

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
ESCOLA DE VETERINÁRIA
COLEGIADO DOS CURSOS DE PÓS-GRADUAÇÃO**

**VALOR NUTRICIONAL DO FENO DE
Andropogon gayanus COLHIDO EM
DIFERENTES IDADES**

ANDRÉ CAYÔ CAVALCANTI

**Belo Horizonte – Minas Gerais
Escola de Veterinária – UFMG
2014**

ANDRÉ CAYÔ CAVALCANTI

**VALOR NUTRICIONAL DO FENO DE
Andropogon gayanus COLHIDO EM
DIFERENTES IDADES**

Tese apresentada ao Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para obtenção do grau de Doutor em Zootecnia.

Área de Concentração: Nutrição Animal

Orientadora: Prof^a. Eloísa de Oliveira Simões Saliba

Belo Horizonte – Minas Gerais
Escola de Veterinária – UFMG
2014

Comissão Examinadora constituída por:

Prof.^a. Eloísa de Oliveira Simões Saliba
(Orientadora)

Prof. Norberto Mario Rodriguez

Dr. Thierry Ribeiro Tomich

Prof. Geraldo Sérgio Senra Carneiro Barbosa

Prof.^a. Ana Luiza da Costa Cruz Borges

“Não cuideis simplesmente de serem cultos, senão também de serem bons. A cultura poderá dar – vos a glória dos homens, mas só a bondade conferir – vos a glória de Deus.”

Prof. Rubens Romanelli

DEDICATÓRIA

À Deus que sempre me deu força para realização de todos os meus sonhos.

À minha esposa Janaína, pelo amor e incentivo de sempre.

Aos meus queridos pais Sergito e Ana Maria, pelo que sou e pelo amor que sempre me dedicaram.

Aos meus irmãos Scheilla e Pedro Sérgio, pelo carinho e amizade constante.

AGRADECIMENTOS

À Deus por me iluminar em minha jornada.

A minha família pelo amor e incentivo constantes.

A Professora Eloísa de Oliveira Simões Saliba, pela orientação, exemplo de pessoa, grande amizade e disponibilidade em todos os momentos.

Aos Professores Lúcio Carlos Gonçalves, Iran Borges e Norberto Mario Rodriguez pelos ensinamentos, amizade, incentivo e ajuda constante.

Aos professores do Departamento de Zootecnia pelos ensinamentos e oportunidade de convívio.

A Escola de Veterinária da UFMG pela oportunidade de crescimento profissional.

A CEDAF – Campus Florestal da UFV por disponibilizar suas instalações para parte da execução experimental deste trabalho.

Ao colegiado de pós-graduação, ao CNPQ, a CAPES e a FAPEMIG pelos recursos concedidos durante este período.

Aos funcionários da secretaria de Pós-Graduação do Departamento de Zootecnia pela ajuda, amizade e simpatia de sempre.

Aos colegas do grupo de forragicultura e do grupo de indicadores e ligninas (GIL) pela ajuda durante todo o trabalho, companheirismo e amizade.

Aos funcionários do laboratório de nutrição animal Kelly, Marcos, Margot, Toninho e Carlos pelos auxílios em todos os momentos durante a execução das análises e ao Sr. José Pedro pela ajuda durante a execução experimental deste trabalho.

Aos amigos do Xerox pela amizade e presteza.

SUMÁRIO

RESUMO	13
---------------------	----

ABSTRACT	14
-----------------------	----

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL	15
-------------------------------	----

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA	17
2.1 Características do <i>Andropogon gayanus</i>	17
2.2 Produtividade do <i>Andropogon gayanus</i>	19
2.3 Valor nutricional do capim <i>Andropogon gayanus</i>	20
2.4 Feno de <i>Andropogon gayanus</i>	22
2.5 A técnica de degradabilidade <i>in situ</i> na avaliação de forrageiras tropicais.....	24
2.6 A técnica <i>in vitro</i> de produção de gases na avaliação de forrageiras.....	27
2.7 Metabolismo energético.....	30
2.7.1 Partição e eficiência de utilização da energia.....	30
2.7.2 Métodos de determinação da energia retida.....	34
2.8 Emissão de metano entérico por ruminantes.....	36
2.8.1 Importância do metano.....	36
2.8.2 Metanogênese no trato gastrointestinal de ruminantes.....	37
2.9 Referências bibliográficas.....	41

CAPÍTULO III

DEGRADABILIDADE <i>IN SITU</i> DOS COMPONENTES DO FENO DE <i>ANDROPOGON GAYANUS</i> COLHIDO EM DIFERENTES IDADES	55
3.1 RESUMO	55
3.2 INTRODUÇÃO	55
3.3 MATERIAL E MÉTODOS	56
3.3.1 Considerações gerais.....	56
3.3.2 Procedimento experimental.....	56
3.3.3 Procedimento estatístico.....	58
3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	59
3.4.1 Composição bromatológica do feno de <i>Andropogon gayanus</i>	59
3.4.2 Desaparecimento ruminal da matéria seca.....	64
3.4.3 Desaparecimento ruminal da matéria orgânica.....	68
3.4.4 Desaparecimento ruminal da proteína bruta.....	71
3.4.5 Desaparecimento ruminal da fibra em detergente neutro.....	74
3.4.6 Desaparecimento ruminal da fibra em detergente ácido.....	77
3.5 CONCLUSÕES	80

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	80
-------------------------------------	----

CAPÍTULO IV

AVALIAÇÃO DE FENOS PRODUZIDOS COM <i>ANDROPOGON GAYANUS</i> EM DIFERENTES IDADES ATRAVÉS DA TÉCNICA <i>IN VITRO</i> SEMI -AUTOMÁTICA DE PRODUÇÃO DE GASES.....	85
4.1 RESUMO.....	85
4.2 INTRODUÇÃO.....	85
4.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	86
4.3.1 Considerações gerais.....	86
4.3.2 Procedimento experimental.....	86
4.3.3 Preparo do meio de cultura.....	86
4.3.4 Frascos de fermentação.....	87
4.3.5 Inóculo e inoculação.....	87
4.3.6 Produção de gases.....	88
4.3.7 Procedimento estatístico.....	89
4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	90
4.5 CONCLUSÕES.....	93
4.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	93

CAPÍTULO V

PARTIÇÃO DA ENERGIA E PRODUÇÃO DE METANO EM OVINOS ALIMENTADOS COM FENOS DO CAPIM <i>ANDROPOGON</i> EM TRÊS IDADES DE CORTE.....	96
5.1 RESUMO.....	96
5.2 INTRODUÇÃO.....	96
5.3 MATERIAL E MÉTODOS.....	97
5.3.1 Considerações gerais.....	97
5.3.2 Procedimento experimental.....	98
5.3.3 Ensaio de consumo e digestibilidade.....	98
5.3.4 Ensaio de respirometria.....	99
5.3.5 Funcionamento da câmara respirométrica.....	99
5.3.6 Processamento das amostras e análises laboratoriais.....	100
5.3.7 Consumo de energia.....	100
5.3.8 Respirometria.....	101
5.3.9 Partição de energia.....	101
5.3.10 Eficiência de utilização da energia.....	102
5.3.11 Procedimento estatístico.....	103
5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	103
5.4.1 Consumo de energia.....	103
5.4.2 Perdas de energia.....	106
5.4.3 Teores de energia.....	109
5.4.4 Eficiência de utilização da energia.....	110

5.4.5	Respirometria.....	112
5.4.6	Produção de metano.....	114
5.5	CONCLUSÕES	115
5.6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	115

CAPÍTULO VI

CONSIDERAÇÕES FINAIS	120
-----------------------------------	-----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO III

<i>Tabela 1</i> – Análise de variância delineamento em blocos com parcelas subdivididas.....	58
<i>Tabela 2</i> – Valores de matéria seca (MS), cinzas (MM), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hemiceluloses (HEM), celulose (CEL), lignina (LIG) e extrato etéreo (EE), compostos nitrogenados insolúveis em detergente neutro sobre o teor de nitrogênio total (NIDN/NT) e compostos nitrogenados insolúveis em detergente ácido sobre o teor de nitrogênio total (NIDA/NT), digestibilidade <i>in vitro</i> da matéria seca (DIVMS) em porcentagem (%) de MS e valores de energia bruta (Mcal/kg) do feno de <i>Andropogon gayanus</i>	60
<i>Tabela 3</i> – Desaparecimento ruminal médio (%) da matéria seca dos fenos do capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	64
<i>Tabela 4</i> – Equações de descrição da cinética de degradação ruminal da matéria seca dos fenos do capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	65
<i>Tabela 5</i> – Valores médios de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da matéria seca dos fenos do capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de idade.....	65
<i>Tabela 6</i> – Desaparecimento ruminal médio (%) da matéria orgânica dos fenos do capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	68
<i>Tabela 7</i> – Equações de descrição da cinética de degradação ruminal da matéria orgânica dos fenos do capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	69
<i>Tabela 8</i> – Valores médios de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da matéria orgânica dos fenos do capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de idade.....	69
<i>Tabela 9</i> – Desaparecimento ruminal médio (%) da proteína bruta dos fenos do capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	70
<i>Tabela 10</i> – Equações de descrição da cinética de degradação ruminal da proteína bruta dos fenos do capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	71
<i>Tabela 11</i> – Valores médios de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da proteína bruta dos fenos do capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de idade.....	72
<i>Tabela 12</i> – Desaparecimento ruminal médio (%) da fibra em detergente neutro dos fenos do capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	73
<i>Tabela 13</i> – Equações de descrição da cinética de degradação ruminal da fibra em detergente neutro dos fenos do capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	74
<i>Tabela 14</i> – Valores médios de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da fibra em detergente neutro dos fenos do capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de idade.....	75

<i>Tabela 15</i> – Desaparecimento ruminal médio (%) da fibra em detergente ácido dos fenos do capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	76
<i>Tabela 16</i> – Equações de descrição da cinética de degradação ruminal da fibra em detergente ácido dos fenos do capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	77
<i>Tabela 17</i> – Valores médios de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da fibra em detergente ácido dos fenos do capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de idade.....	78

CAPÍTULO IV

<i>Tabela 18</i> – Análise de variância para o delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas.....	89
<i>Tabela 19</i> – Produção acumulada de gases em mL/g de matéria seca após 6, 12, 24, 48 e 96 horas de fermentação do feno de <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	89
<i>Tabela 20</i> – Equações geradas pelas análises de regressão ao modelo de France <i>et al.</i> (1993) dos dados de produção acumulada de gases da matéria seca dos fenos do capim <i>A. gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	91
<i>Tabela 21</i> – Parâmetros da cinética de fermentação ruminal e degradabilidade efetiva da matéria seca do feno de capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	91

CAPÍTULO V

<i>Tabela 22</i> – Análise de variância para o delineamento inteiramente casualizado.....	102
<i>Tabela 23</i> – Valores médios diários de consumo voluntário de energia bruta (CEB), de energia digestível (CED), de energia metabolizável (CEM) e de energia líquida (CEL) em kcal por kg de unidade de tamanho metabólico (kcal/UTM), expressos na base da matéria seca dos fenos do capim <i>A. gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	103
<i>Tabela 24</i> – Valores médios de perda diária de energia nas fezes, na urina, no metano e na forma de incremento calórico em kcal por kg de unidade de tamanho metabólico (kcal/UTM) e como porcentagem da energia bruta ingerida (%EB) dos fenos do capim <i>A. gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	106
<i>Tabela 25</i> – Valores médios de energia bruta (EB), de energia digestível (ED), de energia metabolizável (EM) e de energia líquida (EL) em Mcal por kg de matéria seca consumida (Mcal/kg de MS) dos fenos de <i>A. gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	108

<i>Tabela 26</i> – Valores médios de digestibilidade aparente da energia bruta (DAEB) em porcentagem, metabolizabilidade da energia bruta (q_m), eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção (K_m) e razão entre a energia líquida e a energia bruta (EL/EB) em porcentagem dos fenos de <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	110
<i>Tabela 27</i> – Consumo diário de oxigênio (O_2), produção diária de dióxido de carbono (CO_2) e de metano (CH_4), em litros por kg de unidade de tamanho metabólico (L/UTM), produção diária de calor (PC) em kcal por kg de unidade de tamanho metabólico (kcal/UTM) e quociente respiratório (QR) dos fenos de <i>A. gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	112
<i>Tabela 28</i> – Valores médios de produção de metano em litros por dia (L/dia), em gramas por dia (g/dia) e em gramas por kg de matéria seca ingerida (g/kg de MS) por ovinos alimentados com feno de <i>A. gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.....	113

RESUMO

Objetivou-se avaliar o valor nutritivo do feno do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento. Avaliou-se, no capítulo 3 a degradabilidade *in situ* dos componentes nutricionais, observando que o desaparecimento ruminal médio da matéria seca, matéria orgânica, proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido, após 96 horas de incubação ruminal, foram maiores ($P < 0,05$) para o feno colhido aos 56 dias de rebrote. No Capítulo 4, pela técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases, observou-se que a produção acumulada de gases do feno de capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56 dias foi superior aos demais tratamentos nos tempos de 24 e 48 horas de fermentação ($P < 0,05$). No Capítulo 5, avaliou-se a partição da energia e a produção de metano em ovinos alimentados com fenos de capim *Andropogon gayanus* colhido em três diferentes idades (56, 84 e 112 dias). O feno, cujo material foi colhido aos 56 dias, resultou em maior ($P < 0,05$) consumo de energia digestível em relação aos materiais fenados com 84 e 112 dias de rebrote. As perdas diárias de energia através da urina, do metano e do incremento calórico não apresentaram diferenças ($P > 0,05$) entre os tratamentos. O feno contendo material colhido aos 56 dias apresentaram maiores valores de digestibilidade aparente da energia bruta, de energia digestível e energia metabolizável em relação aos demais fenos que não diferiram entre si ($P > 0,05$). A produção de metano não variou ($P > 0,05$) entre os tratamentos estudados. Baseado nos dados encontrados nos experimentos de degradabilidade *in situ*, degradabilidade *in vitro* e calorimetria indireta concluiu – se que o feno colhido aos 56 dias foi superior as demais idades avaliadas (84 e 112 dias).

Palavras-chave: forrageira tropical, degradabilidade *in situ*, degradabilidade *in vitro* metano, partição de energia.

ABSTRACT

It was aimed to evaluate the nutritional value of the *Andropogon gayanus* grass hays harvested at 56, 84 and 112 days of growth. The experimental design was completely randomized and means were compared by Student-Newman-Keuls at 5% level of significance. In chapter 3 *in situ* degradability of nutritional components, was observed that the average ruminal disappearance of dry matter, organic matter, crude protein, neutral detergent fiber and acid detergent fiber, after 96 hours of ruminal incubation, were higher ($P < 0.05$) for the hay made with the plant harvested at 56 days of regrowth. Chapter 4, with the semi-automatic *in vitro* technic of gases production, was observed that the accumulated gases production by the *Andropogon gayanus* grass hays harvested at 56 days was higher than the others treatments at 24, 48 hours of incubation ($P < 0.05$), and the same treatment had higher ($P < 0.05$) degradability for the dry matter and the organic matter in all of the fermentation times evaluated. In the Chapter 5, was evaluated the energy partition and the methane production in sheeps fed with *Andropogon gayanus* grass hays in three different ages of cut. The intakes of digestible energy were lower ($P < 0.05$) for the animals receiving the oldest material. The values of the digestible energy of the *Andropogon gayanus* grass hays as that the treatment hay at 56 days had the highest ($P < 0.05$) value and the material made at 84 and 112 days resulted in lower ($P > 0.05$) value. The methane production by the fermentation of the hay material did not differ ($P > 0.05$) between the three treatments measured. It was conclude that the best age to cut the *Andropogon gaynus* grass for hay is at 56 days of growth.

Keywords: digestibility *in situ*, digestibility *in vitro*, methane, energy partition, gases, tropical forage

VALOR NUTRICIONAL DO FENO DE *Andropogon gayanus* COLHIDO EM TRÊS DIFERENTES IDADES

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

As pastagens constituem a base da dieta dos ruminantes na grande maioria dos sistemas de produção brasileiros, devido às condições edafoclimáticas do nosso país favorecerem a produção de forrageiras tropicais. No Brasil existem aproximadamente 160 milhões de hectares de pastagens, dos quais cerca de 100 milhões são de pastagens cultivadas, sendo o restante de pastagens nativas (IBGE, 2011). Entre as forrageiras com maior área cultivada destacam-se as espécies dos gêneros *Brachiaria*, *Panicum*, *Pennisetum*, *Cynodon* e *Andropogon*. O capim *Andropogon* (*Andropogon gayanus*) se destaca por sua alta produção de biomassa e capacidade de tolerar solos ácidos com baixa fertilidade e períodos de seca prolongados. Por esses motivos, este capim é considerado uma das gramíneas mais adaptadas a algumas regiões brasileiras sendo, atualmente, amplamente utilizado como pastagem cultivada, principalmente nas áreas de Cerrado.

Em consequência da sazonalidade climática, a disponibilidade de pastagem durante o ano é desuniforme em muitas regiões brasileiras, fazendo com que haja sempre um período de produção abundante de pastagem durante as águas e outro de escassez durante a seca. Além disso, o avanço da idade geralmente leva ao aumento dos teores de carboidratos estruturais e lignina, além de reduzir nutrientes potencialmente digestíveis da planta forrageira. Estes fatores tendem a influenciar negativamente o valor nutritivo, o consumo e a digestibilidade da forrageira, limitando a produção animal. Dessa forma, há necessidade constante de se avaliar nossas forrageiras manejando – as corretamente para, assim, maximizarmos a eficiência de utilização destas na alimentação de ruminantes.

Uma alternativa viável para solucionar as flutuações de desempenho animal derivadas da sazonalidade climática e do avanço na idade da forrageira é a conservação de forragens na forma de feno. A técnica de fenação tem se destacado como uma técnica simples de aplicar, que consiste em desidratar a forragem ao sol ou com o emprego de secadores artificiais, até que a mesma se apresente com teor de matéria seca (MS) superior a 80%, para, desta forma, não sofrer problemas por ocasião do armazenamento.

Com a maturidade da planta, ocorre redução proporcional de folhas, o que resulta em fenos de menor valor nutritivo, mas com maior produção por área. Assim, o sucesso de um feno com boa qualidade está na adequada escolha do momento de corte, conciliando valor nutritivo e produção, já que em idade tenra a produtividade é menor.

Apesar de o capim *Andropogon* ter sido introduzido e difundido há mais de 30 anos no território brasileiro, pouco se sabe sobre seu rendimento, consumo voluntário,

digestibilidade aparente e valor nutritivo, quando armazenado na forma de feno. Dessa forma, objetivou – se com este trabalho avaliar o valor nutritivo do feno do capim *Andropogon gayanus* colhido em três diferentes idades por meio de experimentos de calorimetria indireta, técnicas de incubação *in situ* e técnica *in vitro* de produção de gases.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Censo Agropecuário. 2011. Acesso em 02 de agosto de 2013. Disponível em <<http://www.ibge.gov.br/home/estatística/economia/ppm/2011/default.shtm>>.

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CARACTERÍSTICAS DO CAPIM *Andropogon gayanus*

O capim *Andropogon* (*Andropogon gayanus* Kunth.) é uma forrageira originária das savanas da África Tropical, pertencente à família *Poaceae* (*Graminae*), subfamília *Panicoidae*, tribo *Andropogonae*, gênero *Andropogon* L., sendo conhecida vulgarmente no Brasil como capim *Andropogon* ou como capim Gambá. Atualmente são reconhecidas quatro variedades desta gramínea, sendo elas classificadas como: *A. gayanus* variedade *gayanus*, *A. gayanus* variedade *tridentatus* Hack., *A. gayanus* variedade *polycladus* (sinonímia variedade *squamulatus* L.) e *A. gayanus* variedade *bisquamulatus*, sendo todas estas variedades classificadas com base na pilosidade presente em suas espiguetas (CIAT, 1990).

O capim *Andropogon* parece ter sido introduzido no Brasil por volta de 1973, após parceria realizada com o Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) situado na Colômbia e a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa), que, juntos desenvolveram o capim *A. gayanus* variedade *bisquamulatus* cultivar Planaltina. Entretanto, apesar dos resultados iniciais positivos, esta variedade não atingiu maiores avanços, devido ao baixo vigor de suas plântulas, o que dificultava a implantação e o estabelecimento desta gramínea como pastagem. Essa forrageira só foi ganhar espaço na pecuária nacional durante o final da década de 80, em decorrência de várias pesquisas de melhoramento genético deste capim realizadas pela Embrapa, que lançou o capim *A. gayanus* variedade *bisquamulatus* cultivar Baetí, esta alia além dos atributos da cultivar Planaltina, uma maior velocidade no desenvolvimento inicial de suas plântulas, principal limitação encontrada anteriormente por outras cultivares de capim *Andropogon* (Batista e Godoy, 1995).

O capim *Andropogon* (*Andropogon gayanus*) é caracterizado como uma gramínea com hábito de crescimento cespitoso, vigorosa, atingindo alturas de até 3,0 m; possuindo pêlos na bainha e na lâmina foliar, inflorescência na forma de racemos, sementes com longas aristas e sistema radicular profundo (algumas raízes podem atingir até 1,2 m), o que lhe confere grande resistência à seca. As folhas são abundantes, macias, palatáveis, de coloração azulada possuindo estreitamento na base. Adapta – se bem as regiões de altas temperaturas, com 400 a 3000 mm de chuvas anuais e altitudes de até 2000 m. É uma forrageira que apresenta uma ampla adaptação a diferentes tipos de solos, preferindo - os bem drenados, onde tem demonstrado bom ganho produtivo. É pouco exigente em fertilidade de solo, desenvolvendo - se bem nos solos com alta saturação de alumínio e com baixos níveis de fósforo (Batista e Godoy, 1995; Alcântara *et al.*, 1981). A Embrapa e outros órgãos de pesquisa tem indicado o capim *Andropogon* como

alternativa para formação de pastagens nas regiões de cerrados devido aos problemas apresentados pelas espécies do gênero *Brachiaria* (estas predominantes em pastos desta regiões) e as qualidades atribuídas ao capim *Andropogon*, tais como: boa compatibilidade com leguminosas; menor susceptibilidade ao ataque de cigarrinha das pastagens; tolerância a seca e ao fogo; potencial para produzir bons rendimentos de sementes, tolerância a solos de baixa fertilidade e ao alumínio tóxico.

Couto *et al.* (1991) avaliaram a resposta do capim *Andropogon* à aplicação de fósforo e calcário em um latossolo argiloso na Embrapa Cerrados em Planaltina - DF. Foi concluído que, apesar de demandar mais tempo, o capim *Andropogon* foi capaz de se estabelecer sem a fertilização com fósforo ou calcário, chegando às mesmas produções atingidas nas áreas adubadas no quarto ano. Carneiro *et al.* (1992) em experimento realizado em um latossolo vermelho-amarelo em Igarapé - MG, também concluíram que o capim *Andropogon* foi capaz de se estabelecer sem adubação fosfatada, e que a adubação com uma tonelada de fósforo por hectare só foi eficiente em aumentar a produção na presença de calagem, e essa ação não passou do segundo corte do capim. Com relação à adubação nitrogenada, Manrique *et al.* (1996) encontraram os melhores resultados, com base na produção de matéria seca (MS), com a aplicação de 100 kg de N/ha. Entretanto, neste estudo não foram avaliados menores níveis de adubações. Já Alencar *et al.* (1996) e Andrade (1999) encontraram a melhor resposta produtiva em kg de MS/ha com a aplicação de 50 kg de N/ha não encontrando diferença para as aplicações de 100 e 150 kg de N/ha. Resultados semelhantes foram encontrados por Carneiro *et al.* (1992) onde não observaram diferença na produção de fitomassa do capim *Andropogon* quando adubado com 50, 100 e 150 kg de N/ha.

Uma característica marcante desta espécie está na sua dinâmica de crescimento. De acordo com Blanco (1996) esta se aproxima bastante de uma curva sigmóide, apresentando crescimento muito baixo nas quatro primeiras semanas, uma explosão de crescimento entre a 4^a e a 8^a semana, reduzindo bastante seu crescimento após a 8^a semana. Devido a essa característica, existe uma grande dificuldade de se manejar o capim *Andropogon* em sistemas de pastejo contínuo. Dessa forma, para que se possa maximizar a eficiência de pastejo, é essencial variar a carga animal ao longo da estação de crescimento.

Segundo Leite (1998), o capim *Andropogon* tem sido utilizado mais intensamente no período das águas em pastagens extensivas, devido a sua persistência e aceitabilidade. Contudo, devido a sua rebrotação vigorosa ele também pode ser utilizado em sistemas intensivos de produção com pastejo rotacionado. Esta gramínea é bem aceita por bovinos, eqüinos, ovinos e caprinos devendo ser manejada entre 60 a 80 cm de altura durante o período chuvoso, evitando – se acúmulo de talos, devido ao seu florescimento, o que diminui seu valor nutritivo na seca e faz com que uma roçagem seja necessária para melhorar a rebrota no início da estação chuvosa. Segundo Kanno *et al.* (2000) o capim *Andropogon* pode ser classificado como uma forrageira de média qualidade, principalmente na sua fase inicial de rebrota, onde atinge valores médios de 10% de proteína bruta e 60 % de digestibilidade. É uma forrageira com alto potencial

de rebrota no início do período chuvoso, associado a seu intenso perfilhamento. Segundo os mesmos autores, ganhos de peso de 1,15 kg/animal/dia, podem ser obtidos por gados zebuínos na época das águas em pastos de *A. gayanus* bem adubados e manejados para pastejo seletivo, sem uso de suplementação energético – protéica, suportando aproximadamente 2,5 animais por hectare. Segundo Alvarez e Lascano (1987) produções de leite superiores a 13 kg/dia podem ser obtidos com vacas mestiças em pastos de capim *Andropogon* em áreas de cerrados durante o período chuvoso, tornando – o, dessa forma, uma alternativa na alimentação de vacas de baixa e média produção. Carnevalli *et al.* (2000), avaliando o desempenho de cordeiros mestiços em pasto de capim *Andropogon* em região de Cerrado durante a estação chuvosa, obtiveram máximos ganhos de peso de 106 g/dia com lotação de 10 animais por hectare, demonstrando a possibilidade de criação destes animais sob este tipo de pastagem.

2.2 PRODUTIVIDADE DO CAPIM *Andropogon gayanus*

Um dos indicadores mais variáveis no comportamento dos pastos é a produção de matéria seca, devido a essa característica poder ser afetada pelas condições de manejo a qual são submetidas às forrageiras: utilização ou não de irrigação, níveis de adubação, intensidade de uso, corte ou pastejo, época do ano, idade da forrageira, entre outros (Oliveira, 2008).

Segundo Andrade (2001), o capim *Andropogon* pode atingir uma produtividade média anual entre 12 a 18 ton/ha de matéria seca em regiões de Cerrado durante o período chuvoso. Couto *et al.* (1991), em Planaltina - DF, encontraram produções de capim *A. gayanus* de 2,1 e 4,1 ton/ha/ano de MS no quarto ano após o plantio, sem adubação ou com adubação de reposição com 13 kg de fósforo por ha/ano respectivamente. Já Carneiro *et al.* (1992) encontraram produção média de 12,2 ton/ha/ano de MS em quatro cortes sem adubação, realizados em latossolo vermelho – amarelo argiloso (solo típico de regiões de Cerrado), em Igarapé - MG. Em trabalho realizado também em latossolo vermelho – amarelo argiloso na Embrapa em Rondônia, Costa *et al.* (1997) encontraram rendimento acumulado total de 20 ton/ha de MS para o capim *Andropogon* em dez cortes realizados no período seco e chuvoso, valor este superior aos encontrados em *Brachiaria brizanta* cv. Marandu, *B. humidicula*, *B. dictyoneura*, *B. decumbens*, *B. ruziziensis* e *Setaria sphacelata*. Já Ribeiro Jr. (2009) encontrou durante o período chuvoso valores de 1,78, 5,76, 10,53 e 9,97 ton/ha de MS para o capim *Andropogon* nas idades de 56, 84, 112 e 140 dias de crescimento respectivamente em Lagoa Santa – MG.

No experimento realizado por Carneiro *et al.* (1992), 89,35% da produção ocorreu no período chuvoso e 10,65% no período seco. Resultados semelhantes foram encontrados por Botrel *et al.* (1999) que encontraram produções de 3,11 e 8,75 ton/ha de MS para o período seco e chuvoso respectivamente e por Batista e Godoy (1995), que avaliaram o comportamento do capim *A. gayanus*, sob irrigação, adubação e corte mecânico

observando uma produção de 32 toneladas de matéria seca por ha/ano, sendo 22% desse total encontrado no período seco do ano (abril a setembro).

Os dados experimentais relatados evidenciam a presença de uma marcante estacionalidade de produção forrageira no capim *Andropogon*. Assim, para que esta não interfira na produção animal, estratégias de produção para o período seco do ano devem ser adotadas. Dentre estas estratégias, a produção de feno se destaca, por ser uma forma de aproveitamento do excedente produzido durante o período chuvoso. Além disso, esta quando realizada de maneira correta, apresenta geralmente, melhor valor nutricional e menor custo de produção, quando comparada com a técnica de ensilagem de gramíneas tropicais. Entretanto, apesar da alta produtividade do capim *Andropogon* no período chuvoso e de sua vantagem em poder ser cultivado em solos de baixa fertilidade, muito pouco foi estudado e publicado sobre sua utilização na forma de feno.

2.3 VALOR NUTRICIONAL DO CAPIM *Andropogon gayanus*

O valor nutricional é um termo usado para quantificar a presença e disponibilidade de nutrientes necessários aos animais em um alimento. É dependente da concentração de nutrientes no alimento, da disponibilidade destes para os animais, da eficiência com que são absorvidos e utilizados e do efeito que a sua composição causa sobre o consumo voluntário (Coleman e Henry, 2002).

Na avaliação do valor nutricional de uma forrageira, o consumo voluntário e a digestibilidade são parâmetros que assumem maior importância e estão diretamente relacionados (Forbes, 2007). A quantidade total de nutrientes absorvidos vai depender da digestibilidade, mas o consumo é responsável pela maior parte das diferenças entre os alimentos. Normalmente o aumento do consumo de alimento aumenta a taxa de passagem da digesta pelo trato digestivo diminuindo sua digestibilidade (Faichney, 1993).

Com a maturidade da planta, ainda que a produção de matéria seca aumente, o valor nutricional tende a reduzir. Isso porque ocorrem alterações que resultam na elevação das concentrações de compostos estruturais, como a celulose, hemiceluloses, lignina com consequente diminuição do conteúdo celular (Van Soest, 1994). A maturidade da planta é o principal fator que afeta a morfologia e determina a qualidade da forragem. A diminuição da qualidade das forrageiras com o aumento da idade da planta se dá principalmente pela diminuição da relação folha/haste e declínio da qualidade dos componentes da haste. As hastes apresentam em sua composição tecidos vegetais de menor taxa de degradação ruminal (esclerênquima e xilema) (Wilson e Hatfield, 1997). Estes são tecidos vasculares e de sustentação, que possuem células densamente agrupadas com paredes espessas e lignificadas, de difícil degradação pelos microorganismos ruminantes (Wilson e Mertens, 1995). Esta diminuição da relação folha/haste com consequente redução dos teores de proteína bruta (PB), aumento dos teores de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) à medida que a idade da planta avança, foi verificada por Ribeiro Jr. (2009) trabalhando com o capim *Andropogon* em quatro diferentes idades de crescimento (56, 84, 112 e 140 dias). Não foram observados aumento dos teores de lignina neste trabalho, entretanto foram observadas reduções lineares da digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS). Mesmo quando os valores de lignina mostram-se

inalterados com o aumento da maturidade da planta, pode - se encontrar redução da digestibilidade devido a alterações na composição da lignina, como mudança da relação guaiacila e siringila e, principalmente, aumento das ligações com ácido ferúlico (Jung e Deetz, 1993). Isso porque as moléculas de ácido ferúlico estão envolvidas na ligação cruzada da lignina aos polissacarídeos (arabinoxilanas) via ligações do tipo éster e éter que não podem ser degradadas pelos microorganismos ruminais (Jung e Allen, 1995). Estudo realizado por Grabber *et al.* (1998) demonstrou que o aumento das concentrações de ligações cruzadas com ácido ferúlico resultaram em grande inibição da degradabilidade da parede celular.

Tanto nas gramíneas quanto nas leguminosas durante o estágio de desenvolvimento reprodutivo, a quantidade de hastes supera a de folhas. As hastes apresentam maior proporção de tecidos estruturais (esclerênquima e fibras do xilema), vasculares (xilema) e menor proporção de tecidos fotossintéticos (mesófilo e clorênquima), além disso, com a maturidade da planta ocorre um aumento nos teores de celulose, xilanas, lignina e redução nos teores de pectina, o que vem a colaborar com o aumento da proporção de tecidos com paredes celulares secundárias espessas, fazendo com que a concentração destas nas hastes sejam maiores do que a nas folhas (Jung, 2011). Essa característica apresenta alta correlação com os teores de fibra, lignina, proteína bruta (PB) e consequentemente com o coeficiente de digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS). Os tecidos de baixa digestão correlacionam - se negativamente com a PB e a DIVMS e positivamente com os teores de fibra e de lignina, enquanto aqueles rapidamente digeridos mostram correlações positivas com a PB e com a DIVMS e negativas com os teores de fibra e lignina. O espessamento das paredes celulares secundárias observados com a maturação dos tecidos vegetais resultam no incremento da concentração da fibra em detergente neutro (FDN) em detrimento do conteúdo celular. Especialmente em gramíneas e pela natureza distinta de seus tecidos, o teor de FDN é maior no caule em relação às folhas (Alves de Brito *et al.*, 2003). É importante ressaltar ainda, que embora em menor proporção do que nas hastes, a digestibilidade das folhas também reduz com a maturidade, sendo este aspecto mais evidenciado nas gramíneas do que em leguminosas (Fales e Fritz, 2007).

Rodrigues (2000) estudou a composição química do capim *Andropogon* com 21, 42 e 63 dias de idade, encontrando diminuição dos teores de PB (de 11,86 para 6,92%), celulose (de 30,11 para 26,58%) e lignina (de 2,32 para 5,84%) com o avançar da idade da planta. Rosa e Borges (1993) estudando a composição química do feno do capim *Andropogon* colhido em três diferentes idades (40, 54 e 68 dias) encontraram diminuição do teor de PB (de 9,04 para 6,38%) e da matéria mineral (MM) (de 6,24 para 5,71%) e aumento no teor de FB (de 32,40 para 38,93%) com o aumento da idade da planta. Resultados semelhantes a estes foram encontrados por Gonçalves (1985) que estudou a composição química do capim *Andropogon* observando queda nos teores de PB (de 12,3 para 7,0%), da MM (6,14 para 5,2) e aumento no teor de tecidos lignificados com o desenvolvimento da planta aos 21 e 63 dias de idade. Souza Filho *et al.* (1992) estudando o efeito da idade na produção e composição química de quatro forrageiras tropicais, encontraram para o capim *Andropogon* teores de MS, PB e FB variando de 21,21 a 34,66%, 13,23 a 5,57% e 32,34 a 40,66% entre as idades de 28 a 112 dias respectivamente. Batista e Godoy (1995) estudando o capim *Andropogon* em

diferentes idades de corte, também encontraram variações na composição química do capim *Andropogon* com o avançar da idade da planta, encontrando valores de PB e FDN variando de 10,9% a 6,2% e 63,2 a 76,0% entre as idades de 60 a 120 dias respectivamente, demonstrando que à medida que a idade das forrageiras avança ocorre uma tendência em diminuir o teor de PB e de aumentar a proporção de tecidos fibrosos na forrageira, isto ocorrendo principalmente após o período de floração.

Hagar (1985) estudou o capim *Andropogon* e demonstrou que a digestibilidade *in vitro* antes do florescimento foi de 64%, permanecendo estes níveis praticamente inalterados até perto do florescimento. No capim *Andropogon* as hastes no estado jovem (pré – floração) aumentam ligeiramente a digestibilidade do capim como um todo e a magnitude deste aumento depende da quantidade de folhas que se encontram em estado de senescência (Hagar e Ahmed, 1971). Em experimento realizado por Batista e Godoy (1995) foram avaliadas a digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) do capim *Andropogon* em três diferentes idades de corte. Os autores encontraram valores de 65%, 60,5% e 51% para as idades de 60, 90 e 120 dias, respectivamente, demonstrando diminuição acentuada da digestibilidade do capim após o período de 90 dias. Estudos realizados com o capim *Andropogon* mostram declínio da taxa de digestibilidade próximo de 0,4%/dia até o período de floração. Entretanto, após este período verificou – se, um declínio de 0,85%/dia, demonstrando que após o período de floração a digestibilidade da gramínea diminui drasticamente (Barbi *et al*, 1995).

