

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

**VALOR NUTRICIONAL DAS SILAGENS DE CAPIM ANDROPOGON EM TRÊS
IDADES DE CORTE**

GABRIEL DE OLIVEIRA RIBEIRO JUNIOR

Belo Horizonte

2013

GABRIEL DE OLIVEIRA RIBEIRO JUNIOR

**VALOR NUTRICIONAL DAS SILAGENS DE CAPIM ANDROPOGON EM TRÊS
IDADES DE CORTE**

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

Orientador: Prof. Lúcio Carlos Gonçalves

Belo Horizonte – Minas Gerais

Escola de Veterinária – UFMG

2013

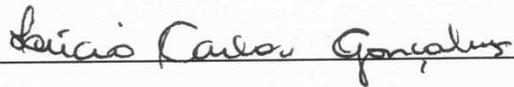
R484v Ribeiro Júnior, Gabriel de Oliveira, 1985-
Valor nutricional das silagens de capim *Andropogon* em três idades de corte / Gabriel de Oliveira Ribeiro Júnior. – 2013.
205 p. : il.

Orientador: Lúcio Carlos Gonçalves
Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Veterinária.
Inclui bibliografia

1. Silagem – Qualidade – Teses. 2. Valor nutricional – Teses. 3. Capim *Andropogon gayanus* – Teses. 4. Ovino – Alimentação e rações – Teses. I. Gonçalves, Lúcio Carlos. II. Universidade Federal de Minas Gerais. Escola de Veterinária. III. Título.

CDD – 633.2

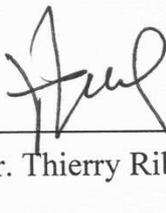
Tese defendida e aprovada no dia 21 de fevereiro de 2013 pela comissão examinadora constituída por:



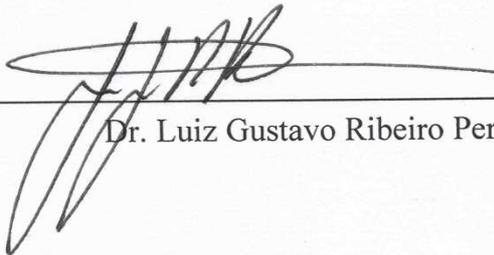
Prof. Lúcio Carlos Gonçalves
(Orientador)



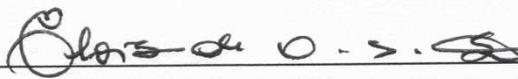
Prof. Diogo Gonzaga Jayme



Dr. Thierry Ribeiro Tomich



Dr. Luiz Gustavo Ribeiro Pereira



Profª. Eloísa de Oliveira Simões Saliba

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, Gabriel e Roseane, pelo amor incondicional, educação, confiança, enfim, pela pessoa que sou hoje e também pelo apoio e incentivo em todos os momentos.

Aos meus irmãos Leandro e Leo pela amizade e apoio.

Ao professor Lúcio Carlos Gonçalves pela oportunidade, orientação, ensinamentos e confiança.

Aos meus irmãos da pós-graduação Fred e Alex que sempre estiveram presentes em todas as dificuldades, pela ajuda durante todo o trabalho, companheirismo e amizade.

À Natália, pelo seu apoio em todos os momentos, amor e companheirismo e também à sua família, pelo acolhimento e por torcerem por mim.

Ao departamento de Zootecnia da EV-UFMG, pela oportunidade de crescimento profissional.

Aos professores Diogo Gonzga Jayme, Norberto Mario Rodriguez, Eloisa de Oliveira Simões Saliba e Iran Borges pelos ensinamentos e disponibilidade em ajudar durante todos os momentos.

Ao professor Rogério Martins Maurício pelos ensinamentos, amizade e auxílio na execução da parte de campo do experimento.

Aos funcionários do laboratório de nutrição animal Kelly, Marcos, Margot, Toninho e Carlos pelos auxílios em todos os momentos durante a execução das análises.

Aos pesquisadores da EMBRAPA Luiz Gustavo e Thierry pelos ensinamentos e por estarem sempre prontos a colaborar.

Aos companheiros que estão ou fizeram parte da equipe coordenada pelo Prof. Lúcio: Fernanda, André, Pedro, Wellyngton, Wilson, Gustavo (Biziu), Fernando (Baby), Marcelo, Diego, Daniel, Cristiano, Roberto Guimarães e Roberto Camargos.

Ao Dr. Tim McAllister e seu grupo de pesquisa do Agriculture and Agri-Food Canadá por me receber no Canadá e possibilitar o desenvolvimento de parte do meu projeto de pesquisa e também meu crescimento pessoal como pesquisador.

À FAPEMIG pelo apoio financeiro concedido para a realização deste trabalho.

À CAPES pela bolsa de doutorado.

Ao CNPq pela bolsa de doutorado sanduiche.

À toda minha família pelo apoio e amizade.

Muito obrigado.

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT.....	13

CAPÍTULO I

1.1. Introdução geral.....	15
----------------------------	----

CAPÍTULO II

Revisão de literatura.....	17
2.1. O capim <i>Andropogon</i>	17
2.2. Produtividade do capim <i>andropogon</i>	18
2.3. Efeito da maturidade da planta no valor nutricional.....	19
2.4. Qualidade das silagens.....	21
2.5. Consumo Voluntário.....	23
2.6. Digestibilidade.....	27
2.7. A técnica <i>in situ</i> na avaliação de alimentos para ruminantes.....	32
2.8. Metabolismo da Energia	36
2.8.1. Partição e eficiência de utilização da energia.....	36
2.8.2. Métodos de determinação da energia retida.....	41
2.9. Emissão de metano entérico por ruminantes.....	44
2.9.1. Importância do metano.....	44
2.9.2. Formação de metano e sua importância no rúmen.....	45
2.9.3. Técnicas de determinação da emissão de metano pelos ruminantes.....	48
2.9.4. Efeito do nível de alimentação e características da dieta sobre a emissão de metano.....	49
2.10. Referências bibliográficas.....	51

CAPÍTULO III – Experimento I

Consumo, digestibilidade, partição de energia e produção de metano entérico em ovinos alimentados com silagens de capim *Andropogon gayanus* em três idades de corte

3.1. Resumo.....	71
3.2. Introdução.....	72
3.3. Material e Métodos.....	73
3.3.1. Colheita do matéria.....	73
3.3.2. Procedimento experimental.....	74
3.3.3. Procedimento laboratorial.....	75
3.3.4. Calorimetria.....	76
3.3.5. Cálculos.....	77

3.3.6.	Procedimento estatístico.....	78
3.4.	Resultados e discussão.....	79
3.4.1.	Composição química.....	79
3.4.2.	Consumo e digestibilidade aparente da matéria seca e matéria orgânica.....	80
3.4.3.	Consumo e digestibilidade aparente da proteína bruta e balanço de nitrogênio.....	82
3.4.4.	Consumo e digestibilidade das frações fibrosas.....	85
3.4.5.	Consumo de energia.....	88
3.4.6.	Perdas energéticas.....	91
3.4.7.	Eficiência de utilização da energia.....	94
3.4.8.	Teores de energia.....	96
3.4.9.	Respirometria.....	98
3.4.10.	Emissões de metano entérico.....	99
3.5.	Conclusões.....	102
3.6.	Referências bibliográficas.....	102

CAPÍTULO IV – Experimento II

Cinética de degradação *in situ* dos componentes nutricionais das silagens de capim *Andropogon gayanus* realizadas em três idades de corte

4.1.	Resumo.....	110
4.2.	Introdução.....	111
4.3.	Material e Métodos.....	112
4.3.1.	Procedimento experimental.....	112
4.3.2.	Procedimento laboratorial.....	113
4.3.3.	Procedimento estatístico.....	113
4.4.	Resultados e discussão.....	115
4.4.1.	Matéria seca.....	115
4.4.2.	Matéria orgânica.....	117
4.4.3.	Proteína bruta.....	119
4.4.4.	Fibra insolúvel em detergente neutro.....	121
4.4.5.	Fibra insolúvel em detergente ácido.....	122
4.5.	Conclusões.....	124
4.6.	Referências bibliográficas.....	124

CAPÍTULO V

Conclusões gerais.....	128
-------------------------------	------------

ANEXOS

Anexo I: Coeficientes de Correlação de Pearson – Capítulo III.....	129
Anexo II: Coeficientes de Correlação de Pearson – Capítulo IV.....	192

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO III

Tabela 1. Datas de corte do capim <i>Andropogon gayanus</i>	73
Tabela 2. Precipitação acumulada e média de umidade e temperaturas máxima e mínima dos períodos avaliados.....	74
Tabela 3. Composição química e parâmetros fermentativos das silagens de capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.....	79
Tabela 4. Consumo e digestibilidade aparente da matéria seca (MS) e matéria orgânica (MO) em ovinos alimentados com silagens de capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.....	81
Tabela 5. Consumo e digestibilidade aparente da proteína bruta (PB) em ovinos alimentados com silagens de capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.....	82
Tabela 6. Utilização e perdas de nitrogênio (N) em ovinos alimentados com silagens de capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.....	84
Tabela 7. Consumo e digestibilidade da fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e da fibra insolúvel dem detergente ácido (FDA) em ovinos alimentados com silagens de capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.....	85
Tabela 8. Consumo de hemiceluloses, celulose e lignina e digestibilidade das hemiceluloses e celulose em ovinos alimentados com silagens de capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.....	87
Tabela 9. Consumo e retenção de energia por ovinos alimentados com silagens de capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.....	89
Tabela 10. Perdas de energia diárias nas fezes, urina, metano e incremento calórico por ovinos alimentados com silagens de capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.....	92
Tabela 11. Digestibilidade aparente da energia bruta (EB), metabolizabilidade (q_m), eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção (K_m) e razão entre energia líquida (EL) e energia bruta em ovinos alimentados com silagens de capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.....	95
Tabela 12. Teores de energia bruta, digestível, metabolizável e líquida em Mcal por Kg de matéria seca (MS) consumida das silagens de capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.....	97

Tabela 13. Valores médios da produção de metano (CH ₄) e gás carbônico (CO ₂), e consumo de oxigênio (O ₂), produção diária de calor (PC) e coeficiente respiratório (CR) de ovinos alimentados com silagens de capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.....	99
---	----

Tabela 14. Efeito da ensilagem do capim <i>Andropogon gayanus</i> colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote sobre a emissão de metano por ovinos.....	100
--	-----

CAPÍTULO IV

Tabela 1. Parâmetros de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da matéria seca (MS) das silagens de capim <i>Andropogon gayanus</i> obtidas aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.....	115
--	-----

Tabela 2. Parâmetros de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da matéria orgânica (MO) das silagens de capim <i>Andropogon gayanus</i> obtidas aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.....	1118
--	------

Tabela 3. Parâmetros de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da proteína bruta (PB) das silagens de capim <i>Andropogon gayanus</i> obtidas aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.....	119
--	-----

Tabela 4. Parâmetros de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) das silagens de capim <i>Andropogon gayanus</i> obtidas aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.....	121
---	-----

Tabela 5. Parâmetros de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) das silagens de capim <i>Andropogon gayanus</i> obtidas aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.....	123
--	-----

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 1. Rotas de fermentação da glicose no rúmen.....	47
---	----

VALOR NUTRICIONAL DAS SILAGENS DE CAPIM ANDROPOGON EM TRÊS IDADES DE CORTE

RESUMO

Objetivou-se determinar o efeito do avanço da idade de corte (56, 84 e 112 dias) do capim *Andropogon gayanus* sobre o valor nutricional das silagens e a produção de metano por ovinos. Para tanto, foram realizados experimentos de consumo, digestibilidade aparente e respirometria (experimento I) e de cinética de degradação *in situ* dos componentes nutricionais (experimento II). O experimento de consumo e digestibilidade foi realizado em gaiolas metabólicas com coleta total de fezes e urina. O período experimental foi de cinco dias após 21 dias de adaptação às dietas. A energia líquida das silagens e o balanço de energia e a produção de metano em ovinos foram determinados em câmara respirométrica de circuito aberto. Os animais passaram pela câmara por um período de 24 h, primeiro alimentados e depois em jejum. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com três idades de corte (56, 84 e 112 dias) e seis repetições (carneiros; $n=6$). Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão linear. Não foram observadas diferenças ($P>0,05$) entre os tratamentos nos consumos ($\text{g/kg}^{0,75}/\text{dia}$) de matéria seca (MS) (54,4 $\text{g/kg}^{0,75}/\text{dia}$), matéria orgânica (MO), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e fibra insolúvel em detergente ácido (FDA). O consumo ($\text{g/kg}^{0,75}/\text{dia}$) de proteína bruta (PB) reduziu ($P<0,05$) de forma linear com o aumento da idade de corte do capim. A digestibilidade aparente da MS das silagens reduziu de forma linear de 52,6 para 38,0% com o aumento da idade de corte do capim. As digestibilidades aparentes da MO e PB e verdadeiras da FDN e FDA das silagens também apresentaram redução linear ($P<0,05$) com o aumento da idade de corte do capim andropogon. Todos os tratamentos apresentaram balanço de nitrogênio (N) positivo (g/dia) e não diferiram entre si ($P>0,05$). A energia retida reduziu de forma linear de 37,2 para -0,1 $\text{kcal/kg}^{0,75}/\text{dia}$ com o aumento da idade de corte do capim. As energias digestível, metabolizável e líquida das silagens também reduziram de forma linear ($P<0,05$) com o aumento da idade de corte da planta. Não foi encontrada diferença ($P>0,05$) entre a produção de metano (g/kg de MS, g/kg de MS digestível e em % da energia bruta consumida) por ovinos para as silagens avaliadas, sendo que a produção média foi de 11,6 g/kg de MS, 26,6 g/kg de MS digestível e 3,4% da energia bruta consumida. No experimento 2 foi avaliado a cinética de degradação *in situ* da MS, MO, FDN e FDA. Os tempos de incubação utilizados para avaliar a degradação ruminal foram 0, 6, 12, 24, 48, 72 e

96 horas. Os parâmetros da cinética de degradação das silagens de cada tratamento (3 silagens) em cada animal (5 vacas) foram determinados pelo modelo: $y = a + b(1 - e^{-c(t-L)})$. Os parâmetros gerados pela equação foram analisados como blocos inteiramente casualizados, sendo que as idades de corte foram inseridas como efeito fixo e os animais como efeito aleatório (blocos). A silagem produzida com a planta aos 56 dias de rebrote apresentou os maiores ($P < 0,05$) valores de degradabilidade efetiva da MS, da FDN e FDA calculada para a taxa de passagem de 2,0%/h. Todas as silagens apresentaram baixa fração solúvel ($< 25,4\%$) e degradabilidade efetiva ($< 40,1\%$) da proteína bruta com taxa de passagem de 2%. Foi observado um maior ($P < 0,05$) tempo de colonização da FDN e da FDA para as silagens realizadas com as plantas aos 84 e 112 dias de crescimento em comparação com a silagem produzida aos 56 dias. A silagem de capim *Andropogon gayanus* deve ser confeccionada aos 56 dias de rebrote, a fim de se produzir uma silagem de melhor valor nutricional, pois o aumento da idade de corte do capim proporcionou redução da degradação ruminal dos componentes nutricionais, da energia líquida das silagens e da retenção de energia pelos animais. A produção de metano por ovinos não foi influenciada pela maturidade da planta no momento da ensilagem.

Palavras-chave: calorimetria indireta, degradação ruminal, emissão de metano, energia líquida, forrageira tropical, idades de corte

NUTRITIONAL VALUE OF ANDROPOGON GRASS SILAGES HARVESTED AT THREE STAGES OF MATURITY

ABSTRACT

This study was undertaken to evaluate the effect of harvesting *Andropogon gayanus* grass with 56, 84 and 112 d of regrowth on the nutritional value of the silages and methane emissions from sheep. To achieve this objective two trials were performed: intake, digestibility and respirometry trial by sheep (experiment I) and *in situ* degradation kinetic of the silages (experiment II). *A. gayanus* grass silage was made using 56, 84 and 112 days of re-growth in 200 L metallic barrels and fed to sheep ($n=18$) for a period of 21 days after which intake and digestibility were measured for 5 consecutive days. Net energy, energy balance and methane emissions were determined with an open circuit respirometry chamber. The animals stayed inside the chamber for 24 hours during feeding and fasting. The experimental design was completely randomized with three treatments (silage age) and six repetitions (sheep). The data were subjected to ANOVA and linear regression. There were no differences between the silages for dry matter (DM) ($54.4 \text{ g/kg}^{0.75}/\text{d}$), organic matter (OM), neutral detergent fiber (NDF) and acid detergent fiber (ADF) intakes. However crude protein (CP) intake ($\text{g/kg}^{0.75}/\text{d}$) reduced ($P < 0.05$) linearly with increasing *A. gayanus* grass regrowth age. Silage DM apparent digestibility decreased linearly from 52.6 to 38.0% with increasing grass regrowth age. Apparent digestibility of OM and CP and true digestibility of NDF and ADF also decreased linearly ($P < 0.05$) with increasing grass regrowth age. All treatments showed positive nitrogen (N) (g/d) balance and did not differ ($P > 0.05$). Retained energy from rams decreased linearly from 37.2 to $-0.1 \text{ kcal/kg}^{0.75}/\text{d}$ with increasing regrowth age. Silage digestible, metabolizable and net energies also decreased linearly ($P < 0.05$) with increasing regrowth age. There were no differences ($P > 0.05$) between methane emissions (g/kg of DM, g/kg of digestible DM and as % of gross energy intake) from rams fed silages with increasing *A. gayanus* regrowth age, and the averages were 11.6 g/kg of DM, 26.6 g/kg of digestible DM and 3.4% of gross energy intake. In experiment II the kinetics of ruminal DM, OM, CP, NDF and ADF degradation were evaluated. Dried and ground silage samples (5 mm) were incubated in nylon bags inside the rumen for 0, 6, 12, 24, 48, 72 and 96 h. The ruminal kinetic parameters of the silages from each treatment (56, 84 and 112 d of regrowth) in each animal (5 cows) were determined by the model: $y = a + b(1 - e^{-c(t-L)})$. The parameters generated by the model were analyzed as randomized block design, with grass regrowth age

as fixed effect and animal as random effect (blocks). The grass silage ensiled with 56 days of regrowth had the highest ($P < 0.05$) effective degradability of DM, NDF and ADF calculated for fractional rate of particulate passage of 2%/h. All silages evaluated had low CP solubility ($< 25.4\%$) and effective degradability (40.1%) calculated for fractional rate of particulate passage of 2%/h. The silages harvested with 84 and 112 d of regrowth had higher NDF and ADF lag times compared to the silage made with 56 d of grass regrowth. Increasing regrowth age reduced ruminal degradation, silage net energy and energy retention by the animals, therefore *A. gayanus* grass should be ensiled with 56 d of regrowth to produce silage with higher nutritional value. Grass regrowth age did not affect silages methane emissions (% of gross energy intake, g/kg of DM intake or g/kg digestible DM intake) by rams.

Keywords: indirect calorimetry, maturity, methane emission, net energy, rumen degradability, tropical forage

CAPÍTULO I

1.1. Introdução

As condições edafoclimáticas brasileiras favorecem o cultivo de gramíneas forrageiras tropicais. No Brasil existem aproximadamente 160 milhões de hectares de pastagens, dos quais cerca de 100 milhões hectares são de gramíneas tropicais cultivadas e o restante de pastagens nativas (IBGE, 2009)¹. Entre as forrageiras com maior área cultivada destacam-se as espécies dos gêneros *Brachiaria*, *Panicum*, *Pennisetum*, *Cynodon* e *Andropogon*. O capim *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 estes motivos, o capim *A. gayanus* é considerado uma das gramíneas mais adaptadas às savanas tropicais e, atualmente, é amplamente utilizado como pastagem cultivada no Brasil, principalmente nas áreas de Cerrado (savana brasileira). A América do Sul possui aproximadamente 240 milhões de hectares de savana (CIAT, 1992)², sendo esta considerada uma das maiores áreas disponível para produção de ruminantes no continente.

