliados variou de 1,6 a 2,47 m o que segundo Demarchi (1995) os classifica como sendo de porte médio. Esta variabilidade na

altura dos materiais demonstra a intensa diversidade genética dos híbridos de sorgo. A altura das plantas é uma característica que regularmente determina o potencial produtivo de matéria seca e verde por hectare (Neumann et al. (2002a). Normalmente a produção de matéria seca e de colmo são positivamente correlacionada com a altura da planta. Já a produção de panícula tem correlação inversa com a altura da planta. Neste experimento foram observadas correlações positivas ($r = 0,48$ e $r = 0,43$, $p < 0,001$) com as produções de matéria verde e seca, respectivamente. Araújo (2002) encontrou correlações de ($r = -0,22$ e $0,46$) ($p < 0,01$) entre altura e panícula e altura e produção de colmo, respectivamente. Neste experimento as correlações não foram significativas. De acordo com Zago et al. (1989) vacas alimentadas com silagens de sorgo de dois híbridos de porte médio tiveram maior consumo de matéria seca e também maior produtividade de leite quando comparadas com aquelas alimentadas com silagem de híbrido de porte alto.

O acamamento é uma característica indesejável em forrageiras destinadas à produção de silagem uma vez que é responsável por elevar a necessidade de mão de obra e perdas no campo, elevando assim o custo de produção. Correa (1996) avaliando três híbridos de sorgo para produção de silagem observou maior porcentagem de acamamento no híbrido de maior altura BR601, nos estádios de maturação mais tardios (14,2 e 14,17 %). Segundo Molina et al. (2000) a correlação entre altura da planta e acamamento foi positiva de 0,27, sendo observada maior tendência ao acamamento nos híbridos de porte alto BR601 e AG2002. No presente experimento não foi observado acamamento para nenhum dos híbridos avaliados.

A produção de matéria verde (PMV) (t/ha) apresentou diferença entre os híbridos ($P < 0,05$), e variou de 19,61 a 48,09. Os híbridos ATF54*9929036 e o VOLUMAX apresentaram as maiores PMV (41,61 e 48,09 t/ha, respectivamente). Já os híbridos BR 007*9929054, ATF53*9930002, CMSXS212*9929024, CMSXS212*9929028, CMSXS157*9930002, CMSXS222*9930002, TX635*9930002 e BR 700 apresentaram as menores PMV (26,0; 26,19; 19,9; 25,71; 25,04; 25,71; 20,85 e 19,61 t/ha, respectivamente).

Molina et al. (2000) avaliando híbridos de sorgo de porte baixo, médio e alto encontraram PMV de 13,4 a 31,1 t/ha e atribuíram esta variação à altura das plantas por ele avaliadas. Neumann et al. (2002a) observaram menor PMV para o híbrido mais precoce (AG2005E).

Quanto às produções de matéria seca (PMS) o híbrido VOLUMAX destacou-se ($P < 0,05$) em relação aos demais (16,09 tonMS/ha), os quais não diferiram entre si. Araújo (2002) encontrou valores de produção média de MS inferiores ao do presente trabalho de 6,39; 6,92 e 5,53 t/ha, para os híbridos BR 700, BR 701 e MASSA 03, respectivamente. Molina et al. (2000) encontraram PMS de 7,7; 7,9 e 5 t/ha para híbridos de porte alto, médio e baixo, respectivamente. Segundo Molina et al. (2000) a baixa PMS observada para os híbridos de mais baixos compromete a viabilidade econômica da utilização de híbridos de sorgo para produção de silagem.

As porcentagens de colmo, panícula e folha das silagens avaliadas encontram-se na Tabela 2. Os

híbridos avaliados apresentaram diferenças significativas estatisticamente para as variáveis de porcentagem de colmo, folha e panícula ($P < 0,05$). Os valores de porcentagem de colmo variaram de 50,38 a 75,32 %. O híbrido BR 601 apresentou o maior valor em relação aos outros estudados (72,32 %). Por sua vez, os híbridos ATF53*9929036, ATF53*9930022, BR 007*9929054, CMSXSCMSXS212*9929048, CMSXS217*9929012, ATF54*993002, ATF53*993002, ATF53*9929024, ATF53*9929028, CMSXS212*9929044, CMSXS212*9929024, CMSXS217*9929024, CMSXS205*9929046 apresentaram os menores valores de porcentagem de colmo entre os híbridos avaliados. Molina et al. (2000) avaliando híbridos de sorgo de porte baixo, médio e alto encontraram variação de 40,5 a 67 % de colmo na matéria natural. No entanto, Neumann et al. (2002a) encontraram porcentagens bem menores de colmo para o híbrido de duplo propósito AG2005E (33,4 %). De acordo com Zago (1992) a maior participação de colmo no sorgo pode comprometer o valor nutritivo por ser a fração que apresenta menores índices de digestibilidade. Neumann et al. (2002b) analisando o teor de proteína bruta no componente colmo de híbridos de porte alto e médio encontraram menor valor para o colmo (1,96 %) em relação à panícula e folhas que apresentaram 7,62 e 5,45 %, respectivamente. Neste mesmo experimento Neumann et al. (2002b) observaram menor digestibilidade da fração colmo de híbridos de dupla aptidão (54,77 e 53,91 %) quando comparado ao híbrido forrageiro (62,47 %). Nussio (1995) justifica a menor digestibilidade do colmo de híbridos de duplo propósito devido ao maior número de células de menor tamanho em sua estrutura, resultante do programa de melhoramento genético voltado para maior resistência do colmo ao acamamento e ao ataque de pragas. Segundo Cummins (1981) o potencial de melhoramento dos híbridos de sorgo produzidos para silagem está relacionado à obtenção de linhagens que mantenham valores próximos a 50 % da parte colmo em relação às folhas e panículas. No atual trabalho em geral todos os híbridos, exceto o CMSXS217*9929012, apresentaram valores acima daqueles recomendado por Cummins (1981). O presente trabalho demonstra a variabilidade entre os híbridos quanto à participação do colmo na planta, o que permite a realização de estudos na área visando produzir materiais com maior qualidade desta fração.

Tabela 2. Porcentagem de colmo, panícula e folha na matéria natural das plantas de sorgo

Híbrido	Colmo (%) ¹	Panícula (%) ²	Folha (%) ³
ATF53*9929036	60,55 C	29,27 A	10,17 B
ATF54*9929036	65,15 B	25,24 B	9,60 B
ATF53*9930022	58,23 C	28,66 A	13,13 A
BR 007*9929054	55,11 C	31,90 A	7,34 B
212 *9929048	55,10 C	32,27 A	12,61 A
CMSXS217*9929012	50,38 C	34,38 A	15,23 A
ATF54* 9930002	54,86 C	30,83 A	14,30 A
ATF53*9930002	58,75 C	32,30 A	8,95 B
ATF53*9929024	58,38 C	34,13 A	7,48 B
ATF53*9929028	58,29 C	30,30 A	11,43 A
CMSXS212*9929044	55,60 C	34,42 A	9,97 B
CMSXS212*9929024	58,22 C	31,62 A	10,15 B
CMSXS217*9929024	59,88 C	30,79 A	9,32 B
CMSXS205*9929046	53,32 C	35,90 A	10,77 B
CMSXS217*9929028	63,41 B	31,42 A	5,17 B
CMSXS212*9929028	55,88 C	34,85 A	9,26 B
CMSXS205*9930002	56,18 C	31,61 A	12,20 A
CMSXS206*9930002	55,68 C	29,80 A	14,52 A
CMSXS156*9930002	58,13 C	2988 A	11,99 A
CMSXS157*9930002	59,14 C	31,60 A	9,25 B
CMSXS222*9930002	60,94 C	29,30 A	9,76 B
TX635*9930002	65,17 B	27,18 B	7,65 B
BR 601	75,32 A	19,97 B	4,70 B
BR 700	55,86 C	33,16 A	10,97 B
VOLUMAX	60,26 C	23,29 B	16,44 A

Médias seguidas por letras iguais, na mesma coluna não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Scott-knott ($p < 0,05$). $CV^1 = 7,48$; $CV^2 = 13$; $CV^3 = 30$.

Os híbridos apresentaram diferenças quanto às porcentagens de panículas com valores que variaram de 19,97 a 34,85 %. Os híbridos ATF53*9929036, ATF53*9930022, BR 007*9929054, CMSXS212*9929048, CMSXS217*9929012, ATF54*993002, ATF53*993002, ATF53*9929024, ATF53*9929028, CMSXS212*9929044, CMSXS212*9929024, CMSXS217*9929024, CMSXS205*9929046, CMSXS217*9929028, CMSXS205*9930002, CMSXS206*9930002, CMSXS156*9930002, CMSXS157*9930002, 222*993002 e BR 700 apresentaram valores que variaram de 28,66 a 34,85 %, sendo estes superiores aos híbridos ATF54*9929036, TX635*9930002, BR 601 e VOLUMAX, os quais apresentaram valores que variaram de 19,97 a 27,18 %. Borges (1995) trabalhando com sorgos de porte alto encontrou proporções de panícula variando de 22,2 a 27,1 %. Rocha Júnior et al. (2000) encontraram maiores proporções de panículas em híbridos de porte médio correspondentes a 30,0 e 35,1 %. Neumann et al. (2002a) observaram que híbridos de duplo propósito AGX217 e AG2005E apresentaram maiores porcentagens de panícula (23,2 e 39,8 %, respectivamente), sendo que a silagem do híbrido

AG2005E foi a que obteve o maior valor de NDT (62,20 %), conferindo a este maior valor nutritivo. Segundo Flaresso et al. (2000) a participação da panícula em híbridos de sorgo foi o fator que mais contribuiu para produção de silagem de maior densidade energética, com maior destaque para o híbrido AG2005E que produziu 47,4 % de panícula. De acordo com Silva (1997) há necessidade de participação mínima de 40 % de panícula na planta de sorgo para obtenção de silagem de boa qualidade, estando cultivares avaliados neste experimento abaixo daquele esperado.

Os valores de porcentagem de folhas foram diferentes estatisticamente entre os híbridos avaliados, e variaram entre 4,7 a 16,44 %, sendo os maiores valores observados para os híbridos ATF53*9930022, CMSXS212*9929048, CMSXS217*9929012, ATF54*993002, ATF53*9929028, CMSXS205*9930002, CMSXS206*9930002, CMSXS156*9930002 e VOLUMAX. Estes estão abaixo daqueles valores médios encontrados por Araújo (2002) de 21,53; 22,52 e 22,8 % para os híbridos BR700, BR 701 e MASSA 03, respectivamente. Já Rocha Júnior avaliando híbridos de porte baixo, médio e alto

encontrou valores que variaram de 6,8 a 32,6 %. De acordo com Neumann et al. (2002a) a massa foliar não esta relacionada com a altura da planta de sorgo.

2.4. CONCLUSÕES

O híbrido Volumax se destacou quanto ao seu potencial de produtividade de matéria natural e seca; já os híbridos ATF53*9929036, ATF53*9930022, BR 007*9929054, CMSXS212*9929048, CMSXS217*9929012, ATF54*993002, ATF53*993002, ATF53*9929024, ATF53*9929028, CMSXS212*9929044, CMSXS212*9929024, CMSXS217*9929024, CMSXS205*9929046, CMSXS217*9929028, CMSXS205*9930002, CMSXS206*9930002, CMSXS156*9930002, CMSXS157*9930002, 222*993002 e BR 700 por apresentarem as maiores produções de panícula podem ser apontados como sendo de grande potencial quanto ao valor nutritivo, fatores que determinam o potencial de produção de silagens destes híbridos.

2.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. *Official methods of analysis*. 16ªed. Washington: AOAC, 1995. 2000p.

ARAÚJO, V.L. Momento de colheita de três híbridos de sorgo para produção de silagem. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2002, 47p. (Dissertação).

BERNARDINO, M.L.A. Avaliação nutricional de silagens de híbridos de sorgo de porte médio com diferentes teores de tanino e suclicência do colmo. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 1986, 87p. (Dissertação).

BORGES, A.L.C.C. Qualidade das silagens de híbridos de sorgo de porte alto com diferentes teores de tanino e de umidade no colmo, e seus padrões de fermentação. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 1995, 104p. (Dissertação).

CORREA, C.E.S Qualidade das silagens de três híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) em diferentes estádios de maturação. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 1996, 121p.(Dissertação).

CUMMINS, D.G. Yield and quality changes with maturity of silage – type *Sorghum* Fodder. *Agronomy Journal*, v.73, n.6, p.998-990, 1981.

DEMARCHI, J.J.A.; BOIN, C.D.; BRAUN, G. A cultura de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para produção de silagens de alta qualidade. *Revista de Zootecnia Nova Odessa*, v.33, n.3, p.111-136, 1995.

FLARESSO, J.A.; GROSS, C.D.; ALMEIDA, E.X. Cultivares de milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para ensilagem no Alto Vale do Itajaí, Santa Catarina. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.29, n.6, p.1608-1615, 2000.

MOLINA, L.R.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M.; RODRIGUES, J.A.S.; FERREIRA, V.C.P. Avaliação agrônômica de seis híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench). *Arquivo Brasileiro de Veterinária e Zootecnia*, v.52, n.4, p. 385-390, 2000.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D.C.; BRONDANI, I.L.; PELLEGRINI, L.G.; FREITAS, A.K. Avaliação do valor nutritivo de planta e da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.1, p.293-301, 2002 (suplemento)a.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D.C.; BERNARDES, R.A.C.; ARBOITE, M.Z.; CERDÓTES, L.; PEIXOTO, L.A.O. Avaliação de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) quanto aos componentes da planta e silagens produzidas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.1, p.302-312, 2002 (suplemento)b.

NUSSIO, L.G. Milho e sorgo para produção de silagem. In: PEIXOTO, A.M. et al. (Ed). *Volumoso para bovinos*, 2ªed. Piracicaba: Fundação de Estudo Agrários Luiz Queiroz, 1995, p.75-177.

ROCHA JÚNIOR, V.R.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUES, J.A.S.; BRITO, A.F.; ROGRIGUEZ, N.M.; BORGES, I. Avaliação de sete genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) para produção de silagem. I- Características agrônômicas. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.52, n.5, p. 506-511, 2000.

SILVA, F.F. Qualidade de silagens de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) de portes baixo, médio e alto com diferentes proporções de colmo, folhas e panícula. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 1997. 93p. (dissertação).

SISTEMAS DE ANÁLISES ESTATÍSTICA E GENÉTICAS - SAEG. Versão 7.0. Viçosa: UFV, 1998.

TOMICH, T.R. Potencial forrageiro de híbridos de sorgo com capim Sudão avaliados em regime de corte. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2003. 88p. (Tese).

WHITE, J.S.; BOLSEN, K.K.; POSLER, G. Forage sorghum silage dry matter disappearance as influenced by plant part proportion. *Animal Feed Science and Technology*, v.33, n.4, p.313-322, 1991.

ZAGO, C.P.; CRUZ, M.E.; GOMIDE, J.A. Avaliação do desempenho de vaca leiteiras alimentadas com silagem de milho e sorgo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 26, 189. Porto Alegre. *Anais...*Porto Alegre:SBZ, 1989.

ZAGO, C.P. A cultura de sorgo para produção de silagem de alto valor nutritivo. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS, 4, 1991, Piracicaba, *Anais...*Piracicaba: FEALQ, p.169-217, 1991.

CAPÍTULO 3. EXPERIMENTO 2 - DIGESTIBILIDADE *IN VITRO*, GRUPOS FUNCIONAIS E QUALIDADE DAS SILAGENS DE 25 HÍBRIDOS DE SORGO

Resumo: O experimento foi conduzido com o objetivo de avaliar a qualidade das silagens 25 diferentes híbridos de sorgo. Os materiais foram ensilados em silos de PVC durante 56 dias. Foi utilizado um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições por híbrido e o teste de Scott-knott ($p < 0,05$) para comparação entre médias. Os materiais foram avaliados quanto aos teores de matéria seca (MS), pH, nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total ($N-NH_3/N_{total}$), proteína bruta (PB), frações fibrosas, ácidos orgânicos, digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) e grupos funcionais da lignina. Houve diferença estatística entre os híbridos nos valores de MS, com valores que variaram de 33,47 % a 43,08 % para os híbridos ATF53*9929036 e CMSXS217*9929012, respectivamente. Os híbridos CMSXS205*9929046 e TX635*9930002 apresentaram o menor (7,04 %) e maior valor (9,21 %) de PB. Os teores de $N-NH_3/N_{total}$ variaram de 3,61 a 11,22 % classificando as silagens como de boa e de muito boa qualidade. Os valores de fibra em detergente (FDN) variaram de 56, 97 % (TX635*9930002) a 63,55 % (CMSXS205*9930002). Os valores de lignina dos híbridos avaliados variaram de 3,57 % (BR 700) a 7,06 % (CMSXS205*9929046). As silagens não apresentaram diferenças significativas quanto aos valores de pH, fibra em detergente ácido (FDA), hemiceluloses, celulose, DIVMS, e ácidos orgânicos.

Palavras-chaves: Forrageira, ruminante, valor nutritivo, volumoso.

3.1. INTRODUÇÃO

No Brasil ocorre uma distribuição irregular da produção de forrageira com cerca de 80 a 90 % desta produção concentrada durante a época quente e chuvosa do ano. Devido a esta estacionalidade climática a produção animal baseada na exploração intensiva das pastagens torna-se inviável e não permite uma produção regular da pecuária brasileira fazendo necessário a produção de forrageiras conservadas para utilização durante o período de entressafra (Silva, 1998; Zago, 1991).

A ensilagem é uma das principais formas de conservação de forrageiras utilizada no Brasil,

garantindo alimentação de ruminantes durante o período de estiagem. O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) é uma gramínea de origem africana que devido suas características agrônomicas e valor nutritivo, tem sido rotineiramente recomendado para alimentação de ruminantes. A silagem de sorgo apresenta várias vantagens quando comparada à de milho, incluindo menores custos de produção, maior tolerância à estiagem, melhor capacidade de se recuperar após longos períodos de estiagem e maior produção sob estas condições.

O sucesso da obtenção de uma boa silagem está na capacidade de se criar condições favoráveis para a fermentação láctica, promovendo rápida queda do pH da massa ensilada, e conseqüentemente inibição do desenvolvimento de microrganismos proteolíticos. Uma silagem de boa qualidade apresenta baixos teores de amônia, na qual a fração nitrogenada não protéica é principalmente representada por aminoácidos. As silagens de baixa qualidade variam entre dois extremos: silagens com elevada umidade que propiciam a produção de grandes quantidades de amônia, aminas e ácido butírico; e silagens com alto conteúdo de matéria seca na qual a atividade fermentativa é inibida, mas permite a atividade de fungos e produção de grande quantidade de calor, elevando os níveis de nitrogênio ligado à fibra. O teor de matéria seca é um dos principais fatores que afetam a fermentação durante o processo de ensilagem, e a qualidade da silagem produzida, além de estar positivamente correlacionado com o consumo (McDonald et al., 1991; Van Soest, 1994).

A avaliação de silagens baseia-se em parâmetros que ajudam a definir a qualidade e o processo fermentativo da forrageira ensilada como: teor de matéria seca, pH, nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total, digestibilidade *in vitro* da matéria seca e concentração de ácidos orgânicos (acético, butírico, propiônico e láctico) (Van Soest, 1994; McDonald et al., 1991; Borges et al., 1997; Araújo, 2002).

Atualmente os sistemas modernos de avaliação de exigências nutricionais de ruminantes como o AFRC (1992) e NRC (1996) utilizam os constituintes da parede celular, fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) para predição de consumo e digestibilidade de alimentos. De acordo com Minson (1990) a FDN, FDA e lignina são frações negativamente correlacionadas com o consumo voluntário e com a digestibilidade e valores energéticos das forrageiras.

Com o progresso nas avaliações dos constituintes da parede celular como a celulose, hemiceluloses e lignina, houve um maior conhecimento da estrutura tridimensional da matriz, das interações no polímero, das ligações éster e éter na associação dos ácidos ferúlico e p-cumárico e das proporções de siringil, guaiacil e hidroxicinamil na lignina. Segundo Noguera (2002) a composição química da lignina foi determinante dos valores de digestibilidade e do acamamento de híbridos de sorgo para produção de silagens. Segundo este autor o avanço do estágio de maturação das plantas de sorgo foi acompanhado por aumento na concentração de hidroxibenzaldeído, vanilina e siringaldeído, indicando maior lignificação com o avanço da idade da planta.

Os objetivos deste experimento foram avaliar a digestibilidade *in vitro* da matéria seca, determinar os grupos funcionais e a qualidade das silagens de 25 diferentes híbridos de sorgo melhorados geneticamente.

3.2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados 25 híbridos de sorgo de duplo propósito, sendo 22 híbridos novos pertencentes ao programa de melhoramento genético de sorgo da Embrapa Milho e Sorgo (ainda não lançados no mercado): ATF53*9929036, ATF54*9929036, ATF53*9930022, 007*9929054, CMSXS212*9929048, CMSXS217*9929012, ATF54*9930002, ATF53*9930002, ATF53*9929024, ATF53*9929028, CMSXS212*9929044, 212*9929024, 217*9929024, CMSXS205*9929046, CMSXS217*9929028, CMSXS212*9929028, CMSXS205*9930002, CMSXS206*9930002, CMSXS156*9930002, CMSXS157*9930002, CMSXS222*9930002, TX635*9930002, e três híbridos testemunhas: BR 601, BR 700 e VOLUMAX. Os materiais foram plantados na EMBRAPA Milho e Sorgo, localizada no município de Sete Lagoas, no ano agrícola de 2001/2002.

O solo da área experimental foi classificado como latossolo vermelho escuro argiloso, fase cerrado, com 5 % de declividade. No preparo do solo foram realizadas uma aração e duas gradagens. A semeadura foi feita utilizando-se plantadeira de parcela manual, utilizando-se 400 kg/ha da fórmula 08:28:16 (N:P:K)+ 0,5 % Zn e adubação de cobertura aos 40 dias após o plantio usando-se 100 kg de uréia/ha. O material foi semeado em canteiros de 7 m de comprimento e 3,5 m de largura, com espaçamento entre linhas de 0,70 m. No controle de plantas invasoras realizou-se a aplicação de

herbicida à base de atrazina na dosagem de 3,5 l/ha na fase de pré-emergência. O corte foi realizado em duas linhas centrais, descartado-se um metro nas extremidades dos canteiros.