Além das modificações nas características estruturais, observadas nos tecidos como redução do conteúdo celular e aumento dos constituintes da parede celular (tais como a celulose, hemiceluloses e a lignina) que resultam no espessamento da mesma, as gramíneas tropicais (entre elas o capim *Andropogon*), ainda, durante a fase de desenvolvimento vegetativo, apresentam uma característica morfogênica peculiar, o alongamento do colmo, que contribui de forma significativa para o aumento da produção de matéria seca, porém, com importância significativa sobre a composição do dossel forrageiro. Esta alteração seja na estrutura e/ou na composição química resulta na queda do valor nutricional das forrageiras tropicais em virtude do avanço no estágio de maturação. Assim, o sucesso na utilização dessas forrageiras está na adequada escolha do momento de utilização, onde devemos conciliar valor nutritivo e produção para que possamos maximizar a eficiência de nosso sistema.

2.4 FENO DO CAPIM *Andropogon Gayanus*

A estacionalidade da produção forrageira determina a alternância de períodos de abundância e escassez de forragem, criando a necessidade de conservar parte da produção, de forma a atender às necessidades da alimentação do rebanho na época da seca. Neste sentido, a fenação tem se constituído em uma das alternativas mais recomendáveis, especialmente pela possibilidade de aproveitarmos com qualidade o excedente de pasto produzido no verão.

O feno é o alimento volumoso preparado mediante o corte e a desidratação de plantas forrageiras. O processo de fenação é geralmente realizado a campo, utilizando-se a

energia do sol e do vento como agentes favorecedores do processo de secagem (desidratação) da forrageira (Costa e Resende, 2006).

As forrageiras tropicais podem produzir fenos de qualidade média a boa (8 a 10% de PB e 55% a 60% de digestibilidade) em condições climáticas adequadas e quando bem manejadas durante o processo de fenação. Entretanto, a maioria dos fenos produzidos no Brasil são ainda de baixa qualidade (6% a 7% de PB e 40% a 50% de digestibilidade), o que demonstra os quão mal produzidos são nossos fenos na maioria das nossas propriedades. (Costa e Gomide, 1997).

Para a produção de feno com qualidade Vilela (1977) afirma que são necessárias duas condições: a forragem a ser cortada deve possuir boa qualidade nutricional e a secagem deve ser feita com o mínimo de perda de nutrientes. Otsuk *et al.* (2010) informam que a fenação é a forma de conservação de alimentos volumosos predominante no mundo em áreas onde prevalecem boas condições de secagem, porém esta é uma prática de difícil execução em regiões que apresentem elevada umidade.

Reis *et al* (2001) dividem a secagem da forrageira em três fases, a primeira ocorre quando a planta perde água pelos estômatos ainda abertos, ocorrendo desidratação de forma mais rápida, porém ao seu final a planta ainda possui uma grande umidade (entre 65 a 70%). Um ponto importante a ser observado nesta fase, é que esta ocorre mesmo com a umidade relativa do ar apresentando-se elevada. Na segunda fase, após o fechamento dos estômatos, a perda de água ocorre via evaporação cuticular. A terceira fase acontece quando a planta atinge cerca de 45% de umidade, ocorrendo a perda de água por falta de permeabilidade seletiva nas membranas celulares. Na segunda e, principalmente, na terceira fase as condições ambientais são muito importantes, pois situações onde a umidade relativa do ar esteja elevada (acima de 80%) acabam não permitindo perda de água da planta para o meio, inviabilizando a produção do feno (Gonçalves e Borges, 2006).

Fenos bem preservados devem conter umidade final próxima de 20%, o que requer uma intensa perda de água por parte da forrageira (Costa e Resende, 2006). Neste sentido Pizarro (1980), afirma que em fenos armazenados com teores de umidade acima de 25%, as mudanças químicas, bioquímicas e microbiológicas, são consideráveis, o que vem a afetar a qualidade destes materiais. Nestas condições os fenos sofrem processos fermentativos que causam a perda de carboidratos solúveis, nitrogênio e carotenóides, além disso, estes podem ter sua temperatura aumentada o que irá permitir a formação de produtos da reação de Maillard, com consequente aumento dos teores de nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN) e nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) podendo levar o material a combustão espontânea (Reis *et al.*, 2001).

Embora o metabolismo da planta reduza com a desidratação, durante a fenação a forragem continua a perder valor nutritivo, principalmente das suas frações solúveis, por ataque de suas próprias enzimas, que só cessa quando a umidade do material chega abaixo de 25%. Outra fonte de perdas se refere ao ataque microbiano, que até esta umidade se faz considerável. Porém a perda mais intensa de nutrientes em forragens durante a fenação ocorre quando estas são expostas a chuvas, ocorrendo o reumedecimento do material com consequente lixiviação dos compostos mais solúveis das plantas, sendo estes também os mais digestíveis. Outro grande problema da

exposição do feno à chuva diz respeito a necessidade de maior tempo de secagem, o que aumenta o revolvimento do material com conseqüente aumento na perda de folhas durante este processo (Reis *et al.*, 2001).

Mickenhagen (1996) relatou que o estágio de desenvolvimento da forragem no momento do corte é, sem dúvida, o fator que exerce maior influência na qualidade do feno. Com o crescimento da planta ocorrem alterações que resultam na elevação dos teores de compostos estruturais e paralelamente, diminuição do conteúdo celular fazendo com que o valor nutricional dos fenos, obtidos destas decresça progressivamente desde a fase vegetativa até a fase de produção de sementes.

Rosa e Borges (1993), em experimentos com ovinos, utilizando como fonte única de alimentação o feno de capim *Andropogon*, colhido aos 40, 54 e 68 dias de rebrota encontraram maiores valores de ingestão de matéria seca para o feno colhido aos 40 dias de idade. Para a digestibilidade aparente da matéria seca, os autores verificaram decréscimo linear com o avanço da idade de rebrota, encontrando valores variando de 55,34 a 48,69% para os fenos cortados entre as idades de 40 a 68 dias respectivamente. Barcellos *et al* (2001) estudando o feno de 6 gramíneas entre elas o capim *Andropogon* em diferentes idades de corte (40, 54, 68 e 83 dias) observaram redução da porcentagem de proteína e aumento das porções fibrosas à medida que as idades de corte aumentavam, características estas que prejudicaram o consumo e a digestibilidade da forragem por ovinos, principalmente na idade de 83 dias. Estes resultados são concordantes com Van Soest (1994), que relata que o avanço da maturidade das forrageiras é acompanhado por quedas em seu consumo e na sua digestibilidade, o que pode estar relacionado ao aumento dos constituintes de paredes celulares, principalmente a lignina.

2.5 A TÉCNICA DE DEGRADABILIDADE *IN SITU* NA AVALIAÇÃO DE FORRAGEIRAS TROPICAIS

Ensaio de digestibilidade pelo método *in vivo* têm sido utilizados para a determinação da digestibilidade aparente dos alimentos, porém, tal metodologia é trabalhosa e onerosa, além de demandar altas quantidades do alimento a ser avaliado, o que em alguns casos pode não ser possível quando tratamos de programas de avaliação de alimentos em animais ruminantes. Além disso, esta técnica possui o agravante de não descrever a diferenciação entre a degradação ruminal e a digestão pós - ruminal dos alimentos (Huntington e Givens, 1995). Com o intuito de amenizar estes problemas criou-se a técnica de avaliação da degradabilidade *in situ* dos alimentos. Esta técnica é determinada colocando o alimento teste em sacos (normalmente de náilon) e incubando-os no rúmen do animal por um determinado tempo. Pela diferença de peso existente antes e depois da incubação ruminal pode-se determinar o desaparecimento da MS e de outros componentes nutricionais do alimento (PB, FDN, FDA, etc.). O primeiro trabalho a relatar o uso desta técnica foi desenvolvido na África do Sul por Quin *et al.* (1938), que avaliaram a degradabilidade *in situ* de algumas forrageiras em ovinos da raça Merino. Atualmente o método está amplamente difundido e utilizado para descrever a taxa e extensão da degradação ruminal dos alimentos, sendo altamente recomendado pelo Agricultural and Food Research Council (AFRC) e pelo National Research Council (NRC) que a consideram técnica padrão na caracterização da degradabilidade ruminal da fração protéica do alimento. Entretanto, de acordo com

Ørskov e McDonald (1979), a degradabilidade *in situ* também pode ser empregada para estudar a dinâmica ruminal de outros nutrientes, tornando – a uma ferramenta muito importante em estudos envolvendo avaliação de alimentos para ruminantes, não só pela facilidade e rapidez de execução, mas por existir elevada correlação desta em relação ao método *in vivo* (Huntington e Givens, 1995).

A adoção desta metodologia e a utilização de delineamentos e técnicas experimentais adequadas permitem não só a simplificação da estrutura experimental, mas também a estimativa precisa dos parâmetros da equação da degradação da fibra no rúmen (Sampaio, 1988). Dessa forma, segundo Barbi *et al.*, 1995 a avaliação da degradação ruminal de forrageiras tropicais em diferentes idades permitem não só a comparação entre diferentes espécies, mas também o estudo da melhor época de utilização para cada uma delas.

Apesar das vantagens, Ørskov *et al.* (1980) ressaltam que, como qualquer técnica, esta também apresenta limitações. Três importantes limitações devem ser consideradas: 1 – as amostras não são expostas a mastigação e ruminação; 2 – normalmente os alimentos deixam o rúmen quando atingem certos tamanhos de partícula, o que não acontece com o alimento dentro dos sacos; 3 – a técnica na verdade mensura o desaparecimento de partículas capazes de passar pelos poros dos sacos, não significando que em condições normais na dieta do animal haja completa degradação destas em compostos químicos simples.

A padronização da técnica é outro ponto importante que deve ser considerado para que variações e erros sejam minimizados. Alguns fatores devem ser considerados para uma adequada estimativa da degradação ruminal, são eles: o material e o tamanho dos poros dos sacos; a quantidade de amostra incubada; o processamento da amostra antes da incubação; a dieta do animal, o nível e a frequência de alimentação; os procedimentos de colocação e de remoção dos sacos; a localização dos sacos dentro do rúmen; o procedimento de lavagem dos sacos; a correção para a contaminação microbiana; o tempo de incubação; os modelos matemáticos utilizados; os números de replicas de animais, de sacos e dias de incubação (Barbosa *et al.*, 1998).

Os sacos normalmente são de náilon, poliéster e dácron. De acordo com Huntington e Givens (1995) mais importante do que o material utilizado em sua confecção é a estrutura dos tecidos dos sacos. Estes devem ser monofilamentosos favorecendo uma porosidade mais homogênea. Com relação ao tamanho dos poros existe uma ampla variação na literatura, entretanto a maioria dos trabalhos recomendam poros entre 40 a 60 micrômetros (μm), uma vez que, poros muito pequenos dificultam o acesso dos microorganismos ao alimento e a saída do material degradado, já poros muito grandes propiciam que haja maior saída do material não completamente degradado (Vanzant *et al.*, 1998).

O tamanho das partículas após o processamento (moagem) é um ponto que merece grande atenção. Como nesta técnica o material não sofre efeito da mastigação e da ruminação, é importante que o material seja processado de forma a refletir o tamanho de partícula que represente o mais próximo possível ao obtido com a mastigação em ensaios *in vivo* (Barbosa *et al.*, 1998; Vanzant *et al.*, 1998). De acordo com Nocek e Kohn (1988) o aumento do tamanho da partícula leva ao aumento do tempo de

colonização (*lag*) por microorganismos ruminais e diminuição da extensão da degradação nas incubações de curta duração. As recomendações de processamento encontradas na literatura variam da moagem com peneiras de malha de 1,5 a 3,0 milímetros (mm) para os concentrados e de 1,5 a 5,0 mm para as forrageiras (Ørskov *et al.* 1988). Não existe portanto, um valor preciso estabelecido, sendo que a moagem em peneiras entre 4,0 a 5,0 mm tem sido mais utilizadas em ensaios envolvendo avaliação de forrageiras tropicais (Ørskov *et al.* 1988; Barbosa *et al.*, 1998; Vanzant *et al.*, 1998).

A relação quantidade de amostra e área de superfície dos sacos também deve ser observada. Vanzant *et al.* (1998) encontraram na literatura valores entre 2 a 198 mg/cm². A avaliação estatística destes dados sugeriram relações lineares negativas entre a quantidade de amostra por área e a degradabilidade da MS e FDN. Segundo Nocek (1985) a relação de 12,6 mg/cm² foi a que apresentou melhor correlação com resultados *in vivo*. Já Vanzant *et al.* (1998) recomendam a relação entre 10 a 20 mg/cm² como a ideal para uma melhor padronização dos resultados.

De acordo Michalet-Doreau e Ould-Bah (1992) os sacos que representam os diferentes tempos de incubação devem ser introduzidos no rúmen ao mesmo tempo para garantir a estes uma mesma condição de fermentação.

Outro ponto que merece atenção diz respeito à lavagem dos sacos utilizados na técnica *in situ*. A maioria dos trabalhos utilizam basicamente duas formas, a lavagem manual e a lavagem mecânica (em máquina de lavar) (Weiss, 1994). A lavagem manual é a mais citada, entretanto é bastante subjetiva. Normalmente se descreve esta lavagem em água fria corrente até que a água que passa pelo saco saia límpida. A lavagem mecânica tenta padronizar e retirar esta subjetividade da técnica, entretanto os tempos de lavagem reportados são muito variados. De acordo com Cherney *et al.* (1990) a lavagem em máquina com procedimento de enxague por 2 minutos seria o mais adequado, sendo que tempos maiores poderiam causar grande perda de resíduo pelos poros dos sacos. Já Vanzant *et al.* (1998), na tentativa de padronizar a técnica, propôs a realização de 5 ciclos de enxágue de 1 minuto, sendo o número de enxágues mais importante que o tempo.

A lavagem dos sacos e a contaminação microbiana do resíduo são consideradas a maior fonte de variação da técnica *in situ* (Vanzant *et al.*, 1998). A contaminação microbiana tem importância principalmente na avaliação da degradabilidade da PB. De acordo com Mitchell *et al.* (1997), a contaminação microbiana do resíduo protéico diminuiu com a maturidade da planta. Desta forma, a degradabilidade da PB em forrageiras mais jovens é penalizada pela maior adesão microbiana. Para reduzir este problema Broderick e Merchen (1992) sugeriram a utilização de dois marcadores (N15 e purinas) quando possível, para corrigir os valores de degradabilidade. Na avaliação da porção fibrosa esta perde importância devido à lavagem com detergentes que retiram os microorganismos aderidos.

As curvas (equações) que descrevem o desaparecimento do substrato de acordo com tempo de incubação são utilizadas para avaliar a cinética de degradação dos alimentos no rúmen. Estes modelos matemáticos partem do pressuposto que o desaparecimento do alimento é igual à degradação no rúmen. A incorporação de parâmetros cinéticos de degradação e da taxa passagem permite que a extensão da degradação ruminal dos

nutrientes do alimento seja estimada (Ørskov e McDonald, 1979; France *et al.*, 1990). A equação de Mitscherlich proposta por Ørskov e McDonald (1979) é comumente utilizada, entretanto outras equações foram propostas (Robinson *et al.*, 1986; France *et al.*, 1990; Dhanoa *et al.*, 1995; Sampaio *et al.*, 1995). Essas equações normalmente consideram a existência de três frações do alimento, a solúvel e rapidamente degradada (*a*), a fração insolúvel potencialmente degradável (*b*) que esta sujeita a uma taxa de degradação específica e a fração não degradável (*c*). Alguns modelos ainda incorporam uma fase *lag*, que corresponde ao tempo de colonização do alimento pelos microorganismos do rúmen. De acordo com Lopez *et al.* (1999) os modelos sigmóides (Mitscherlich generalizada, Michaelis-Menten generalizada e Von Bertalanffy) são boas alternativas ao modelo exponencial negativo mais comumente utilizado (Mitscherlich simples). Estes modelos são capazes de lidar melhor com as variações no perfil de desaparecimento do alimento e parecem representar o processo biológico de forma mais racional do que modelos não sigmóides. Entretanto, comparando diversos modelos Lopez *et al.* (1999) concluíram que as estimativas da extensão da degradação de várias forragens e seus componentes nutricionais com taxas de passagem variadas parecem ser semelhantes.

2.6 A TÉCNICA IN VITRO DE PRODUÇÃO DE GASES NA AVALIAÇÃO DE FORRAGEIRAS

A estimativa da digestibilidade pelo método convencional, *in vivo*, é a que apresenta maior grau de confiança; porém é oneroso e demorado, não permitindo a avaliação simultânea de grande número de alimentos, além de exigir grande quantidade de material em sua avaliação (Pires *et al.*, 1979).

O conhecimento da cinética de degradação dos alimentos no rúmen é de extrema importância para o estabelecimento de estratégias eficientes no manejo alimentar de ruminantes. Existe uma íntima associação entre a fermentação ruminal com a produção de gases, sendo que desde a década de 40 várias técnicas vêm sendo desenvolvidas no intuito de quantificar os gases produzidos na finalidade de avaliar o valor nutritivo dos alimentos (Quinn, 1943). 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). Para Maurício *et al.* (2003), esta apresenta grande potencial por se tratar de um sistema fechado diminuindo as perdas de partículas quando comparadas com a técnica de degradabilidade *in situ*.

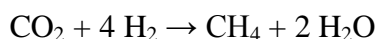
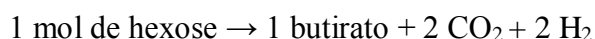
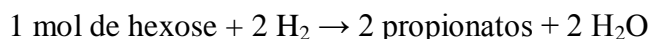
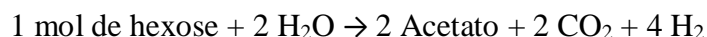
Estudos têm demonstrado que a produção de gases possui alta correlação com a digestibilidade do alimento (Menke *et al.*, 1979). De forma geral, a técnica *in vitro* de produção de gases é similar às demais metodologias de digestibilidade *in vitro*, usando alimentos moídos, meio anaeróbio e inóculo preparado a partir de uma mistura com microorganismos ruminais (Williams, 2000). Por simular exclusivamente o ambiente ruminal, a produção de gases *in vitro* está mais relacionada à fermentação ocorrida no rúmen do que à digestibilidade ocorrida em todo o trato digestivo.

O processo fermentativo ruminal envolve uma série de reações, onde microorganismos hidrolisam polissacarídeos das plantas como a celulose, as hemiceluloses, as pectinas, as frutanas e o amido a monômeros ou dímeros de açúcar, os quais são então fermentados. O desdobramento da energia dos carboidratos, oriundos dos

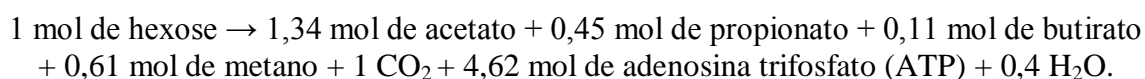
microrganismos ruminais é a produção de ácidos graxos de cadeia curta, principalmente os ácidos acético, propiônico e butírico, além dos gases metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂) (Hobson e Stewart, 1997), sendo que através da técnica *in vitro* de produção de gases, estes podem ser mensurados.

Na maioria das situações alimentares o ácido acético é predominante, e juntamente com o ácido butírico refletem dietas a base de forragem, na qual bactérias celulolíticas predominam. Em contraste, bactérias amilolíticas dominam dietas enriquecidas com amido, onde incrementos nos teores de ácido propiônico são normalmente observados (Beever e Mould, 2000). A produção de gases oriunda da fermentação ruminal de proteínas são relativamente menores que as oriundas de carboidratos, e irrisórias quando advém de gorduras (Getachew *et al.*, 1998).

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



A formação de ácido propiônico é a única reação que precisa de hidrogênio e não gera dióxido de carbono (Van Soest, 1994). O excesso de hidrogênio no rúmen é convertido a gás metano (CH₄) pelas bactérias *Archaea* metanogênicas, que de acordo com o balanço estequiométrico da produção de acetato e de butirato promovem maior ou menor produção deste (Tedeschi *et al.*, 2003). O caminho completo da produção de ácidos graxos de cadeia curta para o equivalente-hexose de dietas ricas em forragens é resumida por Beever (1993) como:



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 elevada correlação entre a produção de gases calculada pela estequiometria e os valores encontrados. 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, então a quantidade teórica de metano e dióxido de carbono oriundos da fermentação ruminal pode ser estimada.

As taxas de produção de ácidos graxos variam com o tempo após a ingestão, e com o tipo de alimento utilizado. Quando o alimento é à base de concentrado, a curva é mais aguda e o pico de produção ocorre em torno de 2 a 3 horas após a ingestão. De outro

modo, quando a dieta é à base forragem, a curva de produção é menos aguda e o pico ocorre em torno de 4 à 5 horas após a ingestão (Kozloski, 2002).

É importante resaltarmos que vários fatores podem comprometer a fermentação *in vitro* tais como: a fonte utilizada, o preparo do inóculo e sua composição, e o preparo do meio e do substrato (Kozloski, 2002), devendo seguir metodologia criteriosa.

O princípio de determinar a degradabilidade ruminal potencial ou fermentabilidade de um alimento por medição dos gases produzidos em uma cultura foi primeiramente desenvolvido por McBee (1953) e Hungate (1966). Trei *et al.* (1970) adaptaram as primeiras técnicas ao deslocamento da água a um manômetro presente em cada recipiente para medir os gases produzidos. Embora o método manométrico permita avaliar quantitativamente os ácidos e gases produzidos durante a fermentação, este possui a desvantagem de não permitir manejar um grande número de amostras, sendo, portanto, de pouca aplicabilidade na rotina de avaliação de alimentos. Similarmente, Jouany e Thivend (1986) usaram medições invertidas em cilindros para determinar o volume de água deslocado, e Beuvink *et al.* (1992) automatizaram a técnica de deslocamento da água. O deslocamento direto do êmbolo por fermentação de um alimento dentro de uma seringa de vidro foi desenvolvido por Czerkawski e Breckenridge (1975) e foi a base do *Hohenheim Gas Test*, desenvolvido posteriormente por Menke *et al.* (1979). Blümmel e Ørskov (1993) modificaram a técnica incubando as seringas em banho maria e não em um incubador rotatório. A técnica da seringa foi originalmente desenvolvida para determinar o ponto final da fermentação de alimentos, em 24 horas, embora medições do deslocamento do êmbolo a intervalos mais frequentes possam determinar os perfis da cinética da fermentação.

Wilkins (1974) descreveu uma aproximação diferente de medição das cinéticas de fermentação *in vitro*, onde a fermentação é realizada em garrafas seladas e os gases produzidos eram determinados usando um transdutor ou sensor de pressão para medir o acúmulo de pressão na garrafa, sendo este princípio amplamente adotado por ser simples e sensível. A técnica de medição da pressão manual foi descrita por Theodorou *et al.* (1994). Esta metodologia utiliza um transdutor de pressão na avaliação dos gases produzidos 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. O uso da seringa restringe o número de amostras analisadas por experimento, diminuindo o número de leituras e, conseqüentemente, comprometendo a descrição da curva de fermentação principalmente durante o período inicial de fermentação (*lag phase*) e muitas vezes comprometendo a acurácia das leituras devido a possíveis erros cometidos pelo operador.

A técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases desenvolvida por Maurício *et al.*, (1999) foi desenvolvida a partir de adaptações feitas à técnica manual de produção de gases desenvolvida por Theodorou *et al.* (1994). Esta técnica utiliza equações de regressão entre a pressão interna dos frascos e o volume de gases produzidos por substrato, para estimar o volume através da pressão obtida por transdutor. A partir de dados experimentais, uma equação quadrática entre pressão (P) e volume (V) foi obtida viabilizando a estimativa do volume de gases produzidos dentro de cada frasco de fermentação. O desenvolvimento da equação estabelecendo a relação entre P e V (Maurício *et al.*, 1999) eliminou as aferições manuais do V feitas através de seringas

plásticas, como proposto na técnica de Theodorou *et al.* (1994). Essa modificação levou à redução no erro do operador, maior velocidade de leitura e aumento da capacidade do sistema. Dessa forma, a cinética, e mais especificamente o período inicial de fermentação, denominado *lag phase*, puderam ser descritos com maior precisão, ou seja, maior número de pontos devido à redução nos intervalos de leitura do volume de gases produzidos. Entretanto faz-se necessário a obtenção da equação para predição do volume através da pressão, de acordo com a altitude de cada laboratório (Maurício *et al.*, 2003).

A técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases tem apresentado comprovado potencial em descrever a cinética da fermentação ruminal, fornecendo a taxa e a extensão da degradação de forrageiras, permitindo avaliar grande número de substratos por experimento, apresentando alta acurácia nas medições, simplicidade no manuseio de equipamentos e baixo custo na implantação por amostra analisada, podendo, dessa forma, ser utilizada em estudos de triagem e de seleção de forrageiras. A técnica contribui, portanto, como importante ferramenta no auxílio da determinação do ponto ótimo de ensilagem, fenação ou do uso *in natura* das principais espécies forrageiras (Pereira *et al.*, 2005; Pires *et al.*, 2006; Castro *et al.*, 2007; Jayme *et al.*, 2009) e na avaliação de mistura de alimentos (Faria *et al.*, 2008) e de seus efeitos associativos, já que permite a incubação de mais de um alimento em um mesmo frasco de fermentação.

2.7 METABOLISMO ENERGÉTICO

2.7.1 PARTIÇÃO E EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DA ENERGIA

A frase presente no antigo testamento “*toda carne é como capim*” foi a origem de muitas questões relacionadas ao metabolismo energético dos animais (Lawrence e Fowler, 2002). A utilização da energia da dieta tem sido alvo de pesquisa desde os tempos de Leonardo da Vinci (1452-1519), Joseph Priestly (1733- 1804) e Antonie-Laurent Lavoisier (1743-1794) (Johnson *et al.*, 2003). O entendimento sobre a exigência nutricional dos animais e a eficiência de utilização dos alimentos é importante, pois a alimentação é normalmente considerada como o maior custo nos sistemas de produção animal. De acordo com Blaxter (1986) os primeiros trabalhos sobre valor nutricional dos alimentos e exigências nutricionais dos ruminantes foram realizados pelo Capitão Middleton e Albrecht Thaer no século XVII. Naquela época, o valor nutricional dos alimentos e os requisitos nutricionais eram expressos de forma grosseira em unidades de feno, sem uma definição precisa. O avanço no entendimento sobre o metabolismo energético dos animais só aconteceu após o desenvolvimento das leis da termodinâmica, da lei de Hess e do conceito de que a vida consome energia sendo um processo de combustão controlada.

A primeira lei da termodinâmica estabelece que, a energia não pode ser criada ou destruída, apenas transformada de uma forma para outra (lei da conservação da energia). Já a segunda lei da termodinâmica e a Lei de Hess consideram que todas as formas de energia podem ser convertidas a calor, e que a perda de calor em uma reação química independe dos caminhos da conversão. De acordo com a primeira lei, pode-se perceber que para que haja produção animal (crescimento, ganho de peso, produção de leite entre outros) é necessário haver aporte de energia, neste caso obtida do alimento. A partir da segunda teoria assume-se que quando, por exemplo, a glicose é totalmente oxidada em

uma bomba calorimétrica, a quantidade de energia liberada é a mesma caso fosse oxidada na célula (McLean e Tobin, 1987).

Estes conceitos levaram ao desenvolvimento da seguinte equação:



Apesar dos alimentos serem a fonte energética para a vida animal, a energia não é considerada nutriente. A energia só é liberada dos alimentos por um complexo processo metabólico onde todos os compostos orgânicos da dieta (carboidratos, proteínas e lipídeos) estão susceptíveis à oxidação. Desta forma, o potencial energético de um alimento é dado por seu calor de combustão.

Com o desenvolvimento da bomba calorimétrica adiabática, por Berthelot (1827-1907), foi possível a determinação precisa da quantidade total de energia de diferentes amostras (Johnson *et al.*, 2003). A partir dos resultados obtidos com este equipamento foi observado que cada nutriente de um alimento possui uma capacidade diferente de produção de energia (ex: glicose: 3,73 Mcal/kg; amido: 4,18 Mcal/kg; celulose: 4,18 Mcal/kg; óleo vegetal: 9,30 Mcal/kg; proteína: 5,64 Mcal/kg). Esta energia gerada pela combustão completa dos compostos orgânicos foi denominada energia bruta. Entretanto, era óbvia que esta não era completamente absorvida pelos animais. A principal evidência disto era a produção de fezes (Lawrence e Fowler, 2002). Para garantir uma produção animal mais eficiente foi necessário desenvolver sistemas de avaliação nutricional que conseguissem explicar a capacidade de um determinado alimento em prover uma resposta produtiva no animal. O sistema deveria ser capaz de apresentar o fracionamento da energia, buscando descrever a utilização, as perdas e as eficiências energéticas do animal para diferentes alimentos, dietas, níveis de consumo e produção (Chwalibog, 2004).

O primeiro passo foi determinar a energia perdida nas fezes e subtraí-la da energia presente nos alimentos. Este novo valor foi denominado como energia aparentemente digestível (ED), pois as fezes apresentavam além do resíduo alimentar não digerido, contaminação com microrganismos presentes no trato digestivo, material celular desprendido durante a passagem do alimento pelo trato gastrointestinal e secreções glandulares que ocorrem durante a digestão. Segundo Blaxter (1962) as perdas fecais são o principal fator determinante do valor nutricional do alimento, estas podem variar de 10% a 70% da energia bruta ingerida. Entretanto, nem toda energia aparentemente absorvida é utilizada pelo animal. Quantificar todas as perdas energéticas pelos ruminantes só foi possível após a descoberta do metano nos gases respiratórios e a compreensão dos fatores que influenciam a perda de calor (Van Soest, 1994).

Parte da energia aparentemente digestível é perdida na forma de gases provenientes da fermentação dos alimentos pelos microrganismos ruminais (principalmente metano e, em alguns casos, hidrogênio) e na urina. A fermentação realizada por estes microrganismos torna possível aos ruminantes extrair energia de materiais ricos em celulose levando a perda de energia na forma de metano. A perda de energia na urina dos ruminantes deve-se principalmente a excreção de ureia. Subtraindo-se a energia presente nos gases e na urina da energia aparentemente digestível encontra-se a energia metabolizável (EM). A energia metabolizável é a energia que está efetivamente

disponível para o metabolismo animal, e será utilizada para a produção de calor de trabalho ou será retida na forma de ganho de peso, produção de leite, produção de lã, crescimento do feto, etc. (McLean e Tobin, 1987; Lawrence e Fowler, 2002).

Desta forma, a eficiência de utilização da energia metabolizável (EM) dos alimentos pelos animais nunca é 100%, existindo sempre uma perda de energia na forma de calor pelo animal, podendo esta ser matematicamente descrita como:

$$EM = ER + PC$$

Onde: ER é a energia retida pelo animal;

PC é a produção de calor gerada.

A energia metabolizável disponível primeiramente é utilizada para atender a exigência basal de energia. O metabolismo basal reflete a mínima produção de calor necessária para que ocorram os processos vitais de um animal saudável, em jejum e em repouso. Ou seja, advém do uso da energia para manter as atividades celulares, o que inclui a energia gasta com a bomba de sódio/potássio, sistemas de manutenção do gradiente eletroquímico das membranas celulares e a energia necessária para o funcionamento dos sistemas cardiovasculares e respiratórios (Diener, 1997). A esta exigência basal devemos acrescentar o gasto energético extra que ocorre após a ingestão de alimentos, denominado incremento calórico (IC), e qualquer energia adicional necessária para atividades como termorregulação e trabalho muscular (McLean e Tobin, 1987). Após atender a estas demandas se ainda restar energia, esta será utilizada para atividades relacionadas ao crescimento e produção animal.

A determinação do metabolismo basal é feita em animais em jejum, em repouso (mas conscientes) e mantidos em ambientes termoneutros. Nos ruminantes, normalmente esta determinação é feita entre 48 a 144 horas da última refeição. Durante a determinação do metabolismo basal não deve haver produção de metano e o quociente respiratório deve ser próximo de 0,7, o que reflete o catabolismo das reservas de gordura corporal (Resende *et al.*, 2006).

A energia metabolizável para manutenção representa a taxa de produção de calor do animal em um ambiente termoneutro, onde a taxa de ingestão da energia metabolizável dos alimentos se iguala a taxa da perda de calor do animal. De forma simplificada esta pode ser definida como a produção de calor de um animal alimentado, mas que não apresenta ganho de peso e modificações na sua composição corporal. É importante observar que, apesar da exigência energética de manutenção estar relacionada com a exigência energética do metabolismo basal, os dois termos não possuem o mesmo significado. A exigência de manutenção é dada pela exigência basal acrescida das perdas de energia na apreensão e mastigação do alimento, na movimentação do trato digestivo, no calor produzido pela fermentação ruminal de certos constituintes da dieta e no calor gerado com o processo metabólico dos nutrientes. Desta forma percebe-se que a exigência em energia metabolizável para manutenção é sempre maior que a do metabolismo basal (Lawrence e Fowler, 2002). A diferença entre a produção de calor do animal alimentado em nível de manutenção e em jejum fornece o incremento calórico (IC) que é proporcionado pela ingestão do alimento (Johnson *et al.*, 2003). A perda de energia na forma de IC depende da quantidade de alimento ingerido e da composição da

dieta. Este abrange o calor gasto: na obtenção, apreensão e mastigação do alimento; na fermentação produzida pelos microrganismos ruminais; na digestão e absorção resultante da ação enzimática; no trânsito da digesta e no transporte ativo das membranas (ex.: bomba de sódio/potássio); na formação de produtos resultantes dos processos anabólicos a partir dos substratos absorvidos (ex: gliconeogênese, síntese proteica); e na excreção associada à síntese de produtos finais, como, por exemplo, a síntese de ureia a partir da amônia no fígado e a atividade dos rins (Cock *et al.*, 1967; McBride e Kelly, 1990; Ørskov e MacLeod, 1990).

Como visto anteriormente, subtraindo-se a energia metabolizável ingerida da energia necessária para o atendimento das demandas de manutenção (produção basal de calor e incremento calórico) encontra-se a energia retida no organismo animal, ou seja, aquela disponível para crescimento e produção (Chwalibog, 2004). Esta energia corresponde à energia líquida retida pelo animal. Surge então o conceito de energia líquida (EL), a qual equivale à energia utilizada para a realização de diferentes funções de retenção de substâncias nos tecidos e produtos, além daquela utilizada na produção do calor liberado durante os processos de manutenção. Entretanto, surge a dificuldade de se determinar a energia líquida de manutenção, pois não há um produto a ser medido além da produção de calor do animal. Apesar de não ser exatamente a mesma coisa, os sistemas de energia líquida estimam as exigências de energia líquida para manutenção a partir da produção de calor em jejum do animal. Atualmente, o sistema baseado na EL é considerado o método mais preciso para determinar as exigências nutricionais e o valor nutricional dos alimentos (NRC, 2001).

A relação entre a energia metabolizável (EM) e a energia bruta (EB) do alimento ou dieta é denominada metabolizabilidade (q). A metabolizabilidade é expressa como qm quando o animal está se alimentando no nível de manutenção, e qL para níveis de consumo acima da manutenção, sendo L o nível de ingestão dado em múltiplos da manutenção. Já a eficiência de utilização da energia metabolizável (K) reflete quanto desta ficou disponível para o animal, sendo esta a relação entre energia líquida e energia metabolizável. Esta eficiência para manutenção (Km) ou para produção (Kp) pode ser descrita de acordo com as equações abaixo:

$$Km = \frac{Elm \times 100}{EMm}$$

$$Kp = \frac{Elp \times 100}{EM - EMm}$$

Onde: El = energia líquida; EM = energia metabolizável; EMm = energia metabolizável requerida para manutenção; Elm = energia líquida de manutenção; Elp = energia líquida para produção.

Como os ruminantes em manutenção apresentam eficiências de utilização da energia metabolizável dos alimentos (entre 70 a 80%) diferentes dos animais em produção (entre 30 a 60%), o valor da energia líquida dos alimentos também difere nestas situações (Blaxter e Wainman, 1964). Esta menor eficiência de utilização da energia nos animais acima do nível de manutenção se deve ao custo associado ao crescimento ou produção, ou seja, perda de energia nos processos bioquímicos envolvidos na formação dos produtos (Lawrence e Fowler, 2002). De acordo com Blaxter e Wainman (1964) o aumento das proporções de concentrado na dieta não alterou muito o Km , entretanto o Kp foi bastante melhorado. Desta forma os alimentos apresentam diferentes valores de

energia líquida para manutenção e produção. Quaisquer fatores que alterem o ambiente ruminal (nível de consumo, frequência de alimentação, nível e tipo de concentrado, uso de aditivos, etc.) e comprometam a digestibilidade do alimento (tamanho de partícula, processamento, taxa de passagem, etc.) podem também alterar os valores de metabolizabilidade, eficiência de utilização da energia metabolizável e consequentemente a energia líquida, em razão das variações presentes na digestibilidade, na produção de metano e no metabolismo dos tecidos. Dessa forma, é importante determinar o teor de energia líquida em condições mais próximas possíveis daquelas em que os resultados serão aplicados (Forbes, 1927).