As savanas tropicais são caracterizadas pela alternância entre período chuvoso e seco. O período seco é marcado pela escassez da produção de forragem e redução significativa da qualidade da forragem disponível, que, na maioria das vezes, coloca os animais em balanço energético negativo com consequente perda de peso. Uma estratégia de manejo para evitar este problema é ensilar o excesso de produção de forragem do período chuvoso quando a qualidade da forragem é substancialmente maior. Entretanto, a determinação do momento de corte ideal para a ensilagem é fundamental, pois apesar da produção de matéria seca aumentar com a idade, o valor nutritivo tende a diminuir. Aliado a este fato, é importante determinar o momento em que a composição da planta (teor de umidade e carboidratos solúveis) favorecerá o processo de fermentação e, conseqüentemente, a produção de uma silagem de melhor qualidade. Outro aspecto importante, observado por trabalhos recentes, é

¹ IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Agropecuário 2006: Brasil, Grandes Regiões e Unidades da Federação**. Rio de Janeiro, p.1-777, 2009. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/economia/agropecuaria/censoagro/brasil_2006/Brasil_censoagro2006.pdf> Acesso em: 26/01/2012.

² CIAT (Centro Internacional de Agricultura Tropical) **Pasture for the tropical lowlands**. CIAT's Contribution. Cali, Columbia. 1992, p. 238.

que a maturidade da planta também parece afetar a produção de metano entérico pelos ruminantes.

Os ruminantes são capazes de converter plantas ricas em celulose, (i.e.: materiais não digeridos por animais monogástricos) em carne, leite, lã e couro, com a vantagem de não competir diretamente com o homem por alimento. Entretanto, atualmente a produção de ruminantes tem sido criticada devido à produção de gases do efeito estufa (GEE), principalmente o metano. O metano produzido pelos ruminantes é originado da fermentação entérica, sendo em sua maior parte proveniente da fermentação da matéria orgânica no rúmen e em menor parte no intestino grosso. O aumento de evidências sobre o aquecimento global criou um esforço internacional para a redução das emissões dos gases do efeito estufa. Neste sentido, a pecuária brasileira, em especial, vem sendo criticada por emitir quantidades significativas de GEE. Tal crítica está fundamentada nos baixos índices zootécnicos verificados em sistemas de exploração animal baseados em pastagens degradadas ou que se encontram abaixo do seu potencial de produção. A ineficiência desse modelo de exploração tem gerado maiores quantidades de GEE por quilo de carne e/ou leite produzidos

Esta crescente preocupação com os GEE fez o governo brasileiro assumir o compromisso de reduzir de 36 a 39% suas emissões até 2020 durante a Conferência Mundial do Clima na Dinamarca (COP15). Para que este objetivo seja atingido todas as atividades produtivas precisam contribuir reduzindo suas emissões e produzindo de forma mais eficiente. Sendo assim, é necessário um inventário acurado das atuais emissões de GEE para que no futuro as estratégias de redução sejam comparadas. Entretanto, atualmente existe uma escassez de dados sobre a produção de metano por ruminantes alimentados com forrageiras tropicais. Desta forma, é importante gerar dados nacionais confiáveis a partir de dietas e animais que reflitam a realidade brasileira para que possam ser utilizados no desenvolvimento de equações mais precisas e em estimativas futuras das emissões dos GEE.

Não foram encontrados na literatura estudos que objetivaram determinar o momento ideal de corte do capim *A. gayanus* para sua utilização na forma de silagem e a produção de metano por ruminantes alimentados por estas silagens. Desta forma objetivou-se com este estudo determinar o efeito do avanço da maturidade do capim *Andropogon gayanus* no valor nutricional das silagens e na produção de metano por ruminantes. Para tanto foram realizados experimentos de consumo, digestibilidade aparente e respirometria indireta e degradabilidade *in situ* dos componentes nutricionais.

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA

2.1. O capim *Andropogon*

Originário do sul da África o capim andropogon (*Andropogon gayanus* Kunth.) é uma planta pertencente à família *Poaceae* (*Graminae*), subfamília *Panicoideae*, tribo *Andropogonae*, gênero *Andropogon* L. Vulgarmente denominado Gamba grass (África), Sadabahar (Índia), Rhodesian andropogon (sul da África), Rhodesian blue grass (Zimbábue), onaga (noroeste da África), pasto llanero e capim gamba. São reconhecidas quatro variedades: var. *gayanus*, var. *tridentatus* Hack., var. *polycladus* (sin. var. *squamulatus*), var. *bisquamulatus*. As variedades são classificadas com base principalmente na pilosidade das espiguetas (Gonzales e Gerardo, 1982; CIAT, 1990).

A introdução do capim andropogon no Brasil parece ter ocorrido em 1942. Com origem na região de Transvaal na África do Sul, a variedade *A. gayanus* var. *polycladus* foi introduzida. Entretanto, apesar de resultados iniciais positivos, este acesso não atingiu maiores avanços devido a dificuldades com a produção de sementes. O capim só foi ganhar espaço na pecuária nacional na década de 80 quando a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) lançou o cultivar Planaltina. O Centro Internacional de Agricultura Tropical (CIAT) conduziu um trabalho de extensa multiplicação e avaliação das sementes de capim andropogon e em 1980 vendeu o acesso CIAT 621 (*A. gayanus* var. *bisquamulatus*) à Embrapa, sendo este lançado no Brasil em 1981 com o nome de capim *Andropogon gayanus* cv. Planaltina. Nesse mesmo período, Colômbia, Venezuela, Peru, Panamá e México também adquiriram o mesmo acesso do CIAT e o lançaram com diferentes nomes (Carimagua 1, Sabanero, San Martin, Verenero e Llanero respectivamente) (CIAT, 1990).

O *Andropogon gayanus* é caracterizado como uma gramínea de hábito de crescimento cespitoso, vigorosa, atingindo alturas de até 3,0 m; possui pêlos na bainha e na lâmina foliar, sementes com longas aristas e sistema radicular profundo (algumas raízes podem atingir 1,2 m de comprimento), o que lhe confere grande resistência à seca. As folhas são abundantes, macias de coloração azulada e possuem estreitamento na base. Adapta-se a regiões de altas temperaturas, com 400 a 3000 mm de chuvas anuais e altitudes de até 2000m. É uma forrageira pouco exigente em fertilidade de solo, preferindo os bem drenados e desenvolvendo-se bem em solos pobres e ácidos (Batista e Godoy, 1995; Alcântara *et al.*,

1981). Cresce bem em solos com alta saturação de alumínio. O capim andropogon também possui alta resistência à cigarrinha das pastagens e ao fogo (CIAT, 1990). Esta forrageira se destaca em relação às demais gramíneas forrageiras por adaptar-se às condições de clima e solo do cerrado brasileiro (Batista e Godoy, 1995). Uma característica marcante da espécie é sua dinâmica de crescimento, que, como demonstrada por Blanco (1996), se aproximou bastante da curva sigmóide, apresentando crescimento muito baixo nas 4 primeiras semanas, uma explosão de crescimento entre a 4^a e a 8^a semana, entretanto com um crescimento mais intenso entre a 4^a e 6^a semanas, e reduzindo bastante o crescimento após a 8^a semana. Sendo devido a essa característica de crescimento uma das grandes dificuldades de se manejar o capim em sistema 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 deste capim.

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. Foi concluído também que o capim apresentou boa resposta a adubações de reposição com 13 ou 26 kg de fósforo por hectare. Carneiro *et al.* (1992) em experimento realizado em um Latossolo vermelho-amarelo em Igarapé, MG, também concluiu que o capim andropogon foi capaz de se estabelecer sem adubação, 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) encontram 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 níveis mais baixos de adubação. Já Alencar *et al.* (1996) 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.

2.2. Produtividade do capim andropogon

Couto *et al.* (1991), em Planaltina DF, encontraram produções de capim *A. gayanus* de 2,1 e 4,1 t/ha/ano de MS no quarto ano após o plantio, sem adubação ou com adubação de reposição com 13 kg de fósforo por hectare/ano respectivamente. Já Carneiro *et al.* (1992) encontraram produção média de 12,2 t/ha/ano de MS em quatro cortes sem adubação,

realizados também em latossolo vermelho-amarelo, em Igarapé, MG. Em trabalho realizado em latossolo vermelho-amarelo argiloso (solo típico de cerrado) na Embrapa em Rondônia, Costa *et al.* (1997) encontram rendimento acumulado total de 20 t/ha de MS para o capim andropogon em dez cortes realizados no período chuvoso e seco, valor este que foi superior ao da *Brachiaria brizanta* cv. Marandu, *B. humidicula*, *B. dictyoneura*, *B. decumbens*, *B. ruziziensis* e *Setaria sphacelata*. No semi-árido brasileiro na região de Sobral, CE, Sousa e Araújo Filho (2002) encontraram produção média de 6 t/ha/ano de MS para o capim andropogon e concluíram também que este foi resistente à seca e à pragas e doenças. Mais recentemente, avaliando o efeito da maturidade da planta sobre a produtividade na região de Lagoa Santa, MG, em solos típicos de cerrado no período chuvoso, Ribeiro Jr. (2009) encontrou 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.

Machado e Nunes (1989), trabalhando em Cuba, encontraram produção média de 5,8 e 12,0 t/ha de MS, no período seco e chuvoso respectivamente. No experimento realizado por Carneiro *et al.* (1992), 89,35% da produção ocorreu no período chuvoso e 10,65% no período seco. Botrel *et al.* (1999) também encontraram variações de acordo com a época do ano, as produções foram de 3,11 e 8,75 t/ha de MS para o período seco e chuvoso, além disso, o teor de PB passou de 11,8% no período chuvoso para 7,6% na seca.

Os dados destes experimentos evidenciaram a estacionalidade da produção de forragem por esta gramínea. Assim, para que esta estacionalidade de produção não interfira na produção animal, estratégias de produção de alimentos volumosos para o período seco devem ser adotadas. A produção de silagem de capim se destaca por ser uma forma de aproveitamento do excedente produzido durante o período chuvoso. Além disso, essa estratégia apresenta menores custos de produção quando comparada com silagens tradicionais como as de milho e de sorgo. Apesar da alta produtividade do capim andropogon e de sua vantagem de poder ser cultivado em solos de mais baixa fertilidade, muito pouco foi publicado sobre sua utilização para produção de silagem.

2.3. Efeito da maturidade da planta no valor nutricional

Com a maturidade da planta, ainda que a produção de matéria seca aumente, seu valor nutritivo reduz. Ocorrem alterações que resultam na elevação das concentrações de compostos estruturais, tais como a celulose, hemiceluloses e lignina, e 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 forragens com o aumento da idade da planta se dá principalmente pela diminuição da relação folha/haste e declínio da qualidade dos componentes da haste (Nelson e Moser, 1994, 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 vascular, que possuem células densamente agrupadas com paredes espessas e lignificadas, de difícil degradação pelos microorganismos do rúmen (Wilson e Mertens, 1995). Esta diminuição da relação folha/haste com conseqüente redução dos teores de proteína bruta (PB) e aumento dos teores de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) com o avanço da maturidade da planta foi verificada por Ribeiro Jr. (2009) trabalhando com o capim andropogon. Não foi observado aumento dos teores de lignina naquele trabalho, entretanto foi observada redução linear da digestibilidade *in vitro* da MS. Mesmo quando os valores de lignina mostram-se inalterados com a maturidade da planta pode haver redução da digestibilidade devido a alterações na composição da lignina, como mudança da relação guaiacila e siringila e aumento das ligações com o ácido ferúlico (Buxton e Russell, 1988; Jung e Deetz, 1993). As moléculas de ácido ferúlico estão envolvidas na ligação cruzada da lignina aos polissacarídeos (arabinoxilanas) via ligação éster e éter que não podem ser degradadas pelos microorganismos do rúmen (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 haste supera a de folhas. As hastes possuem maior proporção de tecidos que desenvolvem paredes secundárias espessas, por isso a concentração de parede celular das hastes é maior que das folhas. Os caules apresentam maior proporção de tecidos estruturais (esclerênquima e fibras do xilema) e vasculares (xilema) e menor proporção de tecidos fotossintéticos (mesófilo e clorênquima) em comparação com as folhas (Wilson e Kennedy, 1996). Associado ao aumento na concentração de parede celular com a maturidade da planta ocorre um aumento nos teores de celulose, xilanas e lignina e redução nos teores de pectina da parede celular. Essas mudanças na composição da parede celular são um reflexo da composição da parede secundária em comparação com a parede primária e do fato das hastes apresentarem mais tecidos que acumulam parede secundária com a maturação da

planta comparado com as folhas (Jung, 2011). É importante ressaltar, que, apesar de em menor proporção que nas hastes, a digestibilidade das folhas também reduz com a maturidade. Esta redução da digestibilidade das folhas é mais evidente nas gramíneas e praticamente não pode ser percebida nas leguminosas (Fales e Fritz, 2007).

De acordo com Ulyatt (1981), o consumo e a digestibilidade das forragens determinam o seu valor nutritivo. A concentração de FDN está diretamente relacionada com o consumo voluntário e a concentração de lignina está diretamente relacionada com a indigestibilidade da planta. As ligninas formam ligações diretas do tipo éster com as hemiceluloses reduzindo a digestibilidade da fração fibrosa (Van Soest, 1994). Dessa forma, com o aumento da maturidade a planta diminui a relação folha/haste, aumenta a concentração de FDN e altera a composição da lignina, o que está diretamente relacionado com a redução do valor nutritivo da forrageira.

Estas mudanças na qualidade da planta são frequentemente observadas quando se avalia diferentes estágios de maturidade (vegetativo x reprodutivo). Entretanto, os dados são conflitantes acerca da influencia da maturidade sobre o estagio vegetativo das gramíneas tropicais, especialmente quando não são observadas mudanças na relação folha/caule (Wilson, 1994; Kozloski *et al.*, 2003).

2.4. Qualidade das silagens

A ensilagem pode ser considerada uma das principais formas de conservação da forragem para alimentação dos animais no período seco do ano. O objetivo da ensilagem é conservar os nutrientes digestíveis da forma mais eficiente possível. O processo de ensilagem não aumenta valor nutritivo desta, somente tenta conservar o que estava presente na planta no momento do corte, com o mínimo de perdas possível (Van Soest, 1994; Ojeda, 1994).

Apesar de características inerentes às gramíneas tropicais, como baixo teor de matéria seca, associado a um alto poder tampão e baixos teores de carboidratos solúveis (Vilela *et al.* 2001), estas tem sido cada vez mais utilizadas para a produção de silagem. A produção de silagens de capins vem sendo utilizada como uma alternativa às culturas tradicionais como a do milho e sorgo, apresentando como vantagens as características de serem perenes, advir de um pasto já estabelecido (não necessitando de gastos com o plantio), possibilidade do aproveitamento do excedente de produção das águas, além de apresentarem altos valores de produção por área, sendo este o ponto que mais onera o custo de produção da silagem. Outro

fato que também contribuiu para o aumento da produção de silagens de capins segundo Corrêa e Pott (2007) foi o desenvolvimento de maquinário mais eficiente para a colheita e trituração dos capins tropicais, favorecendo o manejo de enchimento, descarga do silo e fornecimento aos animais.

A silagem de gramíneas tropicais é indicada principalmente para regiões sem aptidão agrícola, podendo ser uma boa alternativa para aumentar o estoque de forragem para a seca, principalmente para animais de categorias menos exigentes, como animais de cria e recria, ou para região que disponha de alimento concentrado barato (Jayme, 2004).

De acordo com Ávila *et al.* (2003), para a produção de silagens de gramíneas tropicais de melhor qualidade nutricional, essas deveriam ser colhidas mais jovens com menos de 70 dias de crescimento. Entretanto, este período coincide com um momento de baixo teor de matéria seca da planta o que propicia fermentações secundárias indesejáveis e elevada produção de efluentes (McDonald *et al.* 1991) dificultando a produção de silagem de boa qualidade. Já em estádios de maturação mais avançados, quando a planta atinge o teor de matéria seca ideal para produção de silagem (30-35%), esta apresenta alto teor de parede celular (FDN, FDA e lignina) o que irá limitar o consumo e o valor nutricional da silagem (Van Soest, 1994). Dessa forma, o corte das plantas forrageiras destinadas à ensilagem deve ser feito no estágio vegetativo em que a planta encontra um “ponto de equilíbrio” entre produção de MS, teor de MS e qualidade nutricional.

Entre as gramíneas tropicais mais utilizadas para a produção de silagens estão o capim Elefante (*Pennisetum purpureum*) e os capins dos gêneros *Panicum* e *Brachiaria*. De acordo com Ojeda *et al.* (1990) o capim andropogon se destaca por ser adaptado a solo de baixa fertilidade e bem drenado, com boa produção de MS, entretanto até o momento pouca atenção foi dada a sua potencialidade para produção de silagem. Neste mesmo trabalho, Ojeda *et al.* (1990) avaliando a silagem de capim andropogon encontraram valores de MS, PB, MO e FB de 25,34%, 7,84%, 91,80% e 37,51% respectivamente. Encontraram também valores de pH, nitrogênio amoniacal e ácido butírico de 3,8, 8,74% e 0,003% respectivamente. Mattos (2003) encontrou valores de MS, PB, FDN, FDA e lignina de 35,26%, 7,95%, 69,41%, 38,02% e 6,69% respectivamente para a silagem de capim andropogon pré-emurchucido. Esta mesma silagem apresentou valores de pH e nitrogênio amoniacal de 3,95 e 6,30% respectivamente. Ribeiro Jr. (2009), avaliando o efeito da maturidade do capim andropogon (56, 84, 112 e 140 dias de crescimento) sobre a qualidade

das silagens confeccionadas em silos de laboratório, observou que a silagem produzida com o capim aos 112 dias apresentou o maior teor de ácido láctico. Este maior teor de ácido láctico foi acompanhado por menor valor de pH (4,15) e, conseqüentemente, menor teor de ácido butírico na massa ensilada. De acordo com a classificação da qualidade das silagens proposta por Tomich *et al.* (2003), a silagem produzida com o capim aos 112 dias foi considerada de excelente qualidade, sendo as silagens realizadas nas outras idades de corte consideradas ruim ou péssima. O melhor teor de MS (acima de 25%) e teores mais elevados de carboidratos solúveis no capim andropogon aos 112 dias antes da ensilagem foram os principais responsáveis por este resultado.

2.5. Consumo Voluntário

A produção animal depende do consumo de nutrientes digestíveis e metabolizáveis. A quantidade de alimento que um animal come por dia, quando este alimento é oferecido em excesso (consumo voluntário ou consumo *ad libitum*), é considerada o principal fator nutricional que afeta a produção animal (Minson e Wilson, 1994, Mertens, 1994). Da variação encontrada no consumo de MS digestível ou energia digestível entre os alimentos e animais, de 60 a 90% está relacionada ao consumo e apenas de 10 a 40% está relacionada à digestibilidade (Crampton *et al.* 1960). Este fato indica a importância de se determinar o consumo na avaliação da qualidade nutricional dos alimentos.

O potencial de consumo do animal é dependente da espécie, sexo, estado fisiológico (manutenção, crescimento, gestação e lactação), tamanho, forma do corpo e estado de saúde. Fatores externos como temperatura ambiente, fotoperíodo e a aplicação de hormônios exógenos ou promotores de crescimento também podem afetar diretamente a demanda energética dos animais e o consumo (Mertens, 1994; Forbes 2007).

O consumo voluntário dos ruminantes é regulado por uma complexa interação entre estímulos químicos, metabólicos e hormonais, efeitos físicos e respostas nervosas, que não está completamente entendida (Forbes, 2007). Apesar da regulação do consumo ser um assunto complexo, aparentemente, a ingestão dos ruminantes é controlada por dois principais mecanismos: regulação fisiológica e física (Mertens, 1994). Estes mecanismos de regulação do consumo atuam em conjunto, entretanto de acordo com características da dieta um ou outro irá prevalecer. Segundo Conrad *et al.* (1964) para dietas com digestibilidade da MS acima de 66,7% a regulação fisiológica irá prevalecer, já em dietas com digestibilidade da

MS inferior (< 66,7%) a regulação física passa a assumir o controle principal. Desta forma, a demanda energética do animal regula o consumo de dietas com alta densidade energética, já em dietas com menor valor nutritivo (baixa densidade energética e maior teor de fibras) o consumo será limitado pelo enchimento ruminal e capacidade física do trato gastro intestinal.