As plantas foram cortadas manualmente, rente ao solo, pesadas e picadas em picadeira estacionária, homogeneizadas e ensiladas imediatamente. Para a ensilagem foram utilizados silos de laboratórios confeccionados em PVC com 10 cm de diâmetro e 40 de comprimento. A compactação foi realizada com soquete de madeira, e os silos foram fechados com tampas de PVC dotadas de válvula do tipo Bunsen e lacrados com fita adesiva. Os silos foram pesados antes e após a ensilagem, e posteriormente levados ao Laboratório de Nutrição Animal da Escola de Veterinária da UFMG.

A abertura dos silos foi realizada aos 56 dias de fermentação. Durante a abertura foi realizada avaliação visual, para observação de mofo. As silagens foram retiradas dos silos e homogeneizadas. Parte do material foi submetido à prensagem em prensa hidráulica Carver, para extração do suco, no qual foram imediatamente avaliados o pH em potenciômetro Beckman e nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total, por destilação em óxido de magnésio. Outra parte do suco das silagens foram adicionadas de ácido fosfórico e congeladas para futuras análises de ácidos orgânicos (AOAC, 1995).

As silagens foram amostradas e colocadas em bandejas de alumínio de peso conhecido, pesadas e levadas à estufa de ventilação forçada a 60-65°C durante 72 horas para determinação da matéria pré-seca. Após as 72 horas de pré-secagem, as bandejas foram removidas da estufa, e submetidas à estabilização em temperatura ambiente durante duas horas, e pesadas imediatamente. As amostras pré-secas foram moídas a um mm e armazenadas em recipientes fechados, para determinações dos teores de matéria seca a 105°C (AOAC, 1995), de proteína bruta utilizando fator de 6,25 (método de combustão de Dumas em analisador Leco®), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hemiceluloses, celulose e lignina (Ankon 220 - Fiber Analyser, segundo a metodologia de Goering e Van Soest, 1970, utilizando amilase) e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (Tilley e Terry, 1963).

Para caracterização da lignina foi utilizada a técnica de oxidação em nitrobenzeno em microrreator Parr4842 (50 ml), durante três horas, seguida de extração em clorofórmio. A determinação dos grupos funcionais da lignina (p-hidroxibenzaldeído,

vanilina e siringaldeído) foi realizada utilizando Cromatógrafo Varian CP-3380 com coluna capilar.

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, com três repetições para cada híbrido. Para comparação de médias utilizou-se o teste de Scott-knott ($p < 0,05$). Os dados obtidos foram avaliados pelo pacote estatístico SAEG (1998). Os dados obtidos para os grupos funcionais da lignina não foram submetidos à análise estatística.

3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de matéria seca (MS), pH, proteína bruta (PB) e nitrogênio amoniacal em porcentagem do nitrogênio total ($\text{NH}_3/\text{Ntotal}$) encontram-se na Tabela 3. O teor de MS das silagens apresentou diferenças entre si ($P < 0,05$). Os valores de MS variaram de 33,47 a 43,08 %. Os híbridos ATF53*9929036, ATF54*9930002, ATF53*9929024, ATF54*9929036, ATF53*9930002, ATF53*9929028,

CMSXS217*9929028, CMSXS205*9930002, CMSXS206*9930002, CMSXS156*9930002, CMSXS157*9930002, CMSXS222*9930002, TX635*9930002, BR 601, BR 700 apresentaram os menores valores de MS em relação aos demais híbridos estudados, variando de 33,47 % a 37,99 %, e não apresentaram diferenças estatísticas entre si. Já os híbridos ATF53*9930022, ATF53*9930022, CMSXS212*9929048, CMSXS217*9929012, 212* 9929044, CMSXS212*9929024, CMSXS217*9929024, CMSXS205*9929046, CMSXS212*9929028 e VOLUMAX apresentaram os maiores valores de MS, variando de 39,56 % a 43,08 %, também sem diferenças estatísticas entre si. Magalhães (2005) avaliando os mesmos híbridos deste experimento antes de serem ensilados encontrou valores de MS semelhantes aos de suas respectivas silagens, com exceção para o híbrido testemunha VOLUMAX, onde a silagem apresentou (40,18 %) maior valor de MS em relação ao seu material *in natura* (33,45 %).

Tabela 3. Valores de matéria seca, pH, proteína bruta e nitrogênio amoniacal em relação ao nitrogênio total das silagens de 25 híbridos de sorgo

HÍBRIDOS	MS (%) ¹	pH ²	PB(%) ³	N-NH ₃ /Ntotal ⁴
ATF53*9929036	33,47B	3,89A	7,48B	3,87C
ATF54*9929036	33,99B	3,99A	8,43A	4,18C
ATF53*9930022	38,56A	3,90A	8,27A	5,22C
BR 007*9929054	42,43A	4,01A	8,02B	8,11B
CMSXS212*9929048	41,68A	3,87A	7,34B	6,71B
CMSXS217*9929012	43,08A	3,87A	7,62B	3,69C
ATF54*9930002	35,66B	3,97A	8,85A	3,63C
ATF53*9930002	35,55B	3,95A	8,79A	3,61C
ATF53*9929024	35,81B	3,91A	8,84A	6,50B
ATF53*9929028	37,99B	3,96A	8,30A	7,46B
CMSXS212*9929044	40,83A	3,92A	8,12A	3,97C
CMSXS212*9929024	39,56A	3,68A	9,05A	3,38C
CMSXS217*9929024	39,99A	3,93A	8,09A	3,59C
CMSXS205*9929046	42,73A	3,97A	7,04B	7,18B
CMSXS217*9929028	36,78B	3,88A	8,27A	8,34B
CMSXS212*9929028	40,42A	3,93A	7,75B	7,30B
CMSXS205*9930002	36,57B	3,95A	8,32A	7,84B
CMSXS206*9930002	36,61B	3,82A	8,60A	6,39B
CMSXS156*9930002	33,45B	3,81A	8,42A	7,03B
CMSXS157*9930002	36,75B	3,70A	8,37A	7,41B
CMSXS222*9930002	36,27B	3,90A	8,26A	7,06B
TX635*9930002	35,94B	4,01A	9,21A	7,49B
BR 601	34,09B	3,79A	7,85B	6,81B
BR 700	35,46B	4,08A	7,92B	11,22A
VOLUMAX	40,18A	3,79A	7,25B	3,83C

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si. Teste Scott-knott ($p < 0,05$). $\text{CV}^1=9,4\%$; $\text{CV}^2=3,78\%$; $\text{CV}^3=6,74\%$; $\text{CV}^4=21,9\%$

Segundo Paiva (1976) a MS de silagens deve variar de 30 a 35 % para que estas sejam consideradas de boa qualidade. Neste trabalho apenas os híbridos ATF53*9929036, ATF54*9929036, ATF54*9930002, ATF53*9930002, ATF53*9929024, CMSXS156*9930002, BR 601 e BR 700 encontram-se dentro do intervalo proposto pelo referido autor, no entanto, nenhum dos híbridos situou-se abaixo dos 30 %.

Por outro lado, materiais com elevado teor de matéria seca, acima de 45 %, não permitem uma compactação adequada do material no silo, dificultando a retirada do oxigênio da massa ensilada, favorecendo a produção de calor e de reações de Maillard (Van Soest, 1994), o que sugere que todas as silagens deste experimento possuem teores de MS que permitem uma compactação favorável para a ocorrência de fermentação láctica desejável, fato este que pode ser comprovado avaliado-se o teor de pH e de ácido láctico obtidos nas silagens estudadas.

Brito (1999) obteve silagens de boa qualidade utilizando materiais com teores de matéria seca variando de 24,5 % a 31,5 %. Já segundo Araújo (2002) o momento ideal de colheita de sorgo para produção de silagem foi determinado pelos teores de matéria seca onde os híbridos se encontravam com 30,27 %, 30,46 % e 33,07 %. A obtenção de silagens de bom valor nutritivo em condições de matéria seca distintas como ocorre na literatura, pode ser explicada pelas condições de ensilagem experimental, principalmente quando se utilizam silos de PVC e compactação manual, o que propicia um rígido controle das condições de fermentação da forrageira.

O teor de matéria seca é rotineiramente utilizado como base para determinação do consumo voluntário de ruminantes. De acordo com Waldo (1986) dietas excessivamente úmidas podem apresentar consumo voluntário reduzido. Nesse sentido, o NRC (2001) menciona que volumosos úmidos com teores de MS acima de 30 % podem não permitir a expressão do potencial de ingestão de vacas leiteiras. Alvarenga (1994), no entanto, não observou diferenças significativas no consumo de silagens de sorgo colhidas em três diferentes épocas de maturação com teores de matéria seca variando de 26,89 % a 29,10 %, principalmente pelo fato dos teores de matéria seca serem muito próximos.

Os valores de pH das silagens variaram de 3,7 a 4,01, sem diferenças estatísticas entre os híbridos ($P > 0,05$). Estes valores estão de acordo com aqueles

apresentados por Borges et al. (1997), Molina (2000) e Araújo (2002) na avaliação de silagens de sorgo. Segundo Paiva (1976), Roth e Undersander (1995) e Vilela (1998) silagens de muito boa qualidade apresentam pH abaixo de 3,8; silagens de boa qualidade têm pH no intervalo de 3,8 a 4,2; silagens de qualidade satisfatória apresentam pH entre 4,2 e 4,6; e finalmente silagens com pH acima de 4,6 são de qualidade ruim. De acordo com esta classificação, mesmo não se conhecendo a velocidade de queda do pH, as silagens avaliadas neste experimento são de muito boa e de boa qualidade. Segundo Borges et al. (1997) este tipo de classificação não permite agrupar as silagens de maneira simples, desde que recebam pelo menos uma classificação ruim entre os parâmetros avaliados. De acordo com McDonald et al. (1991) silagens com teor MS acima de 35 % o pH torna-se um critério de menor importância, podendo-se obter silagens de boa qualidade mesmo que estas apresentem pH mais elevado.

Quanto aos teores de PB os híbridos apresentaram diferenças entre si ($P < 0,01$). Os híbridos ATF53*9929036, BR 007*9929054, CMSXSCMSXS212*9929048, CMSXS217*9929012, CMSXS205*9929046, CMSXS212*9929028, BR 700, BR 601 e VOLUMAX apresentaram os menores valores de PB, variando de 7,04 a 7,92 % de PB. Já os híbridos ATF54*9929036, ATF53*9930022, ATF54*9930002, ATF53*9930002, ATF53*9929024, ATF53*9929028, CMSXS212*9929044, CMSXS212*9929024, CMSXS217*9929024, CMSXS217*9929028, CMSXS205*9930002, CMSXS206*9930002, CMSXS156*9930002, CMSXS157*9930002, CMSXS222*9930002 e TX635*9930002 apresentaram os maiores valores de PB variando de 8,09 a 9,21 %. De acordo com Church (1988) a dieta de ruminantes deve conter pelo menos 7 % de proteína bruta para fornecimento de nitrogênio adequado ao crescimento das bactérias ruminais, e promover uma fermentação ruminal eficiente.

Os valores encontrados foram superiores às médias descritas por Araújo (2002), de 6,44 %, 6,68 % e 6,97 % para os híbridos BR700, BR701 e MASSA 03, sendo suficientes para garantir fornecimento suficiente de nitrogênio para os microrganismos ruminais. Andrade e Carvalho (1992) e Neumann et al. (2002b) também encontraram menores teores de proteína em silagem de sorgo do que os valores observados no presente experimento. Segundo Andrade e Carvalho (1992) o teor de proteína na cultivar de sorgo AG2002 variou entre 5,36 %, 5,86 % e 5,47 % para plantas colhidas em estágio de

grãos leitosos, farináceos e duros, respectivamente; sendo a panícula responsável por mais de 60 % do acúmulo de proteína bruta produzida. Para Neumann et al. (2002b) variações nas proporções de colmo, folha e panículas nas plantas de sorgo são as maiores responsáveis por variações nos teores de proteína entre diferentes híbridos.

Os híbridos apresentaram variações quanto aos teores de N-NH₃/Ntotal (P<0,001). O híbrido BR700 teve o maior valor de NH₃/Ntotal (11,22 %) em relação aos demais materiais estudados. Os híbridos BR 007*9929054, CMSXS212*9929048, ATF53*9929024, ATF53*9929028, CMSXS205*9929046, CMSXS217*9929028, CMSXS212*9929028, CMSXS205*9930002, CMSXS206*9930002, CMSXS156*9930002, CMSXS157*9930002, TX635*9930002, BR 601 e CMSXS222*9930002 apresentaram valores intermediários variando de 6,39 % a 8,31 %. Já os híbridos ATF53*9929036, ATF54*9929036, ATF53*9930022, CMSXS217*9929012, ATF54*9930002, ATF53*9930002, CMSXS212*9929044, CMSXS212*9929024, CMSXS217*9929024 e VOLUMAX apresentaram os menores valores de NH₃/Ntotal, os quais variaram de 3,61 % a 5,22 %. Molina (2000) avaliando híbridos de duplo propósito obteve médias de 10,38 e 11,21 % de NH₃/Ntotal. Já Borges et al. (1997) e Brito (1999) encontraram valores mais baixos com médias de 5,2 e 5,03 %, respectivamente. Segundo Vieira et al. (2004) silagens de muito boa e de boa qualidade apresentam níveis de NH₃/Ntotal entre 0-10 % e entre 10-15 %, respectivamente. Sendo assim, o a silagem do híbrido BR700 pode ser considerado como de boa qualidade e as demais como de muito boa qualidade, podendo-se afirmar que as silagens deste experimento apresentam níveis adequados de NH₃/Ntotal, o que demonstra que a proteólise ocorrida durante o processo fermentativo dentro do silo foi reduzida, conservando a qualidade da forrageira ensilada.

Os valores dos componentes da parede celular FDN, FDA, hemiceluloses, celulose e lignina das silagens

estudadas encontram-se na Tabela 4. Quanto aos valores de FDN os híbridos apresentaram diferenças estatísticas entre si (P<0,05). Os híbridos ATF53*9930002, BR 007*9929054, CMSXS217*9929028, 212*9929029, CMSXS206*9930002, CMSXS156*9930002, CMSXS222*9930002, TX635*9930002, BR601 e VOLUMAX apresentaram os menores valores de FDN variando de 56,97 % a 59,98 %. Os demais híbridos apresentaram os maiores valores e variaram de 60,37 % (ATF54*9930002) a 63,55 % (CMSXS205*9930002). Os híbridos de maiores valores para a fração FDN estudados neste experimento apresentaram valores superiores àqueles citados por Neumann et al. (2002a) para híbridos de porte intermediário, alto e de duplo propósito que variaram de 54,27 % a 58,27 %; e aos dados de Borges et al. (1997) que avaliaram híbridos de porte alto (56,60 % a 59,75 %).

Segundo Silva et al. (1999) a redução da fração FDN é acompanhada por aumento na participação da fração panícula em planta de sorgo. No presente experimento os valores de FDN não apresentaram correlação significativa com os valores de porcentagem de panícula, colmo e folhas (P>0,05).

Magalhães (2005) avaliando os mesmos híbridos de sorgo deste experimento, antes de serem ensilados, encontrou valores da fração FDN sempre superiores aos de suas respectivas silagens, variando de 59,03 % a 73,40 %. Apesar dos experimentos não terem sido comparados, estas diferenças entre os teores de FDN poderiam ser explicadas por uma possível fermentação da fração hemiceluloses durante o processo de ensilagem, que é a principal fração componente da FDN. Brito (1999), Rocha Júnior (1999) e Silva et al. (1999) observaram redução da fração FDN durante o processo fermentativo em silos de PVC, e justificaram esta redução devido ao consumo da fração hemiceluloses durante a ensilagem. Segundo Henderson (1993) a fração hemiceluloses é uma fonte adicional de substratos para a fermentação anaeróbica, podendo ser consumida em até 40 % durante a ensilagem.

Tabela 4. Valores de FDN, FDA, hemiceluloses, celulose e lignina das silagens de 25 híbridos de sorgo

HÍBRIDOS	FDN(%) ¹	FDA(%) ²	HEMIC(%) ³	CEL(%) ⁴	LIG(%) ⁵
ATF53*9929036	62,97 ^a	37,58A	25,39A	31,88A	5,70A
ATF54*9929036	60,81 ^a	37,79A	23,01A	32,83A	4,95B
ATF53*9930022	59,30B	34,95A	4,36A	28,49A	6,45A
BR 007*9929054	59,98B	36,39A	23,59A	30,73A	5,66A
CMSXS212*9929048	62,11 ^a	37,84A	24,27A	31,32A	6,52A
CMSXS217*9929012	62,22 ^a	38,10A	24,12A	31,33A	6,76A
ATF54*9930002	60,37 ^a	37,23A	23,14A	31,73A	5,55A
ATF53*9930002	62,22 ^a	36,71A	25,50A	30,36A	6,35A
ATF53*9929024	61,55 ^a	40,29A	25,59A	33,27A	7,02A
ATF53*9929028	60,78 ^a	40,48A	20,30A	33,70A	6,77A
CMSXS212*9929044	63,01 ^a	38,39A	24,62A	32,77A	5,62A
CMSXS212*9929024	62,01 ^a	37,50A	24,51A	31,75A	5,75A
CMSXS217*9929024	61,63 ^a	35,68A	25,94A	28,98A	6,70A
CMSXS205*9929046	60,71 ^a	35,06A	25,65A	28,00A	7,06A
CMSXS217*9929028	58,50B	37,86A	20,64A	31,70A	6,15A
CMSXS212*9929028	58,31B	33,62A	24,69A	27,78A	5,84A
CMSXS205*9930002	63,55 ^a	35,00A	28,55A	28,56A	6,44A
CMSXS206*9930002	58,05B	36,37A	21,68A	31,66A	4,70B
CMSXS156*9930002	58,77B	35,10A	23,67A	28,22A	6,87A
CMSXS157*9930002	62,98 ^a	35,28A	27,69A	28,49A	6,79A
CMSXS222*9930002	58,24B	32,98A	25,26A	28,82A	4,16B
TX635*9930002	56,97B	36,18A	20,79A	31,94A	4,23B
BR 601	58,71B	25,19A	33,51A	20,12A	4,97B
BR 700	61,40 ^a	35,19A	26,21A	31,62A	3,57B
VOLUMAX	58,07B	35,18A	22,88A	29,7A	5,21B

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si. Teste Scott-knott ($P < 0,05$). $CV^1 = 6,29\%$; $CV^2 = 44,92\%$; $CV^3 = 18,35\%$; $CV^4 = 11,09\%$; $CV^5 = 12\%$.

Os valores de FDA não foram diferentes entre os híbridos ($P > 0,05$). Os valores de FDA variaram de 25,19 % (para o híbrido BR601) a 40,48 % (para o híbrido ATF53*9929028). Neumann et al. (2002a) relataram valores de FDA que variaram de 28,96 % a 35,38 %. No entanto, Silva e Restle (1993) encontraram valor de FDA semelhante aos híbridos ATF53*9929024 e ATF53*9929028 para o híbrido AG2002 (42,72%). Assim como observado para a fração FDN, Magalhães (2005) avaliando os mesmos híbridos de sorgo deste experimento, antes de serem ensilados, encontrou valores da fração FDA sempre inferiores aos de suas respectivas silagens, variando de 26,78 % a 35,91 %. Danley e Vetter (1973) também observaram aumento na fração FDA durante o processo de ensilagem. Por outro lado, Silva et al. (1999) observou redução da fração FDA e afirmou que esta redução pode ser explicada pela fermentação da celulose durante o processo de ensilagem. No entanto, para Van Soest (1994) a celulose praticamente não se modifica durante a ensilagem, a não ser quando há extensa fermentação por fungos e leveduras durante a ensilagem, o que parece não ter ocorrido neste experimento.

Os valores de hemiceluloses não apresentaram diferenças significativas entre os híbridos estudados ($P > 0,05$) e variaram de 20,03 % a 33,51 %. Estes dados foram semelhantes aos relatados por Rocha Júnior (1999) (27,58 % a 31,51 %), e inferiores às médias obtidas por Borges et al. (1997) (38,1 %). Como já discutido para a fração FDN, neste experimento existem indícios de que a fração hemiceluloses sofreu degradação durante o processo de ensilagem. Segundo McDonald et al. (1991) a hidrólise das hemiceluloses acontece por ação de hemicelulases bacterianas e/ou pela hidrólise da hemiceluloses por ácidos orgânicos produzidos durante a fermentação. Segundo Silva et al. (1999) a utilização das hemiceluloses durante a fermentação é controlada principalmente pelos teores de carboidratos solúveis disponíveis para a fermentação.

Os valores de celulose não apresentaram diferenças entre os híbridos avaliados ($P < 0,05$) e variaram de 28,0 % a 36,27 %. Rocha Júnior (1999) encontrou valores de celulose inferiores aos do presente experimento que variaram de 21,94 % a 25,72 % aos 56 dias de fermentação. Os valores encontrados por Araújo (2002) foram de 26,37 %, 28,49 % e 32,07 %

para as silagens dos híbridos Massa 03, BR 701 e BR 700, respectivamente. Ao se comparar os resultados obtidos neste experimento com aqueles de Magalhães (2005) não foram observadas reduções nas porcentagens de FDA entre os materiais não ensilados com as suas respectivas silagens deste experimento, não havendo indícios de que a fração celulose tenha sido fermentada durante a ensilagem. Rocha Júnior (1999) e Silva (1997) observaram redução da fração celulose durante o processo fermentativo no silo. Segundo Van Soest (1994) a celulose só é reduzida durante a ensilagem devido fermentações aeróbicas, onde há proliferação de fungos na massa ensilada.

Quanto aos valores de lignina foram observadas diferenças entre os híbridos avaliados ($P < 0,05$). De maneira geral os valores de lignina dos híbridos avaliados variaram de 3,57 % a 7,06 %. Os híbridos ATF54*9929036, CMSXS206*9930002, CMSXS222*9930002, TX635*9930002, BR 601, BR 700 e VOLUMAX apresentaram os menores valores de lignina, variando de 3,57 % a 5,21 %, e não diferiram entre si. Já os híbridos ATF53*9929036, ATF53*9930022, BR 007*9929054, CMSXS217*9929012, CMSXS217*9929012, ATF54*9930002, ATF53*9930002, ATF53*9929024, ATF53*9929028, CMSXS212*9929044, 212*9929024, 217*9929024, CMSXS205*9929046, CMSXS217*9929028, CMSXS212*9929028, CMSXS205*9930002, CMSXS156*9930002, CMSXS157*9930002 apresentaram os maiores valores de lignina, e variaram de 5,55 % a 7,06 %. Rocha Júnior (1999) e Araújo (2002) encontraram valores semelhantes aos do presente experimento que variaram de 4,32 % a 7,6 %, e de 4,74 % a 6,91 % (estádio de grãos leitosos/pastoso), respectivamente. Segundo Van Soest (1994) a lignina é responsável por reduções nas taxas de digestão dos componentes da parede celular devido ligações principalmente com as hemiceluloses, por impedirem o acesso de enzimas ao substrato e devido a efeitos tóxicos sobre os microrganismos ruminais. Araújo (2002) encontrou correlação de -0,49 entre a lignina e a digestibilidade *in vitro* da matéria seca ($P < 0,05$). No entanto, no presente experimento não foram observadas correlações significativas entre as duas características ($P > 0,05$).