De acordo com Blaxter (1989), a metabolizabilidade da dieta pode variar dependendo da quantidade e da relação de nutrientes absorvidos, das rotas bioquímicas individuais ou que se interagem na conversão dos nutrientes e do tipo de produção animal. Entretanto, as diferenças encontradas na eficiência de conversão da ED para EM são pequenas quando comparadas com as diferenças no consumo e na digestibilidade, sendo que a conversão de ED para EM ou EL é normalmente considerada constante dentro do nível de produção (manutenção, crescimento, gestação ou lactação) (Moe e Tyrrell, 1976).

2.7.2 MÉTODOS DE DETERMINAÇÃO DA ENERGIA RETIDA

A determinação da energia dos compostos armazenados ou perdidos pelo corpo durante um intervalo de tempo pode ser feita de duas formas: pelo método de abate comparativo ou por métodos de balanço (calorimetria direta e indireta ou método de balanço do C e N) (Blaxter, 1967). O primeiro trabalho descrito utilizando a técnica de abate comparativo é o de Lawes e Gilbert (1861). Entretanto, somente após a publicação de Garrett *et al.* (1959) este método veio a se tornar mais utilizado. Neste método, o calor de combustão dos corpos de animais no início e no final de um período de avaliação são determinados e a retenção de energia calculada por diferença. Como os animais não são exatamente idênticos (com exceção de animais gêmeos) esta técnica necessariamente envolve a utilização de um número grande de animais para que se evitem erros nas estimativas. Desta forma, a estimativa dos requisitos nutricionais dos animais e do valor nutricional dos alimentos tem como base a determinação ou estimativa da energia retida ao invés da energia perdida (Johnson *et al.*, 2003), ou seja, este é um meio de determinação direta da retenção de energia (Blaxter, 1967). Apesar de ser uma boa opção principalmente para animais em pastejo, este método é oneroso e laborioso (Fontes *et al.*, 2005).

Os métodos de balanço podem ser divididos em métodos de balanço do C e N e em métodos calorimétricos (ou métodos de balanço de energia). As vantagens dos métodos de balanço são que eles não envolvem abate do animal, sendo assim eles podem ser repetidos em diferentes tempos com os mesmos animais e em teoria podem medir pequenas retenções de energia em um curto intervalo de tempo. No método de balanço do C e N, as perdas destes elementos nas fezes, urina e gases são subtraídas da quantidade ingerida presente nos alimentos para dar uma estimativa da retenção de C e N. A partir desta relação de C e N retida estima-se a quantidade de proteína e gordura armazenada ou produzida e, desta forma, chega-se à energia retida. Entretanto este método apresenta maiores erros, quando comparados aos métodos calorimétricos. Estes erros, no geral, são, devidos a falhas na coleta total de excretas ou deterioração da amostra antes das análises laboratoriais (Blaxter, 1967).

Nos estudos de calorimetria ou métodos de balanço de energia, a retenção da energia é feita pela diferença entre a energia bruta ingerida nos alimentos e as perdas de energia do animal na forma de fezes, urina, gases e calor (Blaxter, 1967). Esta determinação da produção de calor dos animais pode ser feita de forma direta e indireta. A calorimetria direta é relativamente simples na teoria, porém bastante difícil na prática principalmente para os animais de grande porte. Esta consiste na determinação da produção de calor pelo animal em câmaras calorimétricas, as quais são baseadas nos mesmos princípios das bombas calorimétricas, onde o calor liberado é utilizado para elevar a temperatura do ambiente circundante (Rodriguez *et al.*, 2007). Desta forma, estes calorímetros medem a emissão de calor e não a produção de calor pelo animal durante um determinado período. A dificuldade de se manter a temperatura da câmara estável é o maior problema, pois tudo que entra (ex: alimento e água) ou sai (fezes e urina) das câmaras podem liberar ou retirar calor do ambiente, alterando assim, a determinação correta do calor produzido pelo animal (Blaxter, 1967). Devido à complexidade dos calorímetros diretos, especialmente para uso em grandes ruminantes, a maioria dos métodos calorimétricos utilizados atualmente se baseia na calorimetria indireta.

Na calorimetria indireta, a produção de calor é determinada de forma indireta pelas trocas gasosas e pela excreção de compostos nitrogenados (Blaxter, 1967). Esta metodologia se baseia na teoria de que caso todos os compostos orgânicos fossem oxidados por completo, a produção de calor poderia ser calculada pela quantidade de oxigênio consumida e pela quantidade de dióxido de carbono produzida (de acordo com as leis da termodinâmica). Entretanto, outras formas de perda de calor devem ser consideradas como: a oxidação incompleta das proteínas, que levam a formação de compostos nitrogenados que são excretados na urina, sendo a uréia o principal composto; e a fermentação anaeróbica, a qual produz gases combustíveis, principalmente, o metano. De acordo McLean e Tobin (1987) esta técnica mede a taxa de geração de calor, e apesar de ser denominada indireta não é menos precisa que a calorimetria direta. Estas perdas de calor na maioria dos trabalhos com calorimetria indireta são calculadas a partir da equação de Brouwer (1965):

$$H \text{ (kj)} = 16,18 \times O_2 \text{ (L)} + 5,02 \times CO_2 \text{ (L)} - 5,99 \times N_u \text{ (g)} - 2,17 \times CH_4 \text{ (L)}$$

Onde H corresponde a produção de calor e N_u corresponde ao nitrogênio urinário.

As técnicas de calorimetria indireta podem ser classificadas de acordo com seu princípio de operação em sistema de confinamento, de circuito fechado e de circuito aberto (McLean e Tobin, 1987).

Nos sistemas de confinamento os animais são colocados em câmaras hermeticamente fechadas e as trocas gasosas são determinadas por mudanças nas concentrações dos gases dentro de um volume fixo do sistema. Devido ao consumo de oxigênio pelos animais as câmaras precisam ser abertas após um período de tempo relativamente curto. No modelo descrito por Blaxter *et al.* (1972) o sistema fica fechado por 50 minutos depois é aberto e o ar externo é infundido por 3 minutos para equilibrar as condições com o ambiente externo. Este sistema possui a vantagem de não necessitar de grandes quantidades absorventes de dióxido de carbono e de água, como ocorre nos sistemas de

fluxo fechado, e também evita a determinação da taxa de fluxo que é um dos principais limitantes em sistemas de circuito aberto (McLean e Tobin, 1987).

No sistema de circuito fechado os animais também ficam no interior de câmaras hermeticamente fechadas e o ar é recirculado, sendo que a umidade e o CO₂ são retidos em absorventes próprios. O oxigênio é adicionado à medida que os níveis diminuem, a fim de manter a composição do ar em níveis normais. O total de CO₂ produzido é encontrado diretamente pela diferença de peso encontrado nos absorventes antes e depois do experimento. Já o total de O₂ consumido pelo animal é determinado pela quantidade adicionada ao sistema. Este método é mais apropriado para pequenos animais, pois quando utilizado em grandes animais a quantidade de absorventes necessária é muito grande (McLean e Tobin, 1987).

Existem vários e diferentes tipos de sistemas de circuito aberto. Nos mais utilizados para ruminantes, os animais ficam dentro de câmaras com um fluxo de entrada e saída de ar controlado. O ar é amostrado em sua entrada e saída, sendo então analisada sua composição. Conhecendo-se o fluxo de ar que passa através da câmara e as concentrações dos gases ali presentes, é possível determinar as quantidades de CO₂ e CH₄ produzidas e a quantidade de O₂ consumida durante um determinado período. Entretanto, esse sistema caiu em desuso no passado devido à dificuldade de se analisar grande número de amostras com rapidez e precisão. Atualmente, com o desenvolvimento de analisadores de gases eletrônicos, de alta precisão, renovou-se o interesse por este sistema (McLean e Tobin, 1987). Descrições dos sistemas de circuito aberto podem ser encontradas nos trabalhos de McLean e Tobin (1987), Miller e Koes (1988), Grainger *et al.* (2007), Odongo *et al.* (2007) e Rodríguez *et al.* (2007).

2.8 EMISSÃO DO METANO ENTÉRICO POR RUMINANTES

2.8.1 IMPORTÂNCIA DO METANO

Tem sido crescente a preocupação mundial em relação às mudanças climáticas no planeta decorrentes das emissões antropogênicas de gases do efeito estufa (GEE), como o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) e principalmente o dióxido de carbono (CO₂). A temperatura média do mundo aumentou pelo menos 0,6 °C desde o ano 1900 devido aos GEE, sendo este efeito mais significativo nas regiões polares (Grace e Zhang, 2006). Atualmente, grandes esforços têm sido feitos na busca por estratégias que reduzam a emissão dos GEE ou que sequestrem esses da atmosfera. Neste contexto, durante a Conferência Mundial do Clima na Dinamarca (COP15) o Brasil assumiu o compromisso em reduzir aproximadamente 40% de suas emissões de GEE até o ano 2020.

O metano representa 3,3% do total dos gases de efeito estufa emitidos na atmosfera, sendo 22% destes oriundos de fermentações entéricas em ruminantes (USEPA, 2000). Apesar de representar uma pequena porção do total dos GEE emitidos, o metano é bastante danoso à atmosfera, sendo responsável por aproximadamente 15% do aquecimento global, isto devido ao seu grande potencial de aquecimento (25 vezes maior que o do CO₂) e por sua grande longevidade na atmosfera, superior à maioria dos GEE (IPCC, 2006). Assim, o Brasil tem sido muito criticado por ser considerado o maior emissor mundial de metano oriundo de ruminantes (aproximadamente 18% da

emissão total mundial). A elevada produção deste gás no Brasil se deve ao tamanho do seu rebanho e aos baixos índices zootécnicos verificados em seus sistemas de exploração animal, onde muitos são baseados em pastagens degradadas ou encontram-se abaixo do seu potencial de produção, culminando na geração de maior quantidade de metano por kg de carne e/ou leite produzidos (Thorpe, 2009).

A produção de metano pelos ruminantes não apenas contribui para o aumento das emissões dos GEE, mas também é uma importante perda na energia do alimento, com consequente redução na eficiência da fermentação ruminal e no desempenho animal (Cotton e Pielke, 1995). Do total de energia bruta consumida pelos ruminantes, 2 a 18% são perdidos na forma de metano (Johnson e Johnson, 1995). Desta forma é de grande importância o conhecimento de mecanismos que afetem a produção do metano em ruminantes, para que assim, possamos desenvolver estratégias mitigadoras na produção deste, possibilitando maior eficiência produtiva e menor impacto no aquecimento global.

2.8.2 METANOGÊNESE NO TRATO GASTROINTESTINAL DE RUMINANTES

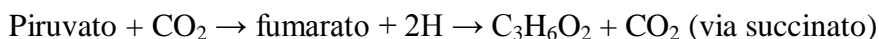
A metanogênese é parte do processo digestivo normal dos ruminantes e ocorre principalmente no pré-estômago (rúmen). O metano (CH₄) traduz-se em um coproduto da fermentação entérica dos ruminantes, pois a sua formação é utilizada como uma rota dissipadora do acúmulo de hidrogênio (H₂). A fermentação ruminal dos alimentos é um processo anaeróbico que converte os componentes dietéticos em ácidos graxos voláteis (AGVs), proteína microbiana, vitaminas, CO₂ e H₂. Os carboidratos (estruturais e não estruturais) são convertidos a piruvato que, posteriormente, seguem as rotas metabólicas para formação de AGVs principalmente nas formas de ácido acético, propiônico e butírico. As *Archaea* metanogênicas removem o H₂ e reduzem o CO₂ para formar CH₄. A produção de CH₄ mantém baixa a concentração de hidrogênio no rúmen, o que permite maior desenvolvimento microbiano, promovendo assim, uma fermentação ruminal mais eficiente (Van Soest, 1994).

As reações envolvidas na formação de acetato e butirato são inter-relacionadas e interconectivas, se dando a partir da acetilcoenzima A. A formação do propionato possui duas vias de reação, na primeira existe a formação de oxaloacetato e succinato, a segunda envolve a formação de acrilato. Segundo Van Soest (1994) para a síntese de acetato, propionato e butirato têm-se as seguintes reações:

Acetato:



Propionato:

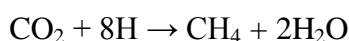


Butirato:



Analisando-se estas reações observamos como resultado da produção de AGVs (com exceção do propionato), que ocorre excesso de produção de hidrogênio, este precisa ser removido do rúmen para que o crescimento microbiano e conseqüentemente o processo de fermentação ruminal seja eficiente. Beauchemin *et al.*, (2008) relataram que os efeitos adversos do acúmulo de H₂ no rúmen incluem a inibição da reoxidação de cofatores reduzidos (NADH, NAPH e FADH) e o acúmulo de lactato ou etanol, o que proporciona queda do pH ruminal, tendo como principal consequência, a redução da eficiência no crescimento de microrganismos que degradam a fibra da dieta.

O processo de digestão microbiana ruminal é complexo e delicado, necessitando haver equilíbrio do sistema, no qual as *Archaea* metanogênicas preenchem um nicho importante por reduzir o dióxido de carbono e o hidrogênio a metano e água (Beauchemin *et al.*, 2008).



Para Joblin (1999), a gestão do H₂ no rúmen é a chave para controlar as emissões de CH₄ pelos ruminantes.

As *Archaea* metanogênicas, responsáveis pela produção de CH₄, formam um grupo distinto de microrganismos, possuindo cofatores (coenzima M, F420, F430) e lipídeos (éteres de isopranoil glicerol) únicos (McAllister *et al.*, 1996). A parede celular destes microrganismos composta por pseudomureína, proteína, glicoproteína ou heteropolissacarídeos com sequência de nucleotídeos bastante particulares, evidencia uma evolução inicial nestes microrganismos distinta das presentes em bactérias (Ishino *et al.*, 1998). No rúmen, as *Archaea* metanogênicas são encontradas associadas a protozoários ciliados e justapostas com bactérias, não sendo essa, uma localização obrigatória (McAllister *et al.*, 1996). Para Beauchemin *et al.*, (2008), o fato das metanogênicas poderem ser encontradas tanto aderidas na superfície celular dos protozoários, como na fase intracelular dos mesmos, se deve ao fato de que os protozoários ciliados têm um grande potencial em produzir hidrogênio ruminal, sendo que a associação das metanogênicas com estes ciliados indica a ocorrência de uma relação simbiótica, onde as metanogênicas, por utilizarem o hidrogênio produzido pelos ciliados, favorecem a manutenção de um ambiente ruminal adequado ao desenvolvimento destes microrganismos. As espécies metanogênicas têm grande afinidade em sintetizar CH₄ a partir de H₂ e CO₂ para satisfazer as necessidades energéticas utilizadas em seu crescimento. Elas também têm a capacidade de sintetizar CH₄ a partir do formato e, em menor grau, a partir do metanol, mono, di e tri-metilamina e do acetato, mas a redução do CO₂ é sua via preferencial.

O metano resultante da metanogênese representa uma perda de energia da dieta para o animal, que estequiometricamente pode representar até 12% da energia bruta (Van Soest, 1994). Berndt (2010) compilou uma série de dados resultantes de experimentos

nacionais, e observou perdas de energia variando de 3,5% a 11,8%, constatando uma produção média de 51,5 kg de CH₄/animal/ano. Já para Gibbs *et al.* (1989) a produção e emissão de gás metano em ruminantes acarretam em significativas perdas que variam entre 4 % e 12% do total de energia bruta ingerida.

A proporção da dieta digerida no intestino grosso ocorre principalmente no ceco e cólon proximal, sendo que o tempo de permanência da digesta neste é muito inferior ao do rúmen. O intestino grosso é responsável por cerca de 12 a 17% da produção de AGVs e de 6 a 14% do CH₄ produzido por dia no animal (Immig, 1996). Deste total, aproximadamente 89% são absorvidos pela corrente sanguínea e expirado pelos pulmões, indicando que apesar de haver produção de CH₄ no trato digestório posterior a maior parte do total de CH₄ produzido é oriundo da fermentação ruminal.

A determinação das emissões de metano por ruminantes foi muito realizada na década de 60, com o propósito de entender melhor o metabolismo energético dos animais em manutenção e crescimento (Blaxter, 1964; Blaxter e Clapperton, 1965; Czerkawski *et al.*, 1966). Atualmente, a preocupação com o aquecimento global tornou o metano o foco de pesquisas, que objetivam mitigar as emissões dos gases responsáveis pelo efeito estufa (Chaves *et al.* 2006; McAllister e Newbold, 2008; Avila-Stagno *et al.*, 2012; Chung *et al.* 2012). As duas principais técnicas utilizadas para determinar as emissões de metano por ruminantes se baseiam no confinamento dos animais ou na utilização de marcadores.

Existem diferentes técnicas que se baseiam na utilização de marcadores. As principais utilizam a infusão de gás CH₄ com C ou H marcados no rúmen de animais canulados ou o gás traçador hexafluoreto de enxofre (SF₆) (Murray *et al.*, 1976; Johnson e Johnson, 1995; Hegarty *et al.*, 2007). A maioria dos trabalhos utilizando marcadores utilizam-se do gás traçador SF₆ (Johnson *et al.*, 1994). Esta técnica possui custo relativamente baixo, quando comparado com as técnicas de confinamento, além de permitir a determinação da emissão de metano de um grande número de animais, passando a ser muito utilizada principalmente nos trabalhos em que os animais são mantidos a pastos (Vlaming *et al.*, 2007). Nesta técnica um dispositivo de liberação lenta e conhecido do gás SF₆ é colocado dentro do rúmen e amostras do ar expirado pelos animais são coletadas. A relação de CH₄ e SF₆ nas amostras do ar expirado é determinada por cromatografia gasosa e a emissão de metano é então calculada (Ulyatt *et al.*, 1999). A maior limitação desta técnica diz respeito à determinação da ingestão de MS de forma precisa quando os animais são mantidos a pasto.

A determinação direta da emissão de metano pelos animais requer um confinamento total ou parcial do animal. Os sistemas podem ser classificados de acordo com o princípio como sendo sistemas de circuito aberto ou fechado (Pinares-Patiño e Clark, 2008). Estes sistemas são os mesmos que foram descritos anteriormente para calorimetria indireta. O método mais utilizado é o confinamento total do animal em câmaras respirométricas, entretanto existem os métodos de confinamento parcial em que apenas a cabeça do animal fica no interior de pequenas câmaras (*head boxes*) ou que utilizam mascarar para coleta dos gases expirados (Pinares-Patiño e Clark, 2008). As câmaras respirométricas permitem a determinação precisa das emissões de CH₄ e do

consumo de MS, entretanto o comportamento do animal é restrito. Segundo Machado *et al.*, (2011) esta é considerada a técnica padrão (*Gold Standard*) para a determinação da emissão de metano pelos ruminantes sendo utilizada na avaliação da precisão de outras técnicas.

Segundo McAllister *et al.* (1996), dentre as principais variáveis que influenciam a produção de metano em ruminantes, pode-se citar os fatores nutricionais (quantidade e tipo de carboidratos, nível de ingestão, presença de lipídeos, entre outros), os metabólicos (taxa de passagem da digesta), fatores ambientais (temperatura), manejo dos animais, além do estado fisiológico, tamanho corporal e principalmente a população de microrganismos ruminais (protozoários e bactérias).

Segundo Machado *et al.*, (2011), 87% da produção entérica de metano é atribuída às diferenças entre os animais, e somente 13% são devidas às diferenças na ingestão de matéria seca. Características como composição racial, volume ruminal, capacidade de seleção de alimento, tempo de retenção do alimento no rúmen, e as associações de fatores que conduzem à maior ou menor capacidade de digestão da fibra dos alimentos podem influenciar na produção de metano em ruminantes.

Como visto anteriormente, determinações feitas em câmaras respirométricas mostram que as emissões de CH₄ por ruminantes variam de 2% a 12% da EB ingerida (Johnson e Johnson, 1995). Segundo Johnson e Johnson (1995) ocorre redução da emissão de metano em % da EB de 1,6% para cada nível de alimentação acima do consumo de manutenção. Fica claro no trabalho de Blaxter e Wainman (1964) que, tanto o nível de alimentação, quanto a relação volumoso/concentrado influenciam diretamente a emissão de metano pelos ruminantes. Neste trabalho, o aumento do consumo de energia dos animais, de níveis de manutenção para duas vezes a manutenção, proporcionou redução na produção de metano em % da EB ingerida. Entretanto, esta diferença foi maior quando os animais foram alimentados com um maior teor de concentrado na dieta (acima de 60% de concentrado na dieta). Este resultado parece estar relacionado com a maior taxa de passagem da dieta pelo rúmen e, conseqüentemente, menor fermentação da matéria orgânica neste local. Porém, ao que parece a adição de concentrado estimula a fermentação ruminal aumentando a produção de metano, mas quando níveis mais elevados de concentrado na dieta são utilizados a maior produção de propionato em relação ao acetato leva a uma menor produção de metano. Moe e Tyrrell (1979) também observaram que a produção de metano foi influenciada pela natureza dos carboidratos da dieta, especialmente em consumos mais elevados. A fermentação de carboidratos fibrosos levam à maior relação acetato/propionato e conseqüentemente maior produção de metano quando comparado com carboidratos não fibrosos (Moe e Tyrrell, 1979).

A fermentação de dietas com maior teor de amido no rúmen promove maior produção de propionato e diminui o pH ruminal, inibindo o crescimento das *Archaea* metanogênicas (Van Kessel e Russell, 1996). O número de protozoários no rúmen também é reduzido em animais alimentados com dietas com elevado teor de grãos, o que proporciona menor transferência de H₂ interespecie e, conseqüentemente, menor produção de CH₄ pelas *Archaea* (Willians e Coleman, 1988).

A produção de metano também parece aumentar com o aumento da maturidade da forragem (McAllister *et al.*, 1996; Navarro-Villa *et al.*, 2011; Purcell *et al.*, 2011). Robertson e Waghorn (2002) e Pinares-Patiño *et al.* (2007) também observaram maior produção de metano em vacas leiteiras com o avanço da maturidade da forragem (em % de EB ingerida). A menor emissão relativa de metano em forrageiras mais jovens normalmente é explicada pelos maiores teores de PB, carboidratos solúveis e do ácido linolêico e menores teores de carboidratos fibrosos (FDN). Desta forma, a fermentação de plantas mais jovens levaria a maior produção de propionato e, conseqüentemente, menor produção de CH₄. A melhoria da qualidade das forragens também pode aumentar o consumo voluntário dos animais e reduzir o tempo de retenção no rúmen, reduzindo a produção de metano (Eckard *et al.*, 2010). Entretanto, este efeito nem sempre é observado (Pinares-Patiño *et al.* 2003), pois o aumento da maturidade pode não causar mudanças drásticas na composição da planta a ponto de alterar a produção de AGV's e, conseqüentemente, a produção de CH₄. De acordo com Beauchemin *et al.* (2008) o melhor manejo das pastagens poderia contribuir para redução das emissões de metano, mas isto não está ainda bem documentado. Mesmo assim, de acordo com Pinares-Patiño *et al.* (2007) a melhora da qualidade nutricional das forragens pode reduzir as emissões de CH₄ por kg de leite ou carne devido a melhoria na produtividade animal.

A suplementação lipídica também é uma forma de reduzir as emissões de CH₄, sendo, considerada um dos meios mais efetivos de se reduzir a metanogênese. O efeito dos lipídeos sobre a metanogênese é multifatorial. São descritos três principais mecanismos: redução da quantidade de matéria orgânica fermentada no rúmen; toxicidade de alguns ácidos graxos sobre bactérias celulolíticas e Archaeas; e a biohidrogenação dos ácidos graxos poliinsaturados (Johnson e Johnson, 1995; Nagajara *et al.*, 1997; Machmuller *et al.* 2003). Entretanto, parece que a redução da quantidade de matéria orgânica fermentada no rúmen é o principal mecanismo. De acordo com a meta-análise realizada por Beauchemin *et al.* (2008) para 1% de lipídeo adicionado a dieta (% MS) há uma redução de 5,6% na emissão de metano (g/kg de MS ingerida). A biohidrogenação dos ácidos graxos poli-insaturados pode servir com um dreno de H₂ do rúmen. Entretanto, cálculos estequiométricos sugerem que este efeito é muito pequeno (por volta de 1% dos H₂ produzido) (Johnson e Johnson, 1995; Casey e Holden, 2006). O efeito da suplementação lipídica sobre os microorganismos do rúmen é muito dependente de muitos fatores, incluindo o nível de suplementação, a fonte utilizada, a forma de fornecimento (óleo refinado ou sementes de oleaginosas), o tamanho da cadeia de carbonos dos ácidos graxos e a quantidade de instauração dos ácidos graxos. Entretanto, na maioria das vezes, a redução na produção de CH₄ vem acompanhada de uma queda intensa na digestibilidade da dieta (Machmuller *et al.* 2003). Portanto convém obedecer aos limites máximos de inclusão de lipídeos (3-4%) na dieta, para que os níveis de lipídeos totais na dieta não ultrapassem 6% evitando assim o efeito negativo sobre a digestibilidade (NRC, 2001).

2.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, V.B.G; PEDREIRA, J.V.S; MATTOS, H.B; *et al.* Medidas *in vitro* de valores nutritivos de capins. I. Produção e digestibilidade 'in vitro' de vinte e cinco capins durante o outono e inverno. *Boletim de Indústria Animal*, Nova Odessa, v.38, n.2, p. 155 - 176, 1981.

ALENCAR, J. A.; *et al.* Efeito da adubação nitrogenada sobre o rendimento de matéria seca e proteína bruta de *Andropogon gayanus*, Kunth. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 20, n.1, p. 99 - 107, 1996.

ALVAREZ, A. e LASCANO, C. 1987. Valor nutritivo de la sabana bien drenada de los Llanos Orientales de Colombia. *Pastures Tropical Boletín*. (CIAT) 9(3): 9 – 17.

ALVES DE BRITO, C. J. F., RODELLA, R. A., DESCHAMPS, F. C., Perfil químico da parede celular e suas implicações na digestibilidade de *Brachiaria brizantha* e *Brachiaria humidicola*. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 32, n.6, p. 1835 – 1844, 2003.

ANDRADE, R. P. de. Pasture seed production technology in Brazil. In: International Grassland Congress, 19., 1999, São Pedro. *Proceeding...* Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 120 – 132.

AVILA-STAGNO, J.; CHAVES, A. V.; HE, M. L.; *et al.* Effects of increasing concentrations of glycerol in concentrate diets on nutrient digestibility, methane emissions, growth, fatty acid profiles and carcass traits of lambs. *Journal of Animal Science*. 2012. doi: 10.2527/jas.2012-5215. *in press*

BARBI, J. H. T.; SAMPAIO, I. B. M.; MAURICIO, R. M. Avaliação de quatro gramíneas tropicais em diferentes idades de corte pela técnica *in situ*. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*. v.47, n.1, p.73-86, 1995.

BARBOSA, G. S. S. C.; SAMPAIO, I. B. M.; GONÇALVES, L. C.; *et al.* Fatores que afetam a degradabilidade *in situ* da matéria seca de forrageiras tropicais: II. Lavagem das amostras antes da inserção no rúmen. *Arquivo Brasileiro de Medicina veterinária e Zootecnia*, v.50, n.6, p. 737-740, 1998.

BARCELLOS, A.O., VILELA. L., LUPINACCI, A.V. *Desafios da pecuária de corte a pasto na região dos cerrados*. Documentos, EMBRAPA – CNPGL, n.31, 2001.

BATISTA, L. A. R.; GODOY, R. Baetí - EMBRAPA 23, uma nova cultivar do capim andropogon ("*Andropogon gayanus*" Kunth). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 24, n. 02, p. 204- 213, 1995.

BEAUCHEMIN, K. A.; KREUZER, M.; O'MARA, F.; MCALLISTER, T. A. Nutritional management for enteric methane abatement: a review. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 48, p. 21-27, 2008.

BEEVER, D. E.; MOULD, F. L. Forage evaluation for efficient ruminant livestock production. In: GIVENS, D. I.; OWEN, E.; AXFORD, R. F. E. et al. (Ed) *Forage evaluation in ruminant nutrition*. Wallingford: CAB International Publishing, 2000. p. 15-42.

BEEVER, D. E. Rumen function. In: FORBES, J. M.; FRANCE, J. (Ed) *Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism*. Wallingford: CAB International Publishing, 1993. p. 187-215.

- BERNDT, A. Estratégias nutricionais para redução de metano. In: CONGRESSO LATINO AMERICANO DE NUTRIÇÃO ANIMAL 4., 2010, São Pedro, SP. *Anais...* São Pedro: CLANA: CBNA: AMENA, 2010. p.295-306.
- 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.
- BLANCO, F. Dinamica de crecimiento y variacion de las reservas em *Andropogon gayanus* CIAT-621. *Pastos y Forrajes*, v. 19, p.47-58, 1996.
- BLAXTER, K. L. Energy Metabolism in Animals and Man. Cambridge University Press, New York. 1989.
- BLAXTER, S. K. An historical perspective: the development of methods for assessing nutrient requirements. *Proceedings of the Nutrition Society*, v. 45, p 177-183. 1986.
- BLAXTER, K. L.; BROCKWAY, J. M.; BOYNE, A. W. A new method for estimating the heat production of animals. *Experimental Physiology*, v. 57(1), p. 60-72, 1972.
- BLAXTER, K. L. Techniques in energy metabolism studies and their limitations. *Proceedings of the Nutrition Society*, v. 26, p 86-96, 1967.
- BLAXTER, K.L.; CLAPPERTON, J.L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal of Nutrition*, v. 19, n.4, p.511-522, 1965.
- BLAXTER, K. L.; WAINMAN, F. W. The utilization of the energy of different rations by sheep and cattle for maintenance and for fattening. *Journal of Agricultural Science*, v. 63, p. 113-128, 1964.
- BLAXTER, K. L. The Energy Metabolism of Ruminants. Illinois:Springfield, 1962. 187p.
- BLÜMMEL, 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.
- BOTREL, M. A.; ALVIM, M. J.; XAVIER, D. F. Avaliação de gramíneas forrageiras na região sul de Minas Gerais. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 4, p. 683 - 689, 1999.
- BRODERICK, G. A.; MERCHEN, N. R. Markers for Quantifying Microbial Protein Synthesis in the Rumen. *Journal of Dairy Science*, v. 75, n. 9, p. 2618-2632, 1992.
- BROUWER, M. Report of sub-committee on constants and factors. In: SYMPOSIUM OF ENERGY METABOLISM HELD AT EUROPEAN ASSOCIATION FOR ANIMAL PRODUCTION, 1965, London. *Proceedings...* London: EAAP Academic, 1965. p. 441-443.

CARNEIRO, A. M.; GONÇALVES, L. C.; ANDRADE, I. F. *et al.* Adubações fosfatadas no estabelecimento e produções iniciais do capim andropogon (*Andropogon gayanus*, Kunth). *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 44, n. 2, p. 129-136, 1992.

CARNEVALLI, R. A.; Da SILVA, S. C.; FAGUNDES, J. L.; *et al.* Desempenho de ovinos e respostas de pastagens de capim *Andropogon* submetidas a regimes de desfolha sob lotação contínua. *Boletim da Indústria Animal*, v. 57. n. 1. P. 53 – 63, 2000.

CASEY, J. W.; HOLDEN, N. M. Quantification of GHG emissions from sucker-beef production in Ireland, *Agricultural Systems*, v. 90, p. 79-98, 2006.

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

CHAVES, A. V.; THOMPSON, L. C; IWAASA, A.; *et al.* Effect of pasture type (alfalfa vs. grass) on methane and carbon dioxide production by yearling beef heifers. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 86, p. 409-418, 2006.

CHERNEY, D. J. R.; PATTERSON, J. A.; LEMENAGER, R. P. Influence of in situ bag rinsing technique on determination of dry matter disappearance. *Journal of Dairy Science*, v. 73, p. 391-397, 1990.

CHUNG, Y.-H.; ZHOU, M.; HOLTSHAUSEN, L.; *et al.* A fibrolytic enzyme additive for lactating Holstein cow diets: Ruminant fermentation, rumen microbial populations, and enteric methane emissions. *Journal of Dairy Science*, v. 95, p. 1419-1427, 2012.

CHWALIBOG, A. Physiological basis of heat production – The fire of life. Research School of Nutrition and Physiology, 2004.

CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical). *Andropogon gayanus* Kunth: A grass for tropical acid soils. TOLEDO, J. M.; VERA, R.; LASCANO, C.; LENNÉ, J. M. Cali, Colômbia, 1990, 382p.

COCK, L.M.; POULTON, B.R.; HOOVER, W.H. *et al.* Dietary Nitrogen Effect on Ruminant Heat Increment. *Journal of Animal Science*, v.26, n.4, p.845-848, 1967.

COLEMAN, S. W., HENRY, D. A. Nutritive value of herbage. In: CAB International. Sheep Nutrition. 2002. P. 1 – 26.

COSTA, J.L.; RESENDE, H. Produção de feno de gramíneas. Instrução técnica para o produtor de leite. 2. ed. Coronel Pacheco: EMBRAPA gado de leite, 2006. 2 p.

COSTA, J.L., GOMIDE, J. A. Drying rates of tropical grasses. *Tropical Grasslands*, v.25, n.4, p. 325 – 332, 1997.

- COTTON, W.R.; PIELKE, R.A. Human impacts on weather and climate. Cambridge: Cambridge University, 1995, 288p.
- COUTO, W.; LEITE, G. G.; SANZONOWICZ, C. Response of andropogon grass to P fertilizers and lime in dark-red latosol of the cerrados. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 26, n. 3, p. 297-304, 1991.
- CZERKAWSKI, J.W.; BRECKENRIDGE, G. New inhibitors of methane production by rumen micro-organisms. Development and testing of inhibitors *in vitro*. *British Journal Nutrition*. Cambridge, v.34, n.3, p.429-444, 1975.
- CZERKAWSKI, J. W.; BLAXTER, K. L.; WAINMAN, F. W. The metabolism of oleic, linoleic, and linolenic acids by sheep with reference to their effects on methane production. *British Journal of Nutrition*, v. 20, p. 349, 1966.
- DHANOVA, M. S.; FRANCE, J.; SIDDON, R. C.; *et al.* A non-linear compartmental model to describe forage digestion kinetics during incubation in polyester bags in the rumen. *British Journal of Nutrition*, v. 73, p. 3-15, 1995.
- DIENER, J. R.C. Calorimetria indireta. *Revista da Associação Médica Brasileira*. v.43, n.3, p.245-253, 1997.
- ECKARD, R. J.; GRAINGER, C.; KLEIN, C.A.M. Options for the abatement of methane and nitrous oxide from ruminant production: A review. *Livestock Science*, v. 130, p. 47-56., 2010.
- FAICHNEY, G. J. Volatile fatty acids in caecum of the sheep. *Australian Journal Biologic Science*, v. 21, n.1, p. 177 – 180, 1993.
- FALES, S. L.; FRITZ, J. O. Factors affecting forage quality. In: BARNES, R. F; NELSON, C. J.; MOORE, K. J.; COLLINS, M. (eds). Forages, v. II: The science of grassland agriculture. 6ª ed. Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA. p. 569-580, 2007.
- FARIA, B. N.; REIS, R. B.; MAURÍCIO, R. M.; *et al.* Efeitos da adição de propilenoglicol ou monensina à silagem de milho sobre a cinética de degradação dos carboidratos e produção cumulativa de gases *in vitro*. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 60, p. 896-903, 2008.
- FONTES, C.A.A.; OLIVEIRA, R.C.; ERBESDOBLER, E.A. *et al.* Uso do abate comparativo na determinação da exigência de energia de manutenção de gado de corte, pastejando capim-elefante: descrição da metodologia e resultados. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 34, n. 5, p. 1721-1729, 2005.
- FORBES, J. M. Voluntary food intake and diet selection in farm animals. Guildford: CAB International. 2007. 532 p.

FORBES, E. B. Advances in Respiration Calorimetry with cattle. *Journal of Animal Science*, v. 1, p. 23-32, 1927.

FRANCE, J.; THORNLEY, J. H. M.; LOPEZ, S.; *et al.* On the two-compartment model for estimating extent of feed degradation in the rumen. *Journal of Theoretical Biology*, v. 146, p. 269–287, 1990.