Na regulação fisiológica (saciedade química) o consumo é regulado por estímulos metabólicos ou químicos os quais são reconhecidos por quimiorreceptores e osmorreceptores, presentes na parede do rúmen e em órgãos centrais do metabolismo (fígado e pâncreas). Estes estímulos são realizados pelo aumento da concentração de produtos da fermentação ruminal como ácidos graxos voláteis e aminoácidos. Os receptores informam ao hipotálamo (centro da saciedade) que as exigências energéticas e proteicas foram atendidas, causando, assim, a redução do consumo (Ellis *et al.*, 1999). Existem diversas teorias que tentam explicar essa regulação fisiológica. Entre elas estão às teorias quimiostáticas, lipostática, glicostática, termogênese, eficiência de utilização do oxigênio entre outras que estão ligadas diretas ou indiretamente ao sistema nervoso central (Fisher, 2002; Forbes, 2007). De acordo com Mertens (1994) na regulação fisiológica os animais irão ajustar o consumo para atender sua demanda energética, sendo a ingestão de MS uma função positiva e linear da exigência energética do animal. Entretanto, à medida que a densidade energética da dieta diminui o consumo aumenta até o ponto em que a densidade da energética da dieta é tão baixa que o animal não consegue mais ajustar seu consumo para atender sua demanda energética. Neste ponto a regulação física passa a prevalecer.

A regulação física causada pela distensão do retículo-rúmen é considerada o principal fator regulador da ingestão de forragens e dietas com elevado teor de fibra (Baile e Forbes, 1974, Forbes, 2007). A distensão do rúmen estimula receptores de pressão (mecanorreceptores) presentes na parede do retículo-rúmen, principalmente do retículo e na região dorsal do rúmen, que informa ao sistema nervoso central o grau de distensão do rúmen. Quando a distensão do rúmen chega ao nível máximo, o centro da saciedade localizado no hipotálamo inibe o consumo (Forbes e Provenza, 2000). Após o enchimento ruminal que ocorre normalmente após a primeira refeição do dia, o consumo diário passa a ser controlado pela taxa de degradação do alimento e pela taxa de passagem do material indigestível. À medida que a degradação do alimento acontece e a distensão do rúmen diminui o animal volta a comer. Neste ponto, a mastigação e a ruminação possuem papel essencial, pois as partículas somente deixam o rúmen quando atingem tamanho próximo de 1 mm (Dulphy e.

Demarquilly, 1994). A regulação física pode ser considerada o principal mecanismo da regulação de consumo das gramíneas tropicais (C₄), pois estas em geral apresentam elevado teor de fibras (FDN e FDA) e lignina e baixa taxa de degradação.

Muitos trabalhos relatam elevada correlação entre características da planta (lignina, teor de parede celular) e o consumo (Minson e Wilson, 1994). Entretanto, esta elevada correlação na verdade é causada pela dificuldade de degradação da planta no rúmen que está correlacionada com a composição química. Dessa forma, a dificuldade de degradação do material aumenta o tempo de retenção no rúmen reduzindo o consumo (Minson e Wilson, 1994). De acordo com Baumont *et al.* (2000) com o aumento da idade da planta acontecem mudanças morfológicas e histológicas que levam à diminuição da quantidade de conteúdo celular, aumento da proporção de parede celular e conseqüentemente maior efeito de enchimento ruminal. Aliado a isso a lignificação dos tecidos aumenta a fração não degradável da parede celular e reduz a taxa de degradação da fração degradável, aumentando assim o tempo necessário para reduzir o tamanho das partículas para que estas possam deixar o rúmen.

A fração FDN do alimento ou dieta é considerada a característica que melhor se correlaciona com o consumo de MS por ruminantes segundo Mertens (1994). Entretanto, é importante observar que essa correlação irá depender de características da dieta. Quando o teor de energia da dieta (regulação fisiológica) está limitando o consumo, o aumento do teor de FDN irá promover um aumento de consumo. Já em situações em que o consumo está limitado pelo enchimento do rúmen (regulação física), o consumo será negativamente correlacionado com o teor de FDN da dieta. Esta foi a base para o desenvolvimento do sistema de predição do consumo FDN-Energia proposto por Mertens (1987). Este sistema integra as duas teorias (física e fisiológica) e fornece informações quantitativas para maximizar o consumo de MS e a utilização de forragens (Mertens, 1987; 1994).

Entretanto, mais que o teor de FDN, características da dieta ou forragem, fatores que aumentam o tempo de retenção no rumem é que irão influenciar o consumo quando a regulação física estiver prevalecendo. Pode-se perceber isso quando os animais são alimentados por forrageiras ou cultivares com o mesmo teor de FDN, entretanto apresentam consumos diferentes. Isto pode ser explicado por diferenças na relação haste/folha, na proporção dos tecidos vegetais (estruturais x fotossintéticos) e nas interações da lignina e ácidos fenólicos com as hemiceluloses. Estas alterações irão causar mudança na taxa e extensão da degradação ruminal da fibra alterando o tempo de retenção e modificando o

consumo potencial dos animais (Jung *et al.*, 1994; Jung e Allen, 1995; Wilson e Mertens, 1995; Wilson e Kennedy, 1996).

O consumo voluntário dos ruminantes pode também ser alterado pelo tamanho de partícula da forragem. O consumo é aumentado quando a forragem é picada mais fina. Este resultado parece estar relacionado à menor resistência da forragem à degradação ruminal quando esta é processada à tamanho de partícula menor. Entretanto, este efeito é maior em forragens mais maduras do que em forragens mais jovens (Minson e Wilson, 1994). Já Tafaj *et al.* (2007), em um estudo de meta-análise, não observaram efeito da tamanho de partícula de dietas totais sobre o consumo de vacas no início de lactação. Apesar disso, foi observada relação linear positiva entre o tamanho de partícula e o tempo de ruminação. De acordo com estes autores outros fatores como acidose ruminal subclínica pode estar influenciando o consumo das dietas com tamanho de partícula menor, impedindo, assim, de se observar esta relação descrita por Minson e Wilson (1994).

As silagens apresentam outros fatores que podem alterar o consumo. Normalmente, o consumo de silagem é menor que o da forragem fresca ou feno realizado com a mesma forragem. De acordo com McDonald *et al.* 1991, o consumo de forragens frescas varia de 40 a 100 g de MS por kg de peso metabólico já o de silagens varia de 20 a 75 g. As principais características das silagens utilizadas para explicar esse menor consumo são o maior teor de umidade das silagens em comparação com o feno e os produtos oriundos da fermentação (ácido butírico, ácido acético, cadaverinas, putrecinas, histamina, tiamina, amônia entre outros) (McDonald *et al.* 1991; Huhtanen *et al.*, 2007; Krizsan e Randby, 2007; Krizsan *et al.*, 2007). A pre-secagem do material antes da ensilagem normalmente aumenta o teor de MS e, conseqüentemente, o consumo. Entretanto, de acordo com Minson e Wilson (1994), parece que o menor consumo encontrado para silagens está mais relacionado ao maior tempo de retenção no rúmen. Os animais quando alimentados com silagens ou forragens com maiores teores de umidade ingerem mais rápido o alimento e mastigam menos (antes que a redução máxima do tamanho de partícula tenha ocorrido), o que causa aumento do tempo de ruminação e retenção no rúmen. Esta teoria é suportada por estudos onde a forragem foi picada mais finamente antes ou depois da ensilagem e observaram aumento do consumo voluntário e redução do tempo de ruminação (Minson e Wilson, 1994). De acordo com Huhtanen *et al.* (2002) o menor consumo de silagens comparadas com as forragens frescas ou os fenos é possivelmente uma combinação de vários fatores, entretanto estes não são ainda

bem compreendidos. Neste sentido, um modelo de regressão múltipla envolvendo características nutricionais (FDA e lignina) e da fermentação (MS, ácido lático, acético, propiônico e butírico, ácido totais, relação ácido lático/ácidos totais, cadaverinas, histamina, tiamina, aminas totais e amônia) foi proposto Krizsan e Randby (2007). Este modelo foi capaz de explicar de 75 a 84% da variação no consumo de MS das silagens de gramíneas temperadas, sendo que os 16 a 25% restantes da variação não pode ser explicado pelo modelo.

Em silagens de forrageiras tropicais, principalmente quando a planta é ensilada mais velha, outro fator que deve ser levado em consideração é o teor de proteína. Segundo Minson e Milford (1967) teores de PB da dieta inferiores a 7% limitam o crescimento microbiano no rúmen, o que resulta em redução da digestibilidade e, conseqüentemente, do consumo. Mathis *et al.* (2000) e Bohnert *et al.* (2011) observaram aumento expressivo do consumo e da digestibilidade quando animais alimentados com forragens com teor de PB inferior a 7% foram suplementados com proteína degradável no rúmen. Este efeito foi maior para forrageiras tropicais (C₄) do que para forrageiras temperadas (C₃). Lazzarini *et al.* (2009) avaliaram o efeito da suplementação com compostos nitrogenados sobre o consumo e digestibilidade de feno de capim-braquiária (*Brachiaria decumbens* Stapf.) de baixa qualidade (5,08% de PB). Neste trabalho, a suplementação nitrogenada proporcionou aumento do consumo de MS, sendo que este atingiu o máximo quando o teor de PB na dieta foi de 10,8%. A digestibilidade da matéria orgânica também aumentou com a suplementação, atingindo o máximo com 7,9% de PB na dieta.

2.6. Digestibilidade

A digestibilidade pode ser definida de forma simples como sendo a fração do alimento ou dieta que é perdida na passagem pelo trato digestivo (Cochran e Galylean, 1994). De acordo com Merchen e Bourquin (1994) também pode ser definida como processo de degradação de macromoléculas do alimento em compostos simples que podem ser absorvidos pelo trato gastrointestinal. Os ensaios de digestibilidade fornecem uma estimativa do aproveitamento das diversas frações do alimento, indicando com mais acurácia a fração disponível para utilização pelo animal (Minson, 1990).

O desaparecimento dos componentes alimentares do rúmen ocorre por ação da digestão e a conseqüente absorção dos produtos derivados desse processo e por ação dos mecanismos que

resultam na remoção física das partículas alimentares do rúmen. Esses dois processos, a digestão e a passagem competem entre si (Rodrigues e Vieira, 2006).

O termo digestibilidade aparente refere-se à fração do alimento ingerido que não foi excretada nas fezes sem descontar a matéria metabólica fecal, representada pelas secreções endógenas, contaminação por microorganismos e descamação do epitélio. A matéria metabólica fecal está relacionada ao consumo, variando de 0,098 a 0,129 g/g de MS ingerida (Minson, 1990). Quando se desconta esta perda metabólica fecal obtém-se a digestibilidade verdadeira do alimento, que é sempre superior a digestibilidade aparente. Entretanto, os valores de digestibilidade aparente e verdadeira da fibra são semelhantes, pois não há produção endógena de desse composto.

A qualidade das forragens pode ser determinada pelo seu consumo e pela digestibilidade ou pela fermentação de seus componentes (Ulyatt, 1981). Esta qualidade das forragens está intimamente relacionada à degradação da parede celular, pois este é o principal componente dos tecidos das forrageiras podendo compor até 80% da matéria orgânica e sua fermentação pelos microorganismos do rúmen é a principal fonte de energia para a produção animal. Desta forma, o aumento do consumo de forragem e da digestibilidade da parede celular são essenciais para aumentar ganho de peso ou produção de leite por ruminantes (Wilson, 1993, Jung e Allen, 1995). Tanto o consumo, quanto a digestibilidade das forragens são influenciados pela proporção de parede celular e pela resistência das forragens e da parede celular à degradação em partículas pequenas durante a mastigação e digestão (Wilson e Mertens, 1995).

Várias características químicas e estruturais que limitam a digestão da fibra já foram identificadas. Destas, a lignina se destaca como o principal e mais mencionado componente limitador da digestão dos polissacarídeos da parede celular no rúmen (Jung e Deetz, 1993). Chesson (1993) e Jung e Deetz (1993) desenvolveram simultaneamente modelos conceituais que descrevem como a lignificação da parede celular limita a digestão dos polissacarídeos pelos microorganismos do rúmen. Ambos os modelos sugerem que a digestibilidade da parede celular é afetada de forma diferente de acordo com os vários tipos de ligninas. A composição e estrutura das ligninas e os ácidos fenólicos da parede celular nestes modelos são vistos como moduladores do efeito das ligninas ao invés de apenas a concentração desta.

A relação negativa que existe entre a concentração de lignina e a digestibilidade das forragens é reconhecida desde a década de 50 (Jung e Allen, 1995). De acordo com Van Soest (1993) o efeito negativo das ligninas sobre a digestibilidade das forrageiras é devido ao efeito direto sobre a digestibilidade da parede ao invés da matéria orgânica como um todo. As ligninas parecem exercer seu efeito negativo sobre a digestibilidade dos polissacarídeos da parede celular através da proteção contra a hidrólise enzimática. Aparentemente, ocorre um impedimento do correto alinhamento das polissacaridases a seus substratos. Este impedimento pode ser simplesmente devido ao posicionamento físico das ligninas entre as enzimas e os polissacarídeos (Jung e Allen, 1995).

Durante a maturação da planta a concentração de lignina aumenta gradualmente e a digestibilidade da parede celular diminui rapidamente. Dessa forma, tem sido especulado que a digestibilidade da parede celular é dependente da deposição de lignina (Jung e Allen, 1995; Grabber, 2005). O efeito das ligninas sobre a digestibilidade da parede celular parece ser maior nas gramíneas do que nas leguminosas. Entretanto, este fato pode ser um reflexo do método analítico amplamente empregado (ADL - lignina insolúvel em detergente ácido) que subestima muito o teor de ligninas das gramíneas (Jung e Allen, 1995). Entretanto, muitos trabalhos não encontraram correlação alguma entre os teores de lignina e a digestibilidade da fibra (Jung e Allen, 1995; Grabber, 2005). De acordo com Iiyama e Lam (2001), o efeito da concentração de lignina sobre a digestibilidade deve ser avaliado comparando plantas no mesmo estágio de maturação.

A mudança na composição das ligninas de guaiacila para siringila com a maturação da planta parece ser semelhante em todas as forrageiras (Buxton e Russell, 1988). Devido a esta mudança na composição das ligninas e a redução da digestibilidade da fibra com a maturidade da planta têm-se associado à redução na digestibilidade da fibra com a alteração na composição das ligninas. Ligninas com maior proporção de siringila em sua composição apresentam estrutura mais linear que penetra mais na parede celular secundária, causando maior proteção dos polissacarídeos da parede celular contra a digestão (Jung e Allen, 1995). Entretanto, Grabber (2005) não relatou diferença na degradação da fibra quando as proporções de guaiacila e siringila nas plantas foram alteradas. De acordo com o mesmo autor, a redução da digestibilidade com a maturidade da planta estaria relacionada a mudanças na estrutura e composição química da parede celular, sendo que as alterações nas relações hidroxifenila, siringila e guaiacila da lignina provavelmente não afetam diretamente

a degradação da parede celular. Já Fornalé *et al.* (2012) observaram melhora na digestão *in vitro* de plantas de milho quando a relação siringila/guaicila foi reduzida sem alterar a concentração de lignina. A mutação *bmr* em plantas de milho e de sorgo altera tanto o teor de ligninas, reduzindo sua concentração, quanto sua composição reduzindo a relação siringila/guaiacila. A melhor digestibilidade em plantas mutantes *bmr* parece ser um resultado de ambas as alterações (Jung e Allen, 1995; Chen *et al.*, 2003; Sattler *et al.*, 2010).

Os ácidos fenólicos também têm sido envolvidos na redução da digestibilidade da parede celular. Há confundimento na literatura com relação a qual ácido fenólico está envolvido e o mecanismo de ação desses ácidos na redução da digestibilidade da parede celular. No passado se pensava em toxicidade direta dos ácidos fenólicos sobre os microorganismos ruminais. Entretanto, posteriormente se verificou que essa toxicidade não existia e que os microorganismos do rúmen possuíam capacidade de degradar esses ácidos fenólicos. Os estudos com ácidos fenólicos também demonstram maior efeito inibitório sobre a degradação da parede celular dos ésteres de ácido *p*-cumárico em comparação com os ésteres de ácido ferúlico. A maior parte dos ácidos *p*-cumáricos está esterificada às ligninas e dessa forma parecem não afetar a digestão dos polissacarídeos de forma direta. É mais provável que a correlação negativa entre a digestibilidade da parede celular a concentração de ésteres de ácido *p*-cumárico nas gramíneas seja devido à deposição conjunta de lignina com ácido *p*-cumárico esterificado à lignina (Jung e Allen, 1995). De acordo com Chesson (1993) ésteres de ácido *p*-cumárico atuam mais como um indicador do grau de lignificação da planta do que como inibidores da digestão.

Já as moléculas de ácido ferúlico afetam a digestão dos polissacarídeos de parede celular de forma direta nas gramíneas. Estas estão envolvidas na ligação cruzada da lignina aos polissacarídeos (arabinoxilanas) via ligação éster e éter que não podem ser degradadas pelos microorganismos do rúmen (Jung e Allen, 1995). Ligações cruzadas semelhantes ligando a lignina aos polissacarídeos da fibra em leguminosas ainda não foram identificadas. Estudo realizado por Grabber *et al.* (1998c) demonstra que o aumento das concentrações de ligações cruzadas com ácido ferúlico resultaram em grande inibição da degradabilidade da parede celular. Nesse modelo, o efeito das ligações cruzadas com o ácido ferúlico foi independente da concentração de lignina. Já Casler e Jung (1999) demonstraram através de análise de regressão que o efeito negativo das ligações cruzadas com o ácido ferúlico sobre a degradabilidade da fibra em detergente neutro foi maior do que o da lignina em *Bromus*

inermis, uma gramínea temperada. Estes resultados foram confirmados por outros trabalhos com outras gramíneas (Casler e Jung, 2006; Casler *et al.*, 2008). Entretanto, nesses trabalhos, devido à seleção de plantas para menor quantidade de ligações cruzadas com o ácido ferúlico a produção das gramíneas foi reduzida. Recentemente, Jung e Phillip (2010) descobriram um milho mutante que possuía menor deposição de ácido ferúlico nas folhas jovens (chamada de mutação *sfe* - *putative seedling ferulate ester*). Estes pesquisadores observaram as linhagens de milho com mutação *sfe* cortadas no momento de ensilagem e estas apresentaram menor concentração de ligações cruzadas com o ácido ferúlico e melhor degradação da fibra em detergente neutro e dos polissacarídeos de parede celular. As silagens com mutação *sfe*, quando incluídas nas dietas de vacas em lactação, proporcionaram maior consumo e produção de leite (Jung, 2011).

Wilson e Mertens (1995) apresentaram evidências de que as características anatômicas das células das gramíneas com parede espessa podem ser tão importantes quanto a lignina em limitar a digestão da fibra. Foi observado que quando a organização física das células é quebrada, a digestibilidade da fibra é melhorada. Cinco características estruturais básicas que limitam a digestão de fibras em gramíneas foram identificadas: 1) a degradação microbiana só pode proceder a partir do interior das células de parede espessa lignificadas porque a lamela média e a parede primária lignificadas são indigestíveis, 2) as partículas de forragem passam pelo rúmen rapidamente em comparação com a taxa de digestão, de modo que apenas 20% das células de paredes espessas podem ser digeridas, 3) o acesso ao interior da célula não é instantâneo, pois muitas células que compõem as partículas da fibra não são expostas ou liberadas pela mastigação; 4) a digestão das células de parede espessa do parênquima e esclerênquima é limitada pela baixa relação existente entre a área de superfície/volume da parede e 5) os compostos fenólicos podem ser tóxicos para as bactérias que degradam a fibra dentro das células devido à alta concentração atingida em certas circunstâncias, embora os níveis médios no rúmen não sejam altos o suficiente para causar toxicidade.

De acordo com Wilson e Mertens (1995) as células do mesofilo, do parênquima e do esclerênquima apresentam diferenças no tamanho, forma e espessura da parede celular que irão interferir na taxa de digestão ruminal. As células do mesofilo são esféricas, apresentam em média 50 μm de diâmetro e parede celular de 0,15 μm de espessura. Já as células de esclerênquima são cilíndricas, com 7 μm de diâmetro e 1000 μm de comprimento e apresentam parede celular com espessura que varia de 2,4 a 5 μm . Utilizando-se de dados de

outros trabalhos, Wilson e Mertens (1995) calcularam que a taxa de digestão da parede do mesofilo é em média 0,02 μm por hora. Utilizando-se esta mesma taxa de digestão para a parede das células do esclerênquima, foi observado que em 48 horas, se a parede celular fosse 5 μm , a digestão seria de menos de 20%. Esse trabalho ainda enfatiza que esta seria a taxa máxima de digestão, pois não foi levado em consideração o tempo de colonização, qualquer restrição ao acesso dos microorganismos do rúmen a parede celular ou restrição química da parede celular a digestão. Outro aspecto importante comentado pelos mesmos autores é que as bactérias que degradam a fibra são imóveis se movimentando por difusão o que dificulta ainda mais a degradação da fibra.