Os valores de DIVMS e a caracterização dos grupos funcionais da lignina das silagens de 25 híbridos de sorgo encontram-se na Tabela 5. Os híbridos não apresentaram diferenças quanto aos valores de DIVMS ($P > 0,05$) e apresentaram porcentagens de DIVMS que variaram de 50,34 % para o híbrido

CMSXS205*9930002 a 55,40 % para o híbrido ATF53*9929036. Estes valores foram inferiores às médias encontrados por Araújo (2002) de 52,26 %, 54,32 % e 58,09 %, para os híbridos BR700, BR 701 e Massa 03, respectivamente. No entanto, foram semelhantes àqueles obtidos por Rocha Júnior (1999) que variaram de 50,19 % a 55,09 % para híbridos de sorgo de porte baixo, médio e alto, aos 56 dias de fermentação. De acordo com Paiva (1976) silagens com DIVMS entre 40 % e 55 % podem ser classificadas como sendo de qualidade satisfatória; para este mesmo autor silagens de 55 % a 65 % são classificadas como de boa qualidade, onde se enquadraria apenas a silagem do híbrido apenas o híbrido ATF53*9929036 do presente experimento.

Segundo Minson (1990) um dos maiores problemas para o melhoramento de forrageiras tropicais é a anatomia das planta C4, que se caracteriza pela presença de componentes estruturais em maior proporção que aqueles observados em forrageiras temperadas. Desta forma, a digestibilidade de forrageiras é intensamente influenciada pelo aumento da fração lignificada da parede celular. Neste experimento não foi observada correlação significativa entre a DIVMS e os componentes da parede celular, que como apresentado na Tabela 2 não diferiram entre os híbridos estudados. Araújo (2002) não observou diferenças nos valores de DIVMS para híbridos de sorgo de duplo propósito colhidos em cinco diferentes estádios de maturação. Para este autor o aumento da participação de panícula na planta do sorgo, acompanhada por aumento na quantidade de amido, seria capaz de compensar a redução da digestibilidade devido ao avanço da maturidade da planta. Segundo Silva et al. (1999) os valores de DIVMS e DIVMO aumentam com a maior participação de panícula na planta do sorgo, sendo necessário pelo menos 40 % desta fração para obtenção de silagens de sorgo de boa qualidade, fato não obtido com os híbridos avaliados no presente experimento.

A composição química da lignina das 25 silagens de sorgo avaliadas mostrou a presença de p-hidroxibenzaldeído (HBD), vanilina (VAN) e siringaldeído (SGD), o que estas ligninas são oriundas de gramíneas. De acordo com Nogueira (2000) com o avanço do estágio de maturação e conseqüentemente aumento do grau de lignificação de híbridos de sorgo para produção de silagem, ocorre aumento da concentração de HBD, VAN e SGD.

Avaliando a Tabela 4 pode-se observar que o teor de lignina das silagens foi diferente entre alguns

híbridos, no entanto, a DIVMS não diferiu para nenhuma das silagens avaliadas. Este aspecto reafirma o fato de que somente o teor de lignina não é um bom indicador para o valor nutritivo de forrageiras. Ao se analisar a relação V/S, esta teve valores bem próximos demonstrando que a lignina dos genótipos teria ação semelhante sobre a degradação dos carboidratos estruturais, o que justificaria os valores de DIVMS semelhantes entre

os híbridos. Nogueira (2000) avaliando três genótipos de sorgo em três épocas de corte encontrou menor relação V/S para os materiais que obtiveram os maiores valores de DIVMS. Segundo Saliba (1998) e Saliba et al. (1999a), a vanilina, que é derivada o ácido ferúlico, é a maior responsável pelas ligações da lignina com as hemiceluloses e pela redução da digestibilidade das forrageiras.

Tabela 5. Valores de porcentagens de DIVMS e caracterização dos grupos funcionais da lignina (mg/ml) das silagens de 25 híbridos de sorgo

HÍBRIDOS	DIVMS (%)	HBD	VAN	SGD	V/S
ATF53*9929036	55,40 ^a	0,0382	0,0369	0,0826	0,45
ATF54*9929036	54,55 ^a	0,0141	0,0374	0,0863	0,43
ATF53*9930022	50,39 ^a	0,0172	0,0381	0,0838	0,45
BR 007*9929054	50,39 ^a	0,0182	0,0013	0,0017	0,76
CMSXS212*9929048	52,58 ^a	0,0156	0,0326	0,0831	0,39
CMSXS217*9929012	50,41 ^a	0,0562	0,0762	0,1664	0,45
ATF54*9930002	51,83 ^a	0,0508	0,0317	0,0830	0,38
ATF53*9930002	51,32 ^a	0,0108	0,0383	0,0832	0,46
ATF53*9929024	51,70 ^a	0,0119	0,0369	0,0852	0,43
ATF53*9929028	50,71 ^a	0,0184	0,0115	0,0105	0,76
CMSXS212*9929044	52,01 ^a	0,0181	0,0390	0,0890	0,44
CMSXS212*9929024	50,69 ^a	0,0455	0,0593	0,0979	0,60
CMSXS217*9929024	50,87 ^a	0,0711	0,0357	0,0832	0,42
CMSXS205*9929046	51,11 ^a	0,0458	0,0353	0,0611	0,57
CMSXS217*9929028	53,15 ^a	0,0384	0,0336	0,0874	0,41
CMSXS212*9929028	50,99 ^a	-	-	-	-
CMSXS205*9930002	50,34 ^a	0,0356	0,0352	0,0813	0,43
CMSXS206*9930002	50,56 ^a	0,0241	0,0340	0,0775	0,43
CMSXS156*9930002	51,76 ^a	0,0219	0,0314	0,0775	0,41
CMSXS157*9930002	51,02 ^a	0,0378	0,0387	0,0978	0,39
CMSXS222*9930002	52,42 ^a	0,0482	0,0391	0,0858	0,45
TX635*9930002	51,01 ^a	0,0558	0,0308	0,0896	0,34
BR 601	51,23 ^a	0,0303	0,0456	0,0985	0,46
BR 700	51,55 ^a	0,0687	0,0399	0,0765	0,52
VOLUMAX	51,23 ^a	0,0890	0,0396	0,0895	0,44

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si. Teste Scott-knott ($p < 0,05$). $CV^1 = 9,4\%$

Os valores de ácidos orgânicos (acético, propiônico, e láctico) das silagens de 25 híbridos de sorgo encontram-se na Tabela 6. Os valores de ácido acético não foram diferentes estatisticamente entre os híbridos estudados ($P > 0,05$) e variaram de 0,88 % (para o híbrido CMSXS205*9930002) a 1,50 % (para o híbrido testemunha BR 700). Vieira et al. (2004) avaliando o efeito da adição de aditivos na fermentação de silagens de sorgo observaram que apenas o tratamento com uréia mais $CaCO_3$ aumentou a produção de ácido acético nas silagens.

Araújo (2002) encontrou redução no teor de ácido acético para o híbrido BR 701 do estádio de grãos duros quando comparados ao estádio de grãos leitosos/pastosos. Os valores encontrados no presente experimento estão de acordo com aqueles observados por Rocha Júnior (1999), Molina (2000) e Araújo (2002). Segundo Nogueira (1996) silagens obtidas neste experimento podem ser consideradas como de muito boa qualidade, considerando os teores de ácido acético inferiores a 2 % para todos os híbridos avaliados.

Tabela 6. Valores de ácidos orgânicos (mg %) das silagens de 25 híbridos de sorgo

HÍBRIDOS	Ac.Acético	Ac. Propiônico	Ac.Láctico
ATF53*9929036	1,05A	0,09A	13,46A
ATF54*9929036	1,14A	0,10A	12,50A
ATF53*9930022	1,20A	0,17A	12,05A
BR 007*9929054	1,20A	0,17A	13,71A
CMSXS212*9929048	0,99A	0,00A	13,47A
CMSXS217*9929012	0,76A	0,04A	11,38A
ATF54*9930002	1,15A	0,04A	13,62A
ATF53*9930002	1,31A	0,09A	14,82A
ATF53*9929024	1,17A	0,02A	16,51A
ATF53*9929028	1,35A	0,06A	11,58A
CMSXS212*9929044	1,01A	0,07A	12,54A
CMSXS212*9929024	0,95A	0,10A	14,12A
CMSXS217*9929024	0,88A	0,07A	14,12A
CMSXS205*9929046	1,15A	0,07A	11,68A
CMSXS217*9929028	1,13A	0,02A	15,53A
CMSXS212*9929028	0,92A	0,11A	10,86A
CMSXS205*9930002	0,88A	0,04A	16,18A
CMSXS206*9930002	1,05A	0,04A	6,50A
CMSXS156*9930002	1,01A	0,15A	14,01A
CMSXS157*9930002	1,44A	0,01A	15,36A
CMSXS222*9930002	0,95A	0,00A	7,64A
TX635*9930002	1,46A	0,07A	15,39A
BR 601	1,02A	0,08A	15,41A
BR 700	1,50A	0,20A	12,64A
VOLUMAX	0,82A	0,08A	10,22A

Médias seguidas por letras iguais na mesma coluna, não diferem estatisticamente entre si. Teste Scott-knott ($p < 0,05$).
 $CV^1 = 3,78\%$; $CV^2 = 6,74\%$; $CV^3 = 21,9\%$

Os valores de ácido acético não foram diferentes entre os híbridos estudados ($P > 0,05$) e variaram de 0,88 % (para o híbrido CMSXS205*9930002) a 1,50 % (para o híbrido testemunha BR 700). Vieira et al. (2004) avaliando o efeito da adição de aditivos na fermentação de silagens de sorgo observaram que apenas o tratamento com uréia mais $CaCO_3$ aumentou a produção de ácido acético nas silagens. Araújo (2002) encontrou redução no teor de ácido acético para o híbrido BR 701 do estádio de grãos duros quando comparados ao estádio de grãos leitosos/pastosos. Os valores encontrados no presente experimento estão de acordo com aqueles observados por Rocha Júnior (1999), Molina (2000) e Araújo (2002). Segundo Nogueira (1996) silagens obtidas neste experimento podem ser consideradas como de muito boa qualidade, considerando os teores de ácido acético inferiores a 2 % para todos os híbridos avaliados.

Segundo Moisis e Heikonen (1994) a elevação do teor de ácido acético em silagens inibe a fermentação láctica, sendo então considerado um regulador da acidez. Já o pH tende a aumentar de 3,87 a 4,10 à medida que o teor de ácido acético se

eleva de 0,5 a 1 %, estando os outros parâmetros constantes. Neste experimento não houve correlações significativas entre acetato e pH, e acetato e lactato. De acordo com Silveira (1975) elevada correlação entre lactato e acetato está relacionada à sua origem em maior parte de fermentações lácticas e não de fermentações secundárias. Sendo assim, como no presente experimento não houve correlação entre as duas frações, pode-se supor que a maior parte do ácido acético tenha origem em fermentações secundárias.

Os valores de ácido propiônico não foram diferentes ($P < 0,05$) entre os híbridos avaliados e variaram de 0 a 0,20 %. De acordo com teor de ácido propiônico encontrado nas silagens estudadas, estas podem ser classificadas como de muito boa qualidade, segundo Roth e Undersander (1995). Rocha Júnior (1999) obteve valores de ácido propiônico variando de 0 a 0,36 % aos 56 dias de fermentação para silagens de sorgo de porte baixo, médio e alto.

Também não foram encontradas diferenças estatísticas entre os híbridos quanto aos valores de ácido láctico para as silagens estudadas ($P < 0,05$). Os

valores de ácido láctico variaram de 6,50 % a 16,51 %. De acordo com Moisis e Heikonen (1994) o conteúdo de ácido láctico decresce à medida que os teores de matéria seca da forrageira aumentam. Araújo (2002) observou que a correlação entre ácido láctico e matéria seca, e entre ácido láctico e pH foram de ($r = -0,75$ e $-0,54$, $p < 0,001$), respectivamente. Segundo McDonald et al. (1991) o ácido láctico é o principal regulador da acidez da forrageira dentro do silo, sendo que Nogueira (1996) classifica as silagens do presente experimento como sendo de muito boa qualidade (teores de ácido láctico acima de 5,0 %).

3.4. CONCLUSÕES

De maneira geral as silagens estudadas podem ser classificadas como sendo de boa e de muito boa qualidade avaliando-se os critérios de MS, pH, N-NH₃/NTotal, PB e ácidos orgânicos. Já o parâmetro de DIVMS permitiu classificar as silagens como de qualidade satisfatória e de boa qualidade apenas para o híbrido ATF53*9929036.

Os valores obtidos para as frações fibrosas classificam as silagens como de qualidade razoável a boa, e dão indícios de que a fração hemiceluloses foi utilizada como fonte de substrato para a fermentação anaeróbica durante o processo de ensilagem.

Pela composição da lignina pode-se inferir sobre a DIVMS das forrageiras avaliadas.

3.5. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

AFRC. Agricultural and Food Research Council: Technical committee on responses to nutrients: Nutritive requirements of ruminant animal protein. *Nutrition Abstract Reviews*, v.68, p.65-71, 1992.

ALVARENGA, M.C.V. Consumo e digestibilidade aparente de silagens de sorgo (*Sorghum vulgare* Pers) em três momentos de corte e dois tamanhos de partículas, em carneiros. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 1994, 82p. (Dissertação).

ANDRADE, J.B.; CARVALHO, D.D. Estádio de maturação na produção e qualidade da silagem de sorgo. II. Digestibilidade e consumo da silagem. *Boletim Indústria Animal*, v.49, n.2, p.101-106, 1992.

ARAÚJO, V.L. Momento de colheita de três híbridos de sorgo para produção de silagem. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2002, 47p. (Dissertação).

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC.. *Official methods of analysis*. 16ed. Washington: AOAC, 1995. 2000p.

BORGES, A.L.C.C.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M. Qualidade das silagens de híbridos de sorgo de porte alto, com diferentes teores de tanino e de umidade de colmo. *Pesquisa Brasileira de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.49, n.4, p.441-452, 1997.

BRITO, A.F. Avaliação das silagens de sete genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) e seus padrões de fermentação. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 1997, 104 p. (Dissertação).

CHURCH, D.C. *The ruminant animal digestive physiology and nutrition*. New Jersey: Prentice Hall, 1988, 564p.

BUSH, L.; BURTON, H. Intrinsic chemical factors in forage quality. In: FAHEY Jr, G.C. FORAGE QUALITY, EVALUATION AND UTILIZATION. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, p. 367-405, 1994.

CHERNEY, D.J.R.; PATTERSON, J.A.; HOHNSON, K.D. Digestibility and feeding value of pearl millet s influenced by the brown-mibrid, low lignin trait. *Journal of Animal Science*, v.68, p.4345-4351, 1986.

DANLEY, M.M.; VETTER, R.L. Changes in carbohydrate and nitrogen fractions and digestibility of forages: maturity and ensiling. *Journal of Animal Science*, v.37, n.4, p.994-999, 1973.

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

HENDERSON, N. Silage additives. *Animal Feed Science and Technology*, v.45, p.35-56, 1993.

MAGALHÃES, R.T. Avaliação nutricional de diferentes genótipos de sorgo forrageiro. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2005, 65 p. (Tese).

- McDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. *The biochemistry of silage*. 2ª ed. Marlow: Chalcombe Publications, 1991. 340p.
- MINSON, D.J. *Forage in ruminant nutrition*. San Diego: Academic Press, 1990. 430p.
- MOISIO, T.; HEIKONEN, M. Lactic acid fermentation in silage preserved with formic acid. *Animal Feed Science and Technology*, v.47, n.1, p.107-124, 1994.
- MOLINA, L.R. Avaliação nutricional de seis genótipos de sorgo colhidos em três estádios de maturação. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2000, 65p. (Dissertação).
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. *Nutrient requirements of dairy cattle*. 7ªEd. Washington: National Academy Press, 2001, 362p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7ªEd. Washington: National Academy of Science, 1996, 359p.
- NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D.C.; BRONDANI, I.L.; PELLEGRINI, L.G.; FREITAS, A.K. Avaliação do valor nutritivo de planta e da silagem de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.1, p.293-301, 2002 (suplemento)a.
- NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D.C.; BERNARDES, R.A.C.; ARBOITE, M.Z.; CERDÓTES, L.; PEIXOTO, L.A.O. Avaliação de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) quanto aos componentes da planta e silagens produzidas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.1, p.302-312, 2002 (suplemento)b.
- NOGUEIRA, F.A.S. Qualidade das silagens de híbridos de sorgo de porte baixo com e sem teores de taninos e de colmo seco e succulento, e seus padrões de fermentação, em condições de laboratório. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 1996, 78p. (Dissertação).
- PAIVA, J.A. Qualidade da silagem da região metalúrgica de Minas Gerais. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 1976, 85p. (Dissertação).
- ROCHA JÚNIOR, V.R. Qualidade das silagens de sete genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) e seus padrões de fermentação. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 1999. 132p. (Dissertação).
- ROTH, G.; UNDERSANDER, D. Silage additives. In: CORN SILAGE PRODUCTION MANAGEMENT AND FEEDING. Madison: Madison American Society of Agronomy, p.27-29, 1995.
- SILVA, L.C.R.; RESTLE, J. Avaliação do milho (*Zea mays*) e sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) para produção de silagem. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 30, 1993, Rio de Janeiro, *Anais...* Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Zootecnia, 1993, p.467.
- SILVA, F.F.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUES, J.A.S. Qualidade de silagens de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) de portes baixo, médio e alto com diferentes proporções de colmo, folhas e panícula. 1. Avaliação do processo fermentativo. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.28, n.1, p.14-20, 1999.
- SILVA, S.C.; PASSANEZI, M.M.; CARNEVALLI, R.A.; PEDREIRA, C.G.S.; FAGUNDES, J.L. Bases para o estabelecimento do manejo de *Cynodon* sp. Para pastejo e conservação. In: PEIXOTO, A.M.; MOURA, J.C.; FARIA, V.P. (Ed). SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DE PASTAGEM - MANEJO DE PASTAGEM DE TIFTON, COASTCROSS E ESTRELA, 15, 1998, Piracicaba. *Anais...*Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários Luiz de Queiroz, 1998, p.129-150.
- SILVEIRA, A.C. Técnicas para produção de silagens. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO DA PASTAGEM, 1975, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: ESALQ, 1975, p.156-186.
- SISTEMAS DE ANÁLISES ESTATÍSTICA E GENÉTICAS - SAEG. Versão 7.0. Viçosa: UFV, 1998.
- TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Journal of British Grassland Society*, v. 18, n.2, p.104-111, 1963.
- VAN SOEST, P.J. *Nutritional ecology of the ruminant*. 2 ed. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1994, 476 p.

VIEIRA, F.A.P.; BORGES, I.; STEHLING, C.A.V.; GONÇALVES, L.; COELHO, S.G.; FERREIRA, M.I.C.; RODRIGUES, J.A.S. Qualidade das silagens de sorgo com aditivos. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v.56, n.6, p.764-772, 2004.

VILELA, D. Aditivos para silagem de plantas de clima tropical. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 35, 1998, Botucatu. *Anais...* Botucatu: SBZ, p.73-108, 1998.

WALDO, D.R. Effect of forage quality on intake and forage-concentrate interactions. *Journal of Dairy Science*, v.69, n.2, p.617-631, 1986.

ZAGO, C.P. Cultura de sorgo para a produção de silagem de alto valor nutritivo. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO DE BOVINOS, 4, 1991, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba:FEALQ, p.169-217, 1991.

CAPÍTULO 4. EXPERIMENTO 3: DEGRADABILIDADE *IN SITU* DOS COMPONENTES NUTRICIONAIS DAS SILAGENS DE SEIS HÍBRIDOS DE SORGO

RESUMO: Os objetivos deste experimento foram avaliar a degradabilidade *in situ* dos componentes nutricionais das silagens de seis híbridos de sorgo. O delineamento estatístico utilizado foi em parcelas subdivididas onde os animais eram os blocos, as silagens os tratamentos e os tempos de incubação as sub-parcelas. As médias foram comparadas pelo teste SNK (*Student Newman Keuls*). As silagens foram obtidas a partir de fermentação em silos de PVC durante 56 dias. Para incubação das silagens no rúmen foram utilizados três machos bovinos adultos da raça Nelore nos tempos de incubação de 6, 12, 24, 48, 72 e 96 horas. Após a pré-secagem os materiais foram moídos a um (1) mm e submetidos a análises químicas para determinação o teor de matéria seca (MS), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA). As silagens dos híbridos avaliados não tiveram degradabilidades efetivas da MS diferentes para o tempo final de incubação de 96 horas. Porém a silagem do híbrido Volumax apresentou maior degradabilidade potencial e maior taxa de degradação da MS. Em 96 horas de incubação as silagens dos híbridos ATF54*9929036, CMSXS206*9930002, BR 601 e Volumax apresentaram as maiores porcentagens de desaparecimento da FDN. Entretanto, o maior potencial de degradação foi obtido pelo híbrido Volumax. O parâmetro de degradabilidade potencial e degradabilidades efetivas da fração FDA foram maiores para as silagens dos híbridos Volumax e ATF54*9929036. No entanto, as maiores taxas de degradação desta fração foi obtida para a silagem do híbrido BR 601.

Palavras-chaves: degradabilidade, forrageira, valor nutritivo

4.1. INTRODUÇÃO

No Brasil devido às condições de estacionalidade de produção de forrageiras, com cerca 90 % da produção se concentrando no período chuvoso, o uso de silagem como volumoso durante o período de seca é bastante disseminado para alimentação de ruminantes, tanto na terminação quanto na produção leiteira. O sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) é uma gramínea que se destaca para produção de silagem de elevado valor nutricional, sendo uma boa

opção de substituição ao milho principalmente em regiões de baixo índice pluviométrico.