GARCIA, R., OBEID, J. A., CARVALHO, L. A., SILVA, J. F. C, NASCIMENTO JUNIOR, D. Efeito da época de corte e do processo de fenação sobre a composição química do feno de capim – gordura (*Melinis minutiflora* Pal. De Beauv). *Revista Brasileira de Zootecnia*. V.20, n.2, p. 166 – 171, 1991.

GARRETT, W. N.; MEYER, J. H.; LOFGREEN, G. P. The comparative energy requirements of sheep and cattle for maintenance and gain. *Journal of Animal Science*, v. 18, p. 528, 1959.

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

GIBBS, M.J.; LEWIS, L.; HOFFMAN, J. Reducing methane emissions from livestock: opportunities and issues. In “*Proceedings of a Workshop Held at Palm Springs, California*”. EPA400/1-89/002, 1989.

GONÇALVES, L. C.; BORGES, I. Tópicos de forragicultura tropical. Belo Horizonte: FEPMVZ (Apostila), 2006. 117p.

GONÇALVES, C. A. Crescimento e composição química das gramíneas *Brachiaria humidicola*, *Andropogon gayanus* cv. Planaltina, *Setaria sphacelata* cv. Nandi. In: *Boletim de Pesquisa*, n.4, EMBRAPA – UEPAE Porto Velho, 1985. 55 p.

GRABBER, J. H.; RALPH, J.; HATFIELD. R. D. Ferulate cross- links limit the enzymatic degradation of synthetically lignified primary walls of maize. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v. 46, p. 2609–2614, 1998.

GRACE, J.; ZHANG, R. Predicting the effect of climate change on plant productivity and the carbon cycle. In: MORRISON, J. I. L.; MORECROFT M. D. (Ed). *Plant growth and climate change*. Kundli, India, Blackwell, 2006, p. 187-207.

GRAINGER, C.; CLARKE, T.; MCGINN, S. M. *et al.* Methane emissions from dairy cows measured using the sulphur hexafluoride (SF6) tracer and chamber techniques. *Journal of Dairy Science*, v. 90, n. 6, p. 2755–2766, 2007.

HAGGAR, R. J. The effect of quantity, sourer and time of application of nitrogen fertilizer on the yield and quality of *Andropogon gayanus* at Shika, Nigeria. *Journal of Agricultural Science*, cambriolge, v.84, n.30, p.529-535, 1985.

HAGGAR, R.J e AHMED, M.B. Seasonal production of *Andropogon gayanus* . III. Changes in crude protein content and *in vitro* dry matter digestibility of leaf and stem portions. *Journal Agriculture Science*, Cambridge, v.77, p. 47 – 52, 1971.

HEGARTY, R.S.; LENG, R. A.; NOLAN, J. V. Measurement of methane production rate in the rumen using isotopic tracers. In: MAKKAR, H. P.S.; VERCOE, P. E. (ed) Measuring methane production from ruminants. IAEA, Austria, 2007, p. 93-103.

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.

HUNGATE, R. E. The rumen and its microbes. New York: Academic Press, 1966. 533 p.

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

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Fourth Assessment Report (AR4): Mitigation of Climate Change. Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 2007. Disponível em: http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg3/en/content_s.html. Acesso em: 30 nov. 2012.

IMMIG, I. The rumen and hindgut as source of ruminant methanogenesis. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 42, p. 57–72, 1996.

ISHINO, Y.; KOMORI, K.; CANN, I.K.O. *et al.* A novel DNA polymerase family found in *Archaea*. *Journal of Bacteriology*, v. 180, p. 2232-2236, 1998.

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

JOBLIN, K. N.; CAMPBELL, G. P.; RICHARDSON, A. J.; STEWART, C. S. Fermentation of barley straw by anaerobic rumen bacteria and fungi in axenic culture and in co-culture with methanogens. *Letters in Applied Microbiology*, v. 9, p. 195-197, 1989.

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

JOHNSON, K.; HUYLER, M.; WESTBERG, H. *et al.* Measurement of methane emissions from ruminant livestock using a SF₆ tracer technique. *Environment Science Technology*, v. 28, p. 359- 362, 1994.

JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. Methane Emissions from Cattle. *Journal of Animal Science*, v. 73, p. 2483-2492, 1995.

JOUANY, J. P.; THIVEND, P. *In vitro* effect of avoparcin on protein degradability and rumen fermentation. *Animal Feed Science and Technology*, Amsterdam, v.15, n.3, p.215–229, 1986.

JUNG, H. J. G. Forage digestibility: the intersection of cell wall lignifications and plant tissue anatomy. In: III Simpósio Internacional Avanços em Técnicas de Pesquisa em Nutrição de Ruminantes. USP, Pirassununga, SP, 2011.

JUNG, H. J. G.; ALLEN, M. S. Characteristics of plant cell wall affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *Journal of Animal Science*, v. 73, p. 2774-2790, 1995.

JUNG, H. J. G.; DEETZ, D. A. Cell wall lignification and degradability. In: JUNG, H. J. G.; BUXTON, D. R.; HATIFIELD, R. D., *et al.* (Ed). Forage cell wall structure and digestibility. Madison : American Society of Agronomy, Crop Sci. Society of America, Soil Sci. Society of America, 1993. p.315-346.

KANNO, T., MACEDO, M. C. M., EUCLIDES, V. P. B., BONO, J. A. Root biomass of five tropical grass pastures under continuous grazing in Brazilian Savannas. *Grassland Science Technology*. V. 45 n. 1 p. 9 – 14, 2000.

KOZLOSKI, G. V. Bioquímica dos ruminantes. Santa Maria: Ed. UFSM, 2002. 140 p.

LAWES, J. B.; GILBERT, J. H. On the composition of oxen, sheep and pigs and of their increase whilst fattening. *Journal of the Royal Agricultural Society of England*, v. 21, p.433-488, 1861.

LAWRENCE, T.L.J.; FOWLER, V.R. Growth of farm animals. CAB International, 2002, 321p.

LEITE, G.G. Manejo de forrageiras dos gêneros *Andropogon*, *Hyparrhenia* e *Setária*. In: 9º Simpósio sobre manejo de pastagem. *Anais...* Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”/Universidade de São Paulo. 1998. p.185-218.

LÓPEZ, S.; FRANCE, J.; DHANOA, M. S.; *et al.* Comparison of mathematical models to describe disappearance curves obtained using the polyester bag technique for incubating feeds in the rumen. *Journal of Animal Science*, v. 77, n. 5, p. 1875-1888, 1999.

MACHADO, F.S.; PEREIRA, L.G.R.; GUIMARÃES JUNIOR, R.; *et al.* Emissões de metano na pecuária: conceitos, métodos de avaliação e estratégias de mitigação. Juiz de Fora: Embrapa Gado de Leite, 2011. 92p. (Embrapa Gado de Leite. Documentos, 147).

MACHMULLER, A.; SOLIVA, C. R.; KREUZER, M. Methane-suppressing effect of myristic acid in sheep as affected by dietary calcium and forage proportion. *British Journal of Nutrition*, v. 90, p. 529–540, 2003.

MANRIQUE, U.; CARRILLO, V. VÁSQUEZ, D. *et al.* Efecto de la fertilización nitrogenada, edad y época de corte sobre el rendimiento de materia seca de *Andropogon gayanus*. *Zootecnia Tropical*, v. 14, n. 2, p. 149-166, 1996.

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

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

McALLISTER, T. A; NEWBOLD, C. J. Redirecting rumen fermentation to reduce methanogenesis. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 48, n. 1-2, p. 7-13, 2008.

McALLISTER, T.A; OKINE, E.K.; MATHISON, G.W.; CHENG, *et al.* Dietary, environmental and microbiological aspects of methane production in ruminants. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 76, p.231-243, 1996.

McBEE, R. H. Manometric method for the evaluation of microbial activity in the rumen with application to utilization of cellulose and hemicelluloses. *Applied Microbiology*, Washington, v.1, n.1, p.106-110, 1953.

McBRIDE, B.W.; KELLY, J.M. Energy cost of absorption and metabolism in the ruminant gastrointestinal tract and liver: a review. *Journal of Animal Science*, v. 68, n. 9, p. 2997 - 3010, 1990.

McLEAN, J. A.; TOBIN, G. *Animal and human calorimetry*. Cambridge University Press: Cambridge, UK, 1987, 336p.

MENKE, K. H.; RAAB, L.; SALEWSKI, A. *et al.* The estimation of digestibility and metabolizable energy content of ruminal feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor *in vitro*. *Journal of Agriculture Science*, v. 93, n. 3, p. 217-222, 1979.

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

MICKENHAGEN, R. Produção de feno ao nível do produtor. Workshop sobre o potencial forrageiro do gênero *Cynodon*, 1996, Juiz de Fora. *Anais ... Juiz de Fora: EMBRAPA – CNPGL*, 1996. p. 69 – 75.

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

MITCHELL, R. B.; REDFEARN, D. D.; MOSER, L. E.; *et al.* Relationships between in situ protein degradability and grass developmental morphology. *Journal of Dairy Science*, v. 80, p. 1143-1149, 1997.

MOE, P. W.; TYRRELL, H. F. Estimating metabolizable and net energy of feeds. In: FONNESBECK, P. V.; HARRIS, L. E.; KEARL, L. C. *Procedures...* 1st Int. Symp. on Feed Composition, Animal Nutrient Requirements. and Computerization of diets, Utah State University, Logan, UT. 1976, p. 232-237.

MURRAY, R. M.; BRYANT, A. M.; LENG, R. A. Rates of production of methane in the rumen and large intestines of sheep. *British Journal Nutrition*, v. 36, p. 1-14, 1976.

NAGARAJA TG, NEWBOLD C. J., VAN NEVEL C. J. AND DEMEYER D. I. Manipulation of ruminal fermentation. In: HOBSON P. N.; STEWART, C. S. (ed.) *The rumen microbial ecosystem*, Blackie Academic & Professional, London, UK. 1997, p. 523 - 632.

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

NAVARRO-VILLA, A.; O'BRIEN, M.; LÓPEZ, S.; BOLAND, T. M.; O'KIELY, P. *In vitro* rumen methane output of red clover and perennial ryegrass assayed using the gas production technique (GPT). *Animal Feed Science and Technology*, v. 168, p. 152– 164, 2011.

NOCEK, J. E.; KOHN, R. A. In situ particle size reduction of alfalfa and timothy hay as influenced by form and particle size. *Journal of Dairy Science*, v. 71, p. 932-945, 1988.

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

ODONGO, N.E.; BAGG, R.; VESSIE, G. *et al.* Long-term effects of feeding monensin on methane production in lactating dairy cows. *Journal of Dairy Science*, v. 90, n. 4, p. 1781 – 1788, 2007.

OLIVEIRA, L. B. Produção e valor nutritivo de diferentes forrageiras e de suas silagens. Vitória de Conquista: UESB. 2008. 46p. (Dissertação de mestrado).

ØRSKOV, E.R.; MACLEOD, N.A. Dietary induced thermogenesis and feed evaluation in ruminants. *Proceedings of the Nutrition Society*, v. 49, n. 2, p. 227-237, 1990.

ØRSKOV, E.R.; REID, G. W.; KAY, M. Predicting of intake by cattle from degradation characteristics of roughage. *Tropical Animal Production*, v. 46, n. 1, p. 29-34, 1988.

ØRSKOV, E. R.; HOVELL, F. D. B.; MOULD, F. The use of the náilon bag technique for evaluation of feedstuffs. *Tropical Animal Production* v. 5, p. 195-213, 1980.

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

OTSUK, I. P. et al. Velocidade de secagem de três espécies de forrageiras visando a produção de feno. Disponível em: <<http://www.posgraduacao.ufla.br/>>. Acessado em: 26/10/2013.

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

PINARES-PATIÑO, C.; CLARK, H. Reliability of the sulfur hexafluoride tracer technique for methane emission measurement from individual animals: an overview. *Australian Journal of Experimental Agriculture*, v. 48, p. 223-229, 2008.

PINARES-PATIÑO, C. S.; BAUMONT, R.; MARTIN, C. Methane emissions by Charolais cows grazing a monospecific pasture of timothy at four stages of maturity. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 83, n. 4, p. 769-777, 2003.

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

PIRES, M. B. G.; FREITAS, E. A. G.; TRINDADE, D. S. *et al.* Estabelecimento de um sistema de digestibilidade *in vitro* no Laboratório da Equipe de Pesquisa em Nutrição Animal da Secretaria da Agricultura. *Anuário Técnico do IPZFO*, v. 6, p. 345-385, 1979.

PURCELL, P. J.; O'BRIEN, M.; BOLAND, T. M.; O'KIELY, P. *In vitro* rumen methane output of perennial ryegrass samples prepared by freeze drying or thermal drying (40°C). *Animal Feed Science and Technology*, v. 166-167, p. 175-182, 2011.

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.

QUINN, J. I.; WATH, J. G. van der; MYBURGH, S. Studies on the alimentary tract of merino sheep in South Africa: description of experimental technique. *Journal of Veterinary Science Animal Indian*, v. 11(2), p. 341-360, 1938.

REIS, R. A.; MOREIRA, A. L.; PEDREIRA, M. S. Técnicas para produção e conservação de fenos de forrageiras de alta qualidade. In: SIMPOSIO SOBRE PRODUÇÃO E UTILIZAÇÃO DE FORRAGENS CONSERVADAS, 2001, Maringá. *Anais...* Maringá: UEM/CCA/DZO, 2001. p. 1-39.

REIS, R. A., RODRIGUES, L. R. A. Valor nutritivo das plantas forrageiras. Jaboticabal, 1996, 26 p.

RESENDE, K.T.; TEIXEIRA, I.A.M.A; FERNANDES, M.H.M.R. Metabolismo de energia. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (Eds), Nutrição de Ruminantes. 1.ed., Jaboticabal: FUNEP; 2006. p.323-344.

RIBEIRO JUNIOR, G. O., Características agrônômicas e qualidade das silagens do capim *Andropogon gayanus* em quatro idades de corte e perfil de fermentação da silagem aos 56 dias de crescimento. 2009. 46f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

ROBERTSON L. J.; WAGHORN, G. C. Dairy industry perspectives on methane emissions and production from cattle fed pasture or total mixed rations in New Zealand. *Proceedings of the New Zealand Society Animal Production*, v. 62, p. 213-218, 2002.

ROBINSON, P. H.; FADEL, J. G.; TAMMINGA, S. Evaluation of mathematical models to describe neutral detergent residue in terms of its susceptibility to degradation in the rumen. *Animal Feed Science and Technology*, v. 15, p. 249-271, 1986.

RODRIGUES, A.L.P. Degradabilidade da matéria seca de forrageiras tropicais (*Andropogon gayanus* cv. Planaltina, acessos de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum*) em três épocas de corte (21,42 e 63 dias). Belo Horizonte – UFMG. Escola de Veterinária, 2000. 23 p. (Dissertação de Mestrado).

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

ROSA, B, BORGES, A. J. S Avaliação da melhor idade para fenação do capim *Andropogon* (*Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus* cv. Planaltina). Anais da Escola de Agronomia e Veterinária da UFG. 23(1): 105 – 117, Goiânia jan/dez,1993.

ROSA, B., BORGES, A. J. S., Composição química do capim *Andropogon* (*Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus* cv. Planaltina) em diferentes idades de corte. Anais da Escola de Agronomia e Veterinária da UFG. 17(1): 49 – 58, Goiânia jan/dez,1993.

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

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

SOUZA FILHO, A. P. S., DUTRA, S., SERRÃO, E. A. S. Produtividade estacional e composição química da *Brachiaria humidicola* e pastagem nativa de Campo Cerrado do Estado do Amapá, Brasil. *Pasturas Tropicales*, v.14, n.1, p. 11 – 16, 1992.

TEDESCHI, L. O.; FOX D. G.; TYLUTKI, T. P. Potential environmental benefits of ionophores in ruminant diets. *Journal Environmental Quality*, Madison, v.32, n.7, p.1591-1602, 2003.

THEODOROU, M. K.; WILLIAMS, B. A.; DHANOA, M. S. *et al.* A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetic of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, Amsterdam, v.48, n.2, p.185-197, 1994.

THORPE, A. Enteric fermentation and ruminant eructation: the role (and control?) of methane in the climate change debate. *Climatic Change*, v. 93, n. 3-4, p. 407-431, 2009.

TREI, J.; HALE, W.; THEURER, B. Effect of grain processing on *in vitro* gas production. *Journal of Animal Science*, Champaign, v.30, n.6, p.825-831. 1970.

ULYATT, M. J.; BAKER, S. K.; MCCRABB, G. J.; LASSEY, K. R. Accuracy of SF6 tracer technology and alternatives for field measurements. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 50, p. 1329-1334, 1999.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY - USEPA. Evaluating Ruminant Livestock Efficiency Projects and Programs In: *Peer review draft*. Washington, D.C, 2000, 48p.

VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S. Fermentação ruminal. "In": BERCHIELLI, T.T.; OLIVEIRA, S.G.; PIRES, A.V. Nutrição de Ruminantes. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 583, cap.6, p.151-179.

VAN KESSEL, J. A. S.; RUSSEL, J. B. The effect of pH on ruminal methanogenesis. *FEMS. Microbiology Ecology*, v. 20, p. 205-210, 1996.

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

VAZANT, E.S.; COCHRAN, C.; TITGEMEYER, E.C. Standardization of *in situ* techniques for ruminants feedstuff evaluation. *Journal Animal Science*, v. 76, p. 2717 - 2729, 1998.

VILELA, H. Feno e fenação. Circular n. 2. Belo Horizonte: EMATER-MG. 1977, 38p.

VLAMING, J. B.; BROOKES, I. M.; HOSKIN, S. O.; *et al.* The possible influence of intraruminal sulphur hexafluoride release rates on calculated methane emissions from cattle. *Canadian Journal of Animal Science*, v. 87(2), p. 69-275, 2007.

WEISS, W.P. Estimation of digestibility of forages by laboratory methods. In: FAHEY J. R., G. C.; COLLINS, M. C.; MERTENS, D. R.; MOSER, L. E. (Ed.) Forage quality, evaluation, and utilization. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. 1994, p. 644-681.

WILKINS, J.R. Pressure transducer method for measuring gas production by microorganisms. *Journal of Applied Microbiology*, v.27, p.135-140, 1974.

WILLIAMS, B. A. Cumulative gas production techniques for forage evaluation. In: GIVENS, D. I.; OWEN, E.; AXFORD, R.F.E. et al. (Ed). Forage evaluation in ruminant nutrition. Wallingford: CAB International Publishing, 2000, p.189-214.

WILLIAMS, A.G.; COLEMAN, G.S. The Rumen protozoa. In: HOBSON, H.D. (Ed.) The rumen microbial ecosystem. New York: Elsevier Science, 1988. p. 77-128.

WILSON, J. R.; HATFIELD, R. D. Structural and chemical changes of cell wall types during stem development: consequences for fibre degradation by rumen microflora. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 48, p. 165-180, 1997.

WILSON, J. R.; MERTENS, D. R. Cell wall accessibility and cell structure limitations to microbial digestion of forage. *Crop Science*, v. 35, n. 1, p. 251-259, 1995.

CAPÍTULO III – EXPERIMENTO I

DEGRADABILIDADE *IN SITU* DOS COMPONENTES DO FENO DE CAPIM *Andropogon gayanus* COLHIDO EM DIFERENTES IDADES

3.1 RESUMO

Avaliou – se a degradabilidade *in situ* dos fenos do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de idade. O delineamento estatístico utilizado foi o de blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, tendo cinco animais utilizados como blocos, as três idades como parcelas e sete tempos (0, 3, 6, 12, 24, 48 e 96 horas) de incubação como subparcelas. As médias foram comparadas pelo teste SNK ao nível de 5% de significância. O desaparecimento ruminal médio da matéria seca, matéria orgânica, proteína bruta, fibra em detergente neutro e fibra em detergente ácido, após 96 horas de incubação ruminal, foram maiores ($P < 0,05$) para o feno colhido aos 56 dias, quando comparados aos fenos colhidos aos 84 e 112 dias de idade. O maior potencial e taxa de degradação ruminal dos nutrientes indicam que os melhores fenos de *A. gayanus* são obtidos com a planta colhida aos 56 dias de idade.

Palavras – chave: conservação, gramínea, ruminantes.

3.2 INTRODUÇÃO

O capim *Andropogon* (*Andropogon gayanus* Kunth.) é uma forrageira originária das savanas africanas, sendo caracterizada como uma gramínea com hábito de crescimento cespitoso, vigorosa, atingindo alturas de até 3,0 m, com sistema radicular profundo (algumas raízes podem atingir até 1,2 m), o que lhe confere grande resistência à seca. Adapta – se bem as regiões de altas temperaturas, com 400 a 3000 mm de chuvas anuais e altitudes de até 2000 m. É uma forrageira que apresenta uma ampla adaptação a diferentes tipos de solos, preferindo - os bem drenados, onde tem demonstrado bom ganho produtivo. É pouco exigente em fertilidade de solo, desenvolvendo - se bem em solos com alta saturação de alumínio e com baixos níveis de fósforo (Batista e Godoy, 1995; Alcântara *et al.*, 1981).

Essa gramínea foi introduzida no Brasil pelo Centro de Pesquisa Agropecuário dos Cerrados (Embrapa Cerrados) e após avaliações, foi recomendada para estas regiões recebendo o nome de capim *Andropogon* cultivar Planaltina (Thomas *et al.*, 1981).

O capim *Andropogon* concentra a maior parte da produção de matéria seca durante a estação quente e chuvosa do ano (Pedreira e Matos, 1981). Desse modo, em certas situações, adota-se a prática de conservar parte desta produção, para posteriormente ser utilizada na estação fria (seca), com o intuito de manter uniforme a disponibilidade de volumoso aos animais durante todo o ano (Castro *et al.*, 2007). Baseado neste fato, uma alternativa que vem sendo recomendada neste tipo de situação tem sido a conservação desta forrageira na forma de feno.

A prática da fenação baseia - se em desidratar a forragem de forma rápida e eficiente, com o intuito de paralisar a atividade respiratória das plantas e dos microrganismos contribuindo para a manutenção do valor nutricional da forragem. A fase de desenvolvimento da forrageira é um dos fatores mais importantes para determinar a qualidade do feno, uma vez que, em função do envelhecimento, há marcante redução no valor nutricional das forrageiras tropicais. Todavia, a qualidade do feno depende também das condições ambientais e da manipulação da forragem durante todo o processo de seu preparo (Garcia *et al.*, 1991).

A avaliação do valor nutricional das forrageiras em função da idade pode ser realizada através de diferentes técnicas, sendo o método *in vivo* considerado o mais preciso. Por outro lado, a técnica *in situ* possui a vantagem de ser menos trabalhosa e onerosa, além de utilizar um menor volume de amostra e ser capaz de descrever a degradabilidade ruminal do alimento. Esta metodologia baseia-se no uso de animais fistulados no rúmen e nas medidas do desaparecimento de frações das amostras acondicionadas em sacos mantidos em incubação ruminal por períodos pré-estabelecidos, apresentando altas correlações com os resultados obtidos *in vivo* (Huntington e Givens, 1995).

Dessa forma objetivou - se com este experimento avaliar fenos de *Andropogon gayanus* colhidos em diferentes idades de crescimento (56, 84 e 112 dias) pela técnica de degradabilidade *in situ*.

3.3 MATERIAL E MÉTODOS

3.3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

O ensaio de digestibilidade pela técnica *in situ* foi conduzido na Fazenda da Universidade Federal de Viçosa no Campus Florestal, localizada em Florestal – MG, sendo as análises posteriormente realizadas no Laboratório de Nutrição Animal da Escola de Veterinária da UFMG, localizado em Belo Horizonte – MG.

3.3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foi utilizada uma área com *Andropogon gayanus* já estabelecida em fazenda situada no município de Lagoa Santa – MG. Inicialmente realizou - se análise de solo na área, com posterior correção e adubação. Realizou - se a uniformização da área experimental (a 20 cm do solo) com o uso de roçadeira mecânica. O capim foi cortado e picado aos 56, 84 e 112 dias de idade, sendo posteriormente colocado para secar no campo até que atingisse ponto de feno, sendo em seguida ensacado em sacos de polietileno com capacidade para 60 kg de feno e transportado para as dependências do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG, onde foram armazenados em um galpão até que fossem utilizados.

As amostras com feno do capim *A. gayanus* foram pré-secadas em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 horas. Posteriormente o material foi moído em moinho com peneira de 5,0 mm e usado para o estudo *in situ*.

Foram utilizadas cinco novilhas mestiças fistuladas no rúmen, com peso aproximado de 400 kg, sendo estas previamente vermifugadas. As novilhas foram mantidas em piquetes, onde tiveram livre acesso à água e sal mineral. A limpeza dos cochos (com sal e com concentrado) foi realizada diariamente juntamente com a inspeção dos bebedouros. A dieta dos animais era composta por pasto de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu mais 2 kg de concentrado (18% de PB) por animal.

Os sacos de náilon utilizados no ensaio apresentavam poros de 50 micrômetros (μm) e dimensões de 10 por 20 cm. Eles foram secos a 55°C por 24 horas e tiveram seus pesos registrados. Posteriormente, foram cheios com 5 g de amostra por tratamento, previamente moída a 5,0 mm. Os sacos com as amostras foram atados por presilhas plásticas a um aro metálico, respeitando-se a relação próxima de 16 mg de amostra por cm^2 de área útil de saco de náilon. Este aro foi atado a uma presilha de contenção tipo chaveiro, que manteve três aros, e conseqüentemente, três sacos. Foi utilizada uma corrente com um cilindro de ferro (aproximadamente 150 gramas) funcionando como âncora. Foram utilizados três repetições por cada tratamento de forragem.

Os tempos de incubação foram de 3, 6, 12, 24, 48 e 96 horas. Foram incubados três sacos por tipo de forragem (diferentes idades) para cada um dos tempos. Todos os tratamentos foram incubados ao mesmo tempo. Imediatamente depois de retirados do rúmen, os sacos foram imersos em água fria e posteriormente lavados, manualmente, em água corrente a temperatura ambiente até que a água ficasse límpida. Após a lavagem, os sacos foram colocados em bandejas e armazenados em um freezer (-15°C) até serem processados. Posteriormente todo o material foi levado ao Laboratório de Nutrição Animal da Escola de Veterinária da UFMG e secos em estufa a 55°C com ventilação forçada por 72 horas, sendo então transferidos para um dessecador durante 30 minutos e pesados. Descontando-se o peso do saco vazio e limpo, foi determinado o desaparecimento da matéria pré-seca no rúmen. Após esse procedimento o material restante nos sacos, de mesmo animal, tratamento e período de incubação, foram transformados em um *pool* homogêneo, para posterior moagem a 1,0 mm e armazenados em recipientes plásticos vedados.

Os valores para o tempo zero foram determinados a partir da lavagem manual dos sacos de náilon por 20 minutos em água de torneira. Estes foram fechados e tiveram a mesma quantidade de amostra utilizada para os demais horários de incubação. Após a lavagem os sacos foram secos em estufa a 55°C com ventilação forçada por 72 horas, sendo então transferidos para um dessecador durante 30 minutos e pesados. Dessa forma, foi quantificada a fração solúvel de cada tratamento. Neste caso foram realizadas 5 réplicas por tratamento.

Nos resíduos de incubação ruminal e do tempo zero, bem como no material incubado, foram analisados os valores de matéria seca em estufa a 105°C (Detmann *et al.*, 2012),

matéria mineral em mufla a 600°C, proteína bruta (Método Kjeldhal, de acordo com Detmann *et al.*, 2012), fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) pelo método sequencial de Van Soest *et al.* (1991) no aparelho Fiber analyser ANKOM²²⁰.

3.3.3 PROCEDIMENTO ESTATÍSTICO

Os parâmetros de degradabilidade *in situ* foram obtidos pelo procedimento de MARQUARDT do programa estatístico computacional SAEG (Euclides, 2005).

Os dados das degradações dos constituintes bromatológicos dos fenos foram submetidos a análise de regressão, na qual foram regredidos ao modelo assintótico de primeira ordem proposto por Ørskov e McDonald (1979):

$$DP = a + b(1 - \exp^{-ct})$$

Em que:

DP: representa a degradabilidade ruminal potencial dos alimentos;

a: a fração solúvel;

b: a fração potencialmente degradável da fração insolúvel que seria degradada a uma taxa “c”;

c: a taxa de degradação da fração “b”;

t: o tempo de incubação em horas.

A fração considerada indegradável (I) foi calculada da seguinte forma:

$$I = (100 - (a+b))$$

Em que:

a e b são os mesmos parâmetros citados acima.

Para calcular a degradabilidade efetiva (DE), foi utilizada a equação proposta por Ørskov e McDonald (1979):

$$DE = a + [(b * c)/(c + K)]$$

Em que:

a, b e c são os mesmos parâmetros citados acima;

K: valor correspondente a taxa de passagem. (Neste trabalho foi considerado taxa de passagem (K) de 2%/hora).

Para a análise dos dados de desaparecimento dos componentes nutricionais das amostras foi empregado um delineamento experimental de blocos ao acaso em esquema de parcelas subdivididas, tendo os animais como blocos, as idades das plantas como

parcelas e os tempos de incubação como subparcelas, segundo o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + T_z + D_i + G_j + D * G_{ij} + e_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} = observação “k” no animal “z” da idade ao corte “i” submetido ao tempo de incubação “j”;

μ = média geral;

T_z = efeito do animal “z”, (j = 1, 2, 3, 4 e 5);

D_i = efeito do tempo de incubação “j”, (j = 3, 6, 12, 24, 48 e 96);

G_j = efeito da idade ao corte “i”, (j = 56, 84 e 112);

$D * G_{ij}$ = efeito da interação do tempo de incubação “i” com a idade ao corte “j”;

e_{ijk} = erro experimental.

As análises das médias foram comparadas empregando-se o teste Student-Newman-Keuls (SNK), a 5% de probabilidade. A decomposição da análise de variância seguiu o esquema apresentado na Tabela 1.

Tabela 1. Análise de variância para o delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas

Fontes de variação	Graus de Liberdade
Total	14
Idades de corte (parcelas)	2
Animal (blocos)	4
Erro (A)	8
Total de subparcelas	89
Parcelas	14
Tempos (subparcelas)	5
Idades x Tempos	10
Erro (B)	60

3.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.4.1 COMPOSIÇÃO BROMATOLÓGICA DO FENO DE *Andropogon gayanus*

Os teores de matéria seca (MS) variaram de 81,69% a 87,55% entre as idades de 56 a 112 dias respectivamente (Tabela 2). Valores próximos aos deste experimento foram encontrados por Rosa e Borges (1993) avaliando o efeito da idade sobre a composição química – bromatológica do feno do capim *Andropogon* em quatro diferentes idades de corte (40, 54, 68 e 83 dias), onde foi observado teores de MS que se elevaram com o aumento do intervalo de corte, variando de 84,3 à 86,9% entre as idades de 40 à 83 dias e por Braga *et al* (2008) trabalhando com feno de *Andropogon gayanus* no semi – árido

brasileiro visando a produção de massa verde e o efeito da idade de corte (42, 56, 70, 84 e 98 dias) sobre a sua composição química - bromatológica, onde foram encontrados valores de MS variando de 82,29 à 86,93% entre as idades de 42 à 98 dias respectivamente. Ribeiro Júnior (2009) em sua dissertação de mestrado avaliou as características agronômicas e a qualidade da silagem do capim *Andropogon* em quatro diferentes idades de corte (56, 84, 112 e 140 dias) e também encontrou aumento nos teores de MS à medida que a idade da planta aumentava, sendo o menor valor encontrado aos 56 dias (20,52%) e o maior aos 140 dias (33,82%). Segundo Van Soest (1994) a forrageira quando nova apresenta altos teores de água e à medida que envelhece tende a reduzir este teor, uma vez que ocorrem mudanças em sua composição química, como elevação dos teores de fibra e queda nos teores de proteína bruta (PB), com consequente aumento do teor de MS.

Os valores encontrados de cinzas (MM) variaram de 5,95 a 5,20% entre as idades de 56 à 112 dias (Tabela 2). Rosa e Borges (1987) estudando a composição química do feno do capim *Andropogon* em três diferentes idades de corte (40, 54 e 68 dias) encontraram diminuição do teor de MM (de 6,24 para 5,71%) à medida que os intervalos das idades de corte aumentavam. Gonçalves (1985) avaliando o crescimento e composição química de várias gramíneas entre elas o capim *Andropogon* aos 21 e 63 dias de idade encontrou queda nos teores de MM de 6,14 para 5,22% para as idades de 21 e 63 dias respectivamente. Os valores encontrados nestes trabalhos estão bem próximos aos encontrados em nosso trabalho, onde também observamos declínio da MM com o avanço da idade da planta. Segundo Veiga e Camarão (1984) as folhas geralmente são as partes das plantas mais ricas em minerais, à medida que a planta envelhece ocorre decréscimo na proporção e qualidade das folhas com consequente queda no teor de MM da planta.

Tabela 2. Valores de matéria seca (MS), cinzas (MM), proteína bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), hemiceluloses (HEM), celulose (CEL), lignina (LIG) e extrato etéreo (EE), compostos nitrogenados insolúveis em detergente neutro sobre o teor de nitrogênio total (NIDN/NT) e compostos nitrogenados insolúveis em detergente ácido sobre o teor de nitrogênio total (NIDA/NT), digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) em porcentagem (%) de MS e valores de energia bruta (Mcal/kg) do feno de *Andropogon gayanus*

Idade (dias)	56	84	112
MS	81,69	85,67	87,55
MM	5,95	5,91	5,20
PB	7,27	6,12	4,71
FDN	71,10	73,62	73,54
FDA	42,15	43,32	43,61
HEM	31,44	33,73	33,59
CEL	34,41	33,81	35,72
LIG	5,25	6,08	6,23
EE	2,01	2,38	2,57
NIDN/NT	30,40	42,36	41,12
NIDA/NT	17,01	20,18	24,70
DIVMS	61,9	56,3	48,0
EB	4,07	4,03	4,04

Os teores de proteína bruta (PB) do feno do capim *A. gayanus* encontrados variaram de 7,27% a 4,71% entre as idades de 56 a 112 dias respectivamente (Tabela 2). Resultados de PB superiores ao deste trabalho foram encontrados por outros autores. Souza *et al* (1987) estudando o efeito da idade (26, 64 e 112 dias) sobre a produção e composição química dos fenos de quatro forrageiras tropicais entre elas o capim *Andropogon*, onde encontrou variações de 13,23 a 5,57% para as idades de 26 e 112 dias respectivamente, por Batista e Godoy (1995) estudando a composição química – bromatológica do capim *Andropogon* em três diferentes idades de corte (60, 90, 120 dias), que encontraram variações de 10,9 a 6,2% para as idades de 60 a 120 dias respectivamente e por Rosa e Borges (1993) trabalhando com feno de *A. gayanus* em três diferentes idades de corte (40, 54 e 68 dias) onde encontraram valores de PB variando de 9,04 à 6,38% entre as idades de 40 à 68 dias respectivamente. Os resultados destes trabalhos tiveram em

comum com este o fato de que com o avanço da idade da planta o teor de PB tende a diminuir. Segundo Van Soest (1994), esse efeito de redução protéica é devido principalmente ao aumento da relação haste/folha que ocorre na medida em que a idade da planta forrageira aumenta. O aumento dessa relação ocorre principalmente após o período de floração da planta (aproximadamente 80 dias em capim *Andropogon*), aumentando consequentemente a proporção de caules, tecidos lignificados e constituintes parietais. Inferindo sobre a importância do teor de PB sobre os processos fisiológicos em ruminantes, Gonçalves e Costa (1991) consideram que teores de PB inferiores a 6% são limitantes a produção destes animais, devido a baixos consumos voluntários e menores coeficientes de digestibilidade. Já para Minson (1990) e Van Soest (1994) este seria o nível mínimo estimado de PB para que o alimento tenha adequada fermentação ruminal.

Os valores de fibra em detergente neutro (FDN) encontrados neste trabalho foram de 71,10%, 73,62% e 73,54% para as idades de 56, 84 e 112 dias respectivamente (Tabela 2). Resultados inferiores a estes foram encontrados por Lacerda (2007) avaliando a composição bromatológica e a produtividade do feno do capim *Andropogon* em diferentes idades de rebrota (60, 90 e 120 dias) em sistema silvipastoril onde foram encontrados valores de FDN variando 60,20 a 69,96% entre as idades de 60 a 120 dias respectivamente, por Vilela (2009) avaliando a composição química do feno do capim *Andropogon* aos 60 dias de idade, que encontrou valores médios de FDN de 59,9% e por Rodrigues (2000) estudando a composição química do capim *Andropogon* com 21, 42 e 63 dias que encontrou valores estabilizados de FDN em torno de 64,0%. Os teores de FDN encontrados neste trabalho foram altos se comparados aos outros, podendo isto levar implicações com relação ao consumo do feno da forrageira em questão, pois segundo Minson (1990) e Van Soest (1994) o teor de FDN está relacionado negativamente com o consumo voluntário.