2.7. A técnica *in situ* na avaliação de alimentos para ruminantes

Ensaio de digestibilidade pelo método *in vivo* têm sido utilizados para a determinação da digestibilidade aparente dos alimentos. Porém, tal metodologia é trabalhosa e cara, além de exigir grande quantidade do alimento, o que pode não ser possível quando se trata de um programa de avaliação de alimentos para ruminantes. Além disso, esta técnica não descreve a diferenciação entre a degradação ruminal e a digestão pós-ruminal dos alimentos (Nocek, 1988; Huntington e Givens, 1995). O desaparecimento *in situ* (*in sacco, nylon bag technique*) dos alimentos é determinado colocando o alimento teste em sacos de *nylon* e incubando-o no rúmen do animal por um determinado tempo. Pela diferença de peso antes e depois da incubação no rúmen pode-se determinar o desaparecimento da MS e dos outros componentes nutricionais do alimento (PB, FDN, FDA). O primeiro trabalho a relatar o uso desta técnica foi o de Quin *et al.* (1938). Atualmente o método está amplamente difundido e frequentemente é utilizado para descrever a taxa e extensão da degradação ruminal dos alimentos. O Agricultural and Food Research Council (AFRC, 1993) e o National Research Council (NRC, 1996; 2001) consideram esta a técnica padrão para caracterização da degradabilidade ruminal da fração proteica, entretanto, de acordo Ørskov e McDonald (1979), a degradabilidade *in situ* também pode ser empregada para estudar a dinâmica ruminal dos outros nutrientes. Esta técnica tem sido muito utilizada na avaliação de alimentos para os ruminantes, devido à facilidade e rapidez de execução. Além disso, existe elevada correlação entre o método *in situ* e *in vivo* (Huntington e Givens, 1995). A adoção desta metodologia e a utilização de delineamentos e técnicas experimentais adequados permitem não só a simplificação da estrutura experimental, mas também a estimativa precisa dos parâmetros da equação descritiva da degradação da fibra no rúmen (Sampaio, 1988). A

avaliação da degradação ruminal de gramíneas tropicais em diferentes idades permitem não só a comparação entre diferentes espécies, mas também o estudo da melhor época de corte para cada uma delas (Barbi *et al.*, 1995).

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 tamanho de partícula adequado, o que não acontece com o alimento dentro dos sacos de nylon; 3 - a técnica na verdade mensura o desaparecimento de partículas capazes de passar pelos poros do saco, o que não significa completa degradação a 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: o material e o tamanho dos poros do saco; a quantidade de amostra incubada; o processamento da amostra antes da incubação; a dieta do animal, o nível de alimentação e a frequência; 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 contaminação microbiana; o tempo de incubação; os modelos matemáticos utilizados; e o número de replica de animais, de sacos e dias de incubação (Barbosa *et al.*, 1998a; Barbosa *et al.*, 1998b; Barbosa *et al.*, 1998c; Vanzant *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 na confecção dos sacos, é a estrutura do tecido. Este deve ser monofilamentoso para favorecer uma porosidade mais homogênea. Com relação ao tamanho dos poros existe uma ampla variação na literatura, entretanto a maioria dos trabalhos recomenda poros entre 40 e 60 μm (53 μm na maioria dos trabalhos). Poros muito pequenos dificultam o acesso dos microorganismos ao alimento no interior do saco e a saída do material que foi degradado, já poros muito grandes propiciam uma maior perda de material que não foi completamente degradado (Vanzant *et al.*, 1998).

O tamanho das partículas após 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 atingir tamanho de partícula que represente o mais próximo possível o obtido *in vivo* com a mastigação (Barbosa *et al.*, 1998c;

Vanzant *et al.*, 1998). As recomendações de processamento encontradas na literatura variam da moagem com peneiras de malha de 1,5 a 3,0 milímetros para os concentrados e de 1,5 a 5,0 mm para forragens. De acordo com a AFRC (1992) as forragens devem ser moídas a 4 mm. Já Ørskov *et al.* (1988) recomendam uma moagem em peneira com malhas de 5,0 mm quando se trabalha com forragens verdes, úmidas e ensiladas. Não existe um valor preciso estabelecido, mas parece ser adequado que a moagem em peneiras entre 4,0 e 5,0 mm para forrageiras tropicais. De acordo com Nocek e Kohn (1988) o aumento do tamanho de partícula leva ao aumento tempo de colonização (*lag*) e diminuição da extensão da degradação nas incubações de curta duração.

A relação quantidade de amostra e área de superfície do saco também deve ser observada. Vanzant *et al.* (1998) encontraram na literatura valores entre 2 a 198 mg/cm². A avaliação estatística destes dados sugeriu uma relação linear negativa 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 a melhor correlação com resultados *in vivo*. Nocek (1988) e Vanzant *et al.* (1998) recomendam relação entre 10 e 20 mg/cm² 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. Entretanto, quando incubados em diferentes tempos, mas retirados do rúmen ao mesmo tempo a taxa de degradação da MS e da PB foi maior. Este fato foi explicado pela menor interrupção do processo de digestão e exposição ao ambiente externo (Nocek, 1985).

A lavagem dos sacos pode ser considerada um dos maiores fatores de variação não biológicos da técnica. A maioria dos trabalhos utiliza basicamente duas formas, a lavagem manual e a em máquina de lavar (Weiss, 1994). A lavagem manual é a mais citada, entretanto é bastante subjetiva. Normalmente se descreve a 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 no procedimento de enxague por 2 minutos seria 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. De acordo com este autor, o número de enxágues seria 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 e da MS. Na avaliação da porção fibrosa esta perde importância devido à lavagem com detergentes que retiram os microorganismos aderidos. 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.

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 de 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 (*c*) e a fração não degradável. A fração potencialmente degradável é encontrada pela soma de *a* e *b*. 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) concluem que as estimativas da extensão da degradação de várias forragens e seus componentes nutricionais com taxas de passagem variadas parecem ser semelhantes.

Informações mais detalhadas com relação à técnica *in situ* de degradação ruminal podem ser encontradas nos trabalhos de Nocek (1988), Weiss (1994) e Vanzant *et al.* (1998).

2.8. Metabolismo da Energia

2.8.1. Partição e eficiência de utilização da energia

A frase presente do antigo testamento “*All flesh is as grass*” (Toda carne é como capim) foi a origem de muitas questões relacionadas ao metabolismo de energia dos animais. Quanto de capim é igual a uma vaca? Perguntas como esta foram a base para os primeiros estudos de eficiência energética (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 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 por Capitão Middleton e Albrecht Thaer no século XVII. Nequela 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 e da lei de Hess e do conceito de que a vida consome energia e é um processo de combustão controlada. Este conceito de energia foi expresso no título do livro “*The fire of life*” (O fogo da vida) escrito por Max Kleiber (Kleiber, 1961).

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). A segunda lei da termodinâmica e a Lei de Hess considera 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 teoria, 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 o 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 se ela fosse oxidada na célula (McLean e Tobin, 1987).

Estes conceitos levaram ao desenvolvimento da equação:



Apesar, dos alimentos serem a fonte de energia para a vida animal, a energia não é considerada nutriente. A energia só é liberada dos alimentos por um complexo processo de metabolismo. 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 a bomba calorimétrica foi observado que cada nutriente de um alimento possui uma capacidade diferente de produção de energia (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 energia dos alimentos 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 os diferentes alimentos, dietas, níveis de consumo e produção (Chwalibog, 2004).

O primeiro passo foi determinar a energia perdida nas fezes e subtrair da energia presente nos alimentos. Este novo valor foi denominado energia aparentemente digestível (ED), pois as fezes apresentavam além do resíduo alimentar não digerido, contaminação com microorganismos presentes no trato digestivo, material celular desprendido durante a passagem do pelo trato gastrointestinal e secreções glandulares que ocorrem durante a digestão do alimento. 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 de energia 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 micro-organismos ruminais (principalmente metano e em alguns casos hidrogênio) e na urina. A fermentação realizada pelos microrganismos do rúmen que torna possível, os ruminantes, extrair energia de materiais ricos em celulose (i.e.: materiais não digeridos por animais monogástricos) leva 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. A energia metabolizável é a energia que esta efetivamente disponível para o metabolismo animal, e será utilizada para a produção de calor trabalho ou será retida (ganho de peso, produção leite, produção 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, esta pode ser matematicamente descrita como:

$$EM = ER + PC$$

Em que: ER é a energia retida pelo animal e 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 a atividade celular, o que inclui a energia gasta com a bomba de sódio-potássio e outros sistemas de manutenção do gradiente eletroquímico das membranas celulares e a energia necessária para o funcionamento dos sistemas cardiovascular e respiratório (Diener, 1997). A esta exigência basal deve ser acrescentado o gasto energético extra que ocorre após a ingestão de alimentos (Incremento Calórico) e qualquer energia adicional necessária para atividade, termorregulação ou outro trabalho muscular (McLean e Tobin, 1987). Após atender a estas demandas se ainda sobrar energia, esta será utilizada para o crescimento ou produção animal.

A determinação do metabolismo basal é feita em animais em jejum, em repouso (mas conscientes) e mantidos em ambiente termoneutro. Nos ruminantes, normalmente esta determinação é feita após 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 a 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, mantido em ambiente termoneutro, quando a taxa de ingestão de energia metabolizável dos alimentos se iguala a taxa de perda de calor do animal. De forma simplificada 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 de metabolismo dos nutrientes. Desta forma percebe-se que a exigência de 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) proporcionado pela ingestão do alimento (Johnson *et al.*, 2003). A perda de energia na forma de IC depende da quantidade de alimento ingerido, da composição da dieta. O IC abrange o calor gasto: na obtenção, apreensão e mastigação do alimento; na fermentação produzida pelos microorganismos do rúmen; na digestão e absorção resultante da ação enzimática; no trânsito da digesta e no transporte ativo nas membranas (ex.: bomba de sódio e potássio); na formação de produtos resultantes dos processos anabólicos a partir dos substratos absorvidos (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 retida 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 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 q_m quando o animal está se alimentando no nível de manutenção, e q_L para níveis de consumo acima da manutenção, sendo L 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, é a relação entre energia líquida e energia metabolizável. Esta eficiência para manutenção (K_m) ou para produção (K_p) pode ser descrita de acordo com equação abaixo:

$$K_m = \frac{El_m \times 100}{EM_m} \quad K_p = \frac{El_p \times 100}{EM - EM_m}$$

Em que, El = energia líquida; EM = energia metabolizável; EM_m = energia metabolizável requerida para manutenção; El_m = energia líquida de manutenção; El_p = energia líquida para produção.

Como os ruminantes em manutenção apresentam eficiências de utilização da energia metabolizável dos alimentos (70 a 80%) diferente dos animais em produção (30 a 60%), o valor de energia líquida dos alimentos também é diferente 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 K_m , entretanto o K_p 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, aditivos) e comprometam a digestibilidade do alimento (tamanho de partícula, processamento, taxa de passagem) podem também alterar os

valores de metabolizabilidade, eficiência de utilização da energia metabolizável e conseqüentemente a energia líquida, em razão de variações na digestibilidade, na produção de metano e no metabolismo dos tecidos. Dessa forma, é importante determinar o teor de energia líquida em condições o mais próximas possível daquelas em que os resultados serão aplicados (Forbes, 1927).

De acordo com MacRae *et al.* (1985) e 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 nas eficiências de conversão da ED para EM são pequenas 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).

2.8.2. 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 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 no tempo 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 se estima a quantidade de proteína e gordura armazenada ou produzida e, desta forma, se chega à energia retida. Entretanto este método, em comparação com a calorimetria, apresenta erros 30% maiores. Estes erros, em geral, são devido às falhas na colheita total das 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 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 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 (alimentos, água) ou sai (fezes e urina) das câmaras pode 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 com 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 se todos os compostos orgânicos fossem oxidados completamente, a produção de calor poderia ser calculada pela quantidade de oxigênio consumida e a 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, com 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. Estas perdas de calor na maioria dos trabalhos com calorimetria indireta são calculadas a partir da equação de Brouwer (1965):

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

Em que, H é a produção de calor e N_u é o nitrogênio urinário.

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

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 ar externo 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 uma limitação da precisão dos 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 a umidade e o CO_2 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 CO_2 produzido é encontrado diretamente pela diferença de peso dos absorventes antes e depois do experimento e o total de O_2 consumido pelo animal é determinado pela quantidade do gás adicionada no sistema. Este método é mais apropriado para pequenos animais, pois quando utilizado para 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 na entrada e na saída e sua composição é analisada. Conhecendo-se o fluxo de ar que passa através da câmara e as concentrações dos gases, 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).

2.9. Emissão de metano entérico por ruminantes

2.9.1. Importância do metano

Tem sido crescente a preocupação mundial em relação às mudanças climáticas no planeta decorrentes das emissões antropogênicas dos 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 1900 devido aos GEE, sendo que este efeito é duas vezes maior nos pólos (Grace e Zhang, 2006). Atualmente, grandes esforços têm sido feitos na busca por estratégias que reduzam a emissão dos GEE ou que sequestram esses gases da atmosfera. Neste contexto, durante Conferência Mundial do Clima na Dinamarca (COP15) o Brasil assumiu o compromisso de reduzir de 36 a 39% suas emissões de GEE até 2020.

O metano representa 3,3% do total dos gases de efeito estufa emitidos, sendo que destes 22% é produzido pela fermentação entérica nos ruminantes (USEPA, 2000). Apesar de representar uma pequena porção do total de GEE emitidos o metano é considerado responsável por 15% do aquecimento global. Isto ocorre, pois seu potencial de aquecimento global é 25 vezes maior que o do CO₂ e seu tempo de vida na atmosfera é de 9 a 15 anos (IPCC, 2006). Assim, o Brasil tem sido muito criticado por ser considerado o maior emissor de metano entérico produzido por bovinos, sendo responsável por 15,6 a 18,0% do total mundial (Thorpe, 2009). Esta elevada produção de metano pelos bovinos no Brasil em relação aos outros países do mundo se deve ao tamanho do rebanho e aos baixos índices zootécnicos verificados em sistemas de exploração animal baseados em pastagens degradadas ou que se encontram abaixo do seu potencial de produção, que acabam gerando maior quantidade de metano por kg de carne e/ou leite produzidos.

A produção de metano pelos ruminantes não apenas contribui para o aumento das emissões de GEE, mas também é uma importante fonte de perda de energia do alimento, reduzindo a eficiência da fermentação ruminal e o desempenho animal (Cotton e Pielke, 1995). Do total de energia bruta consumida pelos ruminantes de 2 a 12% é perdido na forma de metano (Johnson e Johnson, 1995). Desta forma é de grande importância o conhecimento dos mecanismos de síntese de metano, assim como os fatores que afetam a produção, para o desenvolvimento de estratégias que minimizem sua produção, possibilitando maior eficiência produtiva e redução da contribuição da pecuária brasileira para o aquecimento global.

2.9.2. Formação de metano e sua importância no rúmen

A produção de metano pelos ruminantes é importante, pois ela remove o hidrogênio originado da fermentação dos alimentos que se não fosse removido afetaria negativamente a fermentação ruminal (Moss *et al.* 2000). Durante a fermentação ocorre a formação de cofatores reduzidos (NADH, NADPH e FADH), os quais precisam ser então re-oxidados (NAD⁺, NADP⁺ e FAD⁺), através de reações de desidrogenação, liberando hidrogênio no rúmen para que o processo fermentativo não seja paralisado. O processo de metanogênese elimina H₂ do rúmen na forma de CH₄, garantindo baixas concentrações ruminais de H₂, e, assim, permitindo maior atividade das reações de desidrogenação envolvidas na reoxidação dos cofatores reduzidos. Sem este processo, o acúmulo de H₂ no rúmen poderia levar à inibição da atividade desidrogenase, e assim a redução da taxa de degradação ruminal (Wolin, 1979; McAllister e Newbold, 2008).

A produção de metano é realizada por *Archaea* metanogênicas. A concentração destas no rúmen varia aproximadamente de 10⁷ a 10¹⁰ células por grama de conteúdo ruminal (ou de 10⁸ a 10⁹ células/mL de líquido ruminal) (Kumar *et al.*, 2009; Attwood *et al.*, 2011). As *Archaea* são um grupo microbiano distinto das *Eukarya* (protozoários e fungos) e *Bacterias*, possuindo cofatores (coenzima M, F420 e F430) e lipídeos (ésteres de isopranyl glicerol) únicos. A parede celular destes microrganismos é composta por pseudomureína, proteína, glicoproteína ou heteropolissacarídeos e a sequência de nucleotídeos indica uma evolução inicial distinta das bactérias (McAllister *et al.*, 1996; Ishino *et al.*, 1998). Apenas cinco espécies foram cultivadas com sucesso, sendo que a maioria das *Archaeas* encontradas no rúmen faz parte do gênero *Methanobrevibacter*, *Methanomicrobium* e de um grupo que não foi cultivado ainda denominado Rúmen Cluster C (Attwood *et al.*, 2011).

As *Archaea* possuem alta afinidade por H_2 mesmo em condições de baixas concentrações, o que as torna mais competitivas em utilizar H_2 que outros microorganismos utilizadores de H_2 (bactérias redutoras de sulfato, bactérias acetogênicas). Isto ocorre, pois a rota metabólica de consumo de H_2 utilizada para reduzir CO_2 a CH_4 ($CO_2 + 4 H_2 \rightarrow CH_4 + 2 H_2O$) é mais favorável termodinamicamente ($\Delta G = -134,9KJ$) que a utilizada para produzir CO_2 a acetato ($2CO_2 + 4 H_2 \rightarrow C_2H_4O_2 + 2 H_2O$; $\Delta G = -72,2 KJ$). Desta forma, espécies que utilizam rotas de fermentação com uma maior variação negativa de energia livre (ΔG) irão dominar a comunidade microbiana (Stewart, 1991, Janssen, 2010).

As Archaeas são também capazes de utilizar o H_2 na redução de moléculas de formato, acetato, metilamina e metanol para a produção de metano (Moss, 1993; Wolin *et al.*, 1997). Entretanto, é importante observar que a produção de H_2 no rúmen pode variar em função dos ácidos graxos voláteis (AGV's) produzidos durante a fermentação (Figura 1) e, desta forma, influenciar a quantidade de CH_4 formada. Os carboidratos da dieta (celulose, hemiceluloses, pectina, amido, açúcares solúveis) e os esqueletos de carbono oriundos da degradação das proteínas são primeiramente degradados a hexoses e pentoses antes de serem fermentados a AGV's. Os produtos desta fermentação no rúmen serão principalmente acetato, propionato, butirato e amônia oriunda da proteólise, com conseqüente produção de CO_2 e H_2 (McAllister *et al.*, 1996, France e Dijkstra, 2005).

A produção de acetato e butirato, predominante durante a fermentação de carboidratos fibrosos, resulta em liberação líquida de hidrogênio e favorece a metanogênese (Figura 1). Já a formação de propionato é uma via competitiva de utilização de hidrogênio no rúmen, reduzindo a disponibilidade de substrato para a metanogênese, além de ser 7% mais eficiente na captura de energia das hexoses em comparação com a produção de acetato (Beever, 1993). Portanto, a produção de metano, que depende do balanço de hidrogênio no rúmen, é influenciada pelas taxas de produção de acetato e de propionato (Hegarty, 2001). Como a produção de AGV's está diretamente relacionada com a produção de metano, alguns modelos matemáticos foram desenvolvidos com o intuito de se estimar a produção de metano a partir da relação de AGV's proporcionada pela dieta (Bannink *et al.*, 2006; Ellis *et al.*, 2008).