Entretanto, para se obter uma formulação eficiente de dietas, predição da resposta animal e avaliação qualidade de forrageiras é necessário que se tenha estimativas acuradas da digestibilidade das forrageiras. As avaliações de forrageiras *in vivo* são mais acuradas, porém demandam muito tempo e são caras, além de utilizarem grande quantidade de amostra. Todos esses inconvenientes das metodologias de avaliação *in vivo*, têm levado ao desenvolvimento de metodologias biológicas e químicas capazes obter estimativas de digestibilidade dos alimentos. As técnicas de digestão mais usadas rotineiramente para determinar o valor nutritivo de alimentos para ruminantes são as metodologias *in vitro* de dois estágios proposta por Tilley e Terry (1963), produção *in vitro* de gás (Menke et al., 1979), metodologia da celulases fúngicas e a técnica *in situ* de incubação de amostras em bolsas de náilon no rúmen (Mehrez e Ørskov, 1977).

No entanto, das técnicas citadas acima somente a técnica *in vitro* de produção de gases e a técnica *in situ* de incubação de sacos de náilon no rúmen levam em consideração os processos da dinâmica e a cinética de degradação ruminal. Os modernos sistemas de produção levam em consideração a avaliação da qualidade dos alimentos tanto pela disponibilidade de seus nutrientes para os microrganismos ruminais quanto pela quantidade de nutrientes que chega ao intestino dos animais (Mehrez e Ørskov, 1977).

A técnica *in situ* de incubação de sacos de náilon no rúmen é capaz de estimar a taxa de desaparecimento e o potencial de degradabilidade dos alimentos e de seus constituintes. A técnica é muito utilizada para avaliar o valor energético e protéico dos alimentos para ruminantes, além de gerar dados possíveis de prever o consumo e a avaliar os efeitos de fatores antinutricionais (Minson e Wilson, 1994; Noguera, 2002; Molina et al., 2003). A técnica é rotineiramente utilizada quando se quer obter dados sobre as condições de digestão ruminal de um limitado número de amostras. Além disso, permite o estudo de alimentos sob condições ruminais constantes de diferentes alimentos, e também o estudo de um alimento sob diferentes condições ruminais (Romero, 1990).

O objetivo deste experimento foi estudar a degradabilidade da matéria seca e das frações

fibrosas das silagens de seis diferentes silagens de sorgo utilizando a técnica de degradabilidade *in situ*.

4.2. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento *in situ* foi conduzido na Fazenda Rancho Alegre, localizada em Campo Grande, MS. Para as avaliações foram utilizados três bovinos machos da raça Nelore, peso vivo médio de 350 kg providos de cânula ruminal permanente. Os animais foram mantidos em baias individuais com livre acesso a água e sal mineral. Os animais foram recebiam ração duas vezes ao dia.

Foram avaliadas seis silagens de diferentes híbridos de sorgo de duplo propósito: ATF54*9929036, CMSXS217*9929012, CMSXS206*9930002, BR 601, BR 700 e VOLUMAX. O cultivo e a ensilagem foram realizados nas dependências da Embrapa Milho e Sorgo, localizada no município de Sete Lagoas, Minas Gerais. O corte dos materiais foi realizado em estádio de grãos leitoso/pastoso.

Os materiais foram ensilados em silos experimentais de PVC com 40 cm de altura e 10 cm de diâmetro, utilizando-se um soquete de madeira para compactação da forrageira. As tampas dos silos eram dotadas de válvula de Bunsen para permitir o escape dos gases oriundos da fermentação. Os silos foram abertos aos 56 dias de fermentação. Após a abertura dos silos o material foi submetido à pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 65°C durante 72 horas (AOAC, 1995). Após a determinação da matéria pré-seca, parte deste material foi amostrado e moído a cinco (5) mm a fim de ser submetido a incubação ruminal em sacos de náilon. Outra parte do material foi moída em moinho tipo Willey utilizando peneira de um (1) mm para posterior determinação do teor de matéria seca (AOAC, 1995) e das frações fibrosas: FDN e FDA (Goering e Van Soest, 1970).

Foram utilizados sacos de náilon de 10 x 20 cm e tamanho médio dos poros de 50 μ m devidamente identificados utilizando caneta especial para tecidos. Os sacos de náilon foram então secos em estufa a 65 °C por 24 horas, e pesados posteriormente. Após foram pesadas cinco gramas de amostras por saco de náilon, correspondente a uma relação peso da amostra/área do superficial do saco de náilon de 12,5 mg/cm² (Nocek, 1988). As extremidades dos sacos de náilon foram então fechadas utilizando-se presilhas de plástico e os saquinhos agrupados então por tempo de incubação.

No momento da incubação das amostras no rúmen, os grupos de sacos de náilon foram amarrados a uma corda de náilon de 90 cm na qual foram fixadas âncoras de ferro em toda sua extensão, a fim de manter as amostras submersas no conteúdo ruminal, sendo que uma extremidade desta foi mantida presa à cânula.

Os saquinhos foram incubados ao mesmo tempo e retirados nos tempos de incubação de 6, 12, 24, 48, 72 e 96 horas. Imediatamente após a retirada do rúmen, os sacos foram imersos em água fria e congelados imediatamente para paralisação do processo fermentativo. Este material foi transportado para o Laboratório de Nutrição da Escola de Veterinária da UFMG, foram descongelados e submetidos a dois ciclos de lavagem leve em máquina (Cônsul) durante dois minutos cada.

Após a lavagem os saquinhos foram colocados em bandejas de alumínio e secos em estufa de ventilação forçada a 65°C durante 72 horas para determinação da matéria pré-seca, segundo AOAC (1995).

Para determinação do tempo de colonização ou tempo zero (t_0) utilizou-se também cinco gramas da amostra, seguindo a mesma metodologia para os sacos de náilon que foram submetidos à fermentação no rúmen. Após serem fechados com presilhas plásticas, este material foi lavado em máquina de lavar, seguindo o procedimento adotado para os sacos que foram incubados. Após a lavagem estes foram submetidos à pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 65°C durante 72 horas e pesados a seguir (AOAC, 1995). Desta maneira foi avaliada a fração solúvel da forrageira, utilizando três réplicas por tratamento.

Os resíduos de incubação ruminal e o material dos sacos utilizados para determinação da fração solúvel (t_0) foram moídos a um (1) mm para posterior determinação do teor de matéria seca a 105°C (AOAC, 1995) e dos componentes da parede celular pelo método sequencial (Goering e Van Soest, 1970)

O delineamento experimental utilizado foi em parcelas sub-divididas, sendo os animais (três) os blocos, os genótipos os tratamentos e os tempos de incubação as sub-parcelas. Para comparação das médias de cada tratamento nos diferentes períodos de incubação e das médias dos diferentes períodos de incubação dentro de cada híbrido foi utilizado o teste SNK (Student Newman Keuls) ($P < 0,05$).

As equações de regressão para o desaparecimento da matéria seca, da fibra em detergente neutro e fibra

em detergente ácido foram obtidas utilizando-se o software SAEG (1998), utilizando-se os procedimentos de análise de regressão não linear do método iterativo do algoritmo de Marquardt.

Para o cálculo da degradabilidade potencial das silagens foi utilizado o modelo proposto por Ørskov e McDonald (1979) modificado por Sampaio (1988):

$$P = A - B.e^{ct} \quad (1)$$

Onde: **P** é a porcentagem de degradação após um tempo (t) expresso em horas de incubação no rúmen;

A é a porcentagem máxima de degradação do material do saco de náilon ou a degradabilidade potencial;

B é o parâmetro que corresponderia ao total a ser degradado pela ação dos microrganismos, se não houvesse tempo de colonização (não tem valor biológico);

c é a taxa fracional constante de degradação da fração que permanece no saco de náilon;

t é o tempo de incubação no rúmen.

O tempo de colonização foi estimado conforme Ørskov e McDonald (1979):

$$TC = -1/c * \ln(A - S)/B \quad (2)$$

Onde: **A**, **B** e **c** são os mesmos parâmetros descritos na equação (1) anteriormente;

S é a fração solúvel determinada pela porcentagem de desaparecimento no t_0 de incubação, sendo obtido pela simples imersão das amostras em água.

As degradabilidades efetivas (DE) foram calculadas segundo modelo proposto por Ørskov e McDonald (1979):

$$DE = S + [(B_1 * c)/(c + K)] \quad (3)$$

Onde: **S** corresponde ao mesmo parâmetro descrito na equação 2;

B₁ é a fração degradável calculada subtraindo-se do potencial de degradação **A**, a fração solúvel **S** (**B₁ = A - S**)

c corresponde ao mesmo parâmetro descrito na equação 1;

K é a taxa fracional de passagem.

4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição bromatológica das silagens avaliadas encontra-se na Tabela 7.

Tabela 7. Composição bromatológica das silagens avaliadas

Híbridos	MS (%)	FDN (%)	FDA (%)	Lignina (%)
ATF54*9929036	33,99	60,81	37,79	4,95
CMSXS217*9929012	39,99	61,63	35,68	6,70
CMSXS206*9930002	36,61	58,05	36,36	4,70
BR 601	34,09	58,71	25,19	4,97
BR 700	35,46	61,40	35,19	3,57
VOLUMAX	40,18	58,07	35,18	5,21

A porcentagem de desaparecimento médio (%) da matéria seca (MS) das silagens avaliadas nos horários de incubação no rúmen está descrito na Tabela 8.

Tabela 8. Desaparecimento médio (%) da MS das silagens de sorgo nos horários de incubação no rúmen (horas)

Horários(h)	Híbridos					
	ATF54*9929036	CMSXS217*9929012	CMSXS206*9930002	BR 601	BR 700	Volumax
06	30,25 ^{Ad}	25,14 ^{Bd}	27,61 ^{Bd}	23,54 ^{Bd}	24,62 ^{Bc}	34,92 ^{Ac}
12	35,22 ^{Ad}	27,69 ^{Bd}	29,37 ^{Bd}	27,72 ^{Bd}	39,77 ^{Ab}	38,96 ^{Ac}
24	43,91 ^{Ac}	39,36 ^{Cc}	36,03 ^{Cc}	41,48 ^{Cc}	40,26 ^{Cb}	47,23 ^{Ab}
48	51,21 ^{Ab}	44,03 ^{Bb}	44,72 ^{Bb}	54,25 ^{Ab}	50,87 ^{Ab}	55,21 ^{Ab}
72	57,40 ^{Aa}	58,01 ^{Aa}	57,18 ^{Aa}	58,40 ^{Aa}	56,88 ^{Aa}	62,32 ^{Aa}
96	60,98 ^{Aa}	62,89 ^{Aa}	59,68 ^{Aa}	62,98 ^{Aa}	59,21 ^{Aa}	66,73 ^{Aa}

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na mesma linha (entre híbridos) e minúsculas na mesma coluna (entre horários) não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste SNK ($P > 0,05$). CV = 8,23%

Avaliando-se o desaparecimento da MS nos diferentes tempos de incubação, nota-se que as silagens dos híbridos ATF54*9929036 e Volumax obtiveram as maiores porcentagens de desaparecimento da MS nos horários de 6 e 24 horas de incubação ($P < 0,05$). Já no tempo de 12 horas as silagens dos híbridos ATF54*9929036, Volumax e BR 700 também apresentaram maiores valores de desaparecimento de MS. Em 48 horas de incubação o desaparecimento da MS foi maior para as silagens dos híbridos ATF54*9929036, Volumax e BR 700 além do híbrido BR 601. Após 72 horas as silagens apresentaram desaparecimento da MS semelhantes ($P > 0,05$). Comparando-se os horários entre as silagens pode-se observar que o desaparecimento da MS estabilizou a partir de 72 horas de incubação, indicando equivalência entre elas e que a fermentação se estabiliza nesses horários.

Todos os dados obtidos neste experimento convergiram para o modelo de exponencial proposto por Ørskov e McDonald (1979), adaptado por Sampaio (1988), devido aos elevados coeficientes de

determinação observados. Os parâmetros de degradação ruminal da MS das diferentes silagens encontram-se na Tabela 9.

A silagem do híbrido Volumax apresentou o maior valor de fração solúvel (t_0) (22,85 %), seguida pelas silagens dos híbridos ATF54*9929036 (22,18 %), CMSXS206*9930002 (21,33 %), CMSXS217*9929012 (20,12 %), BR 601 (20,01%) e BR 700 (19,89 %). Magalhães (2005) estudando os híbridos de sorgo ATF*539929036, ATF54*9929036, CMSXS217*9929012 e Volumax *in natura* (sem ensilar) encontrou valores de fração solúvel próximos aos obtidos neste experimento, exceto para o híbrido ATF*539929036, que teve valor menor (17,32 %). Molina (2000) avaliando silagens de sorgo em três diferentes épocas de corte observou valores de t_0 que variaram de 12,33 % a 23,01 %, estando sempre abaixo dos valores encontrados no presente experimento, com exceção ao híbrido AG2006 (23,01%). Já Campos et al. (2003) encontrou valores de t_0 mais elevados do que os observados no presente experimento que variaram

de 34,52 % a 43,2 % para silagens de híbridos de sorgo com e sem tanino. Segundo Sampaio (1988) e Campos (2001) a perda de fração solúvel pelo saco de náilon pode ser justificada pela granulometria a que é submetida a amostra durante a moagem. E ainda que diferentes partes do sorgo como colmo, folha e panícula teriam comportamento diferente durante a moagem, produzindo amostras heterogêneas.

O maior potencial de degradação (A) foi obtido pela silagem do híbrido Volumax (77,25 %), seguida pela silagem do híbrido CMSXS206*9930002 (76,39 %), enquanto as demais silagens apresentaram valores próximos entre si, variando de 74,05 % a 75 %. Magalhães (2005) avaliando os híbridos de sorgo

antes de serem ensilados encontrou valores de degradabilidade potencial de 75,82 %, 76,25 %, 75,39 % e 78,59 para os híbridos ATF53*9929036, ATF54*9929036, CMSXS217*9929012 e Volumax. Os valores deste experimento também foram semelhantes àqueles apresentados por Sousa (2001) que encontrou valores de 77 % para os híbridos CMSXS 180, CMSXS 227 e BR 700, e por Campos (2001) que relatou potencial de degradação de 75 % para todos os híbridos de sorgo (com e sem tanino) por ele avaliado. Já Molina (2000) observou valores em sua maioria acima dos encontrados neste experimento e que variaram de 71,29 % a 84,29 %. De acordo com Rabelo (1997) resultados diferentes são decorrentes da falta de homogeneidade muitas vezes observadas nas amostras.

Tabela 9. Parâmetros de degradação ruminal da MS das silagens de sorgo incubadas no rúmen

Parâmetro	Híbridos					
	ATF54*992 9036	CMSXS217 *9929012	206*993002	BR 601	BR 700	VOLUMAX
A (%)	75,00	75,00	76,39	75,00	74,05	77,25
c (%/h)	2,25	2,25	2,05	2,63	2,24	2,91
S(%)	22,18	20,12	21,33	20,01	19,89	22,85
B ₁ (%)	52,82	54,88	55,06	55,0	54,11	53,23
TC (h)	7 h e 30 min	8 h e 20 min	8 h e 40 min	8h e 59min	8 h e 50min	7 h e 10 min
R ²	0,92	0,92	0,90	0,87	0,95	0,89

A = degradabilidade potencial; **c** = taxa fracional constante de degradação; **S** = fração rapidamente degradável ou fração solúvel que corresponde à porcentagem de desaparecimento no tempo zero; **B₁** = fração lentamente degradável ou fração degradável obtida pela diferença entre o potencial de degradação e a fração solúvel (A-S); **TC** = tempo de colonização; **R²** = coeficiente de determinação

A maior taxa de degradação foi encontrada para a silagem do híbrido Volumax (2,91 %/h), seguido pelas silagens dos híbridos BR 601 (2,63 %/h), CMSXS217*9929012 (2,25 %/h), ATF54*9929036 (2,25 %/h), CMSXS206*9930002 (2,05 %/h) e BR 700 (2,24 %/h). Molina (2000) encontrou valores em sua maioria maiores do que os obtidos no presente experimento. Campos (2001) encontrou valores semelhantes ao deste experimento para os híbridos BR 701 (2,01 %/h), BR 007 (2,25 %/h) e CMSXS 214 (2,25 %/h), e valor inferior para o híbrido CMSXS 210 (1,62 %/h).

Os parâmetros **A** e **c** são considerados por Sampaio (1988) como sendo os principais parâmetros relacionados com a qualidade da forrageira, uma vez que um maior valor de **A** indicaria um material mais degradável, e um menor valor de **c** implicaria em um menor tempo de desaparecimento da fração que é mais lentamente degradável. Desta forma forragens de mais elevada digestibilidade necessariamente são aquelas que apresentam maiores valores de **A** e de **c**, a fim de atingirem o potencial máximo de degradação em um menor tempo. Segundo Sampaio

(1988) taxa de degradação inferior a 2 %/h seria próprio de uma forrageira de baixo valor nutritivo, necessitando de maior tempo de permanência no rúmen para melhor degradação, o que classificaria as silagens avaliadas como sendo de boa qualidade nutricional.

As silagens dos híbridos ATF54*9929036 (7,30h) e Volumax (7,10h) apresentaram os menores tempos de colonização. Os valores destas silagens foram seguidos pelas silagens dos híbridos 217*992901 (8,20h), 206*993002 (8,40h), BR 700 (8,50h) e BR601 (8,59h). Maiores tempos de colonização são associados a uma baixa disponibilidade de substratos mais prontamente disponíveis para a fermentação. No entanto, das silagens do presente experimento aquelas que apresentaram menor TC foram justamente aquelas que tiveram as menores porcentagens de panícula na MS em relação às outras silagens (ATF54*9929036 e Volumax). Além disso, o tempo de colonização está também associado à estrutura da parede celular que apresenta maior dificuldade de acesso aos microrganismos, como elevado teor de lignina, cutina e sílica). Neste

experimento os híbridos de menor tempo de colonização foram justamente aqueles que apresentaram menores valores de lignina de 4,95 % para o ATF54*9929036 e 5,21 % para o Volumax. Já a silagem do híbrido 206*993002 apresentou um valor intermediário de TC e uma baixa porcentagem de lignina de 4,70 %.

Os valores de degradabilidade efetiva da MS para taxas de passagens de 0,02, 0,05 e 0,08/h das silagens encontram-se na Tabela 10. Segundo o AFRC (1992) uma taxa de passagem de 2 %/hora é

adotada para bovinos e ovinos alimentados sob exigência de manutenção. A taxa de 5 %/hora é utilizada para vacas de baixa produção (abaixo de 15 kg de leite/dia), para bovinos de corte e ovinos alimentados à vontade com dietas mistas. Já a taxa de 8 %/hora é utilizada para vacas de alta produção (acima de 15 kg de leite/dia) e alimentadas com dietas mistas. A degradabilidade efetiva pode então ser estimada assumindo-se um valor de taxa de passagem, ou estimando-se a taxa de passagem das partículas pequenas (k).

Tabela 10. Degradabilidades efetivas (%) da MS das silagens de sorgo incubadas no rúmen simuladas em três tempos de passagem

Parâmetro	Híbridos					
	ATF54*9929 036	CMSXS217* 9929012	CMSXS206* 9930002	BR 601	BR 700	VOLUMAX
0,02/h	50,14	49,17	49,20	51,25	48,48	54,40
0,05/h	38,57	37,15	37,34	38,96	36,63	42,43
0,08/h	33,76	32,17	32,56	33,62	31,73	37,05

As degradabilidades efetivas para taxas de passagem de 2 %, 5 % e 8 %/hora foram de 50,14 %, 38,57 % e 33,76 % para a silagem do híbrido ATF54*9929036; 49,17 %, 37,15 % e 32,17 % para CMSXS217*9929012; 49,20 %, 37,34 % e 32,56 % para CMSXS206*9930002; 51,25 %, 38,96 % e 33,62 % para BR 601; 48,48 %, 36,63 % e 31,73 % para BR 700 e 54,40 %, 42,43 % e 37,05 % para o Volumax. Numericamente as degradabilidades efetivas foram melhores para a silagem do híbrido Volumax para todas as taxas de passagens. As degradabilidades efetivas observadas para taxa de passagem de 2 % foram próximas aos valores de DIVMS observadas no capítulo 3 para suas

respectivas silagens. De maneira geral, as degradabilidades efetivas observadas neste experimento foram inferiores aos valores obtidos por Sousa (2001) para híbridos com tanino (BR 700 – 52,18 %, 44,72 % e 42,10 %) e para híbridos sem tanino (CMSXS 180 e CMSXS 227 – 57,03 %, 49,58 %; 46,75 % e 59,61 %, 52,64 % e 49,93 %, respectivamente), para degradabilidade efetiva de 2 %, 5 % e 8 %, respectivamente. Segundo Sousa (2001) silagens com elevados valores da fração solúvel no tempo zero (S) e menores taxas de degradação (c) favorecem um aumento na degradabilidade efetiva de silagens.

Na Tabela 11 encontram-se as porcentagens de desaparecimento da FDN das silagens de seis híbridos de sorgo.

Tabela 11. Desaparecimento médio (%) da FDN das silagens de sorgo nos horários de incubação no rúmen (horas)

Horários(h)	Híbridos					
	ATF54*99290 36	CMSXS217*9 929012	CMSXS206*9 930002	BR 601	BR 700	VOLUMAX
06	25,98 ^{Ad}	19,99 ^{Bd}	24,69 ^{Ae}	20,59 ^{Bd}	20,84 ^{Bc}	16,58 ^{Cd}
12	27,04 ^{Ac}	21,01 ^{Bd}	25,08 ^{Ac}	22,96 ^{Bd}	22,68 ^{Bc}	19,56 ^{Cd}
24	28,54 ^{Ac}	22,56 ^{Bc}	27,23 ^{Ab}	27,01 ^{Bc}	26,14 ^{Ab}	22,05 ^{Bc}
48	35,03 ^{Ab}	27,69 ^{Bb}	31,57 ^{Bb}	35,24 ^{Ab}	29,27 ^{Bb}	36,01 ^{Ab}
72	43,22 ^{Aa}	39,07 ^{Ba}	40,26 ^{Ba}	44,05 ^{Aa}	37,56 ^{Ba}	45,60 ^{Aa}
96	49,35 ^{Aa}	41,08 ^{Ba}	44,56 ^{Ba}	47,98 ^{Aa}	40,09 ^{Ba}	48,99 ^{Aa}

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na mesma linha (entre híbridos) e minúsculas na mesma coluna (entre horários) não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste SNK (P<0,05). CV= 15 %

Comparando-se as silagens pode-se observar que as silagens dos híbridos ATF54*9929036 e CMSXS206*9930002 apresentaram os maiores valores (P<0,05) de desaparecimento da fração FDN

nos tempos de 6 e 12 horas de incubação ruminal. Em 24 horas de incubação os maiores valores foram apresentados pelas silagens dos híbridos ATF54*9929036, CMSXS206*9930002 e BR 700.