Os valores de fibra em detergente ácido (FDA) encontrados neste trabalho foram de 42,15%, 43,32% e 43,61% para as idades de 56, 84 e 112 dias respectivamente (Tabela 2). Rodrigues *et al* (2004) encontraram valores de FDA de 32,50, 34,61 e 32,71 para o capim *Andropogon* com 21, 42 e 63 dias respectivamente, valores estes inferiores aos encontrados neste trabalho. Teores de FDA próximos ao deste trabalho foram encontrados por Gonçalves (1985), avaliando a composição química – bromatológica do capim *Andropogon* encontrando valores que variaram de 44,18 à 47,79% para as idades de 56 a 140 dias respectivamente e por Mattos (2009) que avaliando a qualidade do capim *Andropogon* encontrou valores de FDA variando de 44,20 à 47,81% para as idades de 60 a 120 dias respectivamente. Segundo Wilson (1994), as forrageiras tendem em aumentar os teores de FDN e FDA com o avanço da maturidade da planta.

Os teores de hemiceluloses encontrados neste experimento ficaram em torno de 33,0%, apresentando pouca variação entre as diferentes idades de corte (Tabela 2). Os valores de celulose encontrados também apresentaram pouca variação ficando em torno de 35% (Tabela 2). Valores bastante próximos a estes foram encontrados por Rodrigues (2000)

estudando a composição química do capim *Andropogon* em diferentes idades (21, 42 e 63 dias), onde encontrou valores médios de hemiceluloses próximos de 31,96% e de celulose próximos de 33,43% e por Barcellos *et al* (2000) estudando 6 gramíneas tropicais entre elas o capim *Andropogon* em diferentes idades de corte (40, 58, 68 e 83 dias), onde encontraram valores médios de hemiceluloses próximos de 33,87% e de 35,67% para celulose. Os teores de ligninas encontrados neste trabalho foram de 5,25%, 6,08% e 6,23% para as idades de 56, 84 e 112 dias respectivamente (Tabela 2). Rodrigues *et al* (2004) estudando a produção e valor nutritivo do capim *Andropogon* encontraram valores próximos a estes (5,19% e 5,84%) para as idades de 42 e 63 dias respectivamente. Ribeiro Júnior (2009) em sua dissertação de mestrado avaliando a produção e qualidade da silagem de capim *Andropogon* em quatro diferentes idades de corte (56, 84, 112 e 140 dias) também encontrou valores de lignina próximos ao deste trabalho, variando de 5,01 à 7,02% entre as idades de 56 à 112 dias respectivamente. O teor de lignina de plantas forrageiras normalmente aumenta com o avanço da idade da planta, o que pode ser comprovado por diversos trabalhos na literatura. De acordo com Minson (1990) altos teores de lignina estão correlacionados com indigestibilidade da porção fibrosa da planta forrageira, uma vez que as ligninas formam barreiras físicas promovidas por formação de ligações covalentes com polímeros das paredes celulares, impedindo a degradação destas pelos microorganismos ruminais. Nota – se que o aumento aproximado de uma unidade percentual no teor de lignina nas idades de 56 a 112 dias, proporciona redução de aproximadamente dez pontos percentuais na DIVMS da forrageira (Tabela 2), demonstrando a influencia do teor de lignina sobre a digestibilidade do alimento.

Com relação a os teores de extrato etéreo (EE), foram encontrados valores bastante próximos entre os três tratamentos, estando estes em torno de 2,0% (Tabela 2). Estes valores já eram esperados, uma vez que segundo Van Soest (1994) as gramíneas tropicais apresentam baixos teores de EE, sendo estes constituídos basicamente de óleos essenciais (pigmentos, ceras, glicolípides e fosfolípides da membrana) e/ou substâncias solúveis em solventes apolares com valores nutricionais irrisórios.

Os valores de compostos nitrogenados insolúveis em detergente neutro sobre o teor de nitrogênio total (NIDN/NT) encontrados neste trabalho foram de 30,40%, 42,36% e 41,12% para as idades de 56, 84 e 112 dias respectivamente (Tabela 2). Já com relação aos valores encontrados de compostos nitrogenados insolúveis em detergente ácido sobre o teor de nitrogênio total (NIDA/NT) estes foram de 19,01%, 24,18% e 27,70% correspondentes às idades de 56, 84 e 112 dias (Tabela 2). Valores superiores as estes foram encontrados por Lacerda (2007) avaliando a composição química do feno do capim *Andropogon* em três diferentes idades de corte (35, 49, 63 dias) em sistemas silvipastoris onde foram encontrados valores de NIDN/NT variando de 45,88 à 58,92% e valores de NIDA/NT oscilando de 20,61% à 28,54% entre as idades de 35 e 63 dias e por Rodrigues *et al* (2004) que encontrou valores de NIDN/NT e NIDA/NT próximos de 48,8% e 28,8% respectivamente quando estudaram a composição química do capim

Andropogon gayanus em três diferentes idades de corte (21, 43 e 63 dias). Segundo Sniffen *et al* (1992) a fração NIDN consiste de compostos nitrogenados associados à parede celular vegetal, apresentando, dessa forma, degradabilidade lenta no rúmen. Já com relação a fração NIDA, esta consiste de compostos nitrogenados associados à lignina e taninos, sendo estes altamente resistentes à ação de enzimas microbianas e intestinais. Com o aumento da idade de corte da forrageira, a tendência é que ocorram maiores associações entre compostos nitrogenados e as paredes celulares presentes na planta, ocorrendo dessa forma uma diminuição da digestibilidade desses compostos devido à formação de complexos resistentes à ação das enzimas microbianas e intestinais.

Os valores de digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) do feno de capim *Andropogon* variaram de 60,9% à 48,0% para as idades de 56 à 112 dias respectivamente (Tabela 2). Resultados próximos a estes foram encontrados por Hagar (1970) que encontrou valores de DIVMS para o capim *Andropogon* antes do florescimento em torno de 63%, permanecendo este níveis praticamente inalterados até perto do florescimento e por Batista e Godoy (1993) avaliando a DIVMS do capim *Andropogon* em três diferentes idades de corte (60, 90 e 120 dias) encontrando valores variando de 64,3% à 51% para as idades de 60 à 120 dias. Segundo McDonald *et al* (1981) a redução da DIVMS com o avanço da maturidade da planta é decorrente do aumento proporcional de carboidratos estruturais na planta forrageira, sendo que estes possuem menor digestibilidade do que as frações solúveis. Além disso, com o avançar da idade da planta ocorre redução do teor de PB que quando inferior a 6% pode comprometer a fermentação ruminal e conseqüentemente a digestibilidade da planta forrageira.

Foram encontrados valores de energia bruta (EB) neste trabalho de 4,07, 4,03 e 4,04 Mcal/kg para as idades de 56, 84 e 112 dias respectivamente (Tabela 2). Resultados próximos a estes foram encontrados por Rosa e Borges (1993) avaliando a composição química – bromatológica do feno de *Andropogon gayanus*, encontrado valores em torno de 4,10 Mcal/kg para as idades de 49, 54 e 68 dias e por Vilela (2009) trabalhando com feno de *A. gayanus* que relatou valores de energia bruta próximos de 4,03 Mcal/kg para a idade de 63 dias. De acordo com Nunes (1998) a EB é o ponto de partida para denominação de toda a energia utilizada pelos animais, sendo, portanto uma característica de grande valia na avaliação nutricional dos alimentos.

3.4.2 DESAPARECIMENTO RUMINAL DA MATÉRIA SECA

Observou-se que no período inicial de incubação ruminal de 0 e 3 horas (Tabela 3), os fenos colhidos nas três diferentes idades (56, 84 e 112 dias) apresentam valores semelhantes ($p>0,05$) de desaparecimento ruminal da matéria seca (DRMS). É provável que a maior parte do DRMS neste tempo deva - se ao escape de pequenas partículas dos fenos pelos poros dos sacos de incubação.

Tabela 3. Desaparecimento ruminal médio (%) da matéria seca dos fenos do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.

Tempo (horas)	Idade de Corte		
	56 dias	84 dias	112 dias
00	17,5 ^a	19,4 ^a	19,0 ^a
03	24,9 ^a	21,4 ^a	20,3 ^a
06	31,8 ^a	26,5 ^b	26,7 ^b
12	45,2 ^a	37,5 ^b	35,6 ^b
24	54,2 ^a	48,9 ^b	46,8 ^b
48	69,3 ^a	59,2 ^b	58,7 ^b
96	74,0 ^a	69,4 ^b	68,4 ^b

Médias seguidas por letras minúsculas na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste SNK (P<0,05). CV (coeficiente de variação): 4,5%

A partir do tempo de incubação de 6 até 96 horas, o feno colhido aos 56 dias apresentou valores de DRMS superiores (p<0,05) aos encontrados para os fenos colhidos aos 84 e 112 dias, que foram semelhantes entre si.

A DRMS tende a ocorrer em menor proporção nos tempos iniciais de incubação ruminal uma vez que estes materiais são ricos em fibras, possuindo neste caso 71,10, 73,62 e 75,54% de FDN nas idades de 56, 84 e 112 dias respectivamente (Tabela 2). Segundo Van Soest (1994) para que haja degradação ruminal das porções fibrosas é necessário que os microorganismos ruminais (principalmente bactérias) estejam aderidos às partículas do alimento, o que demanda tempo para ocorrer. Graças a este fator, maiores proporções e diferenças nas taxas de degradação ruminal tendem a ser encontrados nos maiores tempos de incubação *in situ* quando avalia - se forrageiras.

Rodrigues *et al.* (2004) avaliando a degradabilidade ruminal do *Andropogon gayanus* colhido aos 63 dias de crescimento encontraram o valor de 72,2% de DRMS para o tempo de incubação ruminal de 96 horas, valor este bastante próximo ao encontrado no feno colhido aos 56 dias do presente trabalho.

As equações geradas pelas análises de regressão ao modelo de Ørskov e McDonald (1979) dos dados de degradação ruminal da MS dos fenos do capim *Andropogon gayanus* em diferentes idades de colheita, estão apresentados na Tabela 4. Os altos valores dos coeficientes de determinação encontrados, indicam a boa adequação dos resultados de desaparecimento de MS ao modelo proposto por Orskov e McDonald (1979).

Tabela 4. Equações de descrição da cinética de degradação ruminal da matéria seca dos fenos do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.

Idade de corte	Equação	R ²
56 dias	DP = 19,9 + 55,5 (1 - exp ^{-(0,0410 x t)}]	0,98
84 dias	DP = 21,0 + 52,4 (1 - exp ^{-(0,0350 x t)}]	0,97
112 dias	DP = 21,9 + 49,0 (1 - exp ^{-(0,0310 x t)}]	0,96

Onde DP: representa a degradabilidade ruminal potencial dos alimentos; t: o tempo de incubação em horas e R²: coeficiente de determinação.

Segundo Sampaio (1988) valores de *c* menores que 0,01 indicam inadequação do modelo adotado aos valores de degradabilidade observados ou respostas atípicas (erro experimental). Como os valores observados foram maiores que 0,01 para *c*, pode-se concluir que os valores observados de degradabilidade se adequaram ao modelo de Ørskov e McDonald (1979).

Observa-se na Tabela 5 que os valores da fração *a* encontrados para os fenos colhidos nas três diferentes idades de crescimento foram próximos, sendo maior para o feno colhido aos 112 dias de idade, seguido respectivamente pelo colhido aos 84 e 56 dias. É possível que estes resultados sejam influenciados ao escape de pequenas partículas dos fenos pelos poros dos sacos de incubação no tempo zero (Tabela 3).

Tabela 5. Valores médios de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da matéria seca dos fenos do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de idade.

Parâmetros	Idade de Corte		
	56 dias	84 dias	112 dias
a (%)	19,9	21,0	21,9
b (%)	55,5	52,4	49,0
c (%/h)	4,10	3,50	3,10
a+b (%)	75,4	73,4	70,9
I (%)	24,6	26,6	29,1
DEMS 2,0%/h (%)	57,2	54,3	51,7

Onde a = fração rapidamente degradável, b = fração potencialmente degradável e c = taxa constante de degradação da fração b, I = fração indegradável e DEMS 2,0%/h = degradabilidade efetiva da matéria seca nas taxas de passagem ruminal de 2%/hora.

Com relação à fração potencialmente degradável (*b*), verifica-se que esta foi maior para o feno colhido aos 56 dias de idade em relação às outras duas idades. Observa-se também que a fração (*b*) do feno colhido aos 84 dias foi superior ao colhido aos 112 dias de idade, o que vem a demonstrar que fenos produzidos com plantas mais novas tendem a possuir maior proporção de MS degradada pela fermentação ruminal.

Resultados próximos ao deste trabalho foram encontrados por Moreira (2010) avaliando o feno de *A. gayanus* colhido em 4 diferentes idades entre elas as de 56, 84, 112 dias (sendo os respectivos valores para estas idades de 18,9%, 20,0% e 20,9% – fração *a* e de 56,8%, 52,9% e 49,2% – fração *b*) e por Lacerda (2007) trabalhando com esta forrageira verde colhida aos 35 e 63 dias de crescimento em sistema silvipastoril, onde encontrou

valores para a fração a de 18,78% e 20,28% e para a fração b de 57,25% e 54,28% respectivamente.

Quanto a taxa constante de degradação da matéria seca (c) foi verificado maior taxa de degradação para o feno referente à idade de 56 dias, e a menor taxa sendo registrada para o feno colhido aos 112 dias (Tabela 5). Fato este lógico, uma vez que, taxas de degradação tendem a reduzir com o avançar da idade da forrageira devido ao aumento dos compostos de mais difícil degradação e dos indegradáveis, sendo representados em sua maioria pelas porções fibrosas e pela lignina. Esses compostos tendem a aumentar a partir do desenvolvimento da parede celular secundária das forrageiras, sendo essa a responsável por conferir maior rigidez às plantas a medida que estas envelhecem. (Taiz e Zeiger, 2004).

Os valores de c encontrados neste trabalho variaram de 4,20 a 3,10%/h, sendo estes superiores aos encontrados por Ribeiro Júnior (2013) trabalhando com silagens de capim *A. gayanus* colhido nas idades de 56, 84 e 112 dias que encontrou valores de c variando de 3,1 a 2,4%/h. Já Moreira (2010) avaliando o feno de *A. gayanus* colhido em 4 diferentes idades, entre elas 56, 84, 112 dias, encontrou valores de c próximos ao deste trabalho, variando de 4,2% a 3,5%/h.

É importante ressaltar que os valores de c encontrados nesse trabalho estão dentro do intervalo observado por Sampaio (1992) em fenos de gramíneas tropicais, onde foram observados valores variando de 5,0% a 3,0%/h.

Segundo Borges (1997), as forragens mais digestíveis apresentam valores mais altos da fração potencialmente degradável ($a+b$), que necessitam também de mais altos valores de taxa de degradação (c), para que alcancem o potencial máximo de degradação em menor tempo (fato este evidenciado na Tabela 5). Para Sampaio (1988), o potencial máximo de degradação e a taxa de degradação são os principais parâmetros na qualificação de uma forragem. Um elevado valor de $a+b$ indica um material muito degradável, ao passo que um maior valor de c implica em menor tempo para o desaparecimento da fração potencialmente degradável, sendo que forragens de boa qualidade devem apresentar taxas de degradação superiores a 2%/h.

Neste trabalho foram observados valores negativos para o TC, o que não representa uma resposta biológica, e por isso, não estão descritos. Entretanto, por ser uma equação matemática valores sem significado biológico podem ser encontrados, como descrito nos trabalhos de Lara (1999), Souza (2001), Ramirez (2011) e Velasco (2011). O tempo de colonização (TC) está relacionado à adesão dos microorganismos ruminais ao substrato e a capacidade de hidratação deste no meio aquoso, sendo que fatores como o tipo de alimento, a idade das forrageiras e o tamanho de partícula do alimento interferem nos valores do TC.

A degradabilidade efetiva da matéria seca (DEMS) calculada para a taxa de passagem de 2,0%/h foi superior para o tratamento com o feno colhido aos 56 dias de idade (57,5%), seguido pelas idades de 84 e 112 dias (com valores de 54,3 e 51,7% respectivamente).

Os valores obtidos para DEMS, a uma taxa de passagem de 2%/hora (taxa esta recomendada para a avaliação de forrageiras) apresentou valores condizentes com os encontrados por Cavalcanti (2010) trabalhando com estes mesmos fenos em um experimento de consumo e digestibilidade aparente. Este autor encontrou valores de digestibilidade aparente da matéria seca (DAMS) de 60,7%, 54,7% e 45,6%, valores próximos aos encontrados neste trabalho para as idades de 56 e 84 dias e inferior ao encontrado para a DEMS do feno colhido aos 112 dias de crescimento.

Moreira (2010) avaliando o feno de *A. gayanus* colhido em 4 diferentes idades (56, 84, 112 e 140 dias) encontrou valores para a DEMS, a uma taxa de passagem de 2%/hora de 55,0, 55,9 e 52,2% para as respectivas idades de 56, 84 e 112 dias, estando estes bem próximos aos encontrados no respectivo trabalho.

Quando os valores DEMS dos fenos avaliados são comparados com os valores de digestibilidade *in vitro* (DIVMS), presentes na Tabela 2, observou-se que estes estão próximos em todas as idades avaliadas.

A redução da degradabilidade da MS em função da idade tem sido relatada por diversas forrageiras tropicais, entre elas o capim *Andropogon* (*Andropogon gayanus*) (Ribeiro Júnior, 2013; Moreira, 2010), *Brachiaria decumbens* (Ramirez, 2011; Velasco, 2011), Tifton 85 (*Cynodon dactylon x Cynodon nlemfuensis*) (Carvalho, 2012), capim Tanzânia (*Panicum maximum*) (Castro, 2008), *Brachiaria brizantha* (Rodrigues *et al.*, 2004), capim Guatemala (*Tripsacum dactyloides* L) (Coblentz *et al.*, 1998) e pelo capim elefante (*Pennisetum purpureum*) (Teixeira, 2013; Silva *et al.*, 2008). Essa redução da degradabilidade da MS com a maturidade da planta pode ser explicada pelo aumento da relação haste/folha e declínio da qualidade dos componentes da haste (Wilson e Hatfield, 1997). As hastes apresentam em sua composição tecidos vegetais de menor taxa de degradação ruminal (esclerênquima e xilema) (Wilson e Hatfield, 1997). Estes são tecidos vegetais de sustentação e vasculares, que possuem células densamente agrupadas com paredes espessas e lignificadas, de difícil degradação pelos microorganismos ruminais (Wilson e Mertens, 1995).

3.4.3 DESAPARECIMENTO RUMINAL DA MATÉRIA ORGÂNICA

Observou-se que no período inicial de incubação ruminal de 0 e 3 horas (Tabela 6), os fenos colhidos nas três diferentes idades (56, 84 e 112 dias) apresentam valores semelhantes ($p > 0,05$) de desaparecimento ruminal da matéria orgânica (DRMO). A semelhança encontrada para a DRMO dos fenos nos tempos iniciais de incubação podem ser explicados pelos mesmos motivos encontrados para a DRMS.

Tabela 6. Desaparecimento ruminal médio (%) da matéria orgânica dos fenos do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.

Tempo (horas)	Idade de Corte		
	56 dias	84 dias	112 dias
00	15,8 ^a	17,0 ^a	17,9 ^a
03	23,9 ^a	20,5 ^a	19,3 ^a
06	27,5 ^a	22,2 ^b	22,7 ^b
12	41,8 ^a	34,2 ^b	31,9 ^b
24	51,3 ^a	46,1 ^b	44,0 ^b
48	67,2 ^a	56,7 ^b	56,2 ^b
96	73,3 ^a	67,4 ^b	66,4 ^b

Médias seguidas por letras minúsculas na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste SNK (P<0,05). CV (coeficiente de variação): 4,1%

A partir do tempo de incubação de 6 até 96 horas, o feno colhido aos 56 dias apresentou valores de DRMO superiores (p<0,05) aos encontrados para os fenos colhidos aos 84 e 112 dias, que foram semelhantes entre si.

As mesmas diferenças apresentadas referentes à DRMS (Tabela 3) foram observadas para a DRMO (Tabela 6).

Para o tempo de incubação de 96 horas houve uma variação de 73,3 a 66,4%, reduzindo-se com o avançar da idade, ocorrendo efeito da idade da forrageira sobre a DRMO.

Verificou – se que os parâmetros de DRMO, apresentados na Tabela 6, seguiram comportamento semelhante ao descrito para a DRMS, possivelmente isto se deva a uma possível correlação existente entre estas duas variáveis, fato este evidenciado nos trabalhos de Ramirez (2011) e Ribeiro Júnior (2013).

Ramirez (2011) e Carvalho (2012) encontraram valores para a DRMO no tempo de incubação de 96 horas, variando de 75,3% a 64,4% e de 76,6% a 63,0% respectivamente, sendo os maiores valores encontrados referente a idade mais jovem (56 dias), resultado também encontrado em nosso trabalho (Tabela 6).

As equações geradas pelas análises de regressão ao modelo de Ørskov e McDonald (1979) dos dados de degradação ruminal da MO dos fenos do capim *Andropogon gayanus* em diferentes idades de colheita, estão apresentados na Tabela 7. Os altos valores dos coeficientes de determinação encontrados, indicam a boa adequação dos resultados de desaparecimento de MO ao modelo proposto por Ørskov e McDonald (1979)

Tabela 7. Equações de descrição da cinética de degradação ruminal da matéria orgânica dos fenos do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.

Idade de corte	Equação	R ²
56 dias	DP = 16,9 + 58,2 (1 - exp ^{-(0,0390 x t)}]	0,96
84 dias	DP = 18,2 + 54,6 (1 - exp ^{-(0,0310 x t)}]	0,95
112 dias	DP = 18,5 + 51,4 (1 - exp ^{-(0,0290 x t)}]	0,96

Onde DP: representa a degradabilidade ruminal potencial dos alimentos; t: o tempo de incubação em horas e R²: coeficiente de determinação.

Observou-se na Tabela 8 que os valores da fração *a* encontrados para os fenos colhidos nas três diferentes idades de crescimento foram próximos, sendo maior para o feno colhido aos 112 dias de idade, seguido respectivamente pelo colhido aos 84 e 56 dias. É possível que estes resultados sejam influenciados ao escape de pequenas partículas dos fenos pelos poros dos sacos de incubação no tempo zero (Tabela 6).

Tabela 8. Valores médios de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da matéria orgânica dos fenos do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de idade.

Parâmetros	Idade de Corte		
	56 dias	84 dias	112 dias
a (%)	16,9	18,2	18,5
b (%)	58,2	54,6	51,4
c (%/h)	3,90	3,10	2,90
a+b (%)	75,1	72,8	69,9
I (%)	24,9	27,2	30,1
DEMO 2,0%/h (%)	55,4	51,4	48,9

Onde a = fração rapidamente degradável, b = fração potencialmente degradável e c = taxa constante de degradação da fração b, I = fração indegradável e DEMO 2,0%/h = degradabilidade efetiva da matéria seca nas taxas de passagem ruminal de 2%/hora.

Com relação à fração potencialmente degradável (*b*), verificou – se que esta foi maior para o feno colhido aos 56 dias de idade em relação as outras duas idades. Observa – se também que a fração (*b*) do feno colhido aos 84 dias foi superior ao colhido aos 112 dias de idade, o que vem a demonstrar que fenos produzidos com plantas mais novas tendem a possuir maior proporção de MO degradada pela fermentação ruminal.

Quanto a taxa constante de degradação da matéria orgânica (*c*) foi verificado maior taxa de degradação para o feno referente à idade de 56 dias (3,90%/h), e a menor taxa sendo registrada para o feno colhido aos 112 dias (2,90%/h) (Tabela 8).

Estas taxas estão próximas as encontradas por Sousa (2009) que avaliando *Brachiaria brizantha* colhidas em várias épocas do ano por meio da técnica *in situ* encontrou taxas constantes de degradação da matéria orgânica (*c*) variando de 3,60 a 2,23%/hora e por Ramirez (2011) que trabalhando com feno de *B. decumbens* nas mesmas idades do nosso trabalho encontrou valores de (*c*) variando de 3,49 a 2,63%/h.

Quanto as frações indegradáveis o feno colhido aos 56 dias de crescimento, estas apresentaram o menor valor (24,9%), seguido pelos fenos colhidos aos 84 e 112 dias respectivamente.

Para os valores referentes à degradabilidade efetiva da matéria orgânica (DEMO) ocorreu uma redução com o avançar da idade de corte, podendo esta estar relacionada à menor taxa de degradação ocasionada pelas características de senescência das forrageiras (Tabela 8).

A DEMO calculadas para a taxa de passagem de 2,0%/h para os fenos de capim *A. gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias foram superiores às observadas por Ribeiro Júnior (2013) trabalhando com silagens deste capim colhido nas mesmas idades deste trabalho, que encontrou valores variando de 43,7 a 43,1%. É possível que a menor degradabilidade das silagens de capim *A. gayanus* em comparação aos fenos esteja relacionada a degradação de nutrientes (carboidratos solúveis e parte das hemiceluloses) durante o processo de fermentação da silagem.

Ramirez (2011) relatou valores da fração potencialmente degradável no rúmen da matéria orgânica variando de 61,4 a 53,5%, sendo estes valores superiores aos deste trabalho (Tabela 8).

3.4.4 DESAPARECIMENTO RUMINAL DA PROTEÍNA BRUTA

O desaparecimento ruminal da proteína bruta (DRPB), foram maiores ($p < 0,05$) para o feno colhido aos 56 dias de crescimento em comparação aos colhidos com 84 e 112 dias, que foram semelhantes entre si ($p > 0,05$), exceto nos tempos de 24 e 48 horas (Tabela 9). A maior DRPB encontrada em forrageiras mais jovens pode estar relacionada à maior participação de fontes de nitrogênio não proteico e de proteínas de maior solubilidade.

Tabela 9. Desaparecimento ruminal médio (%) da proteína bruta dos fenos do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.

Tempo (horas)	Idade de Corte		
	56 dias	84 dias	112 dias
00	32,7 ^a	22,1 ^b	21,7 ^b
03	38,1 ^a	30,5 ^b	27,4 ^b
06	46,9 ^a	35,3 ^b	34,0 ^b
12	55,1 ^a	40,0 ^b	39,5 ^b
24	63,8 ^a	54,7 ^b	44,6 ^c
48	78,7 ^a	63,9 ^b	52,8 ^c
96	83,5 ^a	70,7 ^b	65,7 ^b

Médias seguidas por letras minúsculas na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste SNK ($P < 0,05$). CV (coeficiente de variação): 7,1%

Castro (2008) encontrou valores da DRPB para a silagem de capim Tanzânia obtida a partir da idade de corte de 43 dias nos tempos de incubação de 6 horas (50,5%), 12 horas (58,2%) e 24 horas (63,9%), estando próximos aos encontrados neste trabalho

para o feno colhido aos 56 dias nos mesmos tempos de incubação (Tabela 9). Este mesmo autor encontrou valores da DRPB no tempo de incubação de 96 horas variando de 76,6 a 54,9%, ocorrendo redução desta variável com o avançar da idade da forrageira, como evidenciado em nosso trabalho.

Resultados semelhantes foram encontrados por Ramirez (2011) e Velasco (2011) que registraram valores para a DRPB no tempo de incubação de 96 horas, variando de 81,5 a 62,4% e de 77,5 a 57,4% respectivamente, sendo os maiores valores referentes a idade mais jovem (56 dias).

A degradação da proteína no rúmen pode ser afetada por vários fatores, como a composição química e física da proteína bruta (relação entre nitrogênio não protéico e proteína verdadeira, a estrutura tridimensional da molécula de proteína, a presença de ligações dissulfeto), a atividade proteolítica microbiana, o acesso microbiano à proteína, o tempo de retenção do alimento no rúmen, o pH ruminal, o processamento do alimento e a temperatura ambiente (Santos e Pedroso, 2011).

Segundo Sniffen *et al.* (1992) a fração de nitrogênio ligado à fibra insolúvel em detergente ácido (NIDA) consiste de compostos nitrogenados associados a lignina, taninos, produtos da reação de Maillard, sendo estes resistentes a ação das enzimas microbianas e intestinais. Essa fração pode aumentar com o avançar da idade de corte da planta, com o tipo de forrageira, e com as condições ambientais durante o desenvolvimento da forrageira, proporcionando diferentes valores da DRPB, fato este encontrado neste trabalho.

As equações geradas pelas análises de regressão ao modelo de Ørskov e McDonald (1979) dos dados de degradação ruminal da PB dos fenos do capim *Andropogon gayanus* em diferentes idades de colheita, estão apresentados na Tabela 10. Os altos valores dos coeficientes de determinação encontrados, indicam a boa adequação dos resultados de desaparecimento de PB ao modelo proposto por Ørskov e McDonald (1979).

Tabela 10. Equações de descrição da cinética de degradação ruminal da proteína bruta dos fenos do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.

Idade de corte	Equação	R ²
56 dias	DP = 34,9 + 52,2 (1 - exp ^{-(0,0379 x t)})	0,96
84 dias	DP = 23,2 + 50,6 (1 - exp ^{-(0,0321 x t)})	0,99
112 dias	DP = 22,5 + 46,4 (1 - exp ^{-(0,0239 x t)})	0,95

Onde DP: representa a degradabilidade ruminal potencial dos alimentos; t: o tempo de incubação em horas e R²: coeficiente de determinação.

A fração rapidamente degradável da proteína bruta (*a*) foi maior para o feno colhido aos 56 dias de crescimento, seguido pelos colhidos aos 84 e 112 dias que apresentaram

valores bem próximos entre si (Tabela 11). As folhas são as partes da planta que apresentam mais rápida degradação, concentrando grande parte de sua proteína. Seguramente o valor encontrado para o feno colhido aos 56 dias deve - se ao fato deste material apresentar uma maior relação folha:colmo em comparação aos outros fenos, o que é esperado uma vez que a medida que as forrageiras envelhecem reduzem o peso das folhas em relação ao dos colmos. Além disso, a maior proporção colmo:folha encontrada em forrageiras mais velhas, faz com que plantas fenadas passem por maior tempo de secagem até alcançarem ponto de feno, requerendo assim um maior revolvimento. Isso faz com que uma maior quantidade de folhas possam ser perdidas durante o processo de fenação, reduzindo, conseqüentemente, a proporção de PB originária das folhas, levado a um impacto direto sobre este parâmetro.

Tabela 11. Valores médios de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da proteína bruta dos fenos do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de idade.

Parâmetros	Idade de Corte		
	56 dias	84 dias	112 dias
a (%)	34,9	23,2	22,5
b (%)	52,2	50,6	46,4
c (%/h)	3,79	3,21	2,39
a+b (%)	87,1	73,8	68,9
I (%)	12,9	26,2	31,1
DEPB 2,0%/h (%)	69,1	54,4	47,8

Onde a = fração rapidamente degradável, b = fração potencialmente degradável e c = taxa constante de degradação da fração b, I = fração indegradável e DEPB 2,0%/h = degradabilidade efetiva da proteína bruta nas taxas de passagem ruminal de 2%/hora.

Observou-se que a fração potencialmente degradável da proteína bruta (*b*) variou de 52,2% a 46,4%, ocorrendo redução com o avançar da idade de corte (Tabela 11), sendo este fenômeno relacionado ao aumento da proporção de nitrogênio ligado às frações fibrosas na forma de NIDN e NIDA (Tabela 2). As interações entre proteína e lignina podem aumentar com o avançar da idade de corte, ocasionando uma redução na fração (*b*) e na (*a*).

Em relação à taxa constante de degradação (*c*) houve uma variação de 3,79% a 2,39%/hora, sendo que maiores taxas estão associadas aos fenos colhidos mais precocemente (Tabela 11).

A degradabilidade efetiva da proteína bruta (DEPB) nas taxas de passagem ruminal de 2%/hora foi maior para o feno colhido aos 56 dias de crescimento, seguido pelos colhidos aos 84 e 112 dias respectivamente (Tabela 11).

A DEPB calculadas para a taxa de passagem de 2,0%/h para os fenos de capim *A. gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias foram superiores às observadas por Ribeiro Júnior (2013) trabalhando com silagens deste capim colhido nas mesmas idades deste trabalho, encontrando valores variando de 40,1% a 28,7% e por Ramirez (2011) que trabalhou com fenos de *B. decumbens* e encontrou valores variando de 65,1 a 46,4%.

Quando se analisa a taxa de passagem de 2%/hora, que é a esperada para ruminantes consumindo apenas volumosos observou-se que estes valores são superiores aos reportados por Cavalcanti (2010) para a digestibilidade aparente da proteína bruta (DAPB) deste mesmo material em carneiros, que foi de 55,69%, 41,10% e 26,99% para os fenos obtidos com as plantas nas idades de 56, 84 e 112 dias de crescimento. Rosa, Rocha e Silva (1983) trabalhando com os fenos de *A. gayanus* colhidos nas idades de 60, 90 e 120 dias encontraram valores de DAPB de 52,6%, 48,3% e 42,8%, valores também inferiores aos encontrados neste trabalho.

Deve - se levar em consideração o fato de que os dois experimentos citados acima foram baseados na DAPB, sendo esta calculada pela diferença da quantidade de PB do material consumido e da excretada nas fezes dos animais. Porém, a PB presente nas fezes dos animais não é composta apenas da proteína digestível dos alimentos, também estão presentes proteínas de origem endógena, proveniente das secreções e descamações celulares do trato digestivo dos animais. Por isso os valores de DAPB são menores que os encontrados para a DEPB na técnica de avaliação de alimentos pela incubação *in situ*. A mensuração da DRPB, e a inferência da DEPB, é uma vantagem que a técnica de incubação *in situ* apresenta sobre a técnica *in vivo* na mensuração do aproveitamento da PB por parte dos ruminantes.

3.4.5 DESAPARECIMENTO RUMINAL DA FIBRA EM DETERGENTE NEUTRO

Observou-se que não houve diferença significativa entre os fenos produzidos nas diferentes idades para a degradabilidade ruminal da fibra em detergente neutro (DRFDN) nos tempos de incubação de 0 a 6 horas ($P>0,05$) (Tabela 8). A partir de 12 horas o feno colhido com 56 dias apresentou maiores DRFDN ($p<0,05$) em relação aos fenos colhidos nas idades de 84 e 112 dias, que foram semelhantes entre si ($p>0,05$).

Segundo Van Soest (1994) à medida que a planta atinge maturidade ocorre incremento na síntese de polímeros estruturais depositados nas células vegetais, principalmente lignina, interferindo negativamente na DRFDN, fato este que pode estar relacionado ao atual trabalho.

Tabela 12. Desaparecimento ruminal médio (%) da fibra em detergente neutro dos fenos do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.

Tempo (horas)	Idade de Corte		
	56 dias	84 dias	112 dias
00	11,2 ^a	12,2 ^a	11,0 ^a
03	19,9 ^a	16,3 ^a	17,2 ^a
06	21,2 ^a	17,1 ^a	18,2 ^a
12	37,1 ^a	30,5 ^b	28,8 ^b
24	47,0 ^a	41,4 ^b	39,6 ^b
48	61,7 ^a	51,7 ^b	50,6 ^c
96	72,7 ^a	63,5 ^b	62,3 ^b

Médias seguidas por letras minúsculas na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste SNK ($P<0,05$). CV (coeficiente de variação): 5,6%

A perda de FDN no tempo zero seguramente deva - se ao escape de pequenas partículas através dos poros dos sacos de incubação, uma vez que porções fibrosas não são prontamente solubilizadas, configurando - se em um dos problemas da técnica *in situ* quando são avaliadas porções fibrosas em forrageiras.

Para que a fibra seja degradada no ambiente ruminal há a necessidade de que a microbiota presente tenha se aderido às suas partículas, sendo a diferença da DRFDN somente percebida a partir do tempo de 12 horas.

Ramirez (2011) avaliando feno de *Brachiria decumbens* relatou valores da DRFDN para os tempos de incubação de 6 horas (24,2 a 20,1%), 12 horas (40,1 a 31,8%), 24 horas (40,1 a 31,8%), 48 horas (64,7 a 53,6%) e 96 horas (75,7 a 65,3%) superiores aos apresentados em nosso trabalho (Tabela 12).