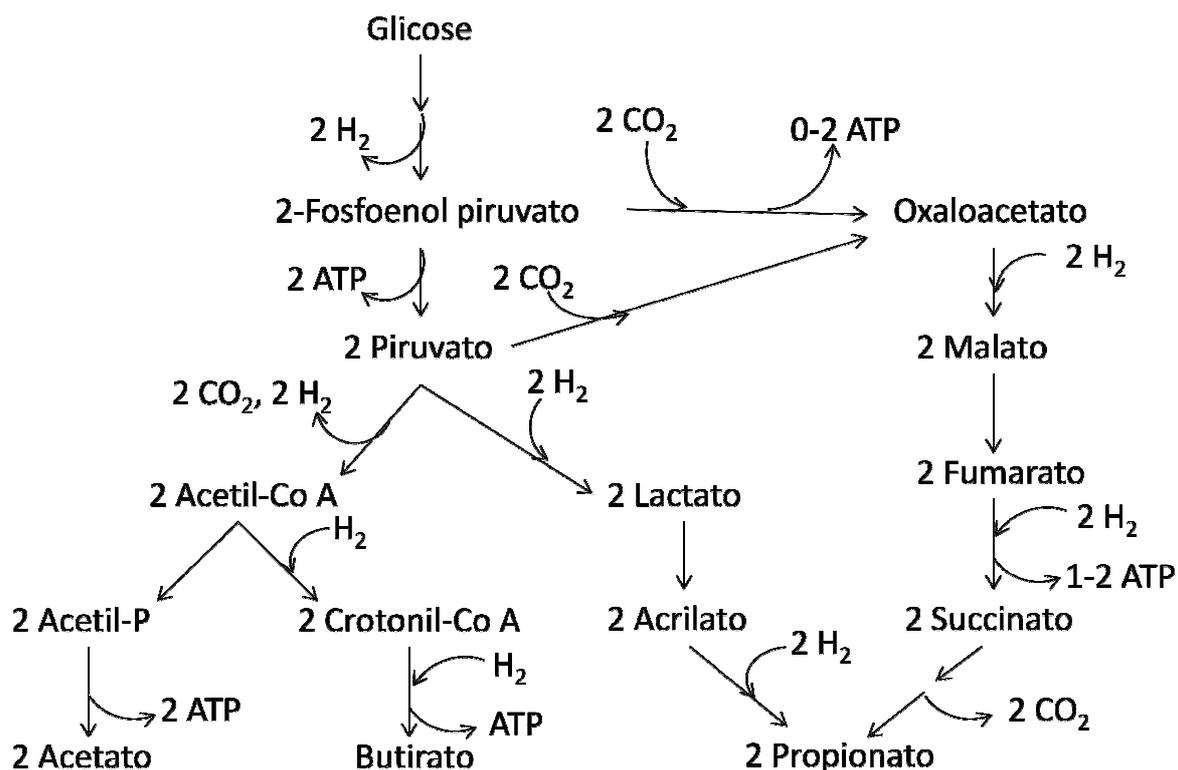


Figura 1. Rotas de fermentação da glicose no rúmen.

Adaptado de Ungerfeld e Kohn (2006).

As Archaeas possuem também a capacidade de evitar a acumulação de nucleotídeos reduzidos (NADH), através da transferência de hidrogênios interespecies e, assim, aumentar a eficiência energética e a extensão da degradação da matéria orgânica no rúmen, realizada por outros microorganismos. Esta relação das metanogênicas já foi demonstrada com bactérias celulolíticas e não celulolíticas, protozoários e fungos (McAllister *et al.*, 1996). Um exemplo clássico deste processo é demonstrado por Joblin *et al.* (1989) trabalhando com a bactéria celulolítica *Ruminococcus albus*. Em monocultura, as bactérias *R. albus* produzem etanol, acetato, H_2 e CO_2 . Quando em co-cultura com as Archaeas, o NADH é utilizado para reduzir prótons a H_2 , dando origem a acetato e CH_4 como produtos finais. Dessa forma, a formação de etanol é evitada, levando à maior produção de ATP para a bactéria por unidade de hexose fermentada (Wolin e Miller, 1988). Nestas co-culturas mais ATP fica disponível para as reações de síntese, como a produção de enzimas fibrolíticas, assim a digestão da parede celular das plantas é acelerada em comparação com culturas puras (McAllister *et al.*, 1996).

2.9.3. Técnicas de determinação da emissão de metano pelos ruminantes

A determinação das emissões de metano por ruminantes foi muito realizada na década de 1950 e 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, de forma direta, o foco das pesquisas, as quais 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). Entretanto, a dificuldade de se conseguir uma boa mistura do metano marcado no pool de metano do rúmen, devido à baixa solubilidade e alta difusão do metano, essa técnica não tem sido muito utilizada (Hegarty *et al.*, 2007). Atualmente, a maioria dos trabalhos utiliza-se o gás traçador SF₆ (Johnson *et al.*, 1994). Esta técnica possui custo relativamente barato, quando comparado com as técnicas de confinamento, além de permitir a determinação da emissão de metano de um grande número de animais. Sendo muito utilizada principalmente nos trabalhos em que os animais são mantidos em pastos (Vlaming *et al.*, 2007). Nesta técnica um dispositivo de liberação lenta e conhecida 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 e a emissão de metano calculada (Ulyatt *et al.*, 1999). A maior limitação desta técnica é a determinação precisa da ingestão de MS 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 mascaras para coleta dos gases expirados (Pinares-Patiño e Clark, 2008). As câmaras respirométricas permitem determinação precisa

das emissões de CH₄ e do consumo de MS, entretanto o comportamento do animal é restrito. Esta é considerada a técnica padrão (*Gold Standard*) para a determinação da emissão de metanos pelos ruminantes (Machado *et al.*, 2011), sendo utilizada para a avaliação da precisão de outras técnicas.

2.9.4. Efeito do nível de alimentação e características da dieta sobre a emissão de metano

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). Já Blaxter e Clapperton (1965) encontraram valores entre 6,2 e 10,8% da EB ingerida por ruminantes em manutenção. De acordo com 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 no rúmen. Já o aumento da proporção de concentrado na dieta a níveis de 60-80% levou ao aumento da emissão de metano (em % da EB ingerida), entretanto quando proporções maiores de concentrado foram utilizadas a emissão de metano foi drasticamente reduzida. Estes resultados são mais evidentes em maiores níveis de consumo. Parece que inicialmente 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 leva 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 de Archaeas (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 H_2 interespecie e, conseqüentemente, menor produção de CH_4 pelas Archaeas (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 CH_4 . A melhoria da qualidade das forragens também pode aumentar o consumo voluntario 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, assim, a produção de CH_4 . 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 O'Mara *et al.* (2008) a melhora da qualidade nutricional das forragens pode reduzir as emissões de CH_4 por kg de leite ou carne devido a melhoria na produtividade animal.

A suplementação lipídica também é uma forma de reduzir as emissões de CH_4 , 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 poli-insaturados (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). O biohidrogenação dos ácidos graxos poli-insaturados pode servir com um dreno de H_2 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 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 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). Obedecer aos limites máximos de inclusão de lipídeos (3-4%) na dieta, para que os níveis de lipídeos totais da dieta não ultrapassem de 6% é importante para evitar o efeito negativo sobre a digestibilidade (NRC, 2001).

2.10. Referências bibliográficas

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

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.

ARCHIMÈDE, H.; EUGÈNE, M.; MARIE MAGDELEINE C.; *et al.* Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and Legumes. **Animal Feed Science Technology**, v. 166-167, p. 59- 64, 2011.

ATTWOOD, G.T.; ALTERMANN, E.; KELLY, W.J.; *et al.* Exploring rumen methanogen genomes to identify targets for methane mitigation strategies. **Animal Feed Science and Technology**, v. 166–167(23), p. 65-75, 2011.

ÁVILA, C. L.S.; PINTO, J. C.; EVANGELISTA, A. R.; MORAIS, *et al.* Perfil de fermentação das silagens de capim-tanzânia com aditivos teores de nitrogênio amoniacal e ph. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 27(5), p.1144-1151, 2003.

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*

BAILE, C. A.; FORBES, J. M. Control of feed intake and regulation of energy balance in ruminants. **Physiological Reviews**, v. 54, p. 161, 1974.

BANNINK, A.; KOGUT, J.; DIJKSTRA, J.; *et al.* Estimation of the stoichiometry of volatile fatty acid production in the rumen of lactating cows. **Journal of Theoretical Biology**, v. 238, p.36-51, 2006.

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: I. Dieta basal. **Arquivo Brasileiro de Medicina veterinária e Zootecnia**, v.50, n.6, p. 731-735, 1998a.

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, 1998b.

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: III. Tamanho de partícula da amostra. **Arquivo Brasileiro de Medicina veterinária e Zootecnia**, v.50, n.6, p. 741-744, 1998c.

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.

BAUMONT, R.; PRACHE, S.; MEURET, M.; MORAND-FEHR, P. How forage characteristics influence behaviour and intake in small ruminants: a review. **Livestock Production Science**, v. 64, p. 15-28, 2000.

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. Rumen function. In: FORBES, J.; FRANCE, J. **Quantitative aspects of rumen digestion and metabolism** (eds.). CAB International, Wallingford, UK, 1993. p. 187-215.

BERCHIELLI, T.T.; VEGAGARCIA, A.; OLIVEIRA, S.G. Principais técnicas de avaliação aplicadas em estudo de nutrição. In: BERCHIELLI, T.T.; PIRES, A.V.; OLIVEIRA, S.G. (eds). **Nutrição de Ruminantes**. 1.ed. Jaboticabal: Funep, 2006. p.565-600.

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, K. L. Techniques in energy metabolism studies and their limitations. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 26, p 86-96, 1967.

BLAXTER, K. L. **The Energy Metabolism of Ruminants**. Illinois:Springfield, 1962. 187p.

BLAXTER, K. L. Utilization of the metabolizable energy of grass. **Grass and Forage Science**, v. 19(1), p. 90-99, 1964.

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.; 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.; 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, S. K. An historical perspective: the development of methods for assessing nutrient requirements. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 45, p 177-183. 1986.

BOHNERT, D. W.; DELCURTO, T.; CLARK, A. A.; *et al.* Protein supplementation of ruminants consuming low-quality cool- or warm-season forage: Differences in intake and digestibility. **Journal of Animal Science**, v. 89, p. 3707-3717, 2011.

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.

BUDDLE, B. M.; DENIS, M.; ATTWOOD, G.T.; *et al.* Strategies to reduce methane emissions from farmed ruminants grazing on pasture. **The Veterinary Journal**, v. 188(1), p. 11-17, 2011.

BUXTON, D.R.; RUSSEL, J.R. Lignin constituents and cell wall digestibility of grass and legume stems. **Crop Science**, v.28, p. 553-558, 1988.

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.

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

CASLER, M. D.; JUNG, H. J. G. Relationships of fibre, lignin, and phenolics to *in vitro* fibre digestibility in three perennial grasses. **Animal Feed Science and Technology**, v. 125, p. 151-161, 2006.

CASLER, M. D.; JUNG, H. J. G. Selection and evaluation of smooth bromegrass clones with divergent lignin or etherified ferulic acid concentration. **Crop Science**, v. 39, p. 1866-1873, 1999.

CASLER, M. D.; JUNG, H. J. G.; COBLENTZ, W. K. Clonal selection for lignin and etherified ferulates in three perennial grasses. **Crop Science**, v. 48, p. 424-433, 2008.

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.

CHEN, L.; AUH, C.K.; DOWLING, P. *et al.* Improved forage digestibility of tall fescue (*Festuca arundinacea*) by transgenic down-regulation of cinammyl alcohol dehydrogenase. **Plant Biotechnology Journal**, v. 1, p. 437-449, 2003.

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.

CHESSON, A. Mechanistic models of forage cell wall degradation. *In* H.G. Jung *et al.* (eds.). **Forage cell wall structure and digestibility**. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA, p. 347-375, 1993.

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) **Pasture for the tropical lowlands**. CIAT's Contribution. Cali, Columbia. 1992, p 238.

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.

CLARK, H.; PINARES-PATIÑO, C. S.; KLEIN, C. M. Methane and nitrous oxide emissions from grazed grasslands. *In* **Grassland: A Global Resource** (ed. D. McGilloway), Wageningen Academic Publishers, Wageningen, Holanda, 2005, p-279-293.

COCHRAN, R. C.; GALYEAN, M. L. Measurements of in vivo forage digestion by ruminants. In: FAHEY JR., G. C.; COLLINS, M. C.; MERTENS, D. R.; MOSER, L. E. (Ed.) **Forage quality, evaluation, and utilization**. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. 1994, p. 613-643.

COCHRANE T.T. (1986) Soils, climate and vegetation in rangelands of Tropical America. In: KALMBACHER, R. S., COLEMAN, S. S., LEWIS, C. E.; TANNER, G. W. (eds). **Tropical American Lowland Range Symposium**. Proceedings of the Society for Range Management, Kissimmee, FLA., USA, pp.1-10.

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.

CONRAD, H. R.; PRATT, A. D.; HIBBS, J. D. W. Regulation of feed intake in dairy cows. I. Change in importance of physiological factors with increasing in digestibility. **Journal of Dairy Science**. v. 48, n. 1, p. 47-54, 1964.

CORRÊA, L.A.; POTT, E.B. Silagem de Capim. In: **Simposio de forragicultura e pastagens- Temas em evidencia**, v. 2, 2007, Lavras. *Anais...*Lavras: UFLA, 2007. Cap.9.

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.

CRAMPTON, E. W.; DONEFER, E.; LLOYD, L. E. A nutritive value index for forages. **Journal of Animal Science**, v. 19, p. 538, 1960.

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.; SIDONS, 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.

DULPHY, J.P.; DEMARQUILLY, C. The regulation and prediction of feed intake in ruminants in relation to feed characteristics. **Livestock Production Science**, v. 39, n. 1, p. 1-12, 1994.

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.

ELLIS, J.L.; ODONGO, N.E.; BEAUCHEMIN, S. *et al.* Modeling methane production from beef cattle using linear and nonlinear approaches. **Journal of Animal Science**, v. 87, p. 1334-1345, 2008.

ELLIS, W. C.; POPPI, D. P.; MATIS, J. H.; *et al.* Dietarydigestive-metabolic interactions determining the nutritive potential of ruminal diets. In: JUNG, H. G.; FAHEY JR.; G. C. (Ed.) **Nutritional ecology of herbivores**. Am. Soc. of Anim. Sci., Savoy, IL. 1999. p. 423-481.

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. 6^a ed. Blackwell Publishing, Ames, Iowa, USA. p. 569–580, 2007.

FISHER, D. S. A review of a few key factors regulating voluntary feed intake in ruminants. **Crop Science**, v. 42, p. 1651-1655, 2002.

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

FORBES, J. M. A personal view of how ruminant animals control their intake and choice of food: minimal total discomfort. **Nutrition Research Reviews**, v. 20, p. 132-146, 2007.

FORBES, J. M. **Voluntary food intake and diet selection in farm animals**. Wallingford: CAB International, 1995. 532p.

FORBES, J. M. **Voluntary food intake and diet selection in farm animals**. 2 ed. Wallingford: CAB International, 2007. 453p.

FORBES, J. M.; PROVENZA, F. D. Integration of learning and metabolic signals into a theory of dietary choice and food intake. In: CRONJE, P. B. (ed.) **Ruminant Physiology: Digestion, Metabolism, Growth and Reproduction**. CAB Int., Wallingford, UK. 2000. p. 3-19.

FORNALÉ, S.; CAPELLADES, M.; ENCINA, A.; et al. Altered lignin biosynthesis improves cellulosic ethanol production in transgenic maize plants down-regulated for cinnamyl alcohol dehydrogenase. **Molecular Plant**, v. 5, p. 817-830, 2012.

FRANCE, J.; DIJKSTRA, J. Volatile fatty acid production. In: DIJKSTRA, J.; FORBES, J. M.; FRANCE, J. (eds.) **Quantitative Aspects of Ruminant Digestion and Metabolism**. 2nd ed. CABI Publ., Wallingford, Oxfordshire, UK. 2005, p. 157-175.

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.

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.

GONZALEZ, Y.; GERARDO, J. *Andropogon gayanus*. **Pastos y Forrajes**, v. 5, p. 107-127, 1982.

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.

GRABER, J. H. How do lignin composition, structures, and cross-linking affect degradability? A review of cell wall model studies. **Crop Science**, v. 45, n. 3, p. 820-831, 2005.

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.

HAIGH, P.M. Effect of herbage water-soluble carbohydrate content and weather conditions at ensilage on the fermentation of grass silages made on commercial farms. **Grass and Forage Science**, v. 45, p. 263-271, 1990.

HEGARTY, R. **Greenhouse gas emissions from the Australian livestock sector what do we know, what can we do?** Canberra, NSW Agriculture Australian Greenhouse Office, 2001. 35p

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.

HUHTANEN, P.; KHALILI, H.; NOUSIAINEN J.I.; *et al.* Prediction of the relative intake potential of grass silage by dairy cows. **Livestock Production Science**, v. 73, p. 111-130, 2002.

HUHTANEN, P.; RINNE, M.; NOUSIAINEN, J. Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows: a revision of the relative silage dry-matter intake index. **Animal**, v. 1, p. 758-770, 2007.

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.

IYAMA, K.; LAM, T. B. T. Structural characteristics of cell walls of forage grasses – Their nutritional evaluation for ruminants. Review. **Asian–Australasian Journal of Animal Science**, v. 14, p. 862-879, 2001.

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/contents.html. Acesso em: 30 nov. 2012.

IPCC. INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE. Greenhouse gas inventory programme. **Guidelines for national inventories**. Hayama, Japan: Institute for global Environmental Strategies, 2006.

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.

JANSSEN, P. H. Influence of hydrogen on rumen methane formation and fermentation balances through microbial growth kinetics and fermentation thermodynamics. **Animal Feed Science and Technology**, v. 160, p. 1-22, 2010.

JAYME, C. G. Produção de matéria seca e avaliação das silagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu colhida em diferentes estádios de maturação. Belo Horizonte: UFMG. 2004. 35p. (Dissertação de Mestrado).

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.

JUNG, H. G.; SMITH, R.R.; ENDRES, C.S. Cell wall composition and degradability of stem tissue from lucerne divergently selected for lignin and *in vitro* dry-matter disappearance. **Grass Forage Science**, v. 49, p. 295-304, 1994.

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.

JUNG, H. J. G.; PHILLIPS, R. L. Putative seedling ferulate ester (sfe) maize mutant: morphology, biomass yield, and stover cell wall composition and rumen degradability. **Crop Science**, v. 50, p. 403-418, 2010.

KLEIBER, M. **The Fire of Life**. John Wiley and Sons, New York. 1961. 454p.

KOZLOSKI, G. V.; PEROTONI, J.; CIOCCA, M. L. S. *et al.* Potential nutritional assessment of dwarf elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum. Mott) by chemical composition, digestion and net portal flux of oxygen in cattle. **Animal Feed Science and Technology**, v. 104, p. 29-40, 2003.

KRIZSAN, S. J.; RANDBY, Å.T. The effect of fermentation quality on the voluntary intake of grass silage by growing cattle fed silage as sole feed. **Journal of Animal Science**, v. 85, p. 984-996, 2007.

KRIZSAN, S.J.; WESTAD, F.; ÅDNØY, T.; *et al.* Effect of volatile compounds in grass silage on voluntary intake by cattle. **Animal**, v. 1, p.283-292, 2007.

KUMAR, S.; PUNIYA, A. K.; PUNIYA, M.; *et al.* Factors affecting rumen methanogens and methane mitigation strategies. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 25, n. 9, p. 1557-1566, 2009.

LASCANO, C. E. Managing the grazing resource for animal production in savannas of tropical America. **Tropical Grasslands**, v. 25, p. 66-72, 1991.

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.

LAZZARINI, I.; DETMANN, E; SAMPAIO, C. B.; *et al.* Intake and digestibility in cattle fed low-quality tropical forage and supplemented with nitrogenous compounds. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 38, n. 10, p. 2021-2030, 2009.

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).

MACHADO, R.; NUÑES, C. A. Comparacion de variedades de *Andropogon gayanus* spp bajo condiciones de pastoreo simulado. **Pasto y Forrajes.**, v. 12, p. 109-120, 1989.

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.

MacRAE, J. C.; SMITH, J. S.; DEWEY, P. J. S.; *et al.* The efficiency of utilization of metabolizable energy and apparent absorption of amino acids in sheep given spring- and autumn-harvested dried grass. **British Journal of Nutrition**, v. 54, p. 197, 1985.