Esta superioridade dos híbridos até 24 horas pode estar relacionada a uma maior perda de material por solubilização no t_0 , e não exatamente a degradação durante estes períodos. A partir de 48 horas as silagens dos híbridos ATF54*9929036 CMSXS206*9930002 e Volumax se destacaram em relação aos demais.

Comparando-se um mesmo híbrido nos diferentes tempos de incubação pode-se observar que após 72 horas de incubação ruminal as silagens apresentaram estabilização quanto ao desaparecimento da fração FDN, mostrando que este tempo incubação foi o suficiente para atingir os valores máximos de desaparecimento da fração, ou seja, a assíntota.

Em 96 horas de incubação as silagens dos híbridos ATF54*9929036 (49,35 %), CMSXS206*9930002 (44,56 %), BR 601 (47,98 %) e Volumax (48,99 %) apresentaram as maiores porcentagens de desaparecimento da FDN, diferindo do demais genótipos ($P < 0,05$). Molina (2000) encontrou

valores de desaparecimento da FDN no tempo de 96 horas de 60,47 %, 61,53 % e 60,89 % para silagens do híbrido BR 700, e de 72,10 %, 65,31 % e 65,55 % para silagens do híbrido BR 601 confeccionadas em estádio de grãos leitoso, pastoso e farináceo, respectivamente. Os valores encontrados por Campos (2001) para desaparecimento da FDN às 96 horas também foram superiores aos do presente experimento variando de 53,64 % a 58,52 %. Já Nogueira (2002) e Sousa (2001) apresentaram valores mais próximos aos do presente experimento, variando de 44,71 % a 53,55 % e de 44,43 % a 45,25 %, respectivamente.

Os dados obtidos neste experimento convergiram para o modelo exponencial de Ørskov e McDonald (1979), adaptado por Sampaio (1988). Na Tabela 12 estão os parâmetros de degradação ruminal da FDN das silagens de seis híbridos de sorgo. Os elevados coeficientes de determinação demonstram a adequação ao modelo exponencial.

Tabela 12. Parâmetros de degradação ruminal da FDN das silagens de sorgo incubadas no rúmen

Parâmetro	Híbridos					
	ATF54*9929036	CMSXS217*9929012	CMSXS206*9930002	BR 601	BR 700	Volumax
A (%)	63,00	59,00	63,00	62,00	60,00	64,25
C (%/h)	1,50	1,49	1,70	1,29	1,31	1,69
S (%)	22,05	18,56	18,07	17,25	17,69	19,56
B ₁ (%)	40,95	40,44	44,93	44,75	42,36	44,69
TC (h)	4h e 56min	6h e 59min	8h e 25min	7h e 15min	7h e 25 min	8h e 06min
R ²	0,92	0,92	0,90	0,87	0,95	0,89

A = degradabilidade potencial; **c** = taxa fracional constante de degradação; **S** = fração rapidamente degradável ou fração solúvel que corresponde à porcentagem de desaparecimento no tempo zero; **B₁** = fração lentamente degradável ou fração degradável obtida pela diferença entre o potencial de degradação e a fração solúvel (A-S); **TC** = tempo de colonização; **R²** = coeficiente de determinação

No tempo zero o desaparecimento da FDN variou de 17,52 % (BR 601) a 22,05 % (ATF54*9929036). Sousa (2001) avaliando silagens de sorgo com e sem tanino observou frações solúveis no t_0 menores do que as observadas neste experimento, variando de 5,19 a 12,67 %. Já Molina (2000) encontrou maiores valores mais próximos ao do presente experimento variando de 11,36 % a 23,01 %. Segundo Van Soest (1994) e Stensig et al., (1994) esta fração não é solúvel em água, mas a falta de homogeneidade durante a moagem, aliada à lavagem dos sacos de náilon poderia propiciar a saída de partículas pelos poros (Sousa, 2001; Pereira, 2003; Magalhães, 2005). Ainda segundo Ørskov et al. (1980) e Michalet-Doreau e Ould-Bah (1992) esta fração que escapa do saco de náilon não afetaria a degradabilidade final, uma vez que é constituída por material potencialmente degradável.

O maior potencial de degradação foi obtido pela silagem do híbrido Volumax (64,25 %) seguido pelas silagens dos híbridos CMSXS206*9930002 (63 %), ATF54*9929036 (63 %), CMSXS217*9929012 (59 %), BR 601 (62 %) e BR 700 (60 %). Estes valores são inferiores àqueles apresentados por Molina (2000) que encontrou valores de 71,02 %, 67,93 % e 70 % para o híbrido BR 700, e de 75 %, 70 % e 70 % para o híbrido BR 601, nos estádios de grãos leitosos, pastosos e farináceos, respectivamente. Nogueira (2002) encontrou valores de 10,84 %, 16,99 % e 13,18 % para as silagens do híbrido Volumax, nos estádios de grãos leitosos, pastosos e farináceos. Estas diferenças observadas nos potenciais de degradação da fração FDN sugerem diferenças na composição química da fração FDN e nos tipos de ligações que

ocorrem entre as hemiceluloses e a lignina durante o desenvolvimento da parede celular. Neste experimento a silagem do híbrido Volumax que apresentou o maior potencial de degradação foi justamente aquele que obteve a menor porcentagem de lignina na MS. No entanto, as silagens dos híbridos BR 601 e BR 700 apresentaram menores potenciais de degradação da FDN mesmo tendo baixos teores de lignina, o que pode implicar em diferenças quanto à composição desta lignina nestes híbridos.

A taxa de degradação (c) foi maior para a silagem do híbrido 206*993002 (1,70 %/h) seguida pelas silagens dos híbridos Volumax (1,69 %/h), ATF54*9929036 (1,50 %/h), CMSXS217*9929012 (1,49 %/h) BR 700 (1,31 %/h). Estes valores explicam o porque do híbrido Volumax apesar de ter o desaparecimento inferior ao ATF54*9929036 de 6 até 24 horas de incubação ruminal o supera a partir de 48 horas de incubação (Tabela 11). De maneira geral, estes valores foram inferiores àqueles apresentados por Molina (2000) que variaram de 1,46 %/h a 2,49 %/h. Os dados de Campos (2001) também foram ligeiramente superiores aos do

presente experimento variando de 1,57 %/h a 1,74 %/h.

Os tempos de colonização encontrados para a fração FDN neste experimento variaram de 4,56 horas a 8,25 horas e estão de acordo com aqueles apresentados por Campos (2001) (4,15 horas a 8,08 horas).

Os valores de degradabilidades efetivas calculadas para taxas de passagens de 0,02; 0,05 e 0,08/h encontram-se na Tabela 13. As silagens dos híbridos ATF54*9929036 e Volumax apresentaram as maiores degradabilidades efetivas de 39,60 %, 31,50 % e 28,41 %; e 40,02 %, 32,83 % e 27,35 %, respectivamente para as taxas de 2 %, 5 % e 8 %. Já os demais híbridos não apresentaram grandes diferenças entre si para este parâmetro. Os resultados obtidos neste experimento são superiores àqueles obtidos por Campos (2001) e por Sousa (2001) que avaliaram silagens de sorgo com e sem tanino. Já os valores de Molina (2000) foram sempre superiores aos das silagens do presente experimento para todas as taxas de passagens.

Tabela 13. Degradabilidades efetivas (%) da FDN das silagens de sorgo incubadas no rúmen simuladas em três tempos de passagem

Parâmetro	Híbridos					
	ATF54*9929036	CMSXS217*9929012	CMSXS206*9930002	BR 601	BR 700	Volumax
0,02/h	39,60	35,82	38,71	34,79	34,45	40,02
0,05/h	31,5	27,85	29,47	28,16	28,14	32,83
0,08/h	28,41	24,90	25,94	23,46	23,65	27,35

Alimentos que possuem parede celular mais rapidamente degradável possuem taxa de passagem mais elevada e favorecem o consumo de ruminantes. Segundo Streeter et al. (1990) a taxa de degradação da FDN é negativamente correlacionada com o

conteúdo de FDN e com a extensão de degradação, mas o conteúdo de FDN é positivamente correlacionado com a extensão de degradação das forrageiras.

As porcentagens de desaparecimento da fração FDA das seis silagens de sorgo no t_0 e nos tempos de incubação estão na Tabela 14.

Tabela 14. Desaparecimento médio (%) da FDA das silagens de sorgo nos horários de incubação no rúmen (horas)

Horários(h)	Híbridos					
	ATF54*9929	CMSXS217*	CMSXS206*	BR 601	BR 700	Volumax
	036	9929012	9930002			
06	20,95 ^{Ad}	13,54 ^{Bd}	20,95 ^{Ad}	19,98 ^{Ad}	15,95 ^{Bd}	11,85 ^{Bd}
12	24,05 ^{Accd}	17,80 ^{Bd}	23,58 ^{Ad}	21,04 ^{Ad}	17,68 ^{Bd}	12,65 ^{Cd}
24	26,36 ^{Ab}	21,98 ^{Bc}	27,41 ^{Ac}	23,41 ^{Bcd}	21,01 ^{Bc}	19,28 ^{Bc}
48	34,18 ^{Ab}	29,01 ^{Bb}	33,68 ^{Ab}	34,59 ^{Ab}	29,78 ^{Bb}	24,38 ^{Cb}
72	37,69 ^{Aa}	38,00 ^{Aa}	39,21 ^{Aa}	43,59 ^{Aa}	37,03 ^{Ba}	45,44 ^{Aa}
96	42,07 ^{Ba}	41,085 ^{Ba}	43,75 ^{Ba}	46,35 ^{Aa}	41,60 ^{Ba}	48,94 ^{Aa}

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais na mesma linha (entre híbridos) e minúsculas na mesma coluna (entre horários) não são estatisticamente diferentes entre si pelo teste SNK ($P < 0,05$). CV = 16,23%

As silagens dos híbridos ATF54*9929036, CMSXS206*9930002 e BR 601 apresentaram os maiores valores de desaparecimento da fração FDA nos tempos de 6 e 12 horas de incubação. Já a silagem do híbrido Volumax obteve o menor desaparecimento da FDA em 12 horas de incubação. Em 24 horas de incubação os maiores valores foram observados para os híbridos ATF54*9929036 e CMSXS206*9930002. Em 48 horas de incubação as silagens dos híbridos ATF54*9929036, CMSXS206*9930002 e BR 601 se destacaram em relação às demais. Em 72 horas de incubação apenas a silagem do híbrido BR 700 obteve o menor desaparecimento de FDA. Com 96 horas de incubação no rúmen se destacaram os híbridos BR 601 (46,35 %) e Volumax (48,94 %). Estes valores obtidos em 96 horas foram inferiores àqueles obtidos por Molina para silagens do híbrido BR 601 de 72,66 %, 66,14 % e 66,06 % colhidas em estádio de grãos leitosos, pastosos e farináceos, respectivamente. Já Nogueira (2002) encontrou valores menores para silagens do híbrido Volumax em 96 horas de incubação de 29,95 %, 31,88 % e 34,06 % colhidas também em estádios de grãos leitosos, pastosos e farináceos, respectivamente.

Para o desaparecimento da fração FDA também se pode observar que houve estabilização em após 72 horas de incubação, sendo o tempo de 96 horas suficientes para se atingir a assíntota.

Todos dados obtidos convergiram para o modelo exponencial de Ørskov e McDonald (1979), adaptado por Sampaio (1988). Os parâmetros de degradação ruminal da FDA estão na Tabela 15.

Os valores da fração solúvel representada para t_0 foi maior para a silagem do híbrido ATF54*9929036 (18,51 %), seguida pelos tratamentos BR 700 (16,24 %), BR 601 (13,07 %), CMSXS217*9929012 (12,54 %), CMSXS206*9930002 (11,95 %) e por último pela silagem do híbrido Volumax (10,95 %). De acordo com Van Soest (1994) esta fração assim como a fração FDN não é solúvel em água, devendo então apresentar valores de t_0 próximos a zero. No entanto, os valores encontrados neste experimento podem ser explicados pela possível perda de material durante o processo de lavagem, devido principalmente ao grau de moagem da amostra. Os valores obtidos neste experimento foram superiores àqueles relatados por Molina (2000) que variaram de 4,19 % a 10,32 %, de 2,41 % a 15,67 %, e de 3,01 % a 20,06 %, para silagens de sorgo colhidas em estádio de grãos leitosos, pastosos e farináceos, respectivamente.

O parâmetro de degradabilidade potencial da fração FDA foi maior para as silagens dos híbridos Volumax (66,97 %) e ATF54*9929036 (66,25 %), sendo que os demais apresentaram valores próximos entre si. Os valores deste experimento foram em sua maioria menores daqueles observados por Molina (2000) que relatou valores variando de 43,66 % a 70,0 %. Já Sousa (2001) obteve valores de 69 % e Campos (2001) de 64 %, para a degradabilidade potencial da FDA de silagens de sorgo com e sem tanino, sendo estes valores próximos aos obtidos neste experimento.

Tabela 15. Parâmetros de degradação ruminal da FDA das silagens de sorgo incubadas no rúmen

Parâmetro	Híbridos					
	ATF54*9929 036	CMSXS217* 9929012	CMSXS206* 9930002	BR 601	BR 700	VOLUMAX
A (%)	66,25	62,45	62,14	63,18	62,84	66,97
C (%/h)	1,20	1,11	1,26	1,58	1,30	1,52
S(%)	18,51	12,54	11,95	13,07	16,24	10,95
B ₁ (%)	47,74	49,91	50,19	50,11	46,60	56,02
TC (h)	6h e 23 min	8h e 54min	7h e 25min	8h e 41min	7h e 20min	9h e 20min
R ²	0,95	0,9	0,95	0,96	0,94	0,94

A = degradabilidade potencial; **c** = taxa fracional constante de degradação; **S** = fração rapidamente degradável ou fração solúvel que corresponde à porcentagem de desaparecimento no tempo zero; **B₁** = fração lentamente degradável ou fração degradável obtida pela diferença entre o potencial de degradação e a fração solúvel (A-S); **TC** = tempo de colonização; **R²** = coeficiente de determinação

As taxas de degradação da fração FDA obtidas foram de 1,58 %/h para a silagem do híbrido BR 601, seguido pelas silagens do Volumax (1,52 %/h), BR 700 (1,30 %/h), CMSXS206*9930002 (1,26 %/h), ATF54*9929036 (1,20 %/h) e CMSXS217*9929012 (1,11 %/h). Estas taxas de degradação foram menores daquelas obtidas por Campos (2001) (1,59 %/h a 1,81 %/h) e superiores às descritas por Sousa (2001) (1,04 %/h a 1,33 %/h).

Os tempos de colonização variaram de 6,23 horas para a silagem do híbrido ATF54*9929036 até 9,20 horas para a silagem do híbrido Volumax. Estes valores foram superiores aos observados por Sousa (2001) e Campos (2001). Molina encontrou valores de 10,06 horas, 0,27 horas e 5,78 horas para silagens do híbrido BR 601 colhidas em estádios de grãos leitosos, pastosos e farináceos, respectivamente. Noguera (2002) encontrou valores de 6 horas, 5 horas e 9 horas de tempo de colonização para silagens do híbrido Volumax colhidas em estádios de

grãos leitosos, pastosos e farináceos, respectivamente.

Os valores de degradabilidades efetivas da fração FDA para taxas de passagens de 0,02; 0,05 e 0,08/h das silagens de seis híbridos de sorgo encontram-se na Tabela 16. As maiores degradabilidades efetivas da fração FDA foram observadas para as silagens dos híbridos ATF54*9929036 (36,41 %, 27,75 % e 24,74 %) e para o Volumax (35,14 %, 24 % e 19,89 %), respectivamente para as taxas de 0,02; 0,05 e 0,08/h. O maior fator responsável por diferentes taxas e extensão de degradação são as porcentagens de lignina e a composição desta. As silagens dos híbridos ATF54*9929036 e Volumax apresentaram baixos teores de lignina, assim como as silagens dos híbridos BR 601 e BR 700. Porém, diferenças na composição da lignina podem ser responsáveis por diferenças na extensão e na taxa de degradação observadas entre estes materiais.

Tabela 16. Degradabilidades efetivas (%) da FDA das silagens de sorgo incubadas no rúmen simuladas em três tempos de passagem

Parâmetro	Híbridos					
	ATF54*9929 036	CMSXS217* 9929012	CMSXS206* 9930002	BR 601	BR 700	VOLUMAX
0,02/h	36,41	30,35	31,35	31,35	34,60	35,14
0,05/h	27,75	21,61	21,61	22,05	25,86	24,00
0,08/h	24,74	18,62	18,62	18,78	22,75	19,89

4.4. CONCLUSÕES

As silagens dos híbridos avaliados não tiveram degradabilidades efetivas da MS diferentes para o tempo final de incubação de 96 horas. Porém a silagem do híbrido Volumax apresentou maior degradabilidade potencial e maior taxa de degradação da MS.

Em 96 horas de incubação as silagens dos híbridos ATF54*9929036, CMSXS206*9930002, BR 601 e Volumax apresentaram as maiores porcentagens de desaparecimento da FDN. Entretanto, o maior potencial de degradação foi obtido pelo híbrido Volumax.

O parâmetro de degradabilidade potencial e degradabilidades efetivas da fração FDA foram

maiores para as silagens dos híbridos Volumax e ATF54*9929036. No entanto, as maiores taxas de degradação desta fração foi obtida para a silagem do híbrido BR 601.

4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC.. *Official methods of analysis*. 16ed. Washington: AOAC, 1995. 2000p.

CAMPOS, W.E. Degradabilidade *in situ* de componentes nutricionais das silagens de quatro genótipos de sorgo com (CMSXS 210 e BR 701) e sem tanino (CMSXS 214 e BR 007). Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2001. 85p. (Dissertação).

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

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

MAGALHÃES, R.T. Avaliação nutricional de diferentes genótipos de sorgo forrageiro. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2005, 65 p. (Tese).

MEHREZ, A.Z.; ØRSKOV, E.R. A study of the artificial fiber bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *Journal of Agriculture Science*, v.88, p.645-650, 1977.

MENKE, K.H.; RAAB, L.; SALWSKI, A.; STEINGASS, H.; FRITS, D.; SHNEIDER, W. The estimation of the digestibility and energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they incubated with liquor *in vitro*. *Journal of Agricultural Science*, v.93, p.217-222, 1979.

MINSON, D.J.; WILSON, J.R. Prediction of intake as an element of forage quality. In: FAHEY Jr, G.C. FORAGE QUALITY, EVALUATION AND UTILIZATION. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, p. 533-563, 1994.

MOLINA, L.R.; RODRIGUEZ, N.M.; SOUSA, B.M.; GONÇALVES, L.C.; BORGES, I. Parâmetros

de degradabilidade potencial da matéria seca e da proteína bruta das silagens de seis genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) com e sem tanino no grão, avaliados pela técnica *in situ*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.32, n.1, p.222-228, 2003.

MOLINA, L.R. Avaliação nutricional de seis genótipos de sorgo colhidos em três estádios de maturação. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2000. 65p. (Tese).

NOCEK, J.E. *In situ* and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility. *Journal of Dairy Science*, v.71, n.8, p.2051-2069, 1988.

NOGUERA, J.R.R. Estudo químico, *in situ*, *in vitro* e microscópico da parede celular de cinco genótipos de sorgo colhidos em três épocas de corte. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2002, 148p. (tese).

ØRSKOV, E.R.; HOVELL, F.D.; MOULD, F. Uso de la técnica de la bolsa de nylon para valoracion de los alimentos. *Prod. Animais Tropicales*, v. 5, p. 213-233, 1980.

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

PEREIRA, L.G.R. Potencial forrageiro da cultura de girassol (*Helianthus annuus* L.) para produção de silagem. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2003. 134p. (Tese).

RABELO, E. Degradabilidade *in situ* das silagens de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) de porte médio com diferentes teores de taninos e suculência de colmo. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2001. 98p. (Dissertação).

ROMERO, F. Utilización de la técnica de digestión *in situ* para la caracterización de forrajes. In: RUIZ, M.E.; RUIZ, A. (Ed.). NUTRICIÓN DE RUMINANTES – GUÍA METODOLÓGICA DE INVESTIGACIÓN. San José: Imprenta y Litografía Ambar, p.105-114, 1990.

SAMPAIO, I.B.M. Experimental designs and modeling techniques in the study of roughage degradation in the rumen and growth of ruminants. Reading: University of Reading, 228p. 1988 (Thesis).

SISTEMAS DE ANÁLISES ESTATÍSTICA E GENÉTICAS - SAEG. Versão 7.0. Viçosa: UFV, 1998.

SOUSA, B.M. Degradabilidade *in situ* dos componentes nutricionais das silagens de três genótipos de sorgo (CMSXS 180, CMSXS 227 e BR 700). Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2001. 73p. (Dissertação).

STENSIG, T.; WEISBJERG, M.R.; HVELPLUND, T. Estimation of ruminal digestibility of NDF from in sacco degradation and rumen fractional outflow rate. *Acta Agricultura Scandinava*, v. 44, n.2, p.96-109, 1994.

STREETER, M.N.; WAGNER, D.G.; HIBBERD, C.A.; OWENS, R.N. The effect of sorghum grain variety on site and extension of digestion in beef heifers. *Journal of Animal Science*, v.68, n.4, p.1121-1132, 1990.

TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique for the *in vitro* digestion of forage crops. *Journal of British Grassland Society*, v. 18, n.2, p.104-111, 1963.

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

VAN SOET, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal of Dairy Science*, v.74., n.12, p.3583-3597, 1991.