A fração fibrosa insolúvel em detergente neutro é constituída por polímeros de hemiceluloses, celulose e lignina. Após a colonização dessa fração pelos microorganismos ruminais, será degradada a fração potencialmente digestível (constituída por hemiceluloses e celulose digestíveis). Já no resíduo indigestível desta fração espera-se encontrar partes das hemiceluloses e da celulose que estejam intimamente associadas à lignina, além da lignina isolada (Rodrigues e Vieira, 2011). Com o avanço do estágio de maturação (idade de corte) ocorreu aumento do resíduo indigestível da fração fibrosa insolúvel em detergente neutro, o que contribui para a redução da DRFDN (Tabela 12).

As equações geradas pelas análises de regressão ao modelo de Ørskov e McDonald (1979) dos dados de degradação ruminal da FDN dos fenos do capim *Andropogon gayanus* em diferentes idades de colheita, estão apresentados na Tabela 13. Os altos valores dos coeficientes de determinação encontrados, indicam a boa adequação dos resultados de desaparecimento da FDN ao modelo proposto por Ørskov e McDonald (1979).

Tabela 13. Equações de descrição da cinética de degradação ruminal da fibra em detergente neutro dos fenos do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.

Idade de corte	Equação	R ²
56 dias	DP = 12,5 + 64,8 (1 - exp ^{-(0,0383 x t)}]	0,99
84 dias	DP = 13,2 + 60,4 (1 - exp ^{-(0,0339 x t)}]	0,96
112 dias	DP = 12,1 + 58,1 (1 - exp ^{-(0,0303 x t)}]	0,98

Onde DP: representa a degradabilidade ruminal potencial dos alimentos; t: o tempo de incubação em horas e R²: coeficiente de determinação.

Observou-se na Tabela 14 que os valores da fração rapidamente degradável (*a*) encontrados para os fenos colhidos nas três diferentes idades de crescimento foram próximos, sendo maior para o feno colhido aos 84 dias de idade, seguido respectivamente pelo colhido aos 56 e 112 dias. É possível que estes resultados sejam

influenciados pelo escape de pequenas partículas dos fenos pelos poros dos sacos de incubação no tempo zero (Tabela 12).

Tabela 14. Valores médios de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da fibra em detergente neutro dos fenos do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de idade.

Parâmetros	Idade de Corte		
	56 dias	84 dias	112 dias
a (%)	12,5	13,2	12,1
b (%)	64,8	60,4	58,1
c (%/h)	3,83	3,39	3,03
a+b (%)	77,3	73,6	70,2
I (%)	22,7	26,4	29,8
DEFDN 2,0%/h (%)	55,1	51,2	47,1

Onde a = fração rapidamente degradável, b = fração potencialmente degradável e c = taxa constante de degradação da fração b, I = fração indegradável e DEFDN 2,0%/h = degradabilidade efetiva da fibra em detergente neutro nas taxas de passagem ruminal de 2%/hora.

Observou-se que a fração potencialmente degradável da fibra em detergente neutro (*b*) variou de 64,1% a 58,1%, ocorrendo redução com o avançar da idade de corte (Tabela 14).

Resultados próximos ao deste trabalho foram encontrados por Moreira (2010) avaliando feno de *A. gayanus* colhido em 4 diferentes idades entre elas as de 56, 84, 112 dias (sendo os respectivos valores para estas idades de 11,5%, 12,2% e 12,7% – fração *a* e de 64,1%, 60,2% e 57,0% – fração *b*) e por Velasco (2011) que encontrou valores para a fração (*b*) da degradabilidade da FDN de 63,36%, 57,44% e 53,79%, para *Brachiaria decumbens* verde colhida respectivamente aos 56, 84 e 112 dias.

Quanto a taxa constante de degradação da fibra em detergente neutro (*c*) foi verificado maior taxa de degradação para o feno referente à idade de 56 dias (3,83%/h), e a menor taxa sendo registrada para o feno colhido aos 112 dias (3,03%/h) (Tabela 14).

Os valores de *c* encontrados foram superiores aos encontrados por Ribeiro Júnior (2013) trabalhando com silagens de capim *A. gayanus* colhido nas idades de 56, 84 e 112 dias que encontrou valores de *c* variando de 2,32% a 1,04%/h.

Resultados próximos aos deste trabalho foram encontrados por Moreira (2010) avaliando feno de *A. gayanus* colhido em 4 diferentes idades, entre elas 56, 84, 112 dias, onde encontrou valores de *c* variando de 4,0% a 3,4%/h e por Sousa (2009) trabalhando com *Brachiaria brizantha* colhida em pastagens em várias épocas do ano que encontrou taxas de degradação da fração lentamente degradável variando de 3,42% a 2,80%/hora.

A degradabilidade efetiva da fibra em detergente neutro (DEFDN) calculada para a taxa de passagem de 2,0%/h foi superior para o tratamento com o feno colhido aos 56 dias de

idade (55,1%), seguido pelas idades de 84 e 112 dias (com valores de 51,2% e 47,1% respectivamente).

Moreira (2010) avaliando o feno de *A. gayanus* colhido em 4 diferentes idades (56, 84, 112 e 140 dias) encontrou valores para a DEFDA, a uma taxa de passagem de 2%/hora de 52,1, 52,2 e 48,1% para as respectivas idades de 56, 84 e 112 dias, estando estes bem próximos aos encontrados em nosso trabalho.

Ao analisar as taxas de passagem a 2%/hora pode-se perceber que estes valores são menores que os encontrados por Cavalcanti (2010) para a digestibilidade aparente da fibra em detergente neutro (DAFDN) em carneiros, onde encontrou valores de 63,27, 59,97 e 51,00%, para os fenos colhidos com este mesmo material nas idades de 56, 84 e 112 dias respectivamente. As menores DEFDA encontradas em relação as DAFDN podem ser ocasionadas devido ao fato de que alimentos incubados no rúmen não sofrem processos de mastigação e ruminação, processos estes que tendem em aumentar a degradação da porção fibrosa dos alimentos.

3.4.6 DESAPARECIMENTO RUMINAL DA FIBRA EM DETERGENTE ÁCIDO

Observou-se que não houve diferença significativa entre os fenos produzidos nas diferentes idades para a degradabilidade ruminal da fibra em detergente ácido (DRFDA) nos tempos de incubação de 0 a 24 horas ($P>0,05$) (Tabela 8). A partir de 48 horas o feno colhido com 56 dias apresentou maiores DRFDA ($p<0,05$) em relação aos fenos colhidos nas idades de 84 e 112 dias, que foram semelhantes entre si ($p>0,05$).

Tabela 15. Desaparecimento ruminal médio (%) da fibra em detergente ácido dos fenos do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.

Tempo (horas)	Idade de Corte		
	56 dias	84 dias	112 dias
00	13,9 ^a	14,7 ^a	15,8 ^a
03	18,5 ^a	20,4 ^a	21,9 ^a
06	20,5 ^a	21,7 ^a	22,8 ^a
12	31,1 ^a	30,3 ^a	29,9 ^a
24	42,1 ^a	40,0 ^a	39,6 ^a
48	56,6 ^a	50,6 ^b	49,5 ^b
96	70,0 ^a	61,6 ^b	60,9 ^b

Médias seguidas por letras minúsculas na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste SNK ($P<0,05$). CV (coeficiente de variação): 5,1%

A perda de FDA no tempo zero não reflete a perda por solubilidade, uma vez que esta fração não é solubilizada no ambiente ruminal, sendo representada apenas pela perda de pequenas partículas pelos poros dos sacos de incubação.

A fração fibrosa insolúvel em detergente ácido é constituída por celulose e lignina. O resíduo digestível no rúmen dessa fração que é solubilizado em detergente ácido é constituído principalmente pelas hemiceluloses (Rodrigues e Vieira, 2011). Dessa forma pode ser que a diferença na significância do desaparecimento da FDA do feno colhido aos 56 dias, em comparação àqueles colhidos aos 84 e 112 dias, deva - se a maior

degradabilidade apresentada pelas hemiceluloses do feno colhido nesta idade. As hemiceluloses são as frações da fibra que apresentam variações em sua digestibilidade a medida que ocorre aumento na maturidade das plantas. Com a maturação aumentam - se as ligações covalentes da lignina com as hemiceluloses, tornando-as indisponíveis para a degradação microbiana (Van Soest, 1994).

Castro (2008) relatou valores da DRFDA para os tempos de incubação de 24, 48 e 96 horas variando de 3,53 a 1,22%, 28,78 a 14,35% e 42,46 a 29,17%, respectivamente, sendo os menores valores referentes a silagem obtida na idade de corte de 107 dias. Já Velasco (2011) encontrou variação nos valores da DRFDA para a *Brachiaria decumbens* verde colhida aos 56, 84 e 112 dias nos tempos de incubação de 6 (10,82 a 0,12%), 12 (22,92 a 11,12%), 24 (35,07 a 18,78%), 48 (50,51 a 36,89%) e 96 horas (61,32 a 45,07%). Os resultados destes dois trabalhos foram inferiores aos encontrados em nosso trabalho para o feno de *A. gayanus* colhido em três diferentes idades. Esses resultados podem indicar que o *A. gayanus* apresenta frações fibrosas de maior degradabilidade em relação à *Brachiaria decumbens*.

As equações geradas pelas análises de regressão ao modelo de Ørskov e McDonald (1979) dos dados de degradação ruminal da fibra em detergente ácido dos fenos do capim *Andropogon gayanus* em diferentes idades de colheita, estão apresentados na Tabela 16. Os altos valores dos coeficientes de determinação encontrados, indicam a boa adequação dos resultados de desaparecimento da FDA ao modelo proposto Ørskov e McDonald (1979).

Tabela 16. Equações de descrição da cinética de degradação ruminal da fibra em detergente ácido dos fenos do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.

Idade de corte	Equação	R ²
56 dias	DP = 15,2 + 59,4 (1 - exp ^{-(0,0371 x t)}]	0,97
84 dias	DP = 16,3 + 52,1 (1 - exp ^{-(0,0322 x t)}]	0,98
112 dias	DP = 16,7 + 50,3 (1 - exp ^{-(0,0291 x t)}]	0,98

Onde DP: representa a degradabilidade ruminal potencial dos alimentos; t: o tempo de incubação em horas e R²: coeficiente de determinação.

Observou-se na Tabela 17 que os valores da fração rapidamente degradável (a) encontrados para os fenos colhidos nas três diferentes idades de crescimento foram próximos, sendo maior para o feno colhido aos 112 dias de idade, seguido respectivamente pelo colhido aos 84 e 56 dias. É possível que estes resultados sejam influenciados ao escape de pequenas partículas dos fenos pelos poros dos sacos de incubação no tempo zero (Tabela 15).

Tabela 17. Valores médios de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da fibra em detergente ácido dos fenos do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de idade.

Parâmetros	Idade de Corte		
	56 dias	84 dias	112 dias
a (%)	15,2	16,3	16,7
b (%)	59,4	52,1	50,3
c (%/h)	3,71	3,22	2,91
a+b (%)	74,6	68,4	67,0
I (%)	25,4	31,6	33,0
DEFDA 2,0%/h (%)	53,8	48,4	46,5

Onde a = fração rapidamente degradável, b = fração potencialmente degradável e c = taxa constante de degradação da fração b, I = fração indegradável e DEFDA 2,0%/h = degradabilidade efetiva da fibra em detergente ácido nas taxas de passagem ruminal de 2%/hora.

Observou-se que a fração potencialmente degradável da fibra em detergente neutro (*b*) variou de 59,4 a 50,3%, ocorrendo redução com o avançar da idade de corte (Tabela 17).

Resultados próximos ao deste trabalho foram encontrados por Moreira (2010) avaliando feno de *A. gayanus* colhido em 4 diferentes idades entre elas as de 56, 84, 112 dias (sendo os respectivos valores para estas idades de 58,8, 54,1 e 50,8% – fração *b*).

Quanto a taxa constante de degradação da fibra em detergente neutro (*c*) foi verificado maior taxa de degradação para o feno referente à idade de 56 dias (3,71%/h), e a menor taxa sendo registrada para o feno colhido aos 112 dias (2,91%/h) (Tabela 17).

Resultados próximos aos deste trabalho foram encontrados por Moreira (2010) avaliando feno de *A. gayanus* colhido em 4 diferentes idades, entre elas 56, 84, 112 dias, onde encontrou valores de *c* variando de 3,9 a 3,1%/h e por Ribeiro Júnior (2013) trabalhando com silagens de capim *A. gayanus* colhido nas idades de 56, 84 e 112 dias que encontrou valores de *c* variando de 3,4 a 2,3%/h.

A degradabilidade efetiva da fibra em detergente neutro (DEFDA) calculada para a taxa de passagem de 2,0%/h foi superior para o tratamento com o feno colhido aos 56 dias de idade (53,8%), seguido pelas idades de 84 e 112 dias (com valores de 48,4 e 46,5% respectivamente).

Moreira (2010) avaliando o feno de *A. gayanus* colhido em 4 diferentes idades (56, 84, 112 e 140 dias) encontrou valores para a DEFDA, a uma taxa de passagem de 2%/hora de 55,6, 56,2 e 52,7% para as respectivas idades de 56, 84 e 112 dias, sendo estes superiores aos encontrados em nosso trabalho.

Ao analisar as taxas de passagem a 2%/hora pode-se perceber que estes valores são menores que os encontrados por Cavalcanti (2010) para a digestibilidade aparente da fibra em detergente ácido (DAFDA) em carneiros, onde encontrou valores de 59,17,

55,45 e 47,91%, para os fenos colhidos com este mesmo material nas idades de 56, 84 e 112 dias respectivamente.

Percebe - se que os resultados obtidos para a degradabilidade efetiva a uma taxa de passagem de 2%/hora das frações fibrosas (FDN e FDA), são discordantes quando comparados com os valores encontrados no experimento *in vivo* conduzido por Cavalcanti (2010) utilizando estes mesmos materiais. O que pode ser explicado devido a ausência do processo de mastigação e ruminação e as perdas de materiais fibrosos (FDN e FDA), no escape de pequenas partículas através dos poros dos sacos de incubação, sendo considerados no experimento *in situ* como totalmente degradáveis, quando na verdade não o são.

3.5 CONCLUSÕES

Os resultados da cinética de degradação ruminal da MS, MO, PB, FDN e FDA dos fenos de capim *Andropogon gayanus* indicam que a planta colhida aos 56 dias apresenta melhor valor nutricional.

3.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALCÂNTARA, V.B.G; PEDREIRA, J.V.S; MATTOS, H.B; *et al.* Medidas *in vitro* de valores nutritivos de capins. I. Produção e digestibilidade 'in vitro' de vinte e cinco capins durante o outono e inverno. *Boletim de Indústria Animal*, Nova Odessa, v.38, n.2, p. 155 - 176, 1981.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS - AOAC. Official methods of analysis. 13ed. Washington - D.C.: AOAC, 1980, p.1015.

BARCELLOS, A.O., VILELA. L., LUPINACCI, A.V. Desafios da pecuária de corte a pasto na região dos cerrados. Documentos, EMBRAPA – CNPGL, n.31, 2001.

BATISTA, L. A. R.; GODOY, R. Baetí - EMBRAPA 23, uma nova cultivar do capim andropogon ("Andropogon gayanus" Kunth). *Revista Brasileira de Zootecnia*, v. 24, n. 02, p. 204- 213, 1995.

BORGES, A.L.C.C. Qualidade da silagem de híbridos de sorgo de porte alto, com diferentes teores de tanino e de umidade no colmo, e seus padrões de fermentação. 1995. 104p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG.

BORGES, I. Influência da dieta na degradabilidade *in situ* do caroço de algodão integral, e do bagaço de cana-de-açúcar auto-hidrolisado, na dinâmica da fermentação ruminal e na cinética sanguínea de ovinos. 130 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – UFMG, Belo Horizonte, 1997.

BRAGA, A.P., BRAGA, Z.C.A.C., RANGEL, A.H.N., LIMA JÚNIOR, D.M., MACIEL, M.V. Produção de massa verde e efeito da idade de corte sobre a composição químico – bromatológica do feno de canarana erecta lisa (*Echinichloa pyramidalis*,

Hitch). *Revista Caatinga*, v. 21, n.4, p. 01 – 05, outubro/dezembro de 2008. Mossoró – CE, Brasil.

CARVALHO, W. T. V. Valor nutricional do feno de Tifton 85 em quatro idades. 2012. 196p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

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

CASTRO, G. H. F.; GRAÇA, D. S.; GONÇALVES, L. C. et al. Cinética de degradação e fermentação ruminal da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu colhida em diferentes idades ao corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 59, n. 6, p.1538-1544, 2007.

CAVALCANTI, A.C. Consumo e digestibilidade aparente do feno de *Andropogon gayanus* colhido em três diferentes idades. 2010. 35p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

COBLENTZ, W.K., FRITZ, J.O., FICK, W.H., *et al.* In situ dry matter, nitrogen, and fiber degradation of alfalfa, red clover, and Easter gamagrass at four maturities. *Journal of Dairy Science*, v. 81, p. 150-161, 1998.

EUCLYDES, R.F. Sistema para análises estatísticas (SAEG 9.0). Viçosa: Funarbe, 2005.

GARCIA, R.; OBEID, J. A.; CARVALHO, L. A. et al. Efeito do sistema de produção sobre a composição química do feno de capim-gordura (*Melinis minutiflora* Pal. de Beauv.) armazenado sob a forma de fardo ou de meda. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v. 20, n. 1, p. 100-110, 1991.

GONÇALVES, C.A. Crescimento e composição química das gramíneas *Brachiaria humidicola*, *Andropogon gayanus* cv. Planaltina, *Setaria sphacelata* cv. Nandi. In: *Boletim de Pesquisa*, n.4, EMBRAPA – UEPAE Porto Velho, 1985. 55 p.

GONÇALVES, C.A., COSTA, N.L. 1997. Curva de crescimento do capim elefante cv. Cameroon nos cerrados de Rondônia. Porto Velho. EMBRAPA. 7 p. (Comunicado Técnico, n.48).

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

LACERDA, M.S.B. Produtividade e valor nutritivo do capim *Andropogon* em diferentes idades de rebrota em sistemas silvipastoril. Universidade Federal do Piauí. 2007. 61p. (Tese Doutorado em Ciência Animal).

LIMA, G.F da C. Determinação de fitomassa aérea disponível ao acesso animal em caatinga pastejada – região de Ouricuri – PE. Recife, PE: UFRPE, 2002. 241p. Dissertação (Mestrado em Produção Animal) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, 2002.

McDONALD, I. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. *Journal Agriculture Science* v. 96, n. 1, p. 251-252, 1981.

MINSON, D.J. The digestibility and voluntary intake of six varieties of *Panicum*. *Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry*. V.2, p. 18 – 25, 1990.

MOREIRA, G.R. Avaliação Nutricional do feno de *Andropogon gayanus* cv. Planaltina produzido em diferentes idades de crescimento. Belo Horizonte – UFMG. Escola de Veterinária, 2010. 45 p. (Tese Doutorado em Zootecnia).

NUNES. I.J. Livro: Nutrição Animal Básica. 2a edição. Editora FEP – MVZ, 1998.

ØRSKOV, E. R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **J. Agric. Sci.**, v. 92, n. 2, p. 499-503, 1979.

PEDREIRA, J. V. S.; MATTOS, H. B. Crescimento estacional de vinte e cinco espécies ou variedades de capins. *Boletim da Indústria Animal*, v. 30, n. 1, p. 117-143, 1981.

RAMIREZ, M. A. Valor nutricional do feno de *Brachiaria decumbens* em três idades. 2011. 106p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

RIBEIRO JÚNIOR, G.O., GONÇALVES, L.C., MAURÍCIO, R.M., et al. Perfil de fermentação da silagem de capim *Andropogon* colhida com 56 dias. MS, MO, N – NH3 e Digestibilidade *in vitro* da MS. Anais do Zootec 2009. Águas de Lindóia – SP.

RIBEIRO JÚNIOR, G.O. Valor nutricional das silagens de capim *andropogon* em três idades de corte. Belo Horizonte – UFMG. Escola de Veterinária, 2013. 205 p. (Tese Doutorado em Zootecnia).

RODRIGUES, A.L.P. Degradabilidade da matéria seca de forrageiras tropicais (*Andropogon gayanus* cv. Planaltina, acessos de *Brachiaria brizantha* e *Panicum maximum*) em três épocas de corte (21,42 e 63 dias). Belo Horizonte – UFMG. Escola de Veterinária, 2000. 23 p. (Dissertação de Mestrado).

RODRIGUES, A. L. P. et al. Degradabilidade *in situ* da matéria seca de forrageiras tropicais obtidas em diferentes épocas de corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 56, n. 5, p. 658-664, 2004.

RODRIGUES, M.T, VIEIRA, R.A.M. Metodologias aplicadas ao fracionamento de alimentos. In: BERCHIELLI, T.T., PIRES, A.V., OLIVEIRA, S.G. Nutrição de Ruminantes. Jaboticabal: Funep, 2006. Cap. 2, p 25 – 55.

ROSA, B, BORGES, A.J.S Avaliação da melhor idade para fenação do capim Andropogon (*Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus* cv. Planaltina). Anais da Escola de Agronomia e Veterinária da UFG. 23(1): 105 – 117, Goiânia jan/dez,1993.

ROSA, B.; ROCHA, G. P.; SILVA, H. L. Consumo voluntário e digestibilidade aparente do feno de *Brachiaria decumbens* Stapf e *Brachiaria ruziziensis* Germain e Everard em diferentes idades de corte. Anais da Escola de Agronomia e Veterinária da UFG. v. 12/13, p .5-27, 1982/1983.

SAMPAIO, I. B. M. Experimental designs and modelling techniques in the study of roughage degradation in rumen and growth of ruminants. 1988. 214 f. Tese (Doutorado em Fisiologia) – Reading, Univesity of Reading, 1988.

SAMPAIO, I. B. M. Avaliação do efeito do tratamento químico com hidróxido de rádio sobre a digestibilidade de gramíneas tropicais fenadas. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA. 29, 1992, Lavras, *Anais...* Lavras: RBZ, 1992. p. 161.

SANTOS, F.A.P.; PEDROSO, A.M. Metabolismo de proteínas. IN: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. Nutrição de ruminantes. 2º Ed. Jaboticabal: FUNEP, 2011, p.265-297.

SILVA, L.F.P.; CASSOLI, L.D.; ROMA JUNIOR, L.C.; *et al.* *In situ* degradability of corn stover and elephant-grass harvested at four stages of maturity. **Scientia Agricola**, v. 65, n. 6, p. 595-603, 2008.

SNIFFEN, C.J., O’CONNOR, J.D., VAN SOEST, P.J. A net carbohydrate and protein system evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. *Journal Animal Science*. v.70, p. 3562 – 3577, 1992.

SOUSA, L. F. *Brachiaria brizantha* cv. Marandú em sistema silvipastoril e monocultivo. 2010. 166 p. Tese (Doutorado) - EV-UFMG, Belo Horizonte, 2010.

SOUZA FILHO, A.P.S., DUTRA, S., SERRÃO, E. A. S. Produtividade estacional e composição química da *Brachiaria humidicola* e pastagem nativa de Campo Cerrado do Estado do Amapá, Brasil. *Pasturas Tropicales*, v.14, n.1, p. 11 – 16, 1992.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. Fisiologia vegetal. 3. ed. Porto Alegre, Artmed. 2004. 719p.

TEIXEIRA, A.M. Valor nutricional do capim-elefante (*pennisetum purpureum* schum.) verde em diferentes idades de corte. 2011. 105p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

THOMAS, D.; ANDRADE, R. P.; COUTO, W. et al. *Andropogon gayanus* var. *bisquamulatus* cv. Planaltina: Principais características forrageiras. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 16, n. 3, p. 347-355, 1981.

- TOMICH, T. R.; GONÇALVES, L. C.; MAURICIO, R. M. *et al.* Composição bromatológica e cinética de fermentação ruminal de híbridos de sorgo com capim-sudão. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia.*, v. 55, n. 6, p. 747-755, 2003.
- VALADARES FILHO, S. C.; COELHO DA SILVA, S. F.; LEÃO, M. I. *et al.* Degradabilidade in situ da matéria seca e proteína bruta de vários alimentos em vacas em lactação. *Revista da Sociedade Brasileira de Zootecnia*, v. 19, n. 6, p. 512-522, 1990.
- VAN SOEST, P. J.; ROBERTSON, J. B.; LEWIS, B. A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and no starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *Journal Dairy Science*, v. 74, n. 10, p. 3583-3597, 1991.
- VAN SOEST, P.J. Nutritional ecology of the ruminant. 2 ed. Ithaca, New York: Cornell University Press, 1994. 476 p.
- VEIGA, J.B., CAMARÃO, A.P. 1984. Produção forrageira e valor nutritivo do capim elefante (*Pennisetum purpureum*) variedades Anão e Cameroon. P. 1 – 6. (EMBRAPA, Comunicado Técnico, n.54).
- VELASCO, F. O. Valor nutritivo da *Brachiaria decumbens* em três idades. 2011. 98p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.
- WILSON, J.R. Cell wall characteristics in: relation to forage digestion by ruminants. *Journal Agriculture Science* 22(2): 173, 1994.
- WILSON, J.R.; HATFIELD, R.D. Structural and chemical changes of cell wall types during stem development: consequences for fibre degradation by rumen microflora. *Australian Journal of Agricultural Research*, v. 48, p. 165-180, 1997.
- WILSON, J. R.; MERTENS, D. R. Cell wall accessibility and cell structure limitations to microbial digestion of forage. *Crop Science*, v. 35, n. 1, p. 251-259, 1995.

CAPÍTULO IV – EXPERIMENTO II

AVALIAÇÃO DE FENOS PRODUZIDOS COM *Andropogon gayanus* EM DIFERENTES IDADES EMPREGANDO – SE A TÉCNICA DE PRODUÇÃO DE GASES

4.1 RESUMO

Objetivou-se avaliar o feno da *Andropogon gayanus* pela técnica *in vitro* semi - automática de produção de gases. O delineamento estatístico adotado foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, sendo as três idades de corte (56, 84 e 112 dias) as parcelas, os inóculos ruminais os blocos, e os tempos de leitura de produção de gases as sub-parcelas. A degradabilidade da matéria seca foi medida nos tempos de 6,12, 24, 48 e 96 horas. As maiores produções ($p>0,05$) acumuladas de gases foram obtidas com os fenos colhidos aos 56 e 84 dias com 195,1 e 189,4 mL/g de MS respectivamente. Dentre as três idades avaliadas, recomenda-se o feno colhido aos 56 dias de crescimento.

Palavras-chave: degradabilidade, *in vitro*, semi – automática, forrageira, ruminante, valor nutricional

4.2 INTRODUÇÃO

O capim *Andropogon* (*Andropogon gayanus*) foi introduzido no Brasil pelo Centro de Pesquisa Agropecuário dos Cerrados (Embrapa Cerrados), uma de suas características é concentrar a maior parte de sua produção de matéria seca durante a estação quente e chuvosa do ano. Para aproveitar esse potencial, a fenação se constitui em uma das alternativas recomendáveis.

A fase de desenvolvimento da forrageira é um dos fatores mais importantes para determinar a qualidade do feno, uma vez que, em função do envelhecimento, há uma marcante redução no valor nutricional das forrageiras tropicais. Todavia, a qualidade do feno depende também das condições ambientais e da manipulação da forragem durante todo o processo de seu preparo (Garcia *et al.*, 1991).

Ensaio *in vivo* são os métodos mais adequados para determinar o valor nutricional dos alimentos em nutrição de ruminantes. Entretanto, esses ensaios requerem considerável quantidade de animais, alimentos, mão-de-obra, tempo e alto custo financeiro, limitando assim a sua aplicabilidade. Como alternativa, várias técnicas *in vitro* vêm sendo utilizadas, devido ao baixo custo e rápida execução (Maurício *et al.*, 2003).

As técnicas *in vitro* de produção de gases são capazes de simular o ambiente ruminal e a digestão enzimática (Theodorou *et al.*, 1994), apresentam comprovado potencial em descrever a cinética da fermentação ruminal e estimar o consumo (Blümmel e Ørskov, 1993), além de fornecer a taxa e extensão da degradação das forrageiras, bem como medição dos produtos da fermentação de partes solúveis e insolúveis dos substratos (Getachew *et al.*, 1998). Essa técnica permite avaliar grande número de substratos por

experimento, apresentando alta acurácia nas medições, simplicidade no manuseio de equipamentos, baixo custo na implantação e por amostra analisada (Maurício *et al.*, 1999). Dessa forma, as técnicas *in vitro* de produção de gases têm se tornado interessante alternativa para estudos de forrageiras (Getachew *et al.*, 1998).

Objetivou – se com este experimento avaliar os fenos produzidos com *Andropogon gayanus* colhido em diferentes idades de crescimento (56, 84 e 112 dias) através da técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases.

4.3 MATERIAL E MÉTODOS

4.3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A coleta da forrageira e a produção de feno foram realizadas em uma área com *Andropogon gayanus* já estabelecida em fazenda situada no município de Lagoa Santa – MG. O ensaio de digestibilidade pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases foi realizado no Laboratório de Gases do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG, em Belo Horizonte – MG.

4.3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram utilizadas as mesmas amostras do feno de capim *Andropogon gayanus* descritas no Capítulo III, colhido em três idade (56, 84 e 112 dias). As amostras de fenos de *A. gayanus* foram pré-secadas em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 horas, sendo posteriormente moídas em moinho com peneira de 1,0 mm e usadas no estudo *in vitro*.

4.3.3 PREPARO DO MEIO DE CULTURA

O meio de cultura utilizado neste experimento foi preparado de acordo com recomendações de Theodorou *et al.* (1994). O meio foi composto por solução macromineral (9,5 g/L de Na₂HPO₄.12H₂O; 6,2 g/L de KH₂PO₄ e 0,6 g/L MgSO₄.7H₂O), solução micromineral (132 g/L de CaCl₂.2H₂O, 100 g/L de MnCl₂.4H₂O, 10 g/L de CoCl₂.6H₂O e 80 g/L de FeCl₃.6H₂O) solução tampão (4 g/L de NH₄HCO₃ e 35 g/L de NaHCO₃), indicador (0,01 g/L de Rezasurina) e agente redutor (6,25 g de HCl Cisteina, 950 mL água destilada, 40 mL de NaOH 1 M e 6,25 g de Na₂S.9H₂O). As soluções foram misturadas na seguinte ordem e proporções: 500 mL de água destilada, 200 mL de solução tampão, 200 mL solução macromineral, 0,1 mL de solução micromineral e 1 mL de solução indicadora. Esta mistura foi agitada constantemente e saturada com CO₂ por duas horas até atingir coloração rósea, sendo então adicionados 90 mL aos frascos de fermentação.

4.3.4 FRASCOS DE FERMENTAÇÃO

Para avaliar a degradabilidade desses materiais pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases (Maurício *et al.*, 1999), a fermentação desses materiais foi realizada em frascos (160 mL) previamente lavados com água destilada e posteriormente secos em estufa. Visando a manutenção de fermentações anaeróbicas, em todos os frascos foram injetados CO₂ antes da adição dos substratos. Foi adicionado em cada frasco 1 g de substrato, conforme recomendações de Maurício *et al.* (1999), sendo utilizados três frascos por tratamento (três réplicas para cada uma das amostras).

Foram também utilizados frascos contendo somente líquido ruminal e meio de cultura (*Buffer*) como controle, ou seja, a produção de gases oriundos do conteúdo ruminal foi descontada da produção total. Foram utilizados três frascos controle para cada 24 frascos que continham substrato. Em cada frasco foram adicionados manualmente 90 mL de meio de cultura (Theodorou *et al.*, 1994). Os frascos foram vedados com rolhas de silicone (14 mm) garantindo a completa manutenção de gases em seu interior. Essas atividades foram realizadas no dia anterior à inoculação. Para evitar qualquer tipo de fermentação, os frascos foram mantidos à 4°C durante a noite. Cinco horas antes da inoculação (7:00 horas) os frascos foram removidos da geladeira para estufa a 39°C.

4.3.5 INÓCULO E INOCULAÇÃO

O líquido ruminal utilizado para inoculação neste experimento foi coletado de cinco novilhas fistuladas no rúmen, com peso aproximado de 400 kg, mantidas na Fazenda da Universidade Federal de Viçosa no Campus de Florestal, em Florestal – MG. Os animais foram mantidos em piquetes, onde tiveram acesso livre à água e sal mineral. A dieta dos animais era composta por pasto de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu mais 2 kg de concentrado (18% de PB) por animal.

O líquido ruminal coletado foi retirado manualmente de várias partes do rúmen e armazenado em garrafas térmicas previamente aquecidas. No Laboratório de Gases do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG, o inóculo foi filtrado utilizando sacos de náilon com poros de 50 micras (µm) e dimensões de 10 por 20 cm. O filtrado foi mantido em banho-maria a 39°C, sob injeção contínua de CO₂, sendo então submetido à avaliação de suas características físico-químicas e atividade microbiana.

A inoculação foi realizada através da injeção em cada frasco de 10 mL do inóculo preparado, usando-se uma seringa graduada. Logo após a injeção do inóculo, os frascos foram vedados com uma rolha de silicone e em seguida, uma agulha foi mantida fixa na tampa por alguns segundos para estabilização entre pressão interna e externa. Em seguida foi retirada a agulha de cada frasco e os mesmos foram manualmente agitados e colocados em estufa a 39°C (tempo zero).

4.3.6 PRODUÇÃO DE GASES

A pressão originada pelos gases acumulados nos frascos foi medida com um transdutor de pressão conectado a um leitor digital (tipo T443A, Bailey e Mackey, Inglaterra) permitindo, desta forma, a captura de dados. As leituras de pressão foram tomadas em maior frequência durante o período inicial de fermentação e reduzidas posteriormente nos seguintes tempos pós-inoculação (tempo zero), 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 20, 22, 24, 30, 36, 48, 60, 72 e 96 h.

A transformação dos valores de pressão de gases para volume de gases foi estimado a partir da equação matemática descrita por Maurício *et al.* (2003).

$$VG = (0,051 * P^2) + (4,43 * P) - (0,004)$$

Em que:

VG = volume de gases (mL);

P = pressão dos gases (libra por polegada quadrada “psi - pound square inch”).

A agulha acoplada ao transdutor de pressão foi inserida através da tampa de silicone e a pressão medida e armazenada no computador. O transdutor foi então removido e a agulha mantida inserida à tampa por alguns segundos para completa estabilização entre pressão interna e externa. Este processo foi repetido em todos os frascos de cada bandeja e após as leituras, essas foram agitadas manualmente e recolocadas na estufa. No final do período de fermentação dos tempos 6, 12, 24, 48 e 96 h, os frascos foram removidos da estufa e levados para geladeira a 4°C. Imediatamente o material sólido e líquido de cada frasco foi filtrado em cadinhos filtrantes de borosilicato (porosidade 1) usando bomba de vácuo.

A matéria seca degradada foi determinada pela secagem dos cadinhos a 105°C durante 48 horas. Os cadinhos com os resíduos de matéria seca foram levados para uma mufla a 500°C durante três horas para determinação da matéria mineral, que foi utilizada para determinar a degradação da matéria orgânica.

Os dados da cinética de produção de gases e da degradabilidade foram submetidos a análise de regressão pelo programa estatístico SAEG (Euclides, 2005) e regredidos ao modelo de France *et al.* (1993):

$$Y = A \times \{1 - \exp[-b(t - TC) - c \times (\sqrt{t} - \sqrt{L})]\}$$

Em que:

Y = produção acumulativa de gases (ml);

A = máxima produção acumulada de gases (ml);

TC = tempo de colonização (h);
b = (h⁻¹) taxa fracional constante;
c = (h^{-0,5}) taxa fracional constante;
t = tempo (h).

A taxa fracional média (h⁻¹) de produção de gases (μ) foi calculada como:

$$\mu = (b + c) / 2 * (\sqrt{t})$$

Em que:

μ = taxa de produção de gases (mL/h);
t = tempo de incubação;
b e c = constantes.

As degradabilidades efetivas foram estimadas usando-se os dados de produção de gases e degradabilidade *in vitro* com 96 horas de incubação, com auxílio do programa Microsoft Excel. A taxa de passagem para o cálculo de degradabilidade efetiva foi k = 0,02, sendo essa a indicada para alimentos volumosos (Ørskov *et al.*, 1980).

4.3.7 PROCEDIMENTO ESTATÍSTICO

O delineamento experimental utilizado para a avaliação estatística da produção acumulada de gases foi o de blocos ao acaso com parcelas subdivididas, tendo como fontes de variação: líquidos ruminais (blocos), idades de corte (parcelas) e tempos de incubação (subparcelas).