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

MATHIS, C. P.; COCHRAN, R. C.; HELDT, J. S.; *et al.* Effects of supplemental degradable intake protein on utilization of medium- to low-quality forages. **Journal of Animal Science**, v. 78, p. 224-232, 2000.

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.

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.

McDONALD, P.; HENDERSON, A. R.; HERON, S. **The biochemistry of silage**. 2^a ed. Marlow: Chalcombe Publications, 1991. 340p.

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

MERCHEN, N. R.; BOURQUIN, L. D. Processes of digestion and factors influencing digestion of forage-based diets by ruminants. In: FAHEY JR., G.C. (Ed.). **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: American Society of Agronomy, 1994, p. 564-612.

MERTENS, D. R. Regulation of forage intake In: FAHEY JR., G. C, (Ed.) **Forage quality, evaluation and utilization**. Madinson: American Society of Agronomy, 1994. p. 450-493.

MERTENS, D.R. Predicting intake and digestibility using mathematical models of ruminal function. **Journal of Animal Science**, v. 64, p. 1548-1558, 1987.

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.

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.

MINSON, D. J. **Forage in ruminant nutrition**. San Diego: Academic Press, 1990. 483 p.

MINSON, D. J.; MILFORD, R. The voluntary intake and digestibility of diets containing different proportions of legume and mature Pangola grass (*Digitaria decumbens*). **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v. 7, n. 29, p. 546-551, 1967.

MINSON, D.J.; WILSON, J.R. Prediction of intake as an element of forage quality. In: FAHEY JR., G. C.; COLLINS, M. C.; MERTENS, D. R.; MOSER, L. E. (Ed.) **Forage quality, evaluation, and utilization**. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. 1994, p. 533-563.

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.; TYRREL, H. F. Methane production in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 62, p. 1583-1586, 1979.

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

MORRISON, I.M. Changes in cell wall components of laboratory silages and effect of various additives on these changes. **Journal of Agricultural Science**, v. 93, p. 581-586, 1979.

MOSS, A.R. **Methane: global warming and production by animals**. Kingston: Chalcombe Publications, United Kingdom, 1993, 105 p.

MOSS, A.R.; JOUANY, J.P.; NEWBOLD, J. Methane production by ruminants: its contribution to global warming. **Annales de Zootechnie**, v. 49, p. 231-253, 2000.

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 beef cattle**. 7th ed. National Academy Press, Washington, DC, 1996, 234p.

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.

NELSON, C. J.; MOSER, L. E. Plant factors affecting forage quality. In: FAHEY JR., G. C. (Ed.) **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: American Society of Agronomy. 1994, p. 115-154.

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.

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

O'MARA, F.; BEAUCHEMIN, K. A.; KREUZER, M.; MCALLISTER, T. A. Reduction of greenhouse gas emissions of ruminants through nutritional strategies. In: Proc. Inter. Conf. on **Livestock and Global Climate Change**, British Society of Animal Science, 17-20 Maio, 2008, Hammamet, Tunisia, 2008, p. 40-43.

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.

OHSHIMA, V., McDONALD, P., ACAMOVIC, T. Changes during ensilage in the nitrogenous components of fresh and additive treated ryegrass and lucerne. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 30, n. 2, p. 97-106, 1979.

OHSHIMA,V., McDONALD, P. A review of the changes in nitrogenous compounds of herbage during ensilage. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 29, n. 6, p. 497-505, 1978.

OJEDA, F. Evaluacion de la interacion conservante-miel final sobre la calidad fermentativa de los ensilajes de la Guinea cc. Likoni. **Pastos y Forrajes**, v. 17, p. 267-276, 1994.

OJEDA, F; CÁCERES, O.; DÍAZ, D. Estúdio del *Andropogon gayanus* conservado como ensilaje. **Pastos y Forrajes**, v. 13, p. 293-297, 1990.

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.; MAcLEOD, N.A. Dietaryinduced thermogenesis and feed evaluation in ruminants. **Proceedings of the Nutrition Society**, v. 49, n. 2, p. 227-237, 1990.

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.

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

PAIVA, J.A.J. **Qualidade da silagem da região metalúrgica de Minas Gerais**. Belo Horizonte: UFMG – Escola de Veterinária. 1976. 86p. (Dissertação de Mestrado).

PETTERSON, K. L.; LINDGREEN, S. The influence of the carbohydrate fraction and additives on silage quality. **Grass and Forage Science**, v. 45, n. 2, p. 223-233, 1990.

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.

PINARES-PATIÑO, C. S.; D'HOOR, P.; JOUANY, J.-P.; MARTIN, C. Effects of stocking rate on methane and carbon dioxide emissions from grazing cattle. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 121(1-2), p. 30-46, 2007.

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.

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.; 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.; ROSA, B. Suplementação volumosa: conservação do excedente das pastagens. In: **Simpósio sobre manejo de pastagem**, 18, 2001, Piracicaba. *Anais...*Piracicaba: FEALQ, 2001. p.193-232.

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 agronômicas 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, M.T.; VIEIRA, R.A.M. Metodologias aplicadas ao fracionamento de alimentos. In: BERCHIELLI, T. T.; PIRES, A. V.; OLIVEIRA, S. G. (Eds.), **Nutrição de ruminantes**. Jaboticabal: FUNEP, 2006. 583p.

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.

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)

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.

SATTLER, S. E.; FUNNELL-HARRIS, D. L.; PEDERSEN, J. F. Brown midrib mutations and their importance to the utilization of maize, sorghum, and pearl millet lignocellulosic tissues. **Plant Science**, v. 178, n. 3, p.229-238, 2010.

SILVA, J. M. **Silagem de forrageiras tropicais**. *Documentos*, EMBRAPA – CNPGC, N. 51, 2001.

SOUSA, F. B.; ARAÚJO FILHO, J. A. **Avaliação e seleção de forrageiras nativas e exóticas para o semi-árido brasileiro**. Sobral: EMBRAPA – Caprinos , 2001. 34. p. 5-12 (EMBRAPA-CNPC. Boletim de Pesquisa, 13).

STEWART, C. S. The rumen bacteria. In: JOUANY, J. P. (ed.), **Rumen microbial metabolism and ruminant digestion**. INRA Editions, Paris, France. 1991, p. 15-26.

TAF AJ, M.; ZEBELI, Q.; BAES, C. H.; *et al.* A meta-analysis examining effects of particle size of total mixed rations on intake, rumen digestion and milk production in high-yielding dairy cows in early lactation. **Animal Feed Science and Technology**, v. 138, n. 2, p.137-161, 2007.

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.

TOMICH, T. R.; PEREIRA, L. G.; GONÇALVES, L. C.; *et al.* **Características químicas para avaliação do processo fermentativo de silagens: uma proposta para a qualificação da fermentação**. *Documentos*, EMBRAPA – CPAP, n. 57, 2003.

ULYATT, M. J. The feeding value of herbage: Can it be improved? **New Zealand Agricultural Science**, v. 15, n. 4, p. 200-205, 1981.

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.

UNGERFELD, E. M.; KOHN, R. A., The role of thermodynamics in control of ruminal fermentation. In: Sejrsen, K.; Hvelpund, T.; Nielsen, M. O. (Eds). **Ruminant Physiology Digestion, Metabolism and Impact of Nutrition on Gene Expression, Immunology and stress**. Wageningen Academic Publishers. Wageningen The Netherlands, 2006. p. 55-85.

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

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. Cell wall matrix interactions and degradation - Session synopsis. In: JUNG, H. J. G.; BUXTON, D. R., HATFIELD, R. D.; RALPH, J. (Ed.) **Forage cell wall structure and digestibility**. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA, 1993, p 377.

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

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.; BARBOSA, F. A.; RODRIGUEZ, N.; CASLE, C. Efeito do emurchecimento do capim elefante Paraíso sobre a qualidade da silagem. In: **Reunião Anual Da Sociedade Brasileira De Zootecnia**, 38., 2001, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: SBZ, 2001. p. 602-603.

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 JR., 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.

WILKINSON, J.M. Silages made from tropical and its temperate crops. I. The ensilage process and its influence on feed value. **World Animal Review**, v. 45, n. 46, p. 36-42, 1983.

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.; KENNEDY, P. M. Plant and animal constraints to voluntary intake associated with fiber characteristics and particle breakdown and passage in ruminants. **Australian Journal of Agricultural Research**, v. 47, p. 199-225, 1996.

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.

WILSON, J.R. Cell wall characteristics in relation to forage digestion by ruminants. **Journal of Agricultural Science**, v. 122, n. 2, p. 173-182, 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.

WOLIN, M. J.; MILLER, T. L. Microbe-microbe interactions. In: HOBSON, P.N. (Ed.) **The rumen microbial ecosystem**. New York: Elsevier, 1988. p. 343-359.

WOLIN, M. J.; MILLER, T.L.; STEWART, C.S. Microbe-microbe interactions. In: HOBSON, P.N.; STEWART, C.S. **The rumen microbial ecosystem**. London: Blackie Academic & Professional. 1997. p.467-491.

WOLIN, M.J. The rumen fermentation: a model for microbial interactions in anaerobic ecosystems. **Advances in Microbiology Ecology**, v. 3, p. 49-77, 1979.

Capítulo III – Experimento I

Consumo, digestibilidade, partição de energia e produção de metano entérico em ovinos alimentados com silagens de capim *Andropogon gayanus* em três idades de corte

3.1. Resumo

O efeito do avanço da idade de corte do capim *Andropogon gayanus* no valor nutricional das silagens e na produção de metano por ruminantes foram avaliados pela determinação do consumo, digestibilidade e partição da energia em estudo de calorimetria indireta. O experimento de consumo e digestibilidade foi realizado em gaiolas metabólicas com coleta total de fezes e urina. O período experimental foi de cinco dias após 21 dias de adaptação às dietas. A energia líquida das silagens e o balanço de energia e a produção de metano em ovinos foram determinados em câmara respirométrica de circuito aberto. Os animais passaram pela câmara por um período de 24 h, primeiro alimentados e depois em jejum. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado com três idades de corte (56, 84 e 112 dias) e seis repetições (carneiros; $n=6$). Os dados foram submetidos à análise de variância e regressão linear. Não foram observadas diferenças ($P>0,05$) entre os tratamentos para os consumos ($\text{g/kg}^{0,75}/\text{dia}$) de matéria seca (MS)(54,4 $\text{g/kg}^{0,75}/\text{dia}$), matéria orgânica (MO), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e fibra insolúvel em detergente ácido (FDA). Entretanto o consumo de proteína bruta (PB) reduziu ($P<0,05$) de forma linear de 4,1 para 3,0 $\text{g/kg}^{0,75}/\text{dia}$ com o aumento da idade de corte do capim. A digestibilidade aparente da MS das silagens reduziu de forma linear de 52,6% para 38,0% com o aumento da idade de corte do capim. As digestibilidades aparentes da MO e da PB e verdadeiras da FDN e da FDA das silagens também apresentaram redução linear ($P<0,05$) com o aumento da idade de corte do capim andropogon. Todos os tratamentos apresentaram balanço de nitrogênio (N) positivo (g/dia) e não diferiram entre si ($P>0,05$). A energia retida reduziu de forma linear de 37,2 para -0,1 $\text{kcal/kg}^{0,75}/\text{dia}$ com o aumento da idade de corte do capim. As energias digestível, metabolizável e líquida ($P<0,05$) das silagens reduziram de forma linear com o aumento da idade de corte da planta. Não foi encontrada diferença ($P>0,05$) entre a produção de metano (g/kg de MS, g/kg de MS digestível e em % da energia bruta consumida) por ovinos para as silagens avaliadas, sendo que a produção média foi de 11,6 g/kg de MS, 26,6 g/kg de MS digestível e 3,4% da energia bruta consumida. Devido aos melhores coeficientes de digestibilidade (MS, MO, PB, FDN e FDA) e a maior retenção de energia por ovinos, a

silagem realizada aos 56 dias de rebrote do capim *Andropogon gayanus* apresentou melhor valor nutricional.

Palavras-chave: calorimetria indireta, emissão de metano, energia líquida, forrageira tropical, maturidade

3.2. Introdução

No Brasil a ensilagem pode ser considerada a principal forma de conservação da forragem para alimentação dos animais no período seco do ano. A produção de silagens de capins vem sendo utilizada como uma alternativa às culturas tradicionais como a do milho e sorgo, apresentando como vantagens as características de serem perenes, advir de um pasto já estabelecido (não necessitando de gastos com o plantio), possibilidade do aproveitamento do excedente de produção das águas, além de apresentarem alta produtividade, sendo este o ponto que mais onera o custo de produção da silagem.

O capim *Andropogon gayanus* se destaca em relação às demais gramíneas tropicais por sua alta produtividade por área, capacidade de tolerar solos ácidos com baixa fertilidade e alta saturação de alumínio e períodos de seca prolongados. Sendo, desta forma, adaptado às condições de clima e solo do cerrado brasileiro.

Com o avanço da maturidade da planta apesar da produção de matéria seca aumentar, normalmente o valor nutritivo é reduzido devido a fatores que alteram a digestibilidade desta, como diminuição da relação folha/haste, redução do teor e da solubilidade do nitrogênio, aumento do teor e mudança na composição da lignina e aumento das ligações cruzadas entre a lignina e as hemiceluloses. Aliado a isso é importante determinar o momento em que a composição da planta (teor de umidade e carboidratos solúveis) favorecerá o processo de fermentação, e conseqüentemente, a produção de uma silagem de melhor qualidade.

Outro aspecto importante observado por trabalhos recentes é que a maturidade da planta também pode afetar a produção de metano pelos ruminantes. Entretanto existe uma escassez de dados sobre a produção de metano por ruminantes alimentados com forrageiras tropicais.

Objetivou-se com este estudo determinar o efeito do avanço da idade de corte do capim *Andropogon gayanus* no valor nutricional das silagens e na produção de metano por ruminantes por meio da determinação do consumo, digestibilidade e partição da energia por calorimetria indireta.

3.3. Material e métodos

3.3.1. Colheita do material

A silagem foi produzida em uma Fazenda localizada no município de Lagoa Santa, Minas Gerais, situada a 19°35'36'' de latitude Sul e 43°51'56'' de longitude Oeste de Greenwich, com altitude média de 747 metros. Foi utilizada uma área de capim *Andropogon gayanus* já estabelecida. Na análise de solo observaram-se as seguintes características: pH 5,3, Al⁺⁺⁺ 0,6 cmol.carga/dm³, P 1,5 mg/dm³, K 183 mg/dm³, índice de saturação de bases de 39% e classificação de textura franco argilosa. Com base na análise de solo, no início do período chuvoso, procedeu-se a correção da acidez com a aplicação de 2000 kg/ha de calcário dolomítico. Trinta dias depois, foram realizadas a uniformização da área experimental, a 20 cm do solo com o uso de roçadeira movida pela tomada de força do trator, e a adubação. Para adubação de cobertura foram utilizados 250 kg/ha de 08-24-12 e 100 kg/ha de 30-00-20 (N:P:K). O capim foi submetido ao corte em três épocas (3 tratamentos), nas seguintes idades de crescimento: 56, 84 e 112 dias. O primeiro corte foi realizado dia 27 de janeiro de 2007 e os demais a cada 28 dias (Tabela 1).

Os dados climáticos (Tabela 2) durante o período experimental foram obtidos da estação meteorológica localizada em Belo Horizonte a 30 km da área experimental (Dados da Rede do INMET).

Tabela 1. Datas de corte do capim *Andropogon gayanus*.

Idades de corte (dias)	Data
56	27/01/2007
84	24/02/2007
112	24/03/2007

Nas idades determinadas, o capim *Andropogon gayanus* foi cortado a 20 cm do nível do solo utilizando-se roçadeira manual, coletado e picado em picadeira estacionária em partículas de 10 a 30 mm e imediatamente ensilados em tambores metálicos com capacidade para 200 litros cada, revestidos internamente com sacos plásticos. O material foi compactado sob pisoteio e os tambores foram vedados com auxílio de travas nas tampas. Foram utilizados 15 tambores para cada idade de corte, totalizando 45 tambores. O material foi conduzido às dependências do departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG, onde

permaneceu em repouso à temperatura ambiente até a abertura durante o procedimento experimental e as análises laboratoriais.

Tabela 2. Precipitação acumulada e média de umidade e temperaturas máxima e mínima dos períodos avaliados.

Item	Períodos		
	02/12/2006 a 27/01/2007	27/01/2007 a 24/02/2007	24/02/2007 a 24/03/2007
Precipitação (mm)	521,9	291,1	85,8
Umidade relativa (%)	73,0	70,0	57,0
Temperatura máxima (°C)	27,8	27,7	29,4
Temperatura mínima (°C)	20,2	20,2	20,3

Fonte: Dados da Rede do INMET

3.3.2. Procedimento experimental

O experimento foi conduzido nas dependências do Departamento de Zootecnia da EV-UFMG, em Belo Horizonte-MG, no Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal - LAMCA. Foram utilizados 18 carneiros adultos sem raça definida, com peso médio de 59,2 kg (\pm 9,0 kg). Os animais foram pesados, vermifugados e casqueados antes de serem alojados individualmente em gaiolas metabólicas. Os animais foram alojados, de maneira aleatória quanto ao peso vivo e localização na sala, em 18 gaiolas metabólicas individuais (1,50m x 0,80m) com piso ripado, dispondo de bebedouro e cocho em aço inoxidável e saleiro de PVC. As gaiolas possuíam funis acoplados ao piso de madeira, abaixo dos quais eram colocadas caixas plásticas (para coleta de fezes) e baldes de plásticos dotados de telas (para a coleta de urina). Aos baldes coletores de urina foram adicionados, diariamente, 100 ml de HCl 2N para que não houvesse perdas de nitrogênio urinário por volatilização e/ou decomposição. O período experimental foi de 5 (cinco) dias após 21 dias de adaptação às dietas e às gaiolas. Os animais foram pesados no início e no final dos períodos pré-experimental e experimental.

As silagens foram oferecidas duas vezes ao dia (7:00 e 17:00 horas) de modo a se obter entre 10 e 20% de sobras no cocho. A água e uma mistura mineral comercial foram fornecidas "*ad libitum*", sendo os bebedouros lavados diariamente. Foram realizadas amostragens diárias do oferecido, das sobras, das fezes e das urinas durante o período de coleta.

Foram amostrados aproximadamente 2 Kg do oferecido por tratamento por dia. As sobras e as fezes foram pesadas diariamente uma vez ao dia (7:00 horas) sendo armazenados 20% do total por animal por dia. A urina também foi coletada diariamente pela manhã (7:00 horas), sendo determinado o volume diário e armazenado aproximadamente 10% do total. O material

amostrado foi devidamente identificado, acondicionado em sacos plásticos e congelado a -17°C. Ao final do período experimental foram realizadas amostras compostas de sobras, fezes, urina e oferecido, que permaneceram estocadas a -17°C.

3.3.3. Procedimento laboratorial

As amostras diárias de fezes, oferecido e sobras foram descongeladas a temperatura ambiente e os teores de matéria pré-seca determinados em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72 horas (INCT-CA, 2012; método G-001/1). Posteriormente, as amostras pré-secas foram moídas em moinho estacionário do tipo Willey utilizando-se peneira com malha de 1 mm e armazenados em recipientes de poelileno com tampa. Foram realizadas análises, em duplicatas, de matéria seca (MS) em estufa a 105°C (INCT-CA, 2012; método G-003/1); cinzas (INCT-CA, 2012; método M-001/1); proteína bruta (PB) (INCT-CA, 2012; método N-001/1) e conteúdo de nitrogênio (N) amoniacal pelo método de Kjeldahl (AOAC, 1995); fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) sem correção para cinzas e proteína (INCT-CA, 2012; método F-001/1), fibra insolúvel em detergente ácido (INCT-CA, 2012; método F-003/1), hemiceluloses (FDN-FDA), celulose (FDA-lignina) e lignina por hidólise ácida (INCT-CA, 2012; método F-005/1); energia bruta (EB) por combustão em bomba calorimétrica adiabática modelo PARR 2081 (AOAC, 1995). Na urina foram determinados os teores de energia bruta, nitrogênio e proteína bruta, seguindo as metodologias já mencionadas.