CAPÍTULO 5. EXPERIMENTO 4. AVALIAÇÃO DA DEGRADABILIDADE E DA CINÉTICA DE FERMENTAÇÃO RUMINAL PELA TÉCNICA *IN VITRO* SEMI- AUTOMÁTICA DE PRODUÇÃO DE GASES

RESUMO: O objetivo deste experimento foi avaliar a cinética de degradação das silagens de seis híbridos de sorgo pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases. O líquido ruminal foi obtido de um bovino adulto fistulado no rúmen. As leituras de produção de gases foram realizadas nos tempos de 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 19, 24, 30, 36, 48, 72 e 96 horas após a inoculação dos substratos. O volume de gás produzido foi obtido utilizando equação de regressão entre volume e pressão. Para descrever a cinética ruminal foram utilizados os parâmetros potencial máximo de produção de gases, *lag phase*, a taxa de produção de gases e a degradabilidade efetiva da matéria seca, para taxas de passagens de 2, 5 e 8 %. A silagem do híbrido Volumax apresentou a maior produção cumulativa de gases e os maiores picos de produção de gases por hora. No entanto, ao se considerar os parâmetros de degradação, a silagem do híbrido ATF54*9929036 obteve o maior potencial máximo de produção de gases; a silagem do híbrido CMSXS217*9929012 o menor tempo de colonização, sem diferenças para a taxa de fermentação das silagens utilizadas, e para a degradabilidade efetiva da matéria seca.

5.1. INTRODUÇÃO

Devido a estacionalidade de produção de forrageiras no Brasil, a conservação do excesso de forrageira na forma de silagem produzida na época das águas tem sido uma prática de manejo rotineira e eficaz para alimentação de ruminantes nos meses de entressafra de forrageiras, sendo fundamental para a manutenção do sistema viável de produção de ruminantes. A cultura do sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) se destaca por suas características agrônomicas e nutritivas. Sua utilização se justifica por apresentar elevada produtividade, principalmente em condições de déficit hídrico ocasionais, por apresentar sistema radicular profundo e abundante. Além disso, a cultura pode exibir uma taxa de rebrota de até 60 % em relação ao primeiro corte, quando submetido a manejo adequado (Zago, 1991).

Dentro de um programa de melhoramento genético tem-se tentado desenvolver híbridos com bom equilíbrio entre colmo, folhas e panículas, aliado a

uma elevada produtividade e bom valor nutritivo. A cultura do sorgo possui uma enorme variabilidade genética quanto às suas características nutritivas, o que possibilita um trabalho mais eficiente do melhoramento genético do sorgo para produção de silagem (Molina, 2000). Os conceitos mais modernos de seleção no sorgo buscam explorar ao máximo possível essa variabilidade do banco genético da cultura do sorgo, priorizando a seleção de materiais com maior proporção de panícula e melhor qualidade de colmo e folhas, para uma efetiva melhora do valor nutritivo destes materiais (Silva, 1997; Newmann et al., 2002).

A qualidade nutricional de uma forrageira reflete diretamente em sua digestibilidade e em seu consumo voluntário. No entanto, as avaliações destes parâmetros *in vivo*, são técnicas extremamente laboriosas, caras e demoradas, tornando-as assim muito pouco práticas na avaliação de alimentos. Desta forma, a utilização de técnicas laboratoriais para predição de consumo e digestibilidade tem sido uma opção para avaliação do valor nutricional de alimentos de uma maneira mais prática e rápida (Getachew et al., 1998).

Desde a década de 40 a quantificação dos gases produzidos durante a fermentação por microrganismos ruminantes vem sendo utilizada para avaliação do valor nutritivo dos alimentos. A técnica *in vitro* de produção de gases descrita por Menke et al. (1979) apresentou elevada correlação entre a produção *in vitro* de gases e a digestibilidade aparente *in vivo*. No entanto, a técnica descrita por Menke et al. (1979) não permite a incubação de uma quantidade maior de amostras, o que pode ser uma fonte potencial de erro. Theodorou et al. (1994) desenvolveu um método de leitura dos gases da fermentação utilizando seringas acopladas a um transdutor de pressão permitindo assim leituras a intervalos regulares, o que permitiu a construção de uma curva de produção de gases e determinação da cinética de fermentação utilizando o modelo de France et al. (1993). Entretanto, a técnica torna-se limitada por não permitir fácil manuseio com baixa capacidade de leitura e acurácia reduzida.

Mauricio et al. (1999) modificou a técnica descrita por Theodorou et al. (1994) utilizando uma técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases, devido a incorporação de um software, com captura automática das leituras. A técnica apresenta elevado potencial de descrição da cinética de fermentação, da taxa e extensão da degradação de forrageiras. A técnica constitui também uma ferramenta promissora em avaliações das taxas de digestão das frações

solúveis e insolúveis dos alimentos, utilizadas pelos sistemas modernos de predição de consumo (NRC, 1996; NRC, 2001). A técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases apresenta a vantagem de permitir a avaliação de um grande número de amostras por experimento, com alta acurácia, facilidade de manuseio e baixo custo por amostra analisada.

Maurício et al. (2003) observaram que a técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases possibilitou a estimativa de valores de digestibilidade *in vivo*, além de fornecer informações adicionais sobre a cinética de fermentação ruminal de silagens de sorgo.

Os objetivos deste experimento foram determinar o valor nutricional das silagens de seis híbridos de sorgo através da avaliação da produção de gases e da degradabilidade da matéria seca, utilizando a técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases.

5.2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas as silagens de seis híbridos de sorgo de dupla aptidão. Os híbridos avaliados foram: ATF54*9929036, CMSXS217*9929012, CMSXS206*9930002, BR 601, BR 700 e VOLUMAX. O cultivo e a ensilagem foram realizados nas dependências da Embrapa Milho e Sorgo, localizada no município de Sete Lagoas, Minas Gerais. O corte dos materiais foi realizado em estádio de grãos leitoso/pastoso.

Imediatamente após o corte os materiais foram ensilados em silos experimentais de PVC com 40 cm de altura e 10 cm de diâmetro, sendo a forrageira compactada com auxílio de um soquete de madeira. Após a compactação os silos foram imediatamente fechados com tampas de PVC dotados de válvula de Bunsen para permitir o escape dos gases oriundos da fermentação, e lacrados com fita crepe. Os silos foram levados à Escola de Veterinária da UFMG e abertos após 56 dias de fermentação. À abertura dos silos os materiais foram amostrados e submetidos a pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 65°C durante 72 horas para determinação da matéria pré-seca (AOAC, 1995). Após a determinação da matéria pré-seca, o material foi moído em moinho tipo Willey utilizando peneira de um (1) mm para posterior avaliação pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases (Maurício et al., 1999).

Os materiais foram incubados em frascos de vidro com capacidade de 160 ml, previamente lavados utilizando água destilada e secos. Posteriormente os frascos foram saturados com CO₂ para completa retida do oxigênio, onde em seguida foi pesado um grama do substrato. Foram preparados três frascos (três repetições de campo) por tratamento e mais três frascos contendo apenas o meio de cultura e o inóculo (branco). Para determinação da degradabilidade efetiva os frascos foram retirados nos tempos de 6, 12, 24, 48 horas, mais os frascos utilizados para a leitura dos gases até 96 horas.

O meio de cultura foi preparado um dia antes da inoculação das amostras segundo as recomendações de Theodorou et al. (1994). Este meio de cultura foi constituído por solução tampão, macrominerais, microminerais, resazurina e agentes redutores. Após a mistura o meio foi agitado continuamente e saturado com CO₂ por duas horas até atingir coloração rosada. Imediatamente foram adicionados 90 ml do meio aos frascos contendo os substratos com auxílio de um medidor. Os frascos foram então imediatamente vedados com rolhas de silicone e mantidos sob resfriamento a 4°C durante toda noite para se evitar fermentações indesejáveis.

Os frascos de fermentação foram removidos da geladeira cinco horas antes do início da inoculação e foram colocados em estufa a 39°C até o momento da inoculação.

A inoculação foi realizada utilizando líquido ruminal de um bovino da raça holandesa, fistulado no rúmen, recebendo dieta à base de silagem de milho e concentrado. O líquido ruminal foi retirado manualmente e armazenado em garrafas térmicas previamente aquecidas. O líquido foi então levado ao laboratório, foi filtrado em duas camadas de gazes de algodão, sob gaseamento constante com CO₂, sendo o recipiente mantido em banho maria a 39°C. A inoculação foi realizada utilizando-se 10 ml do inóculo por frasco. Imediatamente após a inoculação os frascos tiveram a pressão estabilizada através da introdução de agulhas (25 x 7) nas tampas de silicone dos frascos. Após a retirada manual das agulhas, os frascos foram agitados e colocados em estufa a 39°C para início da contagem dos tempos de fermentação.

A pressão originada pelos gases acumulados na parte superior dos frascos foi medida utilizando-se transdutor de pressão do tipo T443A (Bailey e Mackey, Inglaterra) conectado em sua extremidade uma agulha de 0,6 mm de diâmetro. As leituras de pressão foram realizadas nos tempos de 2, 4, 6, 8,

10, 12, 15, 19, 24, 30, 36, 48, 72 e 96 horas. A partir da inserção da agulha na tampa de silicone, a pressão contida no interior do frasco foi lida em leitor digital e imediatamente registradas em computador. Os dados de pressão em PSI (pressão por polegada quadrada) foram utilizados para cálculo do volume de gases produzidos através da equação matemática desenvolvida por Mauricio et al. (2001)

$$V = -0,051 P^2 + 4,43P - 0,004 \quad (r^2=0,99)$$

Onde: V= volume de gases produzido;

P= pressão em psi.

Degradabilidade da matéria seca (DMS) e da matéria orgânica (DMO)

Os resíduos da fermentação foram obtidos por filtração em cadinhos de porosidade 1 (Pirex – Vidrotec), os quais foram secos por 48 horas a 100°C e pesados para que fossem calculados o valores de DMS, nos tempos de 6, 12, 24, 48 e 96 horas de fermentação. A DMO foi calculada a partir da queima dos cadinhos com o resíduo de MS em mufla a 500°C por três horas (AOAC, 1995).

O delineamento experimental utilizado foi em parcelas subdivididas, sendo os frascos equivalentes aos blocos, as silagens foram os tratamentos e os tempos de incubação as sub-parcelas. As médias foram comparadas pelo teste SNK a 5 % de probabilidade, utilizando o programa estatístico SAEG (1998).

Os dados de produção cumulativa de gases da fermentação de cada tratamento foram ajustados ao modelo de France et al. (1993) utilizando-se o software Maximum Likelihood Program – MLP (Ross, 1980).

$$Y = A \{1 - \exp^{[-b(t-L) - c(x(t-L) - \square L)]}\}$$

Onde:

Y= produção cumulativa de gases (ml);

A= assíntota ou potencial máximo de produção de gases;

L= tempo de colonização (*tempo de colonização*);

B (h^{-1}) e c (h^{-05}) = taxas fracionais constantes

A taxa fracional (h^{-1}) combinada à produção de gases (\square) foi calculada pela seguinte equação:

$$\square = \frac{b + c}{2 \square t}$$

onde:

\square = taxa de produção de gases (h^{-1});

b e c = parâmetros semelhantes ao da equação (1);

t= tempo de incubação em horas.

As degradabilidades efetivas (DEMS) empregando as taxas de passagem de 2, 5 e 8 %/hora para baixo, médio e alto consumo, respectivamente, conforme recomendações do Report... (1984) foram calculadas pela equação proposta por France et al. (1993), utilizando o software MLPA (Ross, 1980).

$$DEMS = S_0 e^{-kT} (1 - kI)/(S_0 + U_0)$$

Onde:

K= taxa de passagem;

S₀ e U₀ = frações inicialmente fermentáveis e frações não fermentáveis, respectivamente.

5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As produções cumulativas de gases para os tempos de 6, 12, 24, 48 e 96 horas encontram-se na Tabela 17. Não foram observadas diferenças significativas entre os híbridos dentro de um mesmo período de incubação. Para um mesmo híbrido ao se comparar os períodos de incubação pode-se observar produções cumulativas de gases crescentes até o período de 96 horas, sendo o maior valor encontrado para o híbrido Volumax (189,40 ml/g de MS). Comparando-se as produções de gases entre os tempos de incubação pode-se observar aumento significativo com o decorrer de processo de fermentação. As médias de produção cumulativa de gases por tempo foram diferentes entre si, apresentando valores de 19,04; 43,30; 89,99; 137,73 e 175,54 ml/g de MS, para os tempos de incubação de 6, 12, 24, 48, 96 horas. As médias dos híbridos apresentaram diferenças estatísticas (P<0,05), sendo que Volumax apresentou o maior valor e o qual não foi significativamente diferente das médias obtidas pelos híbridos ATF54*9929036, CMSXS217*9929012, CMSXS206*9930002. A silagem do híbrido BR 700 obteve a menor média produção de gases e não apresentou diferença estatística do híbrido BR 601.

As produções cumulativas de gases observadas por Magalhães (2005) para os híbridos ATF54*9929036, ATF 53*9929036, CMSXS217*9929012 e Volumax foram superiores àqueles encontradas neste experimento, para suas respectivas silagens. Possivelmente, essa menor produção de gases encontrada nas silagens ocorreu devido a uma menor concentração de carboidratos solúveis presentes neste material, uma vez que estes foram consumidos durante o processo de ensilagem.

Tabela 17. Produções cumulativas de gases (ml/g de MS) após os tempos de incubação de 6, 12, 24, 48 e 96 horas, das silagens de seis híbridos de sorgo

Genótipos	Tempos de fermentação					Média
	6	12	24	48	96	
ATF54*9929036	19,65	45,93	100,85	148,41	184,80	99,92 ^{AB}
CMSXS217*9929012	19,08	43,00	88,36	132,53	169,16	90,72 ^{ABC}
CMSXS206*9930002	20,06	44,23	90,69	136,79	173,08	92,97 ^{ABC}
BR 601	18,17	41,20	86,52	135,56	172,08	90,72 ^{BC}
BR 700	14,62	35,91	78,72	124,11	164,69	83,61 ^C
VOLUMAX	22,65	49,71	94,51	148,98	189,40	101,07 ^A
Média	19,04 ^E	43,30 ^D	89,99 ^C	137,73 ^B	175,54 ^A	

Médias seguidas por letras maiúsculas iguais, em uma mesma coluna, não diferem entre si pelo teste SNK (P>0,05) CV=11,25 %

Na Figura 1 se encontram as curvas de produção cumulativa de gases da MS. O gráfico também demonstra a superioridade da silagem do híbrido Volumax, seguida pelas silagens dos híbridos

ATF54*9929036, CMSXS217*9929012, CMSXS206*9930002, BR 700 e BR 601 para a produção cumulativa de gases durante o processo fermentativo.

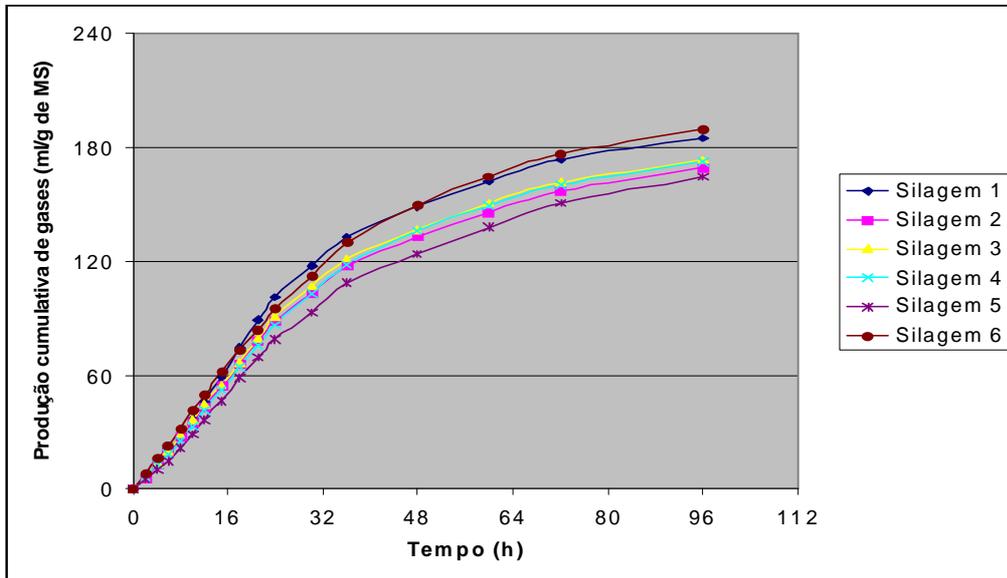


Figura 1. Produções cumulativas de gases da MS das silagens de seis híbridos de sorgo

A Figura 2 mostra a produção de gases por hora das silagens da matéria seca das silagens de seis híbridos de sorgo. Neste gráfico pode-se observar que para todas as silagens houve um primeiro pico de produção de gases às seis horas, possivelmente devido a fermentação de carboidratos prontamente disponíveis, no caso o amido presente na panícula da planta do sorgo. O segundo pico de produção de gases observado também para todas as silagens, corresponde à fermentação dos carboidratos

fibrosos, pertencentes à parede celular. Percebe-se que a silagem do híbrido Volumax foi aquela que alcançou os maiores picos de fermentação tanto dos carboidratos rapidamente fermentáveis quanto dos carboidratos da parede celular. Já no final de 96 horas de incubação a produção de gases por hora das silagens dos híbridos Volumax e ATF54*9929036 foram semelhantes, com a menor curva apresentada pela silagem do híbrido BR700.

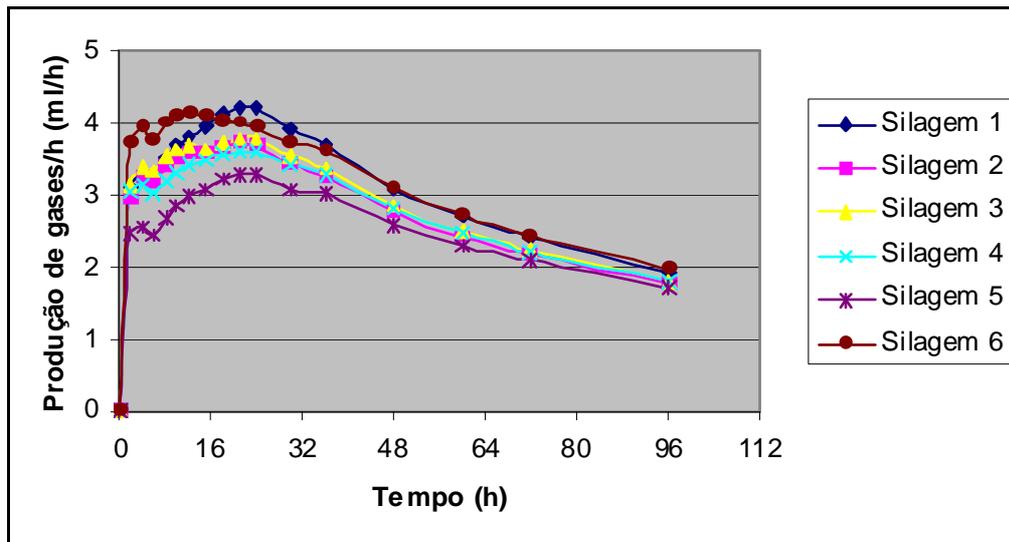


Figura 2. Produção de gases por hora da MS das silagens de seis híbridos de sorgo

As equações de regressão entre os valores de digestibilidade da MS (DMS) e da matéria orgânica (DMO) com as produções cumulativas (PCG) de

gases nos horários de 6, 12, 24, 48 e 96 horas foram significativas ($P < 0,05$) e encontram-se descritas na Tabela 18.

Tabela 18. Equações de regressão entre os valores de DMS e DMO com a PCG das silagens de seis híbridos de sorgo

Genótipos		Equações	R ²
ATF54*9929036	MS	PCG = 19,13 + 0,21x	0,97
	MO	PCG = 9,63 + 0,26x	0,90
CMSXS217*9929012	MS	PCG = 12,07 + 0,26x	0,95
	MO	PCG = 2,56 + 0,35x	0,75
CMSXS206*9930002	MS	PCG = 15,27 + 0,24x	0,96
	MO	PCG = 7,18 + 0,26x	0,93
BR 601	MS	PCG = 21,11 + 0,18x	0,74
	MO	PCG = 9,29 + 0,24x	0,76
BR 700	MS	PCG = 12,06 + 0,22x	0,95
	MO	PCG = 6,61 + 0,028x	0,95
VOLUMAX	MS	PCG = 18,84 + 0,20x	0,90
	MO	PCG = 10,42 + 0,22x	0,74

Os parâmetros da cinética de produção de gases determinados pelo modelo de France et al. (1993)

para degradação da MS das silagens de seis híbridos de sorgo encontram-se na Tabela 19.

Tabela 19. Parâmetros da cinética de produção de gases da MS das silagens de seis híbridos de sorgo

Parâmetros	Silagens					
	ATF54*9929 036	CMSXS217* 9929012	CMSXS206* 9930002	BR 601	BR 700	Volumax
A ¹	185,35	180,50	177,60	177,38	176,13	179,14
L (h) ²	1,39	1,12	1,75	1,67	1,59	1,47
μ (/h) ³	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026	0,026

¹Potencial máximo de produção de gases; ²Tempo de colonização; ³Taxa de produção de gases (Parâmetros estimados pelo modelo de France et al. (1993))

Os potenciais máximos de produções de gases correspondem ao volume de gases correspondente à completa digestão do substrato (assíntota) e variaram de 176,13 ml para a silagem do híbrido BR 700 até 185,35 ml para a silagem do híbrido ATF54*9929036. Para os parâmetros de *lag phase* (L) e taxa de fermentação μ nota-se uma menor L para a silagem do híbrido CMSXS217*9929012 e a maior para a silagem do híbrido CMSXS206*9930002. No entanto, não foram observadas diferenças entre as silagens para a taxa de fermentação. Maurício et al. (2003) encontrou valores de 179 ml, 2,3 horas e 0,051 (/h) para a silagem do híbrido BR 700, e de 194 ml, 2,4 horas e 0,056 (/h) para a silagem do híbrido BR 601, para os parâmetros de A, L e μ, respectivamente.

A degradabilidade efetiva é um parâmetro de melhor afinidade com a atividade biológica de digestão uma vez que inclui a taxa fracional de passagem do alimento no cálculo da degradabilidade. A

degradabilidade efetiva na técnica *in vitro* de produção de gases é utilizando-se os parâmetros da cinética de produção de gases e o valor de digestibilidade obtido pelo resíduo de degradação após 96 horas de incubação, que corresponde à digestibilidade potencial. O Report ... (1984) recomenda a adoção das taxas de passagem de 2; 5 e 8 %/h no cálculo da degradabilidade efetiva quando a taxa de passagem não foram ou não puderam ser medidas. A taxa de passagem de 2 %/h é adotada para bovinos e ovinos em manutenção; de 5 %/h são mais adequados para vacas de leite de baixa produção (<15 kg de leite/dia), e também para bovinos de corte e ovinos em crescimento, quando em dieta mista; já a taxa de passagem de 8 %/h é adequada a vacas leiteiras de alta produção e alimentadas com dietas mistas.