Para a análise dos dados empregou-se o seguinte modelo estatístico:

$$Y_{ijk} = \mu + T_z + D_i + G_j + D * G_{ij} + e_{ijk}$$

Em que:

Y_{ijk} = observação “k”, no inóculo “z”, da idade ao corte “i”, submetido ao tempo de incubação “j”;
 μ = média geral;
 T_z = efeito do inóculo “z”, (j = 1, 2, 3, 4 e 5);
 D_i = efeito do tempo de incubação “j”, (j = 6, 12, 24, 48 e 96);
 G_j = efeito da idade ao corte “i”, (j = 56, 84 e 112);
 $D * G_{ij}$ = efeito da interação do tempo de incubação “i”, com a idade ao corte “j”;
 e_{ijk} = erro experimental.

Para a comparação das médias dos tratamentos foi utilizado o teste Student-Newman-Keuls (SNK) (P<0,05) pelo software SAEG (Euclides, 2005). A decomposição da análise de variância seguiu o esquema apresentado na Tabela 18.

Tabela 18. Análise de variância para o delineamento de blocos ao acaso com parcelas subdivididas

Fontes de Variação	Graus de Liberdade
Total	14
Idades de Corte (parcelas)	2
Inóculo ruminal (blocos)	4
Erro (A)	8
Total de subparcelas	74
Parcelas	14
Tempo (subparcelas)	4
Idade x Tempo	8
Erro (B)	48

4.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição bromatológica para os substratos incubados é a mesma apresentada na Tabela 2 do capítulo III.

No período de 6 horas de fermentação, a produção de gases dos fenos de *A. gayanus* foram semelhantes ($P > 0,05$). No período de 12 horas o feno confeccionado aos 112 dias apresentou menor valor de produção cumulativa ($p < 0,05$), enquanto os fenos colhidos aos 56 e 84 dias não apresentaram diferenças ($p > 0,05$). As 24 e 48 horas, o feno colhido aos 56 dias apresentou maior produção de gases ($p > 0,05$), seguido pelos fenos colhidos aos 84 e 112 dias respectivamente. Com 96 horas a produção de gases resultante da fermentação do feno colhido aos 56 dias foi semelhante ao colhido aos 84 dias ($p > 0,05$).

Tabela 19. Produção acumulada de gases em mL/g de matéria seca após 6, 12, 24, 48 e 96 horas de fermentação do feno de *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.

Idade de Corte	Período de Fermentação (horas)				
	6	12	24	48	96
	Produção Acumulada de Gases (mL/g)				
56 dias	17,5	40,5 ^a	109,7 ^a	165,3 ^a	195,1 ^a
84 dias	16,3	35,6 ^a	95,6 ^b	154,8 ^b	189,4 ^a
112 dias	12,7	27,0 ^b	85,8 ^c	144,3 ^c	178,2 ^b

Valores seguidos por letras distintas na coluna diferem estatisticamente entre si pelo teste SNK ($P < 0,05$). CV: 9,2%

As mudanças nas produções acumulativas de gases em cada período de fermentação estão associadas a degradação das diferentes frações dos nutrientes presentes nos fenos de *A. gayanus*. Essas são importantes durante a formulação de dietas para ruminantes, pois permitem um suprimento de nutrientes a partir da fermentação ruminal, suprindo também as necessidades dos microorganismos ruminais.

A análise da produção acumulada de gases no tempo de incubação de 48 horas apresenta maior representatividade em relação a análise do valor nutricional de alimentos para ruminantes consumindo forragens, pois, é geralmente o tempo que os alimentos permanecem no rumem dos animais.

Ramirez (2011) avaliando os fenos de *Brachiaria decumbens* nas idades de corte de 56, 84 e 112 dias encontrou valores da produção acumulativa de gases inferiores aos deste experimento (Tabela 19). Os valores encontrados por este autor para os fenos obtidos aos 56, 84 e 112 dias foram respectivamente de 13,0, 12,4 e 10,5 ml/g de MS para o período de fermentação de 6 horas, 37,6, 33,5 e 28,0 ml/g de MS para o período de fermentação de 12 horas, 105,2, 92,7 e 82,7 ml/g de MS para o período de fermentação de 24 horas, 153,3, 142,3 e 132,8 ml/g de MS para o período de fermentação de 48 horas e 183,9, 177,1 e 166,4 ml/g de MS para o período de fermentação de 96 horas. Os menores valores apresentados por este autor podem estar relacionados à menor digestibilidade das frações fibrosas associada à baixa disponibilidade de nitrogênio no ambiente ruminal, principalmente para o feno colhido aos 112 dias. Esses fatores são necessários para uma boa eficiência da atividade microbiana em relação a degradação dos diferentes substratos presentes no rúmen.

Velasco (2011) trabalhando com *Brachiaria decumbens* verde colhida aos 56, 84 e 112 dias encontrou valores para as produções acumulativas de gases no período de fermentação de 96 horas de 196,41, 181,96 e 171,38 ml/g de MS para a planta verde cortada aos 56, 84 e 112 dias, respectivamente.

Castro *et al.* (2007) avaliando a produção de gases obtida com a *Brachiaria brizantha* nas idades de corte de 56, 84 e 112 dias encontrou valores superiores aos encontrados em nosso trabalho (sendo de 77,9, 62,2 e 62,0 mL/g para o tempo de incubação de 12 horas, 210,3, 197,4 e 191,8 mL/g para o tempo de 48 horas, 241,3, 238,0 e 233,1 mL/g para o tempo de 96 horas respectivamente). Já Sousa (2010) trabalhando também com a *B. brizantha* ceifada na seca e na transição da época das águas para a época da seca encontrou valores de produção acumulada de gases de 181,6 e 172,5 mL/g respectivamente, sendo estes próximos aos encontrados nas idades de 84 e 112 dias do atual trabalho (Tabela 19).

Os resultados destes trabalhos indicam o efeito da idade de corte das diferentes forrageiras tropicais sobre a produção acumulativa de gases, proporcionado principalmente pelas alterações que ocorrem em relação ao acúmulo das diferentes frações fibrosas e de suas interações com a lignina em função do estágio de maturação.

As equações geradas pelas análises de regressão ao modelo de France *et al.* (1993) dos dados de produção acumulada de gases da matéria seca dos fenos de *Andropogon gayanus* colhido em três diferentes idades, estão apresentados na Tabela 20.

Tabela 20. Equações geradas pelas análises de regressão ao modelo de France *et al.* (1993) dos dados de produção acumulada de gases da matéria seca dos fenos do capim *A. gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento

Idade de corte	Equação	R ²
56 dias	$D = 197,0003 \times \{1 - \exp^{[-(0,0734) \times (t - 2,3706) - (-0,2000) \times (\sqrt{t} - \sqrt{2,3706})]}\}$	0,99
84 dias	$D = 190,7023 \times \{1 - \exp^{[-(0,0687) \times (t - 2,4799) - (-0,1964) \times (\sqrt{t} - \sqrt{2,4799})]}\}$	0,99
112 dias	$D = 179,6322 \times \{1 - \exp^{[-(0,0637) \times (t - 2,6102) - (-0,1930) \times (\sqrt{t} - \sqrt{2,6102})]}\}$	0,99

Onde D: produção cumulativa de gases (ml); t: o tempo de incubação em horas e R²: coeficiente de determinação.

Os altos valores dos coeficientes de determinação encontrados indicam a boa adequação ao modelo de France *et al.* (1993).

O potencial máximo de produção de gases (A) em mL/g de matéria seca foi superior para o feno da planta colhida aos 56 dias (197,0 mL/g de MS), seguido pelos colhidos aos 84 e 112 dias (190,7 e 179,6 mL/g de MS respectivamente) (Tabela 21). O potencial máximo de produção de gases é considerado como a expressão máxima de degradação ruminal de um alimento, não considerando limitação de tempo para o trânsito da digesta pelo rúmen.

Tabela 21. Parâmetros da cinética de fermentação ruminal e degradabilidade efetiva da matéria seca do feno de capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.

Parâmetros	Idade de Corte (dias)		
	56	84	112
A (mL/g de MS)	197,0	190,7	179,6
TC (h:min)	1:20	1:30	1:43
μ (mL/g de MS/h)	0,0441	0,0406	0,0333
DE 2,0%/h (%)	60,31	56,62	50,69

A - potencial máximo de produção de gases em mL/g de matéria seca; TC - tempo de colonização em horas e minutos; μ - taxa de produção de gases em mL/g de MS/h; DE - degradabilidade efetiva da matéria seca na taxa de passagem de 2,0%/h.

O tempo de colonização (TC) representa o tempo compreendido entre o início da incubação até a ação microbiana sobre a amostra testada. O menor valor de tempo de colonização em horas foi do feno colhido aos 56 dias, com 1 hora e 20 minutos, seguidos pelos colhidos aos 84 e 112 dias, com 1 hora e 30 minutos e 1 hora e 43 minutos, respectivamente.

A taxa de produção de gás (μ) foi maior para o feno de *A. gayanus* colhido com 56 dias de idade, seguido pelo feno colhido aos 84 dias e aos 112 dias de idade respectivamente. Os resultados observados nesse estudo com relação ao μ confirmam observações feitas anteriormente por Castro *et al.* (2007), Velasco (2011) e Ramirez (2011) que observaram diminuição na μ com o avanço da idade de corte da *Brachiaria brizantha* cv. Marandu, *Brachiaria decumbens* verde e feno de *Brachiaria decumbens* respectivamente.

O ARC (1984) recomenda a adoção das taxas de passagem de 2,0; 5,0 e 8,0%/h no cálculo da degradabilidade efetiva quando a taxa de passagem não for ou não puder ser medida. A taxa de passagem de 2,0%/h é adotada para bovinos e ovinos em manutenção; de 5,0%/h são mais adequadas 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 8,0%/h é adequada a vacas leiteiras de alta produção e alimentadas com dietas mistas. 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.

Avaliando a degradabilidade efetiva da matéria seca na taxa de passagem de 2,0%/h, observou-se que o feno colhido aos 56 dias de crescimento foi superior aos demais tratamentos avaliados (84 e 112 dias). Quanto aos tratamentos contendo material fenado aos 84 e 112 dias, observou-se que o material mais velho (112 dias) foi inferior numericamente em relação ao de 84 dias.

Assim como no presente trabalho, os valores de degradabilidade efetiva da MS foram decrescendo com o avançar da idade para o capim elefante verde (Teixeira, 2011), *B. decumbens* verde (Velasco, 2011) e para o capim Tanzânia na forma de silagem (Castro *et al.*, 2010). Este fato pode estar relacionado à alta correlação existente entre a produção de gases e a degradabilidade da MS, como verificado por Faria Junior (2012) para as silagens do capim Tifton 85 cortado em diferentes idades ($r = 0,988$). Portanto, pode-se inferir que, com o aumento da idade de colheita, ocorre diminuição da degradabilidade da forrageira, devido ao aumento da relação haste/folha, o que resulta em aumento das porcentagens de celulose, de hemiceluloses e de lignina, reduzindo assim a proporção dos nutrientes potencialmente digestíveis (carboidratos solúveis, proteínas), o que resulta em queda acentuada na digestibilidade.

4.5 CONCLUSÕES

Os resultados de fermentação ruminal pela técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases indicam que, o feno do capim *A. gayanus* colhido aos 56 dias apresenta maior valor nutritivo em relação aos fenos colhidos aos 84 e 112 dias de rebrote.

4.6 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRICULTURAL RESEARCH COUNCIL. The nutrient requirements of ruminant livestock. Suppl. 1. Slough: Commonwealth Agricultural Bureaux, 1984. 45p.

BLÜMMEL, 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.

CASTRO, G. H. F. *et al.* Características produtivas, agronômicas e nutricionais do capim-tanzânia em cinco diferentes idades ao corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 62, n. 3, p. 654-666, 2010.

CASTRO, G. H. F. *et al.* Cinética de degradação e fermentação ruminal da *Brachiaria brizantha* cv. *marandu* colhida em diferentes idades ao corte. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 59, n. 6, p. 1538-1544, 2007.

EUCLYDES, R. F. Sistema para análises estatísticas (SAEG 9.0). Viçosa: Finarbe, 2005.

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

FRANCE, J.; *et al.* A model to interpret gas accumulation profiles with *in vitro* degradation of ruminal feeds. *Journal Teoret Biologic*, v. 163, p. 99-111, 1993.

GARCIA, R., OBEID, J. A., CARVALHO, L. A., SILVA, J. F. C, NASCIMENTO JUNIOR, D. Efeito da época de corte e do processo de fenação sobre a composição química do feno de capim – gordura (*Melinis minutiflora* Pal. De Beauv). *Revista Brasileira de Zootecnia*. V.20, n.2, p. 166 – 171, 1991.

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

GUIMARÃES JR., R. *et al.* Cinética de fermentação ruminal de silagens de Mileto. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 60, n. 5, p. 1174-1180, 2008.

MAURÍCIO, R. M. *et al.* Relação entre pressão e volume para a implantação da técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases na avaliação de forrageiras tropicais. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia*, v. 55, n. 2, p. 216-219, 2003.

MAURÍCIO, R. M. *et al.* A semi-automated *in vitro* gas production technique for ruminants feedstuff evaluation. *Animal Feed Science and Technology*., v. 79, p. 321-330, 1999.

NOGUEIRA, U. T. Relação entre o volume de gases e a degradação da matéria seca de diferentes substratos pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases. 2004. 60 p. Dissertação (Mestrado) - EV-UFGM, Belo Horizonte, 2004.

ØRSKOV, E. R. *et al.* The use of the nylon bag technique for evaluation of feedstuffs. *Tropical Animal Production*, v. 5, p. 195-213, 1980.

RAMIREZ, M. A. Consumo e digestibilidade aparente de fenos de *Brachiaria decumbens*, stapf cultivar Basiliski cortados em três diferentes idades. 2010, 48 p. Dissertação (Mestrado) – EV-UFGM, Belo Horizonte, 2011.

SOUSA, L. F. *Brachiaria brizantha* cv. Marandú em sistema silvipastoril e monocultivo. 2010. 166 p. Tese (Doutorado) - EV-UFGM, Belo Horizonte, 2010.

TEIXEIRA, A.M. Valor nutricional do capim-elefante (*pennisetum purpureum* schum.) verde em diferentes idades de corte. 2011. 105p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

THEODOROU, M. K.; WILLIAMS, B. A.; DHANOA, M. S. *et al.* A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetic of ruminant feeds. *Animal Feed Science and Technology*, Amsterdam, v.48, n.2, p.185-197, 1994.

VELASCO, F. O. Valor nutritivo da *Brachiaria decumbens* em três idades. 2011. 98p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CAPÍTULO V – EXPERIMENTO III

PARTIÇÃO DA ENERGIA E PRODUÇÃO DE METANO EM OVINOS ALIMENTADOS COM FENO DO CAPIM *ANDROPOGON GAYANUS* COLHIDO EM TRÊS DIFERENTES IDADES

5.1 RESUMO

Foi realizado estudo para descrever a partição da energia e produção de metano por ovinos alimentados com fenos do capim *Andropogon gayanus* colhidos aos 56, 84 e 112 dias de crescimento. Utilizou-se a metodologia da calorimetria indireta para mensuração das perdas de energia e para a determinação da energia digestível (ED), metabolizável (EM) e líquida (EL). O delineamento experimental foi inteiramente casualizado, sendo constituído de três tratamentos e seis repetições. As médias foram comparadas pelo teste Student-Newman-Keuls (SNK) ao nível de 5% de significância. O feno, cujo material foi colhido aos 56 dias, resultou em maior ($P < 0,05$) consumo de energia digestível (CED) em relação aos materiais fenados com 84 e 112 dias de rebrote. As perdas diárias de energia através da urina, do metano e do incremento calórico não apresentaram diferença ($P > 0,05$) entre os tratamentos. O feno contendo material colhido aos 56 dias apresentou valor de digestibilidade aparente da energia bruta (DAEB) superior ($P < 0,5$) aos demais tratamentos que não diferiram ($P > 0,05$) entre si. O feno colhido as 56 dias apresentou maior valor de energia digestível e energia metabolizável em relação aos demais fenos que não diferiram entre si ($P > 0,05$). A produção de metano não variou ($P > 0,05$) entre os tratamentos estudados.

Palavras-chave: calorimetria indireta, energia líquida, forrageira tropical, gás de efeito estufa.

5.2 INTRODUÇÃO

O uso de forrageiras tropicais no sistema produtivo brasileiro torna a produção pecuária nacional tão competitiva quanto nas demais regiões do planeta. A alta produtividade de matéria seca por hectare destas forrageiras compensa a menor digestibilidade das mesmas em relação às forrageiras temperadas. O estudo mais aprofundado das forrageiras tropicais, neste caso o *Andropogon gayanus*, é de suma importância para tornar os diferentes sistemas produtivos mais eficientes. A avaliação do valor nutritivo é crucial para inserir este tipo de volumoso em sistemas de produção mais eficazes de alimentação. Entretanto, poucos são os estudos que avaliam esta gramínea utilizando animais.

A determinação dos valores de energia líquida é importante por quantificar a energia utilizada do alimento para os processos metabólicos envolvidos na manutenção, gestação e produção animal. De acordo com Van Soest (1994), os alimentos não são iguais em sua

capacidade de dar suporte às funções de manutenção, crescimento, reprodução e lactação. Segundo Russell *et al.* (1992), além das características peculiares das frações nutritivas constituintes, os alimentos consumidos pelos ruminantes são transformados pelos microrganismos ruminais, impedindo a predição do desempenho somente a partir dos componentes dietéticos. Por isso, a determinação da energia líquida do alimento é tão importante. A determinação da energia líquida do alimento permite a obtenção de formulações de dietas mais precisas, que podem trazer como consequência maior eficiência do sistema de produção. Isso porque os valores preditos estarão mais próximos da exigência real do animal.

As estratégias utilizadas para manejar adequadamente as pastagens nos sistemas de criação de bovinos à pasto podem ser uma das alternativas que visem a redução da emissão de CH₄ associada a produtividade do sistema, bem como a produção de forragens conservadas, como os fenos e as silagens, buscando alimentos nutritivos e com bons rendimentos. DeRamus *et al.* (2003) avaliaram a produção de CH₄ em vacas e novilhas a partir da técnica do marcador de hexafluoreto de enxofre (SF₆) em sistemas de pastejo bem manejado e em lotação contínua (mal manejada). Os autores verificaram que a emissão diária de CH₄ de 89 a 180 g/dia para as novilhas e de 165 a 294 g/dia para as vacas adultas, sendo que usando a pastagem bem manejada houve uma redução da emissão de CH₄ por Kg de ganho de peso diário em relação ao pastejo contínuo, pois no manejo de pastagem mais intensivo, utilizando-se forragens mais nutritivas, ocorre uma melhoria na conversão alimentar, produzindo mais leite ou carne. Além disso, os autores fizeram uma projeção da emissão de CH₄ anual para os dois sistemas de produção e verificaram que o sistema de pastagens bem manejadas contribui por uma redução de 22% comparado com o sistema mal manejado.

Em virtude de sua grande presença nos sistemas de produção, aliado ao desconhecimento de sua avaliação nutricional na forma de feno e a grande preocupação com a produção de metano oriundo de ruminantes, objetivou-se com este experimento avaliar os valores de energia bruta, energia digestível, energia metabolizável e energia líquida de fenos do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento por meio da calorimetria indireta, assim como a determinação da produção de metano.

5.3 MATERIAL E MÉTODOS

5.3.1 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A confecção dos fenos realizou - se em uma área com *Andropogon gayanus* já estabelecida em fazenda situada no município de Lagoa Santa – MG e o ensaio de respirometria na Escola de Veterinária da UFMG, em Belo Horizonte – MG.

5.3.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Foram utilizados os mesmos materiais (feno de capim *Andropogon gayanus*, colhido em três diferentes idades, 56, 84 e 112 dias) dos capítulos anteriores. Após o ensaio de consumo e digestibilidade executado por Cavalcanti (2010) iniciou-se o ensaio de respirometria.

5.3.3 ENSAIOS DE CONSUMO E DIGESTIBILIDADE

Foram utilizados dezoito carneiros adultos, sadios, sem raça definida com peso médio de 37 kg. Os animais foram pesados no início e no final do período experimental. Para determinar a digestibilidade os animais foram previamente vermifugados, vacinados e alojados em gaiolas metabólicas, individuais, confeccionadas em cantoneira de ferro e piso ripado de madeira com bebedouro e comedouro de aço inoxidável e saleiro de polietileno.

Os animais foram sorteados aleatoriamente, no número de 6 para cada tratamento, passando então por um período inicial de adaptação às gaiolas e alimentação de 21 dias, seguido de um período de coleta de amostras de cinco dias. O feno foi oferecido em quantidade suficiente para que se obtivesse aproximadamente 10% sobras no cocho. A água e a mistura mineral comercial foram administradas *ad libitum*. Diariamente foram mensuradas as quantidades de feno (oferecidos e sobras), e no período de coleta foram mensuradas as produções de fezes e urina de cada animal.

Para os fenos oferecidos foram coletados aproximadamente 300 g por tratamento por dia. As sobras foram recolhidas diariamente e armazenadas por animal por dia; já as fezes foram amostradas e depois pesadas (20% do peso total diário), assim como a urina (10% do volume total). Nos baldes coletores de urina foram adicionados, diariamente, 100 ml de HCl 2N para evitar perda de nitrogênio por volatilização e decomposição.

As amostras do dia (oferecido, sobras, fezes e urina), após devidamente etiquetadas, foram armazenadas em câmara fria a temperatura de $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$. Ao fim do período experimental, foram feitas amostras compostas de sobras, fezes e urina que permaneceram estocadas a $-17\text{ }^{\circ}\text{C}$ até a manipulação para análise laboratorial.

Cada amostra composta foi descongelada sob temperatura ambiente, procedendo – se então o processo de pré – secagem a $55\text{ }^{\circ}\text{C}$ por 72 horas e posteriormente, moídas, em moinho estacionário, com peneira de 1,0 mm. Foram realizadas as análises de matéria seca em estufa a $105\text{ }^{\circ}\text{C}$ (MS), proteína bruta (PB) (pelo Método MacroKjedahl), extrato etéreo (EE) segundo Detmann *et al* (2010), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA), lignina, nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN), nitrogênio insolúvel em detergente ácido (NIDA) segundo Van Soest *et al* (1992),

energia bruta (EB), por combustão em bomba calorimétrica adiabática modelo IKA Works C - 2000 (Detmann *et al.*, 2010) e digestibilidade *in vitro* da matéria seca (DIVMS) segundo Tilley e Terry (1963). As amostras de urina foram analisadas para determinação dos teores de energia bruta, nitrogênio total seguindo metodologias já mencionadas.

5.3.4 ENSAIOS DE RESPIROMETRIA

A determinação da produção de metano pelos ovinos e dos conteúdos de energia metabolizável e energia líquida dos fenos de *Andropogon gayanus*, foi realizada empregando – se calorimetria indireta nas dependências do laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal – LAMCA da Escola de Veterinária da UFMG. Utilizou-se câmara respirométrica de fluxo aberto, confeccionada com placas de acrílico transparente (6 mm de espessura), com dimensões externas de 1,2 m (largura) x 2,0 m (altura) x 2,1 m (comprimento).

O ensaio de respirometria foi realizado em duas fases. Na primeira fase cada animal permaneceu dentro da câmara respirométrica por período de 24 horas para mensurar as trocas gasosas e cálculo da produção de calor do animal alimentado. Os pesos dos animais foram registrados nos momentos de entrada e saída da câmara. Para evitar excesso de amônia no interior da câmara, foi adicionado 100 mL de HCl 2N dentro do balde coletor de urina, situado abaixo da gaiola metabólica. Durante o período dentro da câmara respirométrica o animal recebeu a mesma dieta anteriormente fornecida no ensaio de digestibilidade, sendo que o consumo de alimento foi registrado. Além de feno, os animais receberam água e mistura mineral *ad libitum*. Do lado de fora da câmara também foi colocada uma gaiola metabólica alojando outro carneiro, para evitar o estresse dos animais por isolamento.

Na segunda fase foi calculada a produção de calor dos carneiros em jejum. Após um período de 48 horas em jejum, os animais permaneceram dentro da câmara respirométrica por um período de 24 horas onde receberam apenas água *ad libitum*. Após a abertura da câmara, o volume de urina excretado foi mensurado e armazenado.

5.3.5 FUNCIONAMENTO DA CÂMARA RESPIROMÉTRICA

Para o procedimento da calorimetria indireta, foram utilizados os equipamentos e a metodologia descritos por Rodriguez *et al.* (2007).

Utilizou-se o sistema de circuito aberto sendo a entrada de ar do sistema situada no ambiente externo ao laboratório. O ar atmosférico entrou na câmara em um fluxo constante de 1 litro de ar para cada kg de peso vivo do animal, e foi misturado ao ar expirado pelo animal. O ar contido no interior da câmara era aspirado com auxílio de uma bomba, passando por um tubo de PVC (3,6 cm de diâmetro) a um fluxo constante,

controlado por um fluxômetro de massa, que corrigia automaticamente o volume de ar para condições de pressão, temperatura e umidade.

Na saída da câmara havia um filtro para reter as impurezas. Com o auxílio de um ventilador acoplado ao sistema, o ar era misturado, possibilitando uma amostragem mais precisa. As amostras de ar, tanto externo como do interior da câmara, foram coletadas a cada 5 minutos para determinação das concentrações de oxigênio (O₂), dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄) de acordo com metodologia proposta por Chwalibog (2004). Antes de atingir os analisadores de gases, montados em série, o ar passava por um desumidificador (tubo com capacidade de 1 litro contendo sílica).

A concentração máxima permitida de CO₂ foi de 0,5%. O consumo de O₂ e a produção de CO₂ foram calculados baseados no volume e na composição do ar que entrava em comparação com o ar que saía da câmara.

No interior da câmara a temperatura foi controlada com o uso de ar-condicionado e registrada em momentos pré-estabelecidos (durante a primeira e última leitura).

Diariamente, antes de iniciar o período de mensuração das trocas gasosas do animal, era realizada a calibração dos analisadores de O₂, CO₂ e CH₄, utilizando-se gases de concentrações conhecidas, contidos em cilindros, e o ar externo.

5.3.6 PROCESSAMENTO DAS AMOSTRAS LABORATORIAIS

Cada amostra de alimento oferecido, sobras e fezes foram descongeladas sob temperatura ambiente, procedendo-se então o processo de pré-secagem a 55°C por 72 horas. Após a moagem das amostras em moinho estacionário a 5,0 mm, procedeu-se a homogeneização das mesmas para confecção das amostras compostas, que foram moídas utilizando peneira de 1,0 mm, e estocadas à temperatura ambiente em frascos de polietileno com tampa. As amostras compostas de alimento oferecido, sobras e fezes foram analisadas em triplicatas.

Foram determinados os valores de matéria seca em estufa a 105°C (Detmann *et al.*, 2012) e energia bruta (EB) por combustão em bomba calorimétrica adiabática modelo PARR 2081 (Detmann *et al.*, 2012). As amostras de urina dos animais alimentados foram analisadas para determinação de energia bruta e nitrogênio total. As amostras de urina dos animais em jejum foram analisadas para determinação do teor de nitrogênio total pelo método de Kjeldahl (Detmann *et al.*, 2012).

5.3.7 CONSUMO DE ENERGIA

Os pesos diários das dietas oferecidas e das sobras, registrados durante o ensaio de digestibilidade aparente e os resultados das análises laboratoriais foram utilizados para o

cálculo de consumo de energia bruta, digestível, metabolizável e líquida, segundo a equação:

$$\text{Consumo} = [(\text{kgOF} * \% \text{OF})/100] - [(\text{kgSO} * \% \text{SO})/100]$$

Em que:

kgOF = quantidade de dieta oferecida, em kg de MS;

%OF = concentração de energia na dieta oferecida, em % da MS;

kgSO = quantidade de sobras retiradas, em kg de MS;

%SO = concentração de energia nas sobras, em % da MS.

5.3.8 RESPIROMETRIA

Para o procedimento de calorimetria indireta, foi utilizada a metodologia descrita por Rodriguez et al. (2007), sendo o cálculo da produção de calor realizado de acordo com a equação de Brouwer (1965):

$$H \text{ (kj)} = 16,18 * O_2 \text{ (L)} + 5,02 * CO_2 \text{ (L)} - 5,99 * N_u \text{ (g)} - 2,17 * CH_4 \text{ (L)}$$

Em que:

H = produção de calor;

N_u = nitrogênio urinário.

Para a transformação dos dados em calorias, utilizou-se como referência o valor de 1 joule correspondente a 0,239 calorias.

O quociente respiratório (QR) foi calculado como a razão entre CO₂ produzido (L) e O₂ consumido (L):

$$QR = \frac{CO_2 \text{ (L) produzido}}{O_2 \text{ (L) consumido}}$$

5.3.9 PARTIÇÃO DA ENERGIA

Os valores de energia digestível (ED) foram obtidos a partir da diferença entre a EB dos alimentos, das sobras no cocho e das fezes.

Os valores de energia metabolizável (EM) foram determinados a partir da diferença entre energia digestível e perdas de energia sob a forma de metano e urina.

Para o cálculo da energia perdida na forma de metano, considerou-se o valor de 13,334 kcal/g e densidade de 0,7143 g/litro.

Dos valores de produção de calor e trocas gasosas, observadas para o animal alimentado, foram descontados os valores observados para o mesmo animal em jejum, para o cálculo do incremento calórico (IC):

$$IC = Hal - H_j$$

Em que:

IC = incremento calórico;

Hal = produção de calor pelo animal alimentado;

H_j = produção de calor pelo animal em jejum.

Os valores de energia líquida (EL) foram obtidos a partir da diferença entre energia metabolizável e perdas de energia como incremento calórico.

5.3.10 EFICIÊNCIA NA UTILIZAÇÃO DA ENERGIA

Para a determinação da eficiência dos coeficientes de digestibilidade aparente da energia bruta (DAEB) foram utilizados os dados de consumo e produção fecal, conforme metodologia utilizada por Maynard *et al.* (1984), segundo a equação:

$$DAEB = \frac{(OF - SO - FZ)}{OF - SO} * 100$$

Em que:

OF = (quantidade de alimento oferecido, em kg de MS) * (teor de EB na dieta oferecida, em % da MS);

SO = (quantidade de sobras retiradas, em kg de MS) * (teor de EB das sobras, em % da MS);

FZ = (quantidade de fezes retiradas, em kg de MS) * (teor de EB das fezes, em % da MS).

O valor de metabolizabilidade da energia bruta (q_m) foi obtido a partir da seguinte fórmula, de acordo com AFRC (1993):

$$q_m = \frac{CEM * 100}{CEB}$$

Em que:

CEM = Consumo de energia metabolizável (kcal/dia);

CEB = Consumo de energia bruta (kcal/dia).

O valor de eficiência de utilização de energia metabolizável (k_m) foi obtido a partir da seguinte fórmula, de acordo com AFRC (1993):

$$K_m = \frac{EL * 100}{EM}$$

Em que:

EL = Teor de energia líquida (kcal/kg de MS);

EM = Teor de energia metabolizável (kcal/kg de MS).

5.3.11 PROCEDIMENTO ESTATÍSTICO

O delineamento experimental utilizado para a avaliação estatística das variáveis citadas acima foi inteiramente casualizado, sendo três tratamentos e seis repetições. Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando-se o pacote estatístico SAEG (Euclides, 2005) e as médias comparadas pelo teste Student Newman Keuls (SNK) ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$). A decomposição da análise de variância seguiu o esquema apresentado na Tabela 22.

Tabela 22. Análise de variância para o delineamento inteiramente casualizado

Fontes de Variação	Graus de Liberdade
Total	17
Idades de Corte (tratamentos)	2
Erro	15

As médias geradas pelo experimento foram analisadas segundo o modelo estatístico abaixo:

$$\hat{Y}_{ij} = \mu + H_i + e_{ij}$$

Em que:

\hat{Y}_{ij} = variável dependente;

μ = média geral;

H_i = efeito do tratamento i ($i = 1, 2, 3$);

e_{ij} = erro padrão da média.

5.4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.4.1 CONSUMO DE ENERGIA

Os dados obtidos no ensaio de respirometria (trocas gasosas, produção de calor e incremento calórico) foram ajustados para o consumo observado no ensaio de digestibilidade aparente, já que, nos cálculos de partição de energia, os valores de

energia bruta foram determinados nas amostras de sobras, fezes e urina coletadas no ensaio de digestibilidade aparente.

A composição bromatológica dos fenos de *A. gayanus* são os mesmos apresentados na Tabela 2 do Capítulo III.

Tabela 23. Valores médios diários de consumo de matéria seca (CMS) g/UTM/dia, consumo de energia bruta (CEB), de energia digestível (CED), de energia metabolizável (CEM) e de energia líquida (CEL) em kcal por kg de unidade de tamanho metabólico (kcal/UTM), expressos na base da matéria seca dos fenos do capim *A. gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.

Parâmetros	Idade de Corte			CV
	56 dias	84 dias	112 dias	
CMS	66,70	66,10	69,60	10,45
CEB	271,30	265,30	275,08	15,76
CED	164,83 ^a	148,38 ^b	151,57 ^b	14,80
CEM	142,06	134,82	132,08	15,62
CEL	109,70	98,68	96,47	20,06

CV - coeficiente de variação em porcentagem. Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste SNK ($P < 0,05$).

Segundo o AFRC (1993) o consumo de matéria seca deve ser parcialmente limitado seguindo as condições de manutenção, pois os teores das diferentes partições de energia (digestível, metabolizável, líquida) variam em função do nível de alimentação. A razão disso é que a medida que se aumenta o nível de consumo, altera-se a dinâmica da fermentação ruminal e a velocidade de passagem do alimento pelo trato digestivo, aumentando-se as perdas de energia nas fezes, comprometendo o balanço energético final em função da dieta recebida pelos animais.

Ramirez (2011) e Velasco (2011) encontraram valores para o CMS próximos aos deste trabalho (Tabela 23), variando de 57,6 a 65,6 g/UTM e de 67,73 a 74,79 g/UTM, respectivamente. Essa semelhança pode estar relacionada aos teores de lignina e valores de digestibilidade da matéria seca próximas entre essas gramíneas, proporcionando um período de retenção ruminal e consumo de matéria seca semelhante.

Os valores dos consumos de energia bruta (CEB) em kcal por kg de unidade de tamanho metabólico (kcal/UTM) não apresentaram diferença ($P > 0,05$) entre os tratamentos, e os valores oscilaram de 275,08 a 265,30 kcal/UTM/dia (Tabela 23). Resultados semelhantes a estes foram encontrados por Ramirez (2010) que trabalhou com feno de *Brachiaria decumbens* colhido aos 56, 84 e 112 dias de idade, não encontrando diferenças ($P > 0,05$) entre os tratamentos quanto ao CEB, onde o valor médio foi de 266,50 kcal/UTM/dia, valor este inferior, porém próximo ao encontrado no atual trabalho (270,56 kcal/UTM/dia). Estudando o capim *Brachiaria decumbens* verde

cortado com 56, 84 e 112 dias de idade, Velasco (2011), também não encontrou diferença ($P>0,05$) nos CEB para os três tratamentos, sendo a média de 291,81 kcal/UTM/dia, sendo esta superior a encontrada em nosso trabalho. O consumo de energia bruta é resultado do consumo de matéria seca e do teor de energia bruta presente no material, onde existe uma correlação positiva entre estes fatores.

Os fenos cuja forragem foi colhida aos 56 dias, resultaram em maior ($P<0,05$) consumo de energia digestível (CED) em relação aos materiais colhidos aos 84 e 112 dias de idades. O valor médio de consumo de energia digestível observado para a silagem de capim *A. gayanus* nas mesmas idades do presente trabalho foi de 121,53 kcal/UTM/dia (Ribeiro Júnior, 2013). Valor este inferior à média de CED encontrada neste trabalho (154,92 kcal/UTM/dia).

Ao comparar os resultados de consumo de energia metabolizável encontrados no presente trabalho com os relatados na literatura, deve ser enfatizado que a maioria dos estudos utiliza a fórmula de Blaxter e Clapperton (1965) para o cálculo das perdas energéticas na forma de metano, a partir dos valores de digestibilidade aparente da EB. Já neste experimento, a emissão de metano foi mensurada em câmara respirométrica de circuito aberto, como descrito anteriormente.

Os valores dos consumos de energia metabolizável (CEM) em kcal por kg de unidade de tamanho metabólico (kcal/UTM) não apresentaram diferença ($P>0,05$) entre os tratamentos.

Teixeira *et al.* (2008) apresentaram valores para CEM para ovinos alimentados com capim *Panicum maximum* variando 119,4 a 121,77 kcal/UTM/dia. Gonçalves *et al.* (2011) encontraram valores para CEM variando de 91,45 a 108,33 kcal/UTM/dia, para ovinos alimentados com silagens de capim *Andropogon gayanus*. Castro (2008), avaliando as silagens de capim Tanzânia em diferentes idades de corte observou CEM entre 106,0 e 132,0 kcal/UTM/dia, sendo todos estes valores inferiores aos observados neste trabalho.