O consumo voluntário dos nutrientes das silagens foi determinado pela diferença entre o alimento oferecido aos animais e as sobras nos cochos. A digestibilidade aparente (DA) foi obtida por coleta total de fezes, conforme metodologia descrita por Silva e Leão (1979), a partir da fórmula:

$$DA = \frac{(Kg \text{ cons} \times \%cons) - (kg \text{ sb} \times \%sb) - (kg \text{ fz} \times \%fz)}{(Kg \text{ cons} \times \%cons) - (kg \text{ sb} \times \%sb)} \times 100$$

Em que:

kg cons = quantidade de alimento fornecido

% cons = teor do nutriente no alimento fornecido

kg sb = quantidade de sobras retiradas

% sb = teor do nutriente nas sobras

kg fz = quantidade de fezes coletadas

% fz = teor do nutriente nas fezes.

Os valores de energia digestível foram determinados pela diferença entre os valores de energia bruta consumida e a energia bruta perdida na forma de fezes.

3.3.4. Calorimetria

Para este estudo foi utilizado uma 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), instalada nas dependências do Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal – LACA/LAMA - da Escola de Veterinária da UFMG.

Após o experimento de consumo e digestibilidade aparente, os animais foram transferidos individualmente para a câmara respirométrica por um período de 24 horas, onde foram mensuradas as trocas gasosas para posterior cálculo da produção de metano e calor, a fim de determinar a energia metabolizável e líquida da forragem. Entretanto, devido ao término da silagem realizada com o capim aos 56 dias de crescimento apenas 4 animais alimentados deste tratamento passaram pela câmara respirométrica ($n = 4$). Todos os animais dos outros dois tratamentos (84 e 112 dias) passaram pela câmara respirométrica ($n = 6$ para cada um destes tratamentos).

Durante este período, o animal continuou recebendo a dieta experimental, uma vez por dia, sendo que o consumo do alimento foi registrado pela diferença da quantidade oferecida e as sobras no cocho. Os pesos dos animais foram registrados nos momentos de entrada e saída da câmara. Para evitar excesso de amônia por volatilização no interior da câmara, foi adicionado 100 mL de HCL 2N dentro do balde coletor de urina, situado abaixo da gaiola metabólica. Ao lado da câmara foi colocada outra gaiola metabólica alojando outro carneiro, com intuito de evitar o estresse dos animais devido ao isolamento, bem como iniciar a adaptação dos animais ao novo ambiente.

Após o período de experimentação com os animais alimentados, todos os animais passaram novamente na câmara respirométrica por um período de 24 horas, porém, desta vez em jejum alimentar prévio de 48 horas, para caracterizar estado pós-absortivo, obtendo-se assim a produção de calor basal. Em todo período de experimentação os animais tiveram acesso à água e mistura mineral *ad libitum*.

Para o procedimento de calorimetria indireta, foram utilizados os equipamentos e a metodologia descritos por Rodriguez *et al.* (2007). O fluxo de ar foi ajustado utilizando a proporção de aproximadamente 1L de ar para cada Kg de peso vivo do animal. O ar atmosférico que entrava na câmara era misturado ao ar expirado pelo animal, sendo coletadas amostras, a cada 5 minutos do ar externo e interno para determinação das concentrações de oxigênio (O₂), dióxido de carbono (CO₂) e metano (CH₄), de acordo com metodologia proposta por Chwalibog (2004).

3.3.5. Cálculos

Produção de calor

Determinou-se o volume de O₂ consumido e de CO₂ e CH₄ produzidos pelos animais, por diferença entre a composição do ar que entrou na câmara e do que saiu. Para determinação da produção de calor, foi utilizada a equação de Brouwer (1965):

$$H_{(kj)} = 16,18 \times O_{2(L)} + 5,02 \times CO_{2(L)} - 2,17 \times CH_{4(L)} - 5,88 N_{urina(g)}$$

Em que: H = produção de calor; N_{urina} = o nitrogênio urinário. Para a transformação dos dados em calorias, utilizou-se como referência os valores de 1 joule corresponde a 0,239 calorias.

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

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

Metabolizabilidade

O coeficiente de metabolizabilidade da energia bruta (q_m) foi obtido a partir da seguinte fórmula:

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

Em que, CEM = Consumo de energia metabolizável (Kcal/dia); CEB = Consumo de energia bruta (K/dia).

Eficiência de utilização da energia metabolizável

O coeficiente de eficiência de utilização da energia metabolizável (k_m) foi obtido à partir da seguinte fórmula:

$$k_m = \frac{EL \times 100}{EM}$$

Em que, EL = Teor de energia líquida (Kcal/g MS); EM = Teor de energia metabolizável (Kcal/g MS).

Eficiência de utilização da energia metabolizável

Para os cálculos envolvendo a produção de metano foram utilizados os fatores de 13,334 Kcal/grama e densidade de 0,7143 gramas/litro para valor energético e densidade, respectivamente.

Incremento calórico

Para determinar o incremento calórico dos alimentos, foram utilizados os valores de produção de calor calculados para o animal alimentado e em jejum. O cálculo do incremento calórico foi realizado utilizando-se a fórmula:

$$IC = Hal - Hjj$$

Em que, IC = incremento calórico; Hal = Produção de calor pelo animal alimentado; Hjj = produção de calor pelo animal em jejum.

3.3.6. Procedimento estatístico

O delineamento experimental utilizado foi o inteiramente casualizado com 3 tratamentos e 6 repetições. Para a análise dos dados gerados utilizou-se o modelo estatístico:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \epsilon_j$$

em que,

Y_{ij} = observação “j” na idade de corte “i”,

μ = média geral,

T_i = efeito da idade de corte i (i = 56, 84, 112 dias de crescimento),

ϵ_j = erro experimental.

Os dados obtidos foram submetidos à análise de variância utilizando-se o procedimento GLM do programa estatístico SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC). As medias foram comparadas ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$) pela opção PDIFF procedimento LSMEANS. Estudo de regressão foi realizado para avaliar se a idade de corte resultou em efeito linear no parâmetro determinado. Quando apropriado, a correlação de Pearson foi realizada entre as variáveis.

3.4. Resultados e discussão

3.4.1. Composição química

Foi observado um aumento do teor de MS (17,7 a 26,2%) e MO (91,0 a 93,6%) e redução da concentração de PB (6,9 a 5,4% da MS) com a maturidade (Tabela 3). Entretanto, as frações fibrosas (FDN, FDA, hemiceluloses, celulose e lignina) variaram pouco com a maturidade da planta.

Tabela 3. Composição química e parâmetros fermentativos das silagens de capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.

Item	Idade de corte (dias)		
	56	84	112
Matéria seca (%)	17,7	25,4	26,2
Matéria orgânica (% da MS)	91,0	92,3	93,6
Proteína bruta (% da MS)	6,9	5,6	5,4
FDN (% da MS)	74,9	74,7	74,4
FDA (% da MS)	45,0	43,3	42,7
Hemiceluloses (% da MS)	29,9	31,4	31,7
Celulose (% da MS)	38,9	37,5	35,6
Ligninas (% da MS)	6,1	5,8	7,1
Cinzas (% da MS)	9,1	7,7	6,4
N-NH ₃ (% do N total)	11,2	9,9	5,0
pH	5,3	5,3	4,7
Ácido acético (% da MS)	6,61	0,98	0,82
Ácido propiônico (% da MS)	2,41	0,24	0,11
Ácido butírico (% da MS)	6,10	2,16	2,03
Ácido lático (% da MS)	-	-	0,39

A silagem realizada com a planta mais velha apresentou os menores valores de pH e ácidos acético, propiônico e butírico e o maior teor de ácido lático (Tabela 3). Os baixos teores de MS na planta mais jovem proporcionaram uma pior conservação do material ensilado. De

acordo com Demarquilly e Dulphy (1977) para evitar a produção de efluentes e a fermentação por microorganismos indesejáveis o teor de MS do material a ser ensilado deve estar entre 27 e 38%. Todas as idades de rebrote do capim apresentaram valores de MS inferiores a estes, proporcionando o desenvolvimento de microorganismos indesejáveis, evidenciado pela elevada produção de ácido butírico, especialmente no capim ensilado mais jovem (56 dias). Este melhor padrão de fermentação da silagem produzida aos 112 dias de rebrote do capim andropogon também foi verificado por Ribeiro Jr. (2009) trabalhando com este mesmo material em silos de laboratório.

Na determinação do melhor momento de ensilagem do capim além de avaliar o valor nutricional e o perfil de fermentação é importante também determinar a produção de MS por hectare do material, pois o aumento na produtividade muitas vezes pode compensar a perda de valor nutritivo que normalmente ocorre com o avanço da maturidade da planta. As produções de MS deste material descritas por Ribeiro Jr. (2009) foram de 1,78, 5,76 e 10,53 t de MS/ha nas idades de 56, 84 e 112 dias de rebrote respectivamente.

3.4.2. Consumo e digestibilidade aparente da matéria seca e matéria orgânica

Os consumos de MS e MO (em g/dia e g/kg^{0,75}/dia) não diferiram ($P > 0,05$) entre as silagens de capim andropogon avaliadas (Tabela 4). Já a digestibilidade aparente da MS e da MO das silagens reduziram de forma linear ($P < 0,01$) com o aumento da idade de corte do capim. Consequentemente, os consumos de MS ($r_{DMS \times CMSD} = 0,86$; $P < 0,0001$) e MO ($r_{DMO \times CMOD} = 0,87$; $P < 0,0001$) digestíveis (g/kg^{0,75}/dia) também reduziram de forma linear ($P < 0,01$) com o aumento da idade de corte do capim.

O consumo médio de MS das silagens foi de 54,4 g/kg^{0,75}/dia, valor este muito próximo aos descritos para ovinos adultos em manutenção pelo NRC (2007) e AFRC (1993), que são de 53,19 e 51,02 g/kg^{0,75}/dia respectivamente. Os consumos encontrados também são próximos aos descritos para silagens de outras forrageiras tropicais como: sorgo (53,18 g/kg^{0,75}/dia; Machado *et al.*, 2011); *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (47,40 g/kg^{0,75}/dia; Jayme *et al.*, 2011); *Panicum maximum* cv. Tanzânia (58,07 g/kg^{0,75}/dia; Castro, 2008); e Tifton-85 (59,04 g/kg^{0,75}/dia; Faria Jr, 2012). Apesar de Mathis *et al.* (2000) e Bohnert *et al.* (2011) demonstrarem que o consumo reduz quando o teor de proteína bruta da dieta é inferior a 7%, isto não foi observado neste trabalho. Outro aspecto relevante é que o consumo de MS e MO não foi afetado pelo menor teor de MS da silagem e nem pelo maior teor de ácido butírico da

silagem obtida com o capim mais jovem. Apesar de alguns trabalhos correlacionarem o consumo com os teores de MS e de ácidos orgânicos da silagem (Huhtanen *et al.*, 2002; Huhtanen *et al.*, 2007; e Krizsan *et al.*, 2007), parece que como proposto por Minson e Wilson (1994) o tempo de retenção do alimento no rúmen é o principal regulador do consumo de forragens.

Tabela 4. Consumo e digestibilidade aparente da matéria seca (MS) e matéria orgânica (MO) em ovinos alimentados com silagens de capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.

Item	Idade de corte (dias)			EPM	Regressão linear [§]	R ²	P
	56	84	112				
Consumo							
MS (g/dia)	1197,6	1058,9	1236,7	91,73	-	-	0,77
MS (g/kg ^{0,75} /dia)	57,0	51,8	54,2	2,58	-	-	0,46
MS digestível (g/kg ^{0,75} /dia)	30,1 ^a	22,7 ^b	20,5 ^b	1,69	y = 38,782 - 0,171x	91,21	<0,01
MO (g/dia)	1092,5	976,6	1158,7	84,83	-	-	0,59
MO (g/kg ^{0,75} /dia)	52,0	47,8	50,8	2,39	-	-	0,73
MO digestível (g/kg ^{0,75} /dia)	30,3 ^a	23,0 ^b	21,4 ^b	1,68	y = 38,165 - 0,158x	88,28	<0,01
Digestibilidade							
MS (%)	52,6 ^a	43,6 ^b	38,0 ^b	2,25	y = 66,652 - 0,261x	98,32	<0,01
MO (%)	58,0 ^a	48,0 ^b	42,3 ^b	2,11	y = 73,115 - 0,282x	97,64	<0,01

Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na mesma linha, indicam diferença estatística (P<0,05). EPM = erro padrão da média. R² = coeficiente de determinação; P = nível de significância (probabilidade de efeito linear); §y = parâmetro avaliado, x = idade de corte (em dias).

Apesar dos consumos MS e MO não terem sido alterados, a digestibilidade aparente da MS e MO das silagens sofreram influência da idade de corte. Segundo Minson e Milford (1967), Mathis *et al.* (2000) e Bohnert *et al.* (2011) teores de proteína bruta da dieta inferiores a 7% podem limitar o crescimento microbiano no rúmen, o que resulta em redução da digestibilidade da dieta. As correlações positivas entre o consumo de PB digestível (g/kg^{0,75}/dia) e as digestibilidades da MS ($r_{\text{CPBUTM} \times \text{DAMS}} = 0,83$; P<0,0001) e MO ($r_{\text{CPBUTM} \times \text{DAMO}} = 0,88$; P<0,0001) neste trabalho indicam que as digestibilidades da MS e MO das silagens obtidas com o capim aos 84 e 112 dias de crescimento podem estar sendo limitadas pelo teor de PB degradável no rúmen.

De acordo com Nelson e Moser (1994) e Wilson e Hatfield (1997) com o avanço da maturidade da planta normalmente ocorre diminuição da relação folha/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 vegetais de sustentação e vasculares, que possuem células densamente agrupadas com paredes espessas e lignificadas, de difícil degradação pelos microorganismos do rúmen (Wilson and Mertens, 1995). Dessa forma, o aumento da proporção de hastes na planta mais velha poderia também afetar a digestibilidade aparente da MS e MO, entretanto Ribeiro Jr. (2009) trabalhando com este mesmo material não observou diferença na relação folha/haste entre as plantas com 56 e 112 dias de rebrote. Embora, o avanço da maturidade da planta também possa causar redução na digestibilidade das folhas das gramíneas, este efeito é muito menor do que o observado nas hastes (Fales e Fritz, 2007; Jung, 2011).

3.4.3. Consumo e digestibilidade aparente da proteína bruta e balanço de nitrogênio

Os consumos (g/dia e g/kg^{0,75}/dia) e a digestibilidade aparente da PB das silagens reduziram (P<0,05) de 56 para 84 dias de rebrote do capim e não diferiram (P>0,05) entre as idades de 84 e 112 dias (Tabela 5). Foi observado efeito linear (P<0,01) da idade de corte da planta sobre o consumo (g/dia e g/kg^{0,75}/dia) e a digestibilidade aparente da PB das silagens. O consumo de PB digestível seguiu o mesmo padrão observado para o consumo (g/kg^{0,75}/dia) e a digestibilidade da PB. Como o consumo de MS não diferiu entre as silagens esta diferença no consumo de PB encontrada está relacionada à redução no teor de PB das silagens com o aumento da idade de corte do capim como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 5. Consumo e digestibilidade aparente da proteína bruta (PB) em ovinos alimentados com silagens de capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.

Item	Idade de corte (dias)			EPM	Regressão linear [§]	R ²	P
	56	84	112				
Consumo							
PB (g/dia)	85,2 ^a	60,3 ^b	68,0 ^b	5,81	y = 96,997 - 0,307x	45,73	0,05
PB (g/kg ^{0,75} /dia)	4,05 ^a	3,0 ^b	3,0 ^b	0,16	y = 4,938 - 0,019x	72,79	<0,01
PB digestível (g/kg ^{0,75} /dia)	1,5 ^a	0,6 ^b	0,6 ^b	0,12	y = 2,221 - 0,016x	71,99	<0,01
Digestibilidade							
PB (%)	37,0 ^a	20,3 ^b	21,2 ^b	3,04	y = 49,841 - 0,282x	70,55	<0,01

Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na mesma linha, indicam diferença estatística (P<0,05). EPM = erro padrão da média; R² = coeficiente de determinação; P = nível de significância (probabilidade de efeito linear); [§]y = parâmetro avaliado, x = idade de corte (em dias).

A redução na digestibilidade aparente da PB associada ao aumento da maturidade da planta é consistente com os resultados de diversos trabalhos avaliando gramíneas forrageiras C3 e C4

(Archimède *et al.*, 2000; Castro, 2008; Lima *et al.*, 2008; Vranić *et al.*, 2009; Teixeira, 2009; Carvalho, 2012). Esta redução da digestibilidade da PB parece estar relacionada à redução da solubilidade do nitrogênio e ao aumento da fração nitrogenada associada à parede celular e ligada a lignina (Merchen e Bourquin, 1994; Van Soest, 1994).

Os baixos teores de PB (inferiores a 7% da MS) e/ou disponibilidade desta no alimento podem limitar a fermentação ruminal reduzindo a digestibilidade da MS (Minson e Milford 1967; Van Soest, 1994). De acordo Satter e Slyter (1974), o crescimento das bactérias celulolíticas foi limitado quando as concentrações de nitrogênio amoniacal no líquido ruminal foram inferiores a 5 mg/100 ml. A digestibilidade aparente da PB ($r_{DAPB \times DAMS} = 0,88$; $p < 0,0001$) e o consumo de PB digestível ($r_{CPBD \times DAMS} = 0,83$; $P < 0,0001$) apresentaram correlação positiva com a digestibilidade aparente MS indicando que a baixa disponibilidade de proteína degradável no rúmen pode estar limitando a degradação do alimento, principalmente nas silagens produzidas com o capim aos 84 e 112 dias.

Nenhuma das silagens avaliadas no presente experimento foi capaz de suprir a exigência de proteína digestível recomendada pelo AFRC (1993) para ovinos em manutenção, que é de 2,46 g/UTM/dia, o que indica a necessidade de suplementação com fontes proteicas. Apesar, da digestibilidade aparente da proteína frequentemente subestimar a digestibilidade verdadeira devido à presença do nitrogênio fecal metabólico, particularmente elevado quando o animal consome dietas fibrosas que aumentam a descamação das células da mucosa intestinal (Van Soest, 1994), os valores de consumo de PB aparentemente digestível foram muito abaixo do recomendado pelo AFRC (1993), mesmo na silagem realizada com o capim mais jovem (1,5 g/kg^{0,75}/dia). Os valores de consumo de PB digestível foram inferiores aos encontrados para silagens de *Brachiaria brizantha* cv. Marandu (1,87 g/kg^{0,75}/dia; Jayme *et al.*, 2011), de Tifton-85 (de 2,57 a 5,04 g/kg^{0,75}/dia; Faria Jr., 2012) e de capim-elefante (2,91 g/kg^{0,75}/dia; Reis *et al.*, 2000) e próximos aos descritos por Machado *et al.*, (2011) para silagens de sorgo (de 0,58 a 1,74 g/kg^{0,75}/dia).

Apesar do baixo consumo de PB digestível os animais apresentaram balanço de nitrogênio (N) positivo (Tabela 6). Na tentativa de compensar um menor consumo de N ($P < 0,05$) os animais alimentados com as silagens da planta mais velha reduziram ($P < 0,05$) a excreção de N na urina. Já o nitrogênio fecal não variou ($P > 0,05$) entre os animais alimentados com as silagens produzidas em diferentes idades de corte. Deve-se levar em consideração que as perdas de N fecais são em grande parte influenciadas pelo N de origem endógena. O N retido

(g/dia), a relação N retido/N ingerido e a eficiência de utilização do N [N retido / (N ingerido - N fecal)] também não variaram ($P > 0,05$) nos animais alimentados com o capim andropogon ensilado nas diferentes idades de corte. A retenção de N, apesar de ter correlação com o consumo de N ($r_{N_{\text{retido}} \times N_{\text{ingerido}}} = 0,46$; $P < 0,05$), apresentou maior correlação com a digestibilidade da PB ($r_{N_{\text{retido}} \times \text{DAPB}} = 0,85$; $P < 0,0001$).

Lima *et al.* (2008) trabalhando com feno de capim arroz (*Echinochloa sp.*) e Castro (2008) com silagens de capim Tanzânia também observaram redução da excreção urinária de N com o aumento da idade de corte do capim. No trabalho de Lima *et al.* (2008) também foi observado menor retenção N e síntese de proteína microbiana com o aumento da idade de corte do capim arroz utilizado sob a forma de feno. De acordo com Van Soest (1994), a baixa ingestão de N leva à redução da excreção de ureia na urina para manutenção do *pool* de ureia plasmático.