Na Tabela 20 estão os valores de degradação efetiva da MS (DEMS) estimados para taxas de passagens de 2, 5 e 8 %/h.

Tabela 20. Degradabilidade efetiva das silagens de seis híbridos de sorgo para taxas de passagens de 0,02, 0,05 e 0,08/h

Parâmetros	Silagens					
	ATF54*9929 036	CMSXS217* 9929012	CMSXS206* 9930002	BR 601	BR 700	Volumax
0,02/h	31,97	33,40	33,85	33,85	33,08	33,16
0,05/h	21,98	22,71	22,75	22,41	21,73	21,83
0,08/h	17,31	18,27	18,28	17,84	17,24	17,45

Todas as silagens apresentaram DEMS semelhantes para todas as taxas de passagens avaliadas, no entanto, a silagem do híbrido CMSXS206*9930002 apresentou valores ligeiramente de DEMS para todas as taxas de passagens. Maurício et al. (2003) avaliando silagens de sorgo encontrou valores de DEMS acima dos valores encontrados no presente experimento, de 42,5; 30 e 23,4 % para o híbrido BR 700 e de 47,8; 34,3 e 26,7 % para o híbrido BR 601, respectivamente para as taxas de passagens de 2, 5 e 8 %/hora. De maneira geral, os valores de DEMS quando obtidos pela técnica de degradação *in situ* apresentam valores superiores aos obtidos com a técnica *in vitro* de produção de gases. Molina et al.

(2002) utilizando a técnica *in situ* encontrou DEMS de 52,8; 39,12 e 32,51 % para o híbrido BR 700. Noguera (2002) também utilizando a técnica *in situ* encontrou DEMS para taxa de passagem de 5 % de 32,6; 32,23 e 33,89 % para silagem do híbrido Volumax relativas às épocas de corte de grãos leitosos, pastosos e farináceos, respectivamente.

5.4. CONCLUSÕES

Apesar da silagem do híbrido Volumax ter apresentado a maior produção cumulativa de gases e os maiores picos de produção de gases por hora, ao se considerar os parâmetros de degradação, a

silagem do híbrido ATF54*9929036 obteve o maior potencial máximo de produção de gases; a silagem do híbrido CMSXS217*9929012 a menor L, sem diferenças para a taxa de fermentação das silagens utilizadas, e para a degradabilidade efetiva da matéria seca.

5.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS – AOAC. *Official methods of analysis*. 16ed. Washington: AOAC, 1995. 2000p.

FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; THEODOROU, M.K.; LISTER, S.J.; DAVIES, D.R. ISAC, D.A. A model to interpret gas accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds. *Journal of Theoretical Biology*, v.163, p.99-111, 1993.

GETACHEW, G.; BLUMMEL, M.; MAKKAR, H.P.S., BECKER, K. In vitro gas measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. *Animal Feed Science and Technology*, v.72, p.261-281, 1988.

MAGALHÃES, R.T. Avaliação nutricional de diferentes genótipos de sorgo forrageiro. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2005, 65 p. (Tese).

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

MAURICIO, R.M.; PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L.C. Obtenção da equação quadrática entre volume e pressão para a implantação da técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases para avaliação de forrageiras tropicais. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38, 2001, Piracicaba, *Anais...*Piracicaba: SBZ, 2001, p.1345-1346.

MAURICIO, R.M.; PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M.; MARTINS, R.G.R.; RODRIGUES, J.A.S. 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*, v.32, n.4, p.1013-1020, 2003.

MENKE, K.H.; RAAB, L.; SALWSKI, A.; STEINGASS, H.; FRITS, D.; SHNEIDER, W. The estimation of the digestibility and energy content of ruminant feeding stuffs from the gas production when they incubated with liquor *in vitro*. *Journal of Agricultural Science*, v.93, p.217-222, 1979.

MOLINA, L.R. Avaliação nutricional de seis genótipos de sorgo colhidos em três estádios de maturação. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2000, 65p. (Dissertação).

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

NATIONAL RESEARCH COUNCIL – NRC. *Nutrient requirements of beef cattle*. 7ªEd. Washington: National Academy of Science, 1996, 359p.

NEUMANN, M.; RESTLE, J.; ALVES FILHO, D.C.; BERNARDES, R.A.C.; ARBOITE, M.Z.; CERDÓTES, L.; PEIXOTO, L.A.O. Avaliação de diferentes híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor*, L. Moench) quanto aos componentes da planta e silagens produzidas. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.31, n.1, p.302-312, 2002 (suplemento).

REPORT of the protein group of the Agricultural Research Council Working party, on the nutrients of ruminants. London. Commonwealth Agricultural Bureaux, 1984, 45p.

ROOS, G.J.S. *Maximum Likelihood Program (A Manual)*. Tothmsted Experimental Station Hampden. 1980.

SISTEMAS DE ANÁLISES ESTATÍSTICA E GENÉTICAS – SAEG. Versão 7.0. Viçosa: UFV, 1998.

SILVA, F.F. Qualidade de silagens de híbridos de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) de portes baixo, médio e alto com diferentes proporções de colmo, folha e panícula. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 1997, 94p. (dissertação).

THEODOROU, M.K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA, M.S.; McALLAN, A.B.; FRANCE, J. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, v. 48, p.185-197, 1994.

ZAGO, C.P. Cultura de sorgo para a produção de silagem de alto valor nutritivo. In: SIMPÓSIO SOBRE PRODUÇÃO DE BOVINOS, 4, 1991, Piracicaba. Anais... Piracicaba:FEALQ, p.169-217, 1991.

CAPÍTULO 6. EXPERIMENTO 5. AVALIAÇÃO DA PAREDE CELULAR DE SILAGENS DE HÍBRIDOS DE SORGO E SEUS RESÍDUOS DA DEGRADAÇÃO *IN SITU* PELA TÉCNICA DA MICROSCOPIA ELETRÔNICA DE VARREDURA (MEV)

RESUMO: Foram avaliadas as silagens de quatro híbridos de sorgo. As plantas foram ensiladas em silos de PVC e amostradas após 56 dias de fermentação para avaliação como tempo zero. Após a abertura dos silos as silagens foram pré secadas, moídas a cinco milímetros e incubadas no rúmen em sacos de náilon nos tempos de 6, 24, 48 e 72 horas. As amostras foram secas a 39°C por 48 horas. Após a secagem os materiais foram fixados em botões de alumínio e metalizados em ouro em metalizador CV 052 Blazer. Após a metalização os materiais foram analisadas em microscópio eletrônico de varredura DSM950 Carl Zeiss. Para todas as amostras foi observado que durante o processo de fermentação das silagens não houve degradação do amido e que as hemiceluloses são utilizadas pelas bactérias ácido lácticas como fonte adicional de substrato. O acompanhamento da degradação das forrageiras com o avanço do tempo de incubação no rúmen permitiu descrever as etapas de desaparecimento dos tecidos pela ação dos microrganismos: parênquima primário, parênquima secundário, esclerênquima e floema. Além disso, permite concluir que as estruturas intimamente ligadas à lignina apresenta resistência à degradação inclusive nos períodos mais avançados de incubação ruminal.

Palavras-chave: degradação, microscopia, tecidos celulares, parede celular

6.1. INTRODUÇÃO

A performance animal é o produto do suprimento e concentração de energia e nutrientes, do consumo, da digestibilidade e do metabolismo. Destes o consumo é dos principais a influenciar o desempenho animal, e sofre efeito direto da qualidade da forrageira. Segundo Minson e Wilson (1994) a anatomia da planta influencia o consumo de acordo com diferenças na quantidade de parede celular e digestibilidade desta, o que é devido principalmente a diferentes proporções entre células de parede fina e espessa, e ao grau de lignificação.

A análise química dos alimentos para ruminantes por si só não fornece subsídios suficientes para a completa compreensão dos aspectos da digestão e da

digestibilidade dos alimentos. A determinação dos componentes como celulose, hemicelulose, lignina, e outros componentes da parede celulares não fornecem detalhes da distribuição destes na forrageira. A utilização de técnicas microscópica pode elucidar fatores que afetam a degradação de forrageiras no rúmen, fornecendo informações sobre a microanatomia da forragem e sobre a taxa e extensão de degradação dos tecidos das forrageiras (Grenet, 1991; Akin et al., 1983).

A microscopia eletrônica de varredura quando utilizada em estudos de digestão pode ressaltar diferenças na microanatomia e nos sítios de lignificação tanto entre forrageiras quanto entre diferentes partes da planta, que afetam diretamente a digestibilidade a técnica permite estudar a estrutura e a ultra-estrutura dos tecidos vegetais, principalmente da parede celular e o grau de lignificação. A microscopia eletrônica de varredura pode ser considerada uma importante ferramenta em programas de melhoramento de plantas destinadas à alimentação de ruminantes.

A avaliação microscópica também permite acompanhar modificações na ultraestrutura anatômica das forrageiras com o avanço do estágio de maturação. A organização da estrutura anatômica influencia o tamanho da estrutura da fibra e sua resistência à quebra a partículas suficientemente pequenas para deixar o rúmen. O tecido vascular e o esclerênquima são aqueles que mais contribuem para aumentar o tamanho de partícula no rúmen, uma vez que são intensamente lignificados (Saliba, 1988). Juntamente com a epiderme eles são responsáveis pela manutenção da integridade das folhas e colmo, sendo necessário a maior tempo de mastigação durante a alimentação e ruminação para quebra destes tecidos (Minson e Wilson, 1994).

Estudos de gramíneas utilizando a técnica de microscopia são capazes de detectar diferenças anatômicas entre plantas, especialmente na parede celular e seus sítios de lignificação que afetam a digestibilidade, tanto entre plantas quanto entre as diferentes partes das plantas. Além da digestão a microscopia pode oferecer uma forma adicional de comparação da taxa e extensão da degradação ruminal, permitindo também acompanhar os processos de colonização dos tecidos pelos microrganismos (Noguera, 2002). A microscopia eletrônica de varredura (MEV) consegue grande definição a qual é capaz de determinar perdas teciduais na superfície das amostras após a degradação, o que permite uma visualização mais fácil da quebra de diferentes tecidos da planta e do

ataque seletivo dos microrganismos sobre os diferentes tecidos. Sendo assim, a avaliação microscópica pode em particular ser aplicada em programas de melhoramento genético de forrageiras, através da avaliação na variação da micro-anatomia ou na disponibilidade da parede celular aos microrganismos ruminais. Ou ainda pode ser utilizada em programas que envolvem a avaliação de manejo e meio ambiente que possivelmente podem alterar a digestibilidade da fibra. Nestes casos a MEV mostra-se uma técnica de avaliação rápida e eficiente (Akin, 1979, Nogueira, 2002).

Nogueira (2002) avaliando a degradabilidade de diferentes genótipos de sorgo e Saliba et al. (2001) estudando a degradação da palha de milho e de soja observaram que a extensão da digestão dos tecidos da planta segue a seguinte ordem: parênquima primário, parênquima secundário, esclerênquima e por fim o tecido vascular lignificado. Segundo Nogueira (2002) o tecido cutinizado constituiu uma barreira limitante da degradabilidade dos genótipos de sorgo avaliados. Desta forma torna-se claro a importância dos processos de mastigação e ruminação na digestão das forrageiras, uma vez que permitem maiores áreas de colonização pelos microrganismos ruminais. Grenet (1991) avaliando a degradação *in situ* do milho nos tempos de oito, 24, 48 e 72 horas, observou que o floema foi o primeiro tecido a sofrer degradação completa, seguido do parênquima interno do caule, em último lugar pelo parênquima externo.

Os objetivos deste estudo foram avaliar a anatomia de silagens de sorgo e o efeito da degradação *in situ* sobre os componentes da parede celular, utilizando a técnica de MEV.

6.2. MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliadas as silagens de quatro híbridos de sorgo diferentes ATF54*9929036, CMSXS217*9929012, BR 700 e Volumax. O material foi cultivado na EMBRAPA Milho e Sorgo, localizada no município de Sete Lagoas, no ano agrícola de 2001/2002. As plantas foram cortadas manualmente, rente ao solo e ensilada imediatamente. Para a ensilagem foram utilizados silos de laboratórios confeccionados em PVC com 10 cm de diâmetro e 40 de comprimento. A compactação foi realizada com soquete de madeira, e os silos foram fechados com tampas de PVC dotadas de válvula do tipo Bunsen, e lacrados com fita adesiva. Posteriormente os silos foram levados ao Laboratório de Nutrição Animal da Escola de Veterinária da UFMG e abertos aos 56 dias de

fermentação. Imediatamente após a abertura foram coletadas as amostras dos materiais que seriam submetidos à avaliação em microscópio eletrônico de varredura.

Parte das silagens foram amostradas e submetidas a pré-secagem em estufa de ventilação forçada a 65°C durante 72 horas (AOAC, 1995). Após a determinação da matéria pré-seca, parte deste material foi amostrado e moído a cinco (5) mm a fim de ser submetido a incubação ruminal em sacos de náilon.

Para incubação no rúmen foram utilizados sacos de náilon de 10 x 20 cm e tamanho médio dos poros de 50µm devidamente identificados utilizando caneta especial para tecidos. Após foram pesadas cinco gramas de amostras por saco de náilon, correspondente a uma relação peso da amostra/área do superficial do saco de náilon de 12,5 mg/cm² (Nocek, 1988). As extremidades dos sacos de náilon foram então fechadas utilizando-se presilhas de plástico e os saquinhos agrupados então por tempo de incubação. Para incubação foram utilizados bovinos machos da raça Nelore, fistulados no rúmen. No momento da incubação das amostras no rúmen, os grupos de sacos de náilon foram amarrados a uma corda de náilon de 90 cm, sendo utilizadas âncoras de ferro a fim de manter as amostras submersas no conteúdo ruminal.

Os saquinhos foram incubados ao mesmo tempo e retirados nos tempos de incubação de 6, 24, 48 e 72 horas. Imediatamente após a retirada do rúmen, os sacos foram congelados imediatamente para paralisação do processo fermentativo. Este material foi transportado para o Laboratório de Nutrição da Escola de Veterinária da UFMG, foram descongelados e cuidadosamente amostrados para evitar danos aos materiais.

As amostras das silagens íntegras e de seus respectivos resíduos de degradação foram colocadas em vidro de relógio e submetidas a desidratação em estufa a 39°C por 48 horas. Após a secagem os materiais foram fixados em botões de alumínio, utilizando cola branca e metalizados em ouro utilizando metalizador CV 052 Blazer. Após a metalização as amostras foram analisadas em microscópio eletrônico de varredura DSM950 Carl Zeiss. A metalização em ouro e as leituras das amostras foram realizadas no Centro de Microscopia Eletrônica (CEMEL) do Instituto de Ciências Biológicas da UFMG.

6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

MEV da silagem do híbrido ATF54*9929036

A Figura 1 mostra a MEV da silagem do híbrido ATF54*9929036 no tempo zero. Pode-se observar a presença de parênquima primário (abaixo à direita), de parênquima secundário e de amido em ambas as estruturas (à esquerda da fotografia). A anatomia do parênquima primário não é isodiamétrica, e pode-se perceber que houve degradação de hemiceluloses durante o processo de ensilagem. A constituição do parênquima secundário, que normalmente é mais rico em celulose, e, portanto de paredes mais espessas, mostra também presença de significativa quantidade de hemiceluloses, que também sofreu degradação durante a ensilagem. O parênquima primário é aquele constituído quimicamente por celulose, hemiceluloses e outros polissacarídeos. Já a parede celular secundária consiste de celulose e outros polissacarídeos, sendo as hemiceluloses relativamente de menor importância nesta (Cutter, 1986). Noguera (2002) relata que em sorgo colhidos em estágio de grãos leitosos o parênquima primário encontrava-se totalmente formado, iniciando-se a formação do parênquima secundário. Já na época de corte na qual os grãos se encontravam em estágio pastoso, esse mesmo autor observou uma redução da participação do parênquima primário com aumento da proporção do parênquima secundário.

Esse tecido parenquimático é constituído por células de paredes delgadas, vacuolizadas, com protoplastos vivos. A forma das células do parênquima é geralmente descrita como isodiamétricas. Quando isoladas podem assumir formas mais ou menos esféricas, porém quando passam a formar o tecido, várias forças passam a atuar sobre elas afetando assim sua forma. Este tecido tem como principal função a fotossíntese, a respiração e o armazenamento de substâncias. O conteúdo das células parenquimatosas é em sua maioria cristais, taninos, óleos e amido. O parênquima quando contém muitos protoplastos e tem como principal função a fotossíntese, passando a ser denominado de clorênquima. Pode ser encontrado em folhas e na periferia de caules jovens (Cutter, 1986).

A Figura 2 mostra a estrutura intacta de um vaso condutor presente no tempo zero da silagem do híbrido ATF54*9929036. O sistema vascular da planta é constituído de xilema, tecido condutor de água, e de floema, tecido condutor de alimento. Levando em consideração a importância do suprimento de água e alimento, pode-se considerar a importância deste sistema dentro da planta. Este

sistema também separa as plantas superiores de alguns grupos mais primitivos que não possuem sistemas condutores comparáveis. Muito dos componentes do xilema têm parede espessa e dura, ao contrário do floema que é constituído de parede macia. O xilema é o principal constituinte das madeiras duras e moles, sendo assim de grande importância comercial.

Quanto ao floema, as fibras podem estar presentes no floema primário e secundário. Possuem parede secundária espessa, geralmente lignificadas. As células do parênquima também estão presentes no floema primário e secundário, essas células têm parede primária com campos primários e conteúdo vivo, sendo que no floema inativo podem espessar-se e lignificar-se. Este tipo de célula pode também armazenar amido e outros compostos, especialmente no floema secundário (Cutter, 1986).

A Figura 3 mostra a silagem do híbrido ATF54*9929036 após ter sido submetida a incubação ruminal por 6 horas. Percebe-se início da degradação do parênquima de paredes finas, compostas principalmente de celulose e hemiceluloses. Além disso, observar-se a completa degradação do amido presente na forrageira. Neste tempo de incubação ruminal ainda não se percebe a presença de feixes de celulose livres.

A Figura 4 a seguir, mostra a fotografia da silagem do híbrido ATF54*9929036 após incubação ruminal por 24 horas, podendo-se observar que o material se encontra bastante degradado, mas ainda contém material remanescente pertencente ao parênquima de paredes finas, que já não apresenta sua estrutura anatômica original e encontra-se completamente desordenado. Nesta figura como consequência da degradação as estruturas internas já podem ser vistas, com exposição de tecido amorfo e lignificado. O tecido que começa a ser exposto é o esclerênquima, o qual é constituído de elementos de parede espessa, normalmente duros e lignificados. Distingue-se do clorênquima por não possuir conteúdos vivos e ser lignificado. No entanto, tem função similar na planta de sustentação. O esclerênquima normalmente aparece associado ao xilema e floema, e também em tecidos parenquimáticos maduros.

Este material demonstrou pela MEV uma elevada degradação dos tecidos potencialmente digestíveis com 24 horas de incubação no rúmen, o que está de acordo com o que foi descrito em relação a sua lignina que apresentou menor concentração total de

monômeros fenólicos (0,15 mg/ml) e um menor teor de vanilina.

A Figura 5 representa a silagem do híbrido ATF54*9929036 após ter sido submetida a 48 horas de fermentação ruminal. A figura destaca a presença de um vaso libero-lenhoso, representado pelo floema e xilema, onde mostra a total degradação de material potencialmente digestível (epiderme, células do mesófilo, parênquima e o floema) ao redor de todo o vaso, que se projeta na superfície do material. Este tipo de estrutura normalmente está associada ao esclerênquima, tecido constituído de elementos de parede espessa, muito duros e lignificados, sendo suas paredes de constituição secundária. Segundo Buxton e Fales (1994) a extensão da degradação deste tipo de estrutura varia de acordo com a deposição e composição da lignina da planta, que pode ser influenciada por fatores ambientais como a temperatura. Segundo estes autores a análise dos ácidos fenólicos mostrou significava relação quadrática entre a temperatura ambiente e a concentração de ácidos p-cumárico e ferúlico. Na

Figura 6 observa-se outra fotografia do mesmo tratamento também submetido a 48 horas de incubação ruminal com completa exposição dos tecidos internos, apresentando parênquima primário de paredes finas e parênquima secundário totalmente degradados e exposição da estrutura do esclerênquima.

O tempo de incubação de 72 horas está representado pela Figura 6. Nesta o material se encontra totalmente degradado com aparência amorfa, não sendo possível distinguir estruturas do parênquima primário nem do secundário, e com presença de grande quantidade de feixes de microcelulose e fibra lignificada. Os feixes de microcelulose e celulose localizada na parede celular em feixes de cadeias que compreendem estruturas semelhantes a fibras positivamente birrefringentes, que são denominadas de microfibrilas. Esta estrutura, ou seja, as fibrilas embebidas numa matriz têm sido comparadas com a fibra de vidro ou ao concreto armado. Esta é a celulose mais resistente à degradação ruminal.