Em relação aos valores do CEL não houve diferença significativa com o avançar da idade de corte, variando de 94,7 a 109,47 Kcal/UTM, com o valor médio de 99,95 ($P>0,05$). Foi observado maior consumo de energia líquida para os fenos obtidos nas idades mais jovens. Este fato pode estar relacionado à relação inadequada entre fontes de energia e proteína com tempos de degradação semelhantes, pois verificou-se que para os fenos colhidos mais novos houve maiores teores de nitrogênio excretados na urina ($P<0,05$), e é sabido que a metabolização do nitrogênio proporciona perdas de energia na forma de calor.

Segundo Machado (2010), à medida que as perdas de energia durante o processo digestivo dos nutrientes do alimento vão sendo consideradas, a quantidade de energia

disponível passa a depender não apenas da quantidade total consumida, mas também da eficiência do fluxo de energia no animal.

5.4.2 PERDAS DE ENERGIA

Os valores de perda diária de energia nas fezes em kcal/UTM não apresentaram diferenças entre os tratamentos ($P>0,05$), sendo o valor médio de 115,94 kcal/UTM (Tabela 24). No entanto, quanto às perdas energéticas fecais, observadas em porcentagem da energia bruta consumida, o tratamento com feno colhido aos 56 dias apresentou menor valor ($P<0,05$) com 39,28%, em comparação aos tratamentos com fenos colhidos aos 84 e 112 dias, com 44,44 e 45,97% respectivamente.

Ramirez (2011) avaliando feno de *Brachiaria decumbens* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento, observou que as perdas energéticas fecais, expressas em porcentagem da energia bruta consumida, para o feno colhido aos 112 dias apresentou maior valor ($P<0,05$), 54,1%, diferentemente dos fenos colhidos com as plantas aos 56 e 84 dias, os quais foram semelhantes entre si ($P>0,05$), com os respectivos valores de 44,1 e 46,0%. Ribeiro Junior *et al.* (2011) relataram valores médios de perdas energéticas nas fezes de 50,6% em relação à energia bruta ingerida de ovinos alimentados com silagens de *Andropogon gayanus*, valor este superior ao do atual trabalho (42,93%). Velasco (2011), estudando o capim *Brachiaria decumbens* verde cortado com 56, 84 e 112 dias de idade, encontrou menores ($P<0,05$) perdas diárias de energia nas fezes na forrageira mais jovem (56 dias) em relação às demais, sendo encontrado o valor médio de 34,00% da energia bruta consumida, sendo este inferior ao valor médio obtido neste trabalho.

De acordo com Van Soest (1994), perdas fecais menores estão associadas com altas concentrações de carboidratos não fibrosos, como açúcares e amido, e maiores perdas fecais estão associadas com a presença de grandes quantidades de carboidratos fibrosos, como celulose, hemiceluloses e fenóis como as ligninas.

Tabela 24. Valores médios de perda diária de energia nas fezes, na urina, no metano e na forma de incremento calórico em kcal por kg de unidade de tamanho metabólico (kcal/UTM) e como porcentagem da energia bruta ingerida (%EB) dos fenos do capim *A. gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.

Parâmetros	Idade de Corte			CV
	56 dias	84 dias	112 dias	
Fezes (kcal/UTM)	106,43	117,04	124,37	18,20
Fezes (% EB)	39,28 ^a	44,44 ^b	45,07 ^b	7,57
Urina (kcal/UTM)	6,64	7,47	5,30	40,79
Urina (% EB)	2,45	2,82	1,93	36,47
Metano (kcal/UTM)	20,25	18,97	19,57	23,33
Metano (% EB)	7,40	7,15	7,19	15,12
Incremento calórico (kcal/UTM)	47,84	48,22	25,18	38,60
Incremento calórico (% EB)	17,88	18,23	9,23	39,25

CV - coeficiente de variação em porcentagem. Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste SNK ($P < 0,05$).

Avaliando as perdas diárias de energia pela urina em kcal/UTM e como porcentagem da energia bruta ingerida, observou-se que não houve diferença ($P > 0,05$) entre os tratamentos estudados. Os valores médios das perdas diárias de energia pela urina foram de 6,47 kcal/UTM e de 2,40% da EB, demonstrando que não houve influência do avanço do estágio de maturação sobre esses parâmetros. As perdas de energia pela urina nunca devem superar 5% do valor energético da dieta consumida pelos animais (Blaxter e Wainman, 1964), fato este evidenciado em nosso trabalho.

Faria Júnior (2012) encontrou perdas de energia na forma de urina semelhantes às deste experimento, com valores médios de 7,07 Kcal/UTM/dia. Essa perda de energia encontrada por este autor pode estar relacionada ao consumo de fontes de nitrogênio mais solúveis, levando à maior liberação de nitrogênio urinário pelos ovinos ao consumirem as silagens de Tifton 85 produzidas a partir das diferentes idades de corte.

Já Velasco (2011) encontrou valores de perdas de energia na forma de urina por ovinos ao consumirem *Brachiaria decumbens* verde aos 84 e 112 dias de 1,85 e 1,50 Kcal/UTM/dia, respectivamente. Esses valores são menores que os deste experimento, podendo estar relacionados às menores excreções de nitrogênio urinário, decorrentes principalmente do menor consumo de proteína bruta da *Brachiaria decumbens* verde.

Para as perdas de energia na forma de incremento calórico, foram observados valores entre 25,18 a 48,22 Kcal/UTM, para o capim *Brachiaria decumbens* cortado aos 112 e 56 dias respectivamente, o que corresponde a 10,71% a 14,84% da energia bruta consumida. Não houve diferença estatística ($P > 0,05$) entre os tratamentos avaliados, porém os coeficientes de variação dos parâmetros avaliados podem ser considerados elevados (CV = 38,60% e 39,25% em Kcal por kg de unidade de tamanho metabólico e

como porcentagem da energia bruta ingerida respectivamente), o que pode ter influenciado no resultado da análise estatística.

O incremento calórico corresponde ao aumento da produção de calor decorrente do consumo do alimento (Machado, 2010). O aumento do consumo e da digestibilidade do alimento pode elevar os valores de incremento calórico. A maior capacidade de degradação da parede celular em plantas mais novas podem resultar no aumento da perda de energia na forma de incremento calórico em relação a energia bruta ingerida se comparada a plantas mais velhas.

Avaliando o capim *Brachiaria decumbens* verde cortado em três diferentes idades, (Velasco, 2011), não encontrou diferença ($P>0,05$) nas perdas diárias de energia através do incremento calórico entre os tratamentos. Ribeiro Junior *et al.* (2011) avaliando a silagem de capim *Andropogon gayanus* observaram valores médios da perda de energia na forma de incremento calórico de 19,41 kcal/UTM, o que corresponde a 8,06% da energia bruta ingerida, sendo estes resultados inferiores aos encontrados neste estudo. Já Machado (2010) relatou perdas de energia na forma de incremento calórico próximas às deste experimento, variando de 19,34 Kcal/UTM/dia a 41,70 Kcal/UTM/dia. Ramirez (2011) encontrou maior perda na forma de incremento calórico (IC) para os ovinos que consumiram o feno produzido a partir da idade de corte de 56 dias (47,7 Kcal/UTM/dia), sendo este o menor estágio vegetativo avaliado por este autor.

Quanto às perdas energéticas na forma de metano, não houve diferença ($P>0,05$) entre os tratamentos quando foi comparada a perda de energia na forma de metano em Kcal/UTM e como porcentagem da energia bruta ingerida, sendo as médias de 19,59 Kcal/UTM e de 7,24%, respectivamente. Numericamente os valores de perda de energia na forma de metano variaram de 20,25 a 18,97 Kcal/UTM e de 7,40% a 7,15% da energia bruta ingerida. Quanto maior a perda de energia na forma de metano menor a eficiência de aproveitamento da dieta. A produção de metano representa uma significativa perda de energia pelos ruminantes, sendo tipicamente encontrados valores de 5,5 a 6,5% da energia bruta ingerida (Johnson e Ward, 1996). Entretanto, mensurações realizadas em câmaras respirométricas mostraram grande variação na emissão de metano, de 2 a 12% da energia bruta ingerida (Johnson e Johnson, 1995).

As frações fibrosas são substratos para as bactérias fibrolíticas, as quais produzem grande quantidade de acetato que acaba por gerar um excedente de íons de hidrogênio no ambiente ruminal. Estes íons são incorporados a um átomo de carbono pelas *Archaea* metanogênicas, gerando assim o gás metano através do gasto de energia. Por isso quanto maior a produção de metano por unidade de produto animal, menor será a eficiência de utilização da energia proveniente da dieta. Ribeiro Junior *et al.* (2011) relataram valores de perda energética na forma de metano de 3,1% a 3,6% da energia bruta ingerida, em ovinos alimentados com silagem de capim *Andropogon gayanus*. Já Velasco (2011), estudando o capim *Brachiaria decumbens* verde cortado em três diferentes idades, encontrou valores de perda energética na forma de metano variando

de 4,06 a 6,20% da energia bruta ingerida, valores que são inferiores aos encontrados neste experimento.

O valor médio de perda de energia na forma de metano foi superior aos valores médios encontrados por Ramirez (2011) e Faria Júnior (2012), sendo de 16,03 e 12,95 Kcal/UTM/dia, respectivamente. Segundo Owens e Goetsch (1988) dietas que possuem grande participação de volumosos podem representar perdas energéticas que variam de 6 a 18%, sendo que as perdas encontradas neste experimento corresponderam a 7,24% em relação à energia bruta consumida.

No atual estudo, avaliando-se as perdas energéticas a partir da energia bruta consumida, pode-se dizer que, a produção fecal representou a principal perda de energia (39,28 a 45,07%), seguida pelo incremento calórico (9,23% a 18,23%), pela emissão de metano entérico (7,15% a 7,40%) e pela urina (1,83% a 2,92%). Isto evidencia a importância em fornecer dietas mais digestivas e com menor incremento calórico para que possamos ter melhor aproveitamento energético do alimento pelo animal.

5.4.3 TEORES DE ENERGIA

Observou-se valor médio de energia bruta de 4,05 Mcal/kg de matéria seca para os três tratamentos avaliados (Tabela 25). Valadares *et al.* (2006) apresentaram valores de energia bruta do capim *Brachiaria decumbens* de 4,68 Mcal/kg de MS e do capim *Brachiaria brizantha* de 3,86 Mcal/kg de MS. Teixeira (2009) relatou valor médio de energia bruta de 4,03 Mcal/kg para o capim elefante verde. Já Gonçalves *et al.* (2011), estudando os valores de energia das silagens de capim *Andropogon gayanus* em diferentes idades, encontraram valor médio de energia bruta de 4,45 Mcal/kg de MS. Segundo Lawrence e Fowler (2002), a combustão completa em bomba calorimétrica das frações fibrosas de uma forrageira é capaz de gerar em torno de 4,2 Mcal/kg de MS, valor este próximo à média encontrada neste experimento.

Tabela 25. Valores médios de energia bruta (EB), de energia digestível (ED), de energia metabolizável (EM) e de energia líquida (EL) em Mcal por kg de matéria seca consumida (Mcal/kg de MS) dos fenos de *A. gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento

Parâmetros	Idade de Corte			CV
	56 dias	84 dias	112 dias	
EB	4,07	4,03	4,04	4,32
ED	2,47 ^a	2,24 ^b	2,22 ^b	9,20
EM	2,12 ^a	1,90 ^b	1,94 ^b	9,33
EL	1,40	1,22	1,17	19,03

CV - coeficiente de variação em porcentagem. Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste SNK (P<0,05).

O feno colhido aos 56 dias de crescimento apresentou teores de energia digestível e energia metabolizável superiores às demais idades ($P < 0,05$), que foram semelhantes ($P > 0,05$) entre si. Socorro (1984) relatou em seu trabalho valores de conteúdo de energia digestível do feno de *Brachiaria decumbens* de 1,93 Mcal/kg de MS para o corte aos 90 dias e de 1,62 Mcal/kg de MS para o corte aos 134 dias. Gonçalves *et al.* (2011) relataram valores de energia digestível das silagens de capim *Andropogon gayanus* variando de 2,63 a 1,93 Mcal/kg de MS.

Teixeira *et al.* (2008) relataram valores de consumo de energia digestível de 2,93 Mcal/kg de MS para silagem de capim *Brachiaria brizantha* cortada os 56 dias de idade, valores estes superiores à média de 2,31 Mcal/kg de MS encontrada no presente trabalho.

Não houve diferença ($P < 0,05$) nos valores de energia líquida entre os três fenos avaliados. Os valores de energia líquida variaram de 1,40 a 1,17 Mcal/Kg de MS consumida, com um valor médio de 1,26 Mcal/Kg de MS consumida (Tabela 25). A semelhança dos teores de energia líquida dos fenos provavelmente deve - se ao tipo de fermentação ruminal realizada por estes, uma vez que, materiais deste tipo apresentam poucos componentes rapidamente fermentáveis no rúmen. Dessa forma, a energia fornecida pelos fenos deve ser oriunda principalmente da fermentação dos constituintes estruturais das plantas, como a celulose e as hemiceluloses.

Os valores de energia líquida foram baixos em relação aos encontrados na literatura, como no trabalho de Velasco (2011) que relatou um valor médio de EL de 1,74 Mcal/kg de MS para o capim *Brachiaria decumbens* na forma verde. Assim como Gonçalves *et al.* (2011) que encontraram valores de energia líquida da silagem de capim *Andropogon gayanus* cortado aos 56 dias de 1,93 Mcal/kg de MS. Faria Júnior (2012) encontrou um comportamento linear significativo com o avançar da idade de corte com os valores variando de 0,96 a 1,71 Mcal/Kg de MS consumida.

A energia líquida do alimento ou dieta é a parte da energia metabolizável do alimento utilizada para as necessidades de manutenção e produção, levando em consideração a energia despendida a partir da produção de calor oriunda do metabolismo (AFRC, 1993), sendo estes altamente correlacionados com o incremento calórico como evidenciado por Faria Júnior (2012) trabalhando com silagens de Tifton 85. O incremento calórico é representado principalmente pelas perdas de energia na forma de calor oriundas do processo de digestão das diferentes frações do alimento consumido, sendo que maiores incrementos calóricos estão associados aos menores teores de energia líquida do alimento, fato este evidenciado em nosso trabalho.

5.4.4 EFICIÊNCIA DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA

Em relação à DAEB os valores variaram de 60,83 a 55,03%, com o valor médio de 56,35% (Tabela 26). A digestibilidade aparente da energia bruta (DAEB) obtida para o feno colhido aos 56 dias de crescimento, 60,83%, foi superior ($p > 0,05$) aos demais

fenos colhidos aos 56 e 84 dias de crescimento, 55,66 e 55,03% respectivamente, que foram semelhantes entre si ($p>0,05$) (Tabela 26).

Velasco (2009) trabalhando com a *B. decumbens* verde encontrou valores de DAEB superiores aos determinados neste trabalho, de 65,9, 61,6 e 56,8%, para as idades de 56, 84 e 112 dias. Machado (2010) relatou valores variando de 48 a 57,96%, sendo que esta autora não verificou efeito do estágio de maturação sobre este parâmetro. Ramirez (2011) encontrou para o feno de *Brachiaria decumbens* obtido aos 112 dias de rebrote valor de DAEB inferior (45,8%) aos deste experimento. Faria Júnior (2012) encontrou valor médio de 48,68% para a DAEB, sendo este valor inferior ao deste experimento, e como Machado (2010) não verificou efeito da idade de corte sobre a DAEB. Essas diferenças podem estar relacionadas à espécie forrageira avaliada, a forma de utilização da forrageira (verde, feno ou silagem), às diferentes condições ambientais e às idades de corte.

Tabela 26. Valores médios de digestibilidade aparente da energia bruta (DAEB) em porcentagem, metabolizabilidade da energia bruta (q_m), eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção (K_m) e razão entre a energia líquida e a energia bruta (EL/EB) em porcentagem dos fenos de *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.

Parâmetros	Idade de Corte			CV
	56 dias	84 dias	112 dias	
DAEB (%)	60,83 ^a	55,66 ^b	55,03 ^b	11,20
q_m (%)	0,52	0,47	0,48	15,13
K_m (%)	0,66	0,59	0,80	20,46
EL/EB (%)	34,53	30,27	38,91	31,46

CV - coeficiente de variação em porcentagem. Médias seguidas por letras minúsculas distintas na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste SNK ($P<0,05$).

Já para os coeficientes de metabolizabilidade (q_m) houve uma variação de 0,52 a 0,47, com valor médio de 0,49 (Tabela 26). Maiores valores de q_m indicam maior proporção de energia metabolizável em relação à energia bruta consumida, obtendo um maior valor energético para o alimento consumido. Trabalhos como os de Teixeira (2012) e Faria Júnior (2012) apontam que o q_m destes experimentos apresentaram alta correlação com o balanço energético, digestibilidade aparente da energia bruta (DAEB), energia digestível (ED) e energia metabolizável (EM), indicando – o como um parâmetro eficiente para avaliar o valor nutricional dos diferentes tipos de alimentos, sofrendo influência das perdas de energia nas fezes, urina e metano.

Machado (2010) encontrou valores de q_m variando de 0,53 a 0,78, sendo estes valores superiores aos deste trabalho. Já Faria Júnior (2012) encontrou valor médio de q_m inferior (0,42) ao deste trabalho, não verificando também efeito da idade de corte sobre este parâmetro. Castro (2008) verificou redução dos valores de q_m com o avançar do estágio vegetativo. Diferentes valores de q_m estão associados aos diferentes teores de

energia bruta no alimento e das proporções de perdas de energia na urina e na forma de metano, que podem ser influenciados pela idade de corte das diferentes forrageiras.

Para os parâmetros relacionados aos teores de energia líquida do alimento, houve uma variação de 0,59 a 0,80 e 30,2 a 38,9%, respectivamente para o Km e EL/EB%. Ramirez (2011) encontrou valores médios de Km e de EL/EB% de 0,72 e 32,87%, respectivamente, sendo estes valores próximos aos deste trabalho, não verificando efeito da idade de corte sobre estes parâmetros. Já Velasco (2011) encontrou valores para *Brachiaria decumbens* verde superiores (0,77 e 42,51%) aos deste trabalho. Os diferentes valores de Km e EL/EB% representam o quanto a energia de uma forrageira consumida pode ser utilizada para as atividades de manutenção e produção, sendo esses influenciados diretamente pelas perdas de energia na forma de incremento calórico.

De acordo com Machado (2010), a relação entre energia líquida e energia bruta (EL/EB%), reflete a eficiência de todo o fluxo de energia no animal, desde a ingestão do alimento, o qual apresenta determinada quantidade de energia disponível nos seus nutrientes, até a quantidade de energia que realmente estará disponível, após os processos de digestão, absorção e metabolismo desses nutrientes, para o animal se manter vivo e realizar suas funções produtivas e atividades físicas.

5.4.5 RESPIROMETRIA

A produção de metano em L/UTM foi maior para os carneiros alimentados com feno colhido aos 56 dias ($p < 0,05$) quando comparado com os alimentados com feno de 84 dias, que, por sua vez, foi maior que a produção obtida pelos animais alimentados com feno de 112 dias de idade ($p < 0,05$) (Tabela 27).

Castro (2008) relatou redução da produção de CH_4 com o avançar da idade de corte, encontrando valores de 0,79 L/UTM por ovinos que consumiram silagem obtida aos 63 dias e 0,72 L/UTM por ovinos que consumiram silagem obtida aos 107 dias, sendo estes valores inferiores aos deste experimento. Já Ramirez (2011) e Velasco (2011) encontraram valores para a produção de CH_4 próximos aos deste experimento, variando de 1,30 a 2,10 L/UTM/dia e 1,22 a 1,97 L/UTM, respectivamente. A variação da produção de metano entre esses experimentos pode estar relacionada aos diferentes níveis de consumo entre às forrageiras e às diferentes degradabilidades ruminais das frações fibrosas.

Quando se analisa a produção de gás carbônico em L/UTM observa-se que os carneiros alimentados com feno colhido aos 56 e 84 dias apresentaram maiores valores ($p < 0,05$), quando comparado aos alimentados com feno colhido aos 112 dias de crescimento.

De acordo com Beauchemin *et al* (2008) maiores produções de CO_2 e CH_4 refletem maior desprendimento de energia que não será aproveitado durante o metabolismo animal.

Ramirez (2011) relatou valores de produção de CO₂ inferiores aos deste experimento, variando de 18,3 a 22,8 L/dia. Já Faria Júnior (2012) ao avaliar silagens de Tifton 85 em diferentes idades de corte relatou que não encontrou influência da idade de corte sobre as produções de CO₂ e CH₄ sendo que os valores médios apresentados (21,36, 1,29 L/UTM/dia, respectivamente) são inferiores aos encontrados em nosso trabalho.

Segundo Johnson e Johnson (1995) são vários os fatores que contribuem para a emissão de CH₄ proveniente da fermentação ruminal, dependendo principalmente do tipo de animal, nível de consumo de alimentos, tipo de carboidratos presentes na dieta, estágio de desenvolvimento da forrageira, tamanho de partícula, processamento da forragem, adição de lipídeos no rúmen, suprimento de minerais, manipulação da microflora ruminal e da digestibilidade dos alimentos.

Tabela 27. Consumo diário de oxigênio (O₂), produção diária de dióxido de carbono (CO₂) e de metano (CH₄), em litros por kg de unidade de tamanho metabólico (L/UTM) em kcal por kg de unidade de tamanho metabólico (kcal/UTM), produção diária de calor (PC) em kcal por kg de unidade de tamanho metabólico (kcal/UTM) e quociente respiratório (QR) dos fenos de *A. gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.

Parâmetros	Idade de Corte			CV
	56 dias	84 dias	112 dias	
O ₂	27,22 ^a	27,61 ^a	24,15 ^b	10,52
CO ₂	26,16 ^a	27,47 ^a	24,10 ^b	10,11
CH ₄	1,76 ^a	1,57 ^b	1,49 ^c	13,43
PC	134,43	137,6	121,07	12,3
QR	0,97	0,99	1,00	7,02

CV - coeficiente de variação em porcentagem. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste SNK (P<0,05).

Para o consumo de oxigênio, em L/UTM, observa – se que os carneiros alimentados com fenos de 56 e 84 dias, apresentaram maiores valores (p<0,05) quando comparados aos alimentados com feno colhido aos 112 dias de crescimento (Tabela 27).

Valores de O₂ consumido próximos ao deste trabalho foram encontrados por Machado (2010) que relatou valores variando de 20,78 a 28,74 L/UTM, e por Velasco (2011) e Ramirez (2011) que encontraram valores, variando de 19,72 a 22,99 L/UTM e 19,7 a 23,0 L/UTM, respectivamente.

Teixeira *et al.* (2011) avaliando ovinos alimentados com capim elefante cortado em diferentes idades, observaram valores de consumo de oxigênio e produção de dióxido de carbono de 21,80 e 21,38 L/UTM respectivamente, estando estes inferiores aos encontrados neste trabalho. Valores superiores a este trabalho foram encontrados por Ribas (2010) que avaliando um híbrido de sorgo obteve consumos de oxigênio de 35,8 L/UTM.

A produção de calor diária pelos ovinos não variou (P>0,05) entre os tratamentos, apresentando como valor médio de 131,03 kcal/UTM. Faria Júnior (2012) não verificou

influência da idade de corte sobre a produção de calor, encontrando valor médio de 109,05 Kcal/UTM/dia, sendo este valor inferior ao encontrado neste trabalho. Já Ramirez (2011) encontrou valores também inferiores às deste trabalho variando de 95,0 a 114,1 Kcal/UTM/dia. As produções totais de calor estão correlacionadas às mensurações das produções de CO₂ e CH₄, consumo de O₂ e as perdas de nitrogênio urinário (Chwalibog, 2004). A produção de calor é resultante principalmente dos processos de fermentação dos nutrientes no rúmen e seus metabolismos no organismo animal, além da movimentação da digesta no trato gastrointestinal. Quanto maior este calor, menor é a eficiência de uso do alimento.

O QR está diretamente relacionado aos teores de CO₂ produzidos e O₂ consumidos, sendo que os valores variaram de 0,97 a 1,00 (Tabela 27). Faria Júnior (2012) relatou valores para os QR semelhantes aos deste trabalho, variando de 0,95 a 1,04. Esses coeficientes respiratórios próximos a 1,0 indicam que o organismo animal está metabolizando carboidratos, ocorrendo uma menor necessidade de O₂ durante as reações metabólicas. No entanto, são necessários mais trabalhos para verificar o metabolismo oxidativo dos ruminantes, visto que a maior fonte de energia metabolizável são os ácidos graxos voláteis e não os carboidratos dietéticos. Segundo Kleiber (1972) os coeficientes respiratórios de carboidratos, proteína e gorduras são 1,0; 0,8 e 0,7, respectivamente. Já Machado (2010) encontrou para as silagens de sorgo valores de QR variando de 0,88 a 0,97, sendo que segundo esta autora os valores mais baixos podem caracterizar mobilização de reserva corporal, visto que os animais apresentaram balanço energético negativo. Velasco (2011) e Ramirez (2011) encontraram valores de QR variando de 0,92 a 1,05 e 0,90 a 1,0, respectivamente, caracterizando também a metabolização de carboidratos.

5.4.6 PRODUÇÃO DE METANO

A produção diária em litros, em gramas e em gramas por quilo de matéria seca consumida de metano pelos ovinos alimentados com fenos, não variou ($P > 0,05$) entre os três tratamentos avaliados (Tabela 28). As produções médias de metano foram de 26,73 L/dia, 21,33 g/dia e 23,84 g/kg de MS por dia para os três tratamentos (56, 84 e 112 dias) avaliados. Ribeiro Junior *et al.* (2011) relataram valores diários para produção de metano de 14,27 L/dia para dietas contendo silagem de capim *Andropogon gayanus* com diferentes graus de maturidade.

Tabela 28. Valores médios de produção de metano em litros por dia (L/dia), em gramas por dia (g/dia) e em gramas por kg de matéria seca ingerida (g/kg de MS) por ovinos alimentados com feno de *A. gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento.

Parâmetros	Idade de Corte			CV
	56 dias	84 dias	112 dias	
CH ₄ (L/dia)	29,92	27,45	22,83	13,50
CH ₄ (g/dia)	24,67	22,05	17,27	11,75
CH ₄ (g/kg de MS)	26,72	24,74	20,06	15,01

CV - coeficiente de variação em porcentagem. Médias seguidas por letras maiúsculas distintas na mesma linha diferem estatisticamente entre si pelo teste SNK ($P < 0,05$).

Em se tratando da produção de metano, tem-se que uma dieta com valores de fibras mais elevados geralmente resulta em maior fermentação pelas bactérias fibrolíticas produzindo como subproduto de seu metabolismo principalmente o ácido acético e butírico, os quais geram grande excedente de íons de hidrogênio. Estes íons de hidrogênio são então capturados pelas *Archaea* metanogênicas, sendo associados a uma molécula de carbono, o que resulta na produção do gás metano. Sendo assim, o fato dos valores médios de FDN e de FDA terem sido próximos entre os três tratamentos (Tabela 2), explica a semelhança nos resultados encontrados para a produção de metano pelos animais.

Chandramoni *et al.* (2000) avaliaram a produção de metano em ovinos alimentados com dieta contendo 92% de volumoso (feno de aveia) e 8% de concentrado, encontraram uma produção média de 14,8 L/dia e 10,6 g/dia, valores estes abaixo dos encontrados na média dos três tratamentos. De acordo com Moss e Givens (1993), o tipo de volumoso e o uso de concentrados pode influenciar de forma substancial a produção de metano.

Molano *et al.* (2003) avaliando a produção de metano em ovinos consumindo azevém sendo duas dietas diferentes, uma de baixa (62,55%) e outra de alta (75,35%) digestibilidade, encontraram produção média de 21,35 g/dia e 23,65 g/kg de MS para a dieta de baixa digestibilidade e 25,40 g/dia e 22,93 g/kg de MS para a dieta de alta digestibilidade. Observou-se que os valores de produção diária de metano em gramas e em gramas por kg de matéria seca ingerida, tanto na dieta de baixa quanto na de alta digestibilidade, foram próximos das médias encontradas nos três tratamentos avaliados neste experimento.

5.5 CONCLUSÕES

Não houve diferenças entre os valores de energia líquida para o feno do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de crescimento fornecido para ovinos, com valor médio de 1,26 Mcal/ Kg de MS.

A idade de colheita dos fenos consumidos por ovinos não influenciou na produção de metano.

5.6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL: Energy and protein requirements of ruminants. Wallingford: CAB International, 1993. 159p.

ANDERSON, R. Effect of prolonged wilting in poor conditions on the fermentation quality, metabolisability and net energy value of silage given to sheep. *Animal Feed Science and Technology*, v.12, p.109-118, 1984.

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

ASSOCIATION OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. Official methods of analysis. 13ed. Washington - D.C.: AOAC, 1980, p.1015.

BLAXTER, K.L. The Energy Metabolism of Ruminants. Springfield, IL. Charles C. Thomas, 1962.

BLAXTER, K.L.; CLAPPERTON, J.L. Prediction of the amount of methane produced by ruminants. *British Journal Nutrition*, v.19, n.4, p.511-522, 1965.

BLAXTER, K.L.; WAINMAN, F.W. The utilization of the energy of different rations by sheep and cattle for maintenance and for fattening. *Journal of Agricultural Science*, v.63, p.113-128, 1964.

BROUWER, E. Report of Sub-Committee on Constants and Factors. Proc 3rd Symp. On Energy Metabolism, EAAP Publ. N° 11. p.441-443, 1965.

BRUINENBERGA, M.H.; VAN DER HONINGA, Y.; AGNEW, R.E. et al. Energy metabolism of dairy cows fed on grass. *Livestock Production Science*, v.75, p.117-128, 2002.

CASTRO G.H.F. Silagens de capim Tanzânia (*Panicum maximum* cv. Tanzânia) em diferentes idades. 2008. 125f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CHANDRAMONI; JADHAO, S.B.; TIWARI, C.M. et al. Energy metabolism with particular reference to methane production in Muzaffarnagari sheep fed rations varying in roughage to concentrate ratio. *Animal Feed Science and Technology*, v.83, p.287-300, 2000.

CHWALIBOG, A. Physiological basis of heat production – The fire of life. *Research School of Nutrition and Physiology*, 2004.

EUCLYDES, R.F. Sistema para análises estatísticas (SAEG 9.0). Viçosa: Funarbe, 2005.

GONÇALVES, L.C.; JAYME, D.G.; RIBEIRO JÚNIOR, G. O.; et al. Consumo voluntário e digestibilidade aparente em ovinos da energia das silagens de capim *Andropogon gayanus* em três idades de corte. In: XXI Congresso Brasileiro de Zootecnia, Maceió: ZOOTEC, 23 -27, mai. 2011. Anais XXI Congresso Brasileiro de Zootecnia. p.157-75.

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change. Emissions from livestock and manure management. In: Eggleston, H. S.; Buendia, L.; Miwa, K.; Ngara, T.; Tabane, K. (eds). IPCC Guidelines for national greenhouse gas inventories. Hayama: IGES, p.747-846, 2006.

JAYME, C.G. Silagens de *Brachiaria brizantha* sem aditivos, adicionada de cana-de-açúcar e aditivos microbianos. 2008. 77f. Tese (Doutorado em Medicina Veterinária) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

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

JOHNSON, D.E.; WARD, G.M. Estimates of animal methane emissions. *Environmental Monitoring and Assessment*, v.42, p.133-141, 1996.

JOHNSON, K.A.; JOHNSON, D.E. Methane Emissions from Cattle. *Journal of Animal Science*, v.73, p.2483- 2492, 1995.

LAWRENCE, T.L.J.; FOWLER, V.R. Growth of Farm Animals. 2nd Edn., CABI Publishing, Oxon, UK., Pages: 347. 2002.

MACHADO, F. S. Digestibilidade, partição de energia e produção de metano em ovinos alimentados com silagens de híbridos de sorgo em diferentes estádios de maturação. 2010. 109f. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

MAYNARD, L.A.; LOOSLI, B.S.; HINTZ, H.F. et al. Nutrição animal. 3 ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1984. 726p.

MOLANO, G.; RENARD, T.; CLARK, H. The effect of level of feeding and forage quality on methane emissions by wether lambs. Proceeding of the 2nd Joint Australia and New Zealand Forum on Non-CO2 Greenhouse Gas Emissions from Agriculture (Ed. R. Eckard and B. Slattery). Cooperative Research Centre for Greenhouse Gas Accounting, Canberra, Australia. p.f14, 2003.

MOSS, A.R.; GIVENS, R.; Effect of supplement type and grass silage: concentrate ratio on methane production by sheep. *Proc. British Society of Animal Production*, p.52, 1993.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. Nutrient requirements of small ruminants. 2007, 362p.

RAMIREZ, M.A. Consumo e digestibilidade aparente de fenos de *Brachiaria decumbens*, stapf cultivar basiliski cortados em três diferentes idades. 2010. 36f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

RAMIREZ, M.A. Valor nutricional do feno de *Brachiaria decumbens* em três idades. 2011. 138f. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

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

RIBEIRO JÚNIOR, G.O.; GONÇALVES, L.C.; RODRIGUEZ, N.M.; et al. Respirimetria e perdas energéticas de ovinos alimentados com silagens de capim *Andropogon gayanus* em diferentes idades de corte In: XI Simposio de sustentabilidade leiteira, Maceió: ZOOTECH, 23 -27, mai. 2011. Anais do XI Simposio de sustentabilidade leiteira.

RODRIGUEZ, N.M.; CAMPOS, W.E.; LACHICA, M.L. et al. A calorimetry system for metabolism trials. *Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinaria e Zootecnia*, v.59, n. 2, p. 495-500, 2007.

RUSSEL, B.J.; O' CONNOR, J.D.; FOX; D.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluation cattles diets: ruminal fermentation. *Journal of Animal Science*, v.70, n.12, p.1955-1963, 1992.

SAMPAIO, I, B, M. Estatística aplicada à experimentação animal. Belo Horizonte: Fundação de Estudo e Pesquisa em Medicina Veterinária e Zootecnia, 2002. 265p.

SOCORRO E.P. Digestibilidade aparente e partição da digestão de fenos de *Brachiaria decumbens* STAPF. 1984. 77f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TEIXEIRA, A M.; JAYME, C. G.; GONÇALVES, L. C.; et al., Consumo voluntário e digestibilidade aparente das frações fibrosas das silagens de *Brachiaria brizantha* pura, adicionada de cana de açúcar e com aditivos bacterianos. In: 45° REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 2008, Lavras. Anais da 45° reunião da sociedade brasileira de zootecnia. Lavras, 2008.

TEIXEIRA, A.M. Consumo voluntário e digestibilidade aparente do capim-elefante verde em diferentes idades de corte em ovinos. 2009. 29f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

TEIXEIRA, A.M.; GONÇALVES, L.C.; JAYME, D.G.; et al. Consumo de energia e respirometria de ovinos alimentados com capim elefante verde em três idades de corte. In: XXI Congresso Brasileiro de Zootecnia, Maceió: ZOOTECH, 23 -27, mai. 2011. Anais XXI Congresso Brasileiro de Zootecnia.

TOMKINS, N.W.; MCGINN, S.M.; TURNER, D.A. et al. Comparison of open-circuit respiration chambers with a micrometeorological method for determining methane emissions from beef cattle grazing a tropical pasture. *Animal Feed Science and Technology*, 166-167, p.240-247, 2011.

VALADARES FILHO, S.C.; PINA, D.S.; CHIZZOTTI, M.L. et al. Degradação ruminal da proteína dos alimentos e síntese de proteína microbiana. In: VALADARES FILHO, S.C.; PAULINO, P.V.R; MAGALHÃES, K.A. (Eds.) Exigências nutricionais de zebuínos e tabelas de composição de alimentos BR-Corte. Viçosa, MG: Suprema Gráfica, 2006. 142p.

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

VELASCO, F.O. Consumo e digestibilidade aparente da *Brachiaria decumbens* verde em três idades de corte. 2009. 24f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

CAPÍTULO VI

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de não ter sido encontrada diferenças entre os valores de energia líquida para as diferentes idades de colheita do feno do capim *Andropogon gayanus*, outros parâmetros como os teores de proteína e sua degradabilidade ruminal devem ser avaliados para a correta formulação de uma dieta para ruminantes.

As idades de corte de 56, 84 e 112 dias do feno do capim *Andropogon gayanus*, não influenciaram a produção de metano em ovinos.

O feno do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56 dias foi superior às demais idades avaliadas de acordo com os experimentos “in vitro” de produção de gases e “in situ”.