Tabela 6. Utilização e perdas de nitrogênio (N) em ovinos alimentados com silagens de capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.

Item	Idade de corte (dias)			EPM	Regressão linear [§]	R ²	P
	56	84	112				
N ingerido (g/dia)	13,6 ^a	9,7 ^b	10,9 ^b	0,93	$y = 15,520 - 0,049x$	45,73	0,05
N fecal (g/dia)	8,6	7,7	8,6	0,77	-	-	0,99
N urinário (g/dia)	3,3 ^a	1,4 ^b	1,2 ^b	0,21	$y = 4,995 - 0,036x$	80,36	<0,01
N retido (g/dia)	1,8	0,6	1,0	0,38	-	-	0,19
N retido/ingerido (%)	12,7	6,0	9,9	3,60	-	-	0,59
Eficiência (%) [*]	32,8	24,5	27,3	15,01	-	-	0,80

Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na mesma linha, indicam diferença estatística ($P < 0,05$). EPM = erro padrão da média; R² = coeficiente de determinação; P = nível de significância (probabilidade de efeito linear); [§]y = parâmetro avaliado, x = idade de corte (em dias); ^{*}Eficiência = [N retido / (N ingerido - N fecal)].

O balanço de nitrogênio pode ser indicativo do metabolismo proteico animal, sendo mais eficiente que a digestibilidade e o consumo de proteína para evidenciar se há perda ou não de proteínas pelo organismo (Andrighetto *et al.*, 1990). Entretanto, parece não ser um bom indicativo de níveis adequados de N para uma eficiente fermentação ruminal. De acordo com Lima *et al.* (2008), mesmo apresentando balanço de N positivos, as concentrações de nitrogênio amoniacal no líquido ruminal de ovinos alimentados com feno de capim arroz foram inferiores a 5 mg/100 ml, o que de acordo Satter e Slyter (1974) limitaria o crescimento das bactérias celulolíticas e, conseqüentemente, a digestão da fibra. O papel do nitrogênio reciclado no rúmen pode ser quantitativamente importante quando dietas com baixa concentração de proteína são fornecidas aos animais. De acordo com o NRC (1985),

animais alimentados com dietas contendo 5% de proteína bruta reciclam 70% da proteína ingerida. No presente trabalho, mesmo com teores de PB inferiores a 6% da MS, o balanço de nitrogênio foi positivo, entretanto os valores foram muito próximos de zero. Desta forma, parece que a suplementação dos animais com uma fonte de proteína degradável no rúmen poderia maximizar da fermentação ruminal e, conseqüentemente, melhorar a digestão das silagens.

3.4.4. Consumo e digestibilidade das frações fibrosas

Os consumos de FDN e FDA (g/dia e g/kg^{0,75}/dia) não diferiram (P>0,05) entre as silagens obtidas nas diferentes idades de corte do capim andropogon (Tabela 7). Já as digestibilidades da FDN e da FDA das silagens apresentaram redução linear (P<0,01) com o aumento da idade de corte do capim. Acompanhando esse comportamento, os consumos de FDN e FDA digestíveis (g/kg^{0,75}/dia) também reduziram de forma linear (P<0,01). Os consumos (g/kg^{0,75}/dia) de FDN ($r_{\text{CFDN} \times \text{CMS}} = 0,99$; P<0,0001) e FDA ($r_{\text{CFDA} \times \text{CMS}} = 0,97$; P<0,0001) apresentaram correlação alta e positiva com o consumo de MS.

Tabela 7. Consumo e digestibilidade da fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e da fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) em ovinos alimentados com silagens de capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.

Item	Idade de corte (dias)			EPM	Regressão linear [§]	R ²	P
	56	84	112				
Consumo							
FDN (g/dia)	899,7	788,3	916,9	68,81	-	-	0,86
FDN (g/kg ^{0,75} /dia)	42,8	38,6	40,2	1,95	-	-	0,36
FDN digestível (g/kg ^{0,75} /dia)	26,1 ^a	20,1 ^b	17,5 ^b	1,38	y = 34,166 - 0,154x	95,01	<0,01
FDA (g/dia)	543,3	452,9	525,8	40,82	-	-	0,77
FDA (g/kg ^{0,75} /dia)	25,9	22,2	23,1	1,16	-	-	0,11
FDA digestível (g/kg ^{0,75} /dia)	16,4 ^a	11,3 ^b	10,0 ^b	0,87	y = 22,130 - 0,114x	90,03	<0,01
Digestibilidade							
FDN (%)	60,9 ^a	51,7 ^b	43,6 ^c	2,08	y = 78,059 - 0,309x	99,88	<0,01
FDA (%)	63,4 ^a	50,8 ^b	43,4 ^c	2,40	y = 82,481 - 0,357x	97,79	<0,01

Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na mesma linha, indicam diferença estatística (P<0,05). EPM = erro padrão da média; R² = coeficiente de determinação; P = nível de significância (probabilidade de efeito linear); [§]y = parâmetro avaliado, x = idade de corte (em dias).

Os consumos de FDN observados por Castro (2008) e Faria Jr. (2012) para silagens de *Panicum maximum* cv. Tanzânia (entre 37,9 e 44,14 g/kg^{0,75}/dia; entre 42 e 107 dias) e silagens de Tifton-85 (entre 36,3 e 40,8 g/kg^{0,75}/dia; entre 45 e 90 dias) produzidas em

diferentes idades de corte, respectivamente, foram próximos aos deste experimento. Já Machado *et al.* (2011) encontraram valores inferiores ($32,2 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{dia}$) para silagens de diferentes híbridos de sorgo em diferentes estádios de maturação.

O consumo médio de FDN observado neste trabalho foi de $40,5 \text{ g/kg}^{0,75}/\text{dia}$, sendo superior aos $35 \text{ g/UTM}/\text{dia}$ para forragens com teores de FDN entre 35% e 75% proposto por Mertens (1973) para ovinos. Mesmo apresentando diferenças entre as silagens nas digestibilidades da MS, FDN e FDA os animais tentaram compensar consumindo o máximo possível de silagem na tentativa de suprir sua demanda energética. Dessa forma, a quantidade de FDN consumida parece ter sido um dos fatores responsáveis pela regulação do consumo de matéria seca deste experimento, o que está de acordo com a observação de Conrad *et al.* (1964) de que para forragens com digestibilidade da matéria seca abaixo de 66,7%, o fator físico de enchimento ruminal exerce maior influência sobre o consumo voluntário.

Várias características químicas e estruturais que limitam a digestão da fibra já foram identificadas. Destas, a lignina se destaca como o principal e mais mencionado componente limitador da digestão dos polissacarídeos da parede celular no rúmen (Jung e Deetz, 1993). Entretanto, neste trabalho não foi verificada correlação entre as digestibilidades da FDN e FDA e o consumo de lignina. De acordo com Buxton e Russell (1988) e Jung e Allen (1995) a mudança na composição das ligninas de guaiacila para siringila e o aumento das ligações cruzadas entre a lignina e as hemiceluloses intermediadas pelo ácido ferúlico com a maturação da planta podem ser mais importantes na redução na digestibilidade da fibra que a concentração de lignina na planta. Muito embora isto possa estar acontecendo, como comentado anteriormente os teores de PB muito baixos (<6%) nas silagens com a planta aos 84 e 112 dias de rebrote parece ser uma explicação mais plausível para esta redução na digestibilidade da fração fibrosa. Foi observado que as digestibilidades da FDN ($r = 0,81$; $P < 0,0001$) e da FDA ($r = 0,83$; $P < 0,0001$) apresentaram correlação positiva com o consumo de PB digestível ($\text{g/kg}^{0,75}/\text{dia}$).

Os consumos de hemiceluloses (g/dia e $\text{g/kg}^{0,75}/\text{dia}$) e celulose em g/dia não variaram ($P > 0,05$) para as silagens avaliadas (Tabela 8). Entretanto, foi observado menor consumo ($P < 0,05$) de celulose em $\text{g/kg}^{0,75}/\text{dia}$ e um maior consumo ($P < 0,05$) de lignina (g/dia e $\text{g/kg}^{0,75}/\text{dia}$) para as silagens com o aumento da idade de corte do capim. As diferenças na composição química das frações fibrosas como pode ser observado na Tabela 2 podem ter sido as responsáveis por estas diferenças encontradas. Estas diferenças nas frações fibrosas

parecem ter sido causadas pelo processo de ensilagem da gramínea uma vez que estas variações não foram observadas na planta antes da ensilagem (Ribeiro Jr., 2009). Ribeiro Jr. (2009) demonstrou este fato trabalhando com este mesmo material em silos de laboratório. Devido ao menor teor de CHO's na planta ensilada mais jovem (56 dias) parece ter havido um consumo de hemiceluloses como substrato adicional durante a fermentação. Desta forma, devido ao consumo de CHO's e hemiceluloses ocorreu um aumento proporcional de celulose na matéria seca desta silagem em comparação com a silagem obtida com a planta mais velha (112 dias) em que as hemiceluloses provavelmente não foram utilizadas durante a fermentação. Estes resultados também foram confirmados por Faria Jr. (2012) trabalhando com silagens de capim Tifton-85.

Tabela 8. Consumo de hemiceluloses, celulose e lignina e digestibilidade das hemiceluloses e celulose em ovinos alimentados com silagens de capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.

Item	Idade de corte (dias)			EPM	Regressão linear [§]	R ²	P
	56	84	112				
Consumo							
Hemiceluloses (g/dia)	356,4	335,4	391,1	28,05	-	-	0,40
Hemiceluloses (g/kg ^{0,75} /dia)	17,0	16,4	17,2	0,79	-	-	0,47
Celulose (g/dia)	470,2	391,6	433,5	34,94	-	-	0,47
Celulose (g/kg ^{0,75} /dia)	22,4 ^a	19,2 ^b	19,0 ^b	0,99	y = 25,248 - 0,060x	78,36	0,03
Lignina (g/dia)	73,1 ^b	61,3 ^b	92,3 ^a	5,97	y = 46,837 + 0,342x	37,50	0,04
Liginina (g/kg ^{0,75} /dia)	3,5 ^b	3,0 ^b	4,0 ^a	0,17	y = 2,656 + 0,010x	29,06	0,03
Digestibilidade							
Hemiceluloses (%)	57,2 ^a	53,0 ^a	43,9 ^b	2,22	y = 71,259 - 0,237x	95,57	<0,01
Celulose (%)	72,2 ^a	60,9 ^b	51,9 ^c	2,09	y = 92,174 - 0,363x	99,56	<0,01

Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na mesma linha, indicam diferença estatística (P<0,05). EPM = erro padrão da média; R² = coeficiente de determinação; P = nível de significância (probabilidade de efeito linear); [§]y = parâmetro avaliado, x = idade de corte (em dias).

De acordo com Cheeke (1994), o tratamento com amônia pode dissolver parte da lignina e também torna as hemiceluloses mais solúveis. A maior produção de N amoniacal pelas silagens obtidas com a planta mais jovem (Tabela 3) pode ter ajudado a solubilizar parte da lignina o que levou a este menor consumo de lignina (Tabela 8) pelos animais alimentados com estas silagens (56 e 84 dias), uma vez que os teores de lignina não variaram no material original.

O consumo médio de hemiceluloses foi de 16,8 g/kg^{0,75}/dia, valor este que foi próximo ao encontrado por Faria Jr. (2009) para silagens de Tifton-85 (16,1 g/kg^{0,75}/dia) mas superior ao descrito por Machado *et al.* (2011) para silagens de sorgo (14,5 g/kg^{0,75}/dia). Já o consumo de celulose variou de 22,4 a 19,0 g/kg^{0,75}/dia, sendo superior ao descrito Machado *et al.* (2011) para silagens de sorgo (14,6 g/kg^{0,75}/dia). Este maior consumo de hemiceluloses e celulose encontrado para silagens de capim andropogon em relação às de sorgo se deve ao maior consumo de MS observado neste trabalho e ao maior teor destes componentes na composição química das silagens de andropogon.

Não foi observada correlação significativa entre o consumo de lignina e as digestibilidades das hemiceluloses e da celulose. O aumento da idade ao corte da forrageira também pode causar decréscimo na taxa de degradação da parede celular, devido ao aumento da cristalinidade da celulose em consequência da substituição das moléculas de água por açúcares entre as microfibrilas deste composto, o que aumenta a hidrofobicidade e dificulta o acesso microbiano (Chesson e Forsberg, 1997). Entretanto, foi encontrada correlação positiva entre o consumo de PB digestível (g/kg^{0,75}/dia) e as digestibilidades das hemiceluloses ($r_{CPBD \times DHEM} = 0,67$; $P < 0,003$) e da celulose ($r_{CPBD \times DCEL} = 0,83$; $P < 0,0001$). Como mencionado anteriormente parece que o menor teor de PB degradável no rúmen foi o principal responsável, não só pela redução da digestão da fibra, mas da matéria orgânica como um todo que ocorreu com o avançar da idade de corte do capim.

A menor digestibilidade das hemiceluloses em comparação com a celulose observada aqui também foi encontrada por Castro (2008) e Faria Jr. (2012) trabalhando com silagens de *Panicum maximum* cv. Tanzânia e Tifton-85, respectivamente. De acordo com Brito *et al.* (2003) esta menor digestibilidade das hemiceluloses pode ocorrer em função da associação destas com a lignina. Além disso, a degradação da fração mais digestível das hemiceluloses durante o processo de ensilagem também pode diminuir o aproveitamento desta pelos animais.

3.4.5. Consumo de energia

O consumo de energia bruta (kcal/kg^{0,75}/dia) por ovinos recebendo silagens de capim *Andropogon gayanus* realizadas em diferentes idade de corte não variou ($P > 0,05$) (Tabela 9). Já os consumos de energia digestível e metabolizável (kcal/kg^{0,75}/dia) reduziram de forma linear ($P < 0,05$) com o aumento da idade de corte do capim. Os consumos de energia líquida

(kcal/kg^{0,75}/dia) das silagens avaliadas também reduziram de forma linear (P<0,05) com o aumento da maturidade da planta. A redução do consumo de energia com o aumento da idade de corte levou a redução linear (P<0,05) da energia retida (kcal/kg^{0,75}/dia) por ovinos, chegando a ser negativa para a silagem realizada com a planta aos 112 dias de rebrote.

Consumos de energia bruta (kcal/kg^{0,75}/dia) (CEB) semelhantes eram esperados uma vez que o consumo de MS (g/kg^{0,75}/dia) e os teores de energia bruta das silagens não variaram. O consumo de energia bruta (kcal/kg^{0,75}/dia) apresentou correlação alta e positiva com o consumo de MS (g/kg^{0,75}/dia) ($r_{CMS \times CEB} = 0,99$; P<0,0001). Já o consumo de energia digestível (CED), que não é determinado apenas pelo consumo de matéria seca (CMS) e a densidade energética do alimento, mas também pela extensão da perda de energia nas fezes não apresentou correlação tão alta com o consumo de matéria seca ($r_{CMS \times CED} = 0,70$; P<0,001). Entretanto o consumo de matéria seca digestível, que considera as perdas de MS nas fezes, apresentou alta correlação com o CED ($r_{CMSD \times CED} = 0,95$; P<0,0001).

De acordo com NRC (1985) a exigência de energia digestível para ovinos em manutenção é de 146,5 kcal/kg^{0,75}/dia, pode-se observar que apenas a silagem produzida com a planta mais jovem (56 dias) foi capaz de suprir (CED = 150,0 kcal/kg^{0,75}/dia). Entretanto, os animais alimentados com a silagem produzida aos 84 dias de rebrote com um CED de 110,4 kcal/kg^{0,75}/dia apresentaram retenção de energia positiva o que indica que a demanda de energia digestível para manutenção dos animais deste experimento pode ter sido mais baixa que a descrita pelo NRC (1985).

Tabela 9. Consumo e retenção de energia por ovinos alimentados com silagens de capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.

Item	Idade de corte (dias)			EPM	Regressão linear [§]	R ²	P
	56	84	112				
Consumo							
Energia bruta (kcal/kg ^{0,75} /dia)	255,8	229,0	241,9	11,50	-	-	0,41
Energia digestível (kcal/kg ^{0,75} /dia)	150,0 ^a	110,4 ^b	104,2 ^b	8,05	y = 190,197 - 0,817x	84,86	<0,01
Energia metabolizável (kcal/kg ^{0,75} /dia)	131,2 ^a	98,3 ^b	91,5 ^b	8,91	y = 166,563 - 0,709x	87,55	<0,01
Energia líquida (kcal/kg ^{0,75} /dia)	108,3	80,0	74,4	11,55	y = 138,487 - 0,606x	84,43	0,04
Energia retida (kcal/kg ^{0,75} /dia)*	37,2 ^a	5,9 ^b	-0,1 ^b	9,41	y = 70,318 - 0,666x	86,73	<0,01

Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na mesma linha, indicam diferença estatística (P<0,05). EPM = erro padrão da média; R² = coeficiente de determinação; P = nível de significância (probabilidade de efeito linear); [§]y = parâmetro avaliado, x = idade de corte (em dias); *Energia retida = Consumo de energia metabolizável - produção de calor do animal.

A correlação entre CED e digestibilidade aparente da MS ($r_{CED \times DAMS} = 0,76$; $P < 0,0002$), indica que qualquer fator que afete a digestibilidade aparente da MS irá influenciar o CED. Assim, como observado para digestibilidade aparente da MS um maior consumo de PB digestível também poderá melhorar o CED. Isto pode ser comprovado pela alta correlação encontrada entre consumo de PB digestível e CED ($r_{CPBD \times CED} = 0,92$; $P < 0,0001$). O consumo de energia digestível também apresentou correlação positiva com a digestibilidade da FDN ($r_{CED \times DFDN} = 0,81$; $P < 0,0001$) e da FDA ($r_{CED \times DFDA} = 0,82$; $P < 0,0001$). Estas correlações foram mais altas do que a existente entre CED e a digestibilidade aparente da MS. Este fato demonstra a importância de se melhorar a digestibilidade da fração fibrosa para conseguir um melhor consumo e aproveitamento da energia pelos animais alimentados com estas silagens. Além disso, indica que o consumo de energia foi provavelmente limitado pela capacidade física do rúmen, ou seja, à medida que a digestibilidade da fração fibrosa aumenta o CED aumenta.

O consumo de energia metabolizável (CEM) acompanhou a tendência do CED como pode ser observado pela elevada correlação encontrada entre estas variáveis ($r_{CEM \times CED} = 0,99$; $P < 0,0001$). O CEM reduziu de forma linear ($P < 0,05$) de 131,2 para 91,3 kcal/kg^{0,75}/dia para as silagens realizadas com a planta aos 56 e 112 dias respectivamente. Ramirez (2011) avaliando feno de *Brachiaria decumbens* também observou redução do CEM com o aumento da idade de corte do capim, os valores encontrados variaram de 135,0 a 97,1 kcal/kg^{0,75}/dia para os feno produzidos aos 56 e 112 dias de rebrote do capim respectivamente. Valores próximos aos descritos no presente trabalho. Machado (2010) avaliando silagens de diferentes híbridos de sorgo e em diferentes estádios de maturação também encontrou CEM próximos ao deste trabalho, os valores obtidos variaram de 89,7 Kcal/UTM/dia a 125,5 kcal/kg^{0,75}/dia.

De acordo com NRC (2007) e o CSIRO (2007) a exigência de energia líquida para manutenção de ovinos é de 62 e 66 kcal/kg^{0,75}/dia, respectivamente. O consumo de energia líquida (CEL) das silagens foi superior a estes valores nas três idades avaliadas, com valores variando de 74,4 a 108,3 kcal/kg^{0,75}/dia. Entretanto, foi observado balanço de energia negativo nos animais alimentados com a silagem produzida aos 112 dias de rebrote do capim. Isto indica que a exigência de energia para manutenção dos animais deste experimento ficou entre 74,4 e 80,0 kcal/kg^{0,75}/dia, valores estes que foram superiores ao recomendado pelo NRC (2007) e o CSIRO (2007). Essa variação pode acontecer porque vários fatores podem afetar o

metabolismo de jejum e, conseqüentemente, as exigências de manutença. Dentre estes fatores pode-se citar raça, idade e peso do animal (NRC, 2007).

A redução da energia retida com o aumento da idade de corte da planta