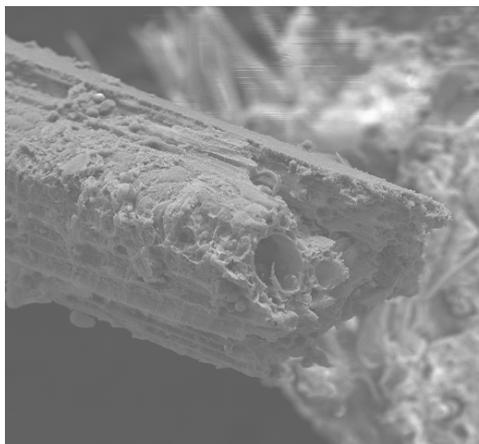


Figura 1

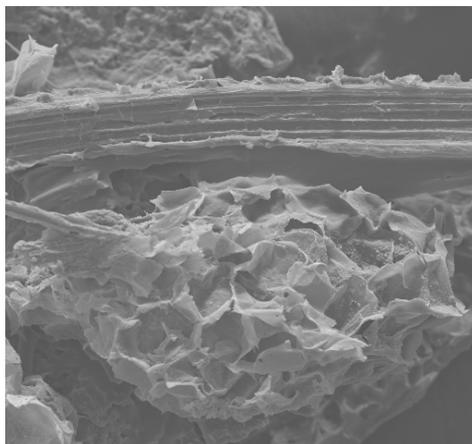


Figura 2

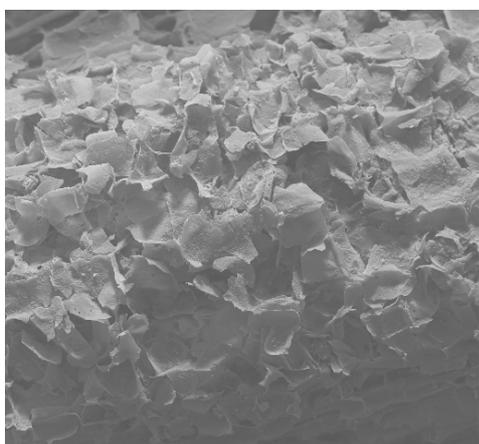


Figura 3

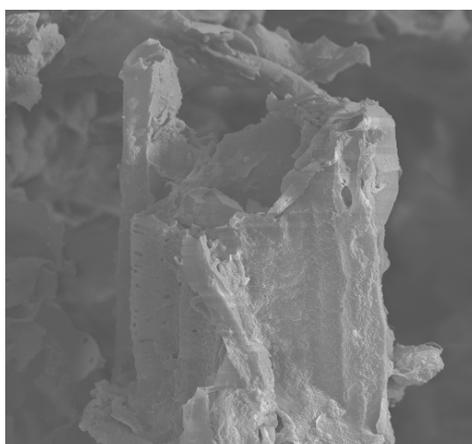


Figura 4

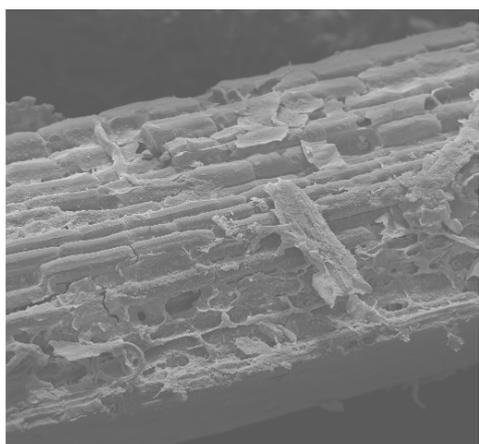


Figura 5

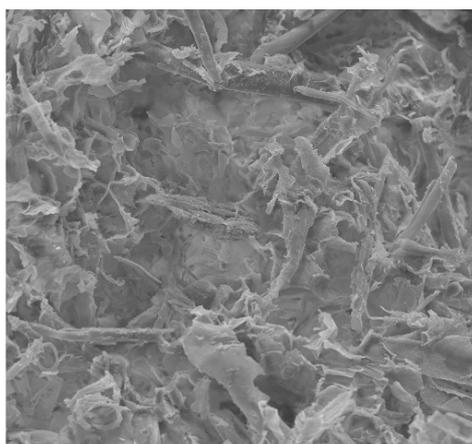


Figura 6

MEV da silagem do híbrido CMSXS217*9929012

Na Figura 7 refere-se à silagem do híbrido CMSXS217*9929012 no tempo zero, pode-se observar a presença de parênquima primário de paredes finas vacuolizadas com formato mais isodiamétrico do que aquele apresentado pelo híbrido ATF54*9929036, lembrando um favo de mel. Pode-se perceber algumas alterações físicas no parênquima primário, possivelmente devido degradação de hemiceluloses durante o processo de ensilagem, o é confirmado pelos dados descritos no Experimento 2, deste trabalho. A Figura 8 também mostra a silagem do híbrido CMSXS217*9929012 no tempo zero, com parênquima primário de paredes finas, com formato isodiamétrico, repleto de grânulos de amido, demonstrando que o amido não é utilizado como substrato pelas bactérias ácido lácticas durante o processo fermentativo anaeróbico da forrageira dentro do silo. Abaixo à direita, observa-se a presença de parênquima de paredes espessas, o qual é mais rico em celulose.

Figura 9 mostra a silagem do híbrido CMSXS217*9929012 após 6 horas de incubação no rúmen. Pode-se ainda observar a presença de parênquima primário, mas que já se encontra extensamente degradado, revelando bastante isodiamétrico, já com surgimento de microfibrilas de celulose (o que não é percebido na silagem do híbrido anterior), e início de exposição do tecido de sustentação (esclerênquima).

Após 24 horas de incubação no rúmen (Figura 10), observa-se ainda a presença de parênquima primário, mas já se apresentando com aspecto amorfo, perdendo suas características morfológicas originais, e grande presença de microfibrilas de celulose que se projetam, e material amorfo resistente à degradação, semelhante à fibra lignificada.

Com 48 horas de incubação no rúmen de acordo com a Figura 11 pode-se observar que a epiderme encontra-se intensamente degradada com presença de vários complexos estomáticos em toda sua extensão e exposição de faixas de células silicosas. A epiderme é a camada mais externa de células em todas as partes da planta durante o crescimento primário, estando em contato direto com o ambiente. Geralmente a epiderme é constituída de uma única camada de células, mas pode também formar uma epiderme múltipla ou em várias camadas. Na epiderme das folhas e muitas vezes em caules estão presentes os estômatos e também células contendo sílica. Estrutura apontada em vermelho lembra um zoósporo (Cutter, 1986).

A Figura 12 representa a silagem do híbrido CMSXS217*9929012 após 72 horas de incubação ruminal. Pode-se observar que o material encontra-se com aspecto totalmente amorfo demonstrando degradação quase completa dos carboidratos constituintes da parede celular. Na figura ainda pode-se observar a presença de microfibrilas de celulose envoltas em material completamente degradado, feixes libero lenhosos, e ainda percebe-se a estrutura amorfa da lignina.

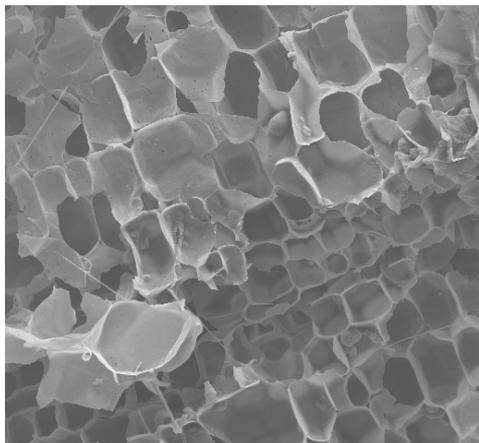


Figura 7

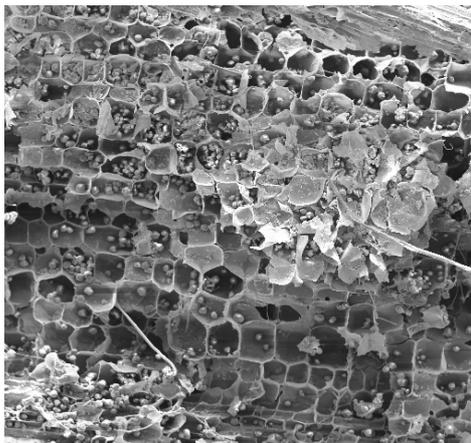


Figura 8

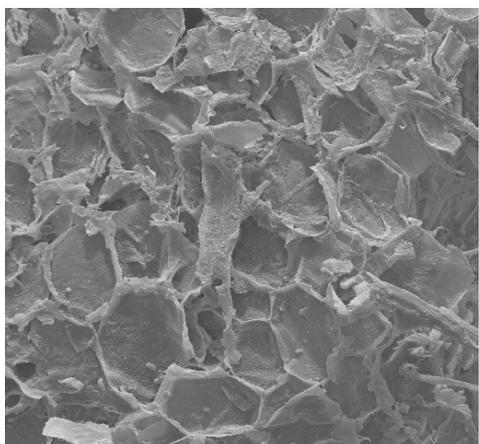


Figura 9

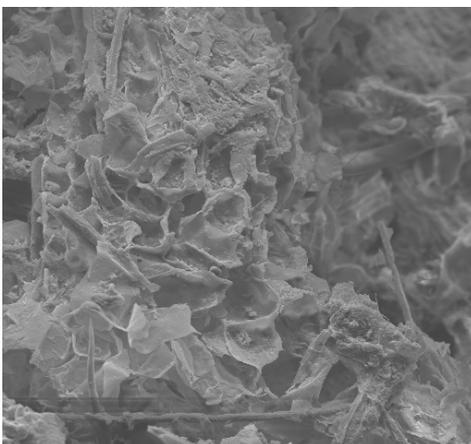


Figura 10

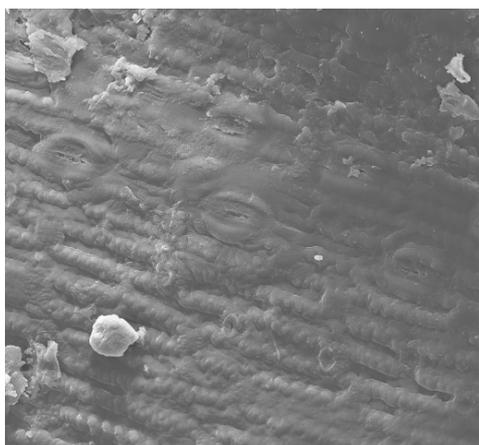


Figura 11

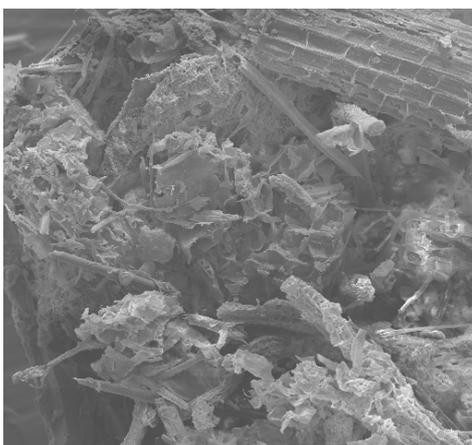


Figura 12

MEV da silagem do híbrido BR700

As Figuras 13 e 14 demonstram a estrutura da silagem do híbrido BR700 no tempo zero. Na Figura 14 observa-se à direita a presença de células parenquimatosas, de formato não isodiamétrico. No centro é possível visualizar um feixe de condução que é composto pelo xilema e pelo floema. À esquerda ao fundo vê-se a presença de tecido da epiderme com presença de estômatos e células silicosas. Já a Figura 15 mostra uma visão mais próxima da epiderme composta por células alongadas, onde melhor visualiza-se complexos estomáticos e ainda grânulos de amido. Na parte superior pode-se observar tecido de parênquima primário ainda não degradado, constituído basicamente de hemiceluloses.

Nas Figuras 15 e 16 observa-se a silagem do híbrido BR700 após 6 horas de incubação no rúmen. Na Figura 16 percebe-se que o parênquima primário ainda apresenta sua formação anatômica original, porém encontra-se em estágio avançado de

degradação. Pode-se observar também a presença de um grânulo de amido no interior do parênquima, mas em sua grande maioria já foi extensamente degradado. A Figura 17 também mostra o início de degradação do parênquima primário, com presença de nervuras distribuídas por toda a fotografia.

A Figura 18 mostra a silagem do híbrido BR700 após 24 horas de fermentação ruminal. Comparando-se com as figuras anteriores pode-se observar que a degradação se intensificou deixando o parênquima primário mais rebaixado, devido a extensa degradação da fração da celulose e de hemiceluloses. Pode-se observar que o tecido de sustentação começa a ser exposto.

Após 48 horas de degradação (Figura 19) o parênquima primário já não exibe suas características anatômicas originais. Percebe-se extensa degradação da parede celular de paredes finas e início da exposição dos feixes de celulose de difícil degradação.

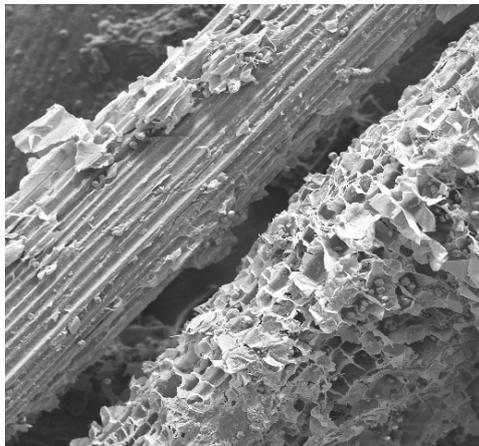
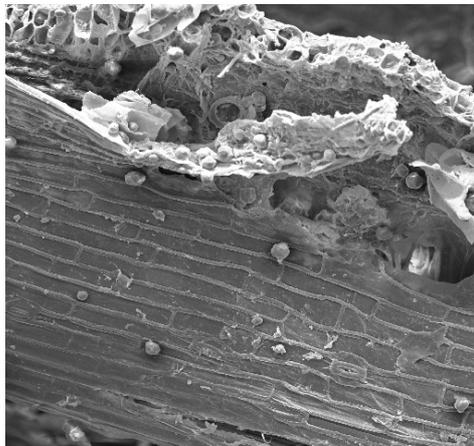


Figura 13



Figuras 14

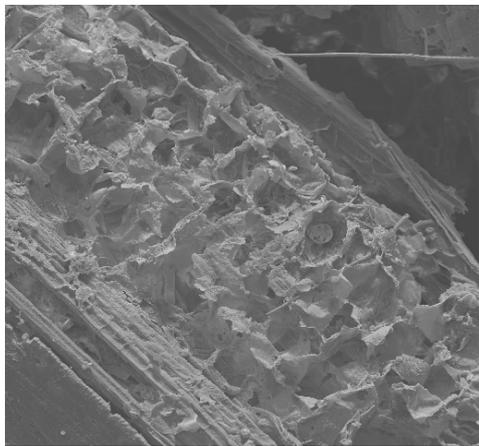


Figura 15

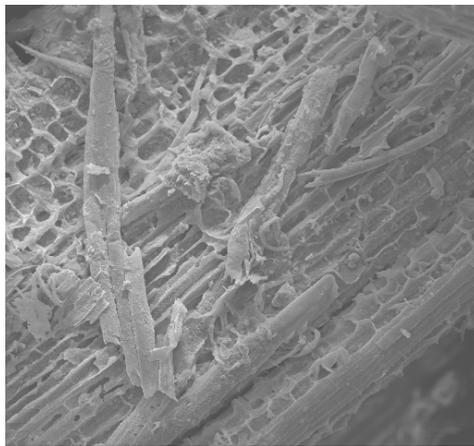


Figura 16

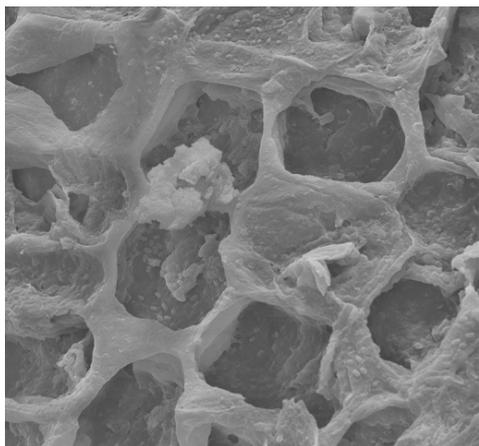


Figura 17

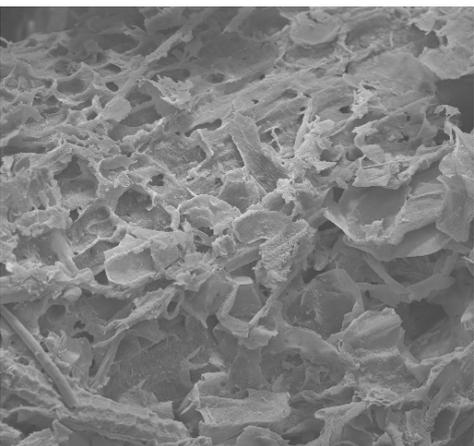


Figura 18

MEV da silagem do híbrido Volumax

A Figura 19 mostra a silagem do híbrido Volumax antes de ser incubada no rúmen. O material apresenta parênquima primário de formato mais isodiamétrico, repleto de grânulos de amido. Pode-se perceber também que a parede aparece em alguns pontos aparece com sinais de degradação, provavelmente devido utilização de hemiceluloses durante o processo de ensilagem.

Na Figura 20 após 6 horas observa-se parênquima primário parcialmente degradado, mas ainda com suas características anatômicas originais. Pode-se perceber também o parênquima secundário já está em estágio avançado de degradação, com exposição do esclerênquima.

A Figura 21 representa a silagem do híbrido Volumax após 24 horas de incubação no rúmen. A parede celular tanto do parênquima primário, quanto do secundário, encontra-se bastante degradada como

apresentado na silagem do híbrido anterior. Pode-se perceber microfibrilas de celulose se projetando a partir do parênquima degradado.

Após 48 horas de degradação ruminal (Figura 22) percebe-se o parênquima primário já em estágio avançado de degradação, e com perda de suas definições anatômicas em relação ao material intacto. E ainda é possível visualizar parênquima secundário, em processo de degradação.

A Figura 23 mostra a fotografia da silagem do híbrido Volumax após ter sido submetido a 72 horas de incubação no rúmen. Pode-se observar que não há mais definição de tecido, mostrando que o material potencialmente digestível já foi completamente degradado. O material se apresenta com características amorfas, grande quantidade de feixes de microcelulose e tecido lignificado. Ainda pode ser percebido algum tecido de parênquima secundário, provavelmente bastante lignificado e resistente à degradação.

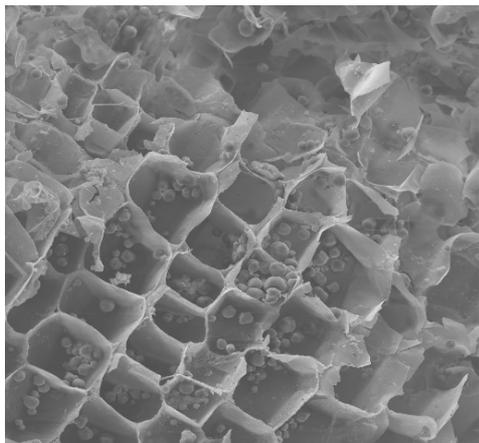


Figura 19

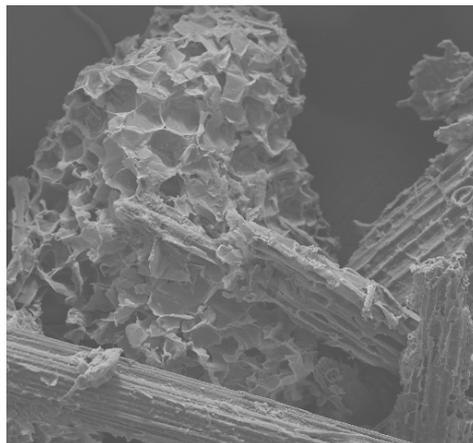


Figura 20

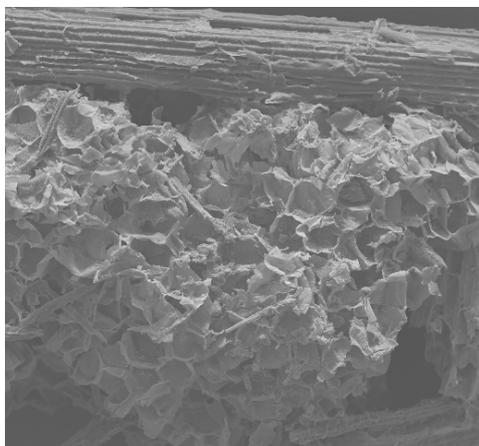


Figura 21

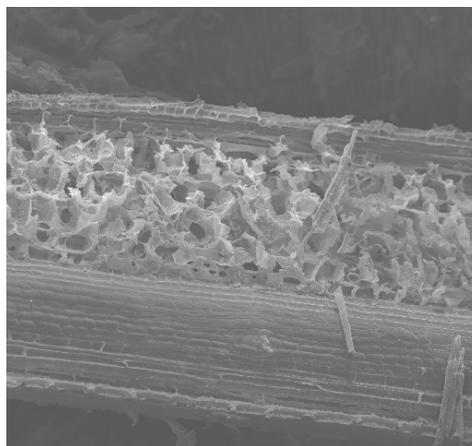


Figura 22

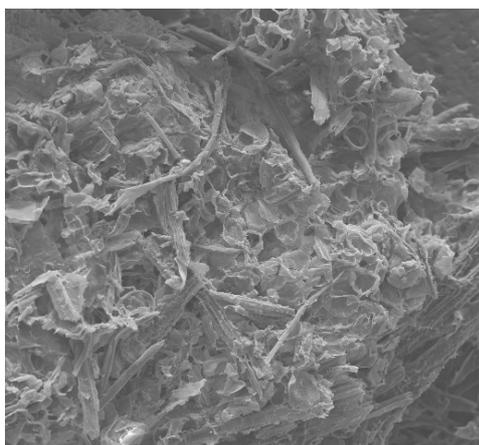


Figura 23

6.4. CONCLUSÕES

A avaliação da forrageira intacta permite avaliar a sua composição tecidual, e a preservação do amido e da parede celular durante o processo de ensilagem. Ainda foi possível avaliar a utilização de parte das hemiceluloses durante a ensilagem.

O acompanhamento da degradação das forrageiras com o avanço do tempo de incubação no rúmen permitiu descrever as etapas de desaparecimento dos tecidos pela ação dos microrganismos: parênquima primário, parênquima secundário, esclerênquima e floema. Além disso, permite concluir que as estruturas intimamente ligadas à lignina apresenta resistência à degradação inclusive nos períodos mais avançados de incubação ruminal.

6.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AKIN, D.E. Microscopic evaluation of forage digestion by rumen microorganisms – a review. *Journal of Animal Science*, v.48, n.3, 701-710, 1979.

AKIN, D.E.; BARTON, F.E.; COLEMAN, S.W. Structural factors affecting leaf degradation of old world bluestem and weeping love grass. *Journal of Animal Science*, v.56, n.6, 1983.

CUTTER, E.G. *Anatomia vegetal – Parte I – Células e Tecidos*. 2ªEd., São Paulo: Livraria Roca LTDA, 1986, 304p.

GRENET, E. Electron microscopy as a method for investigation cell wall degradation in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, v32, p.27-33, 1991.

MINSON, D.J.; WILSON, J.R. Prediction of intake as an element of forage quality. In: FAHEY Jr, G.C. FORAGE QUALITY, EVALUATION AND UTILIZATION. Madison: American Society of Agronomy, Crop Science Society of America, Soil Science Society of America, p. 533-563, 1994.

NOGUERA, J.R.R. Estudo químico, *in situ*, *in vitro* e microscópico da parede celular de cinco genótipos de sorgo colhidos em três épocas de corte. Belo Horizonte: Escola de Veterinária da UFMG, 2002, 148p. (tese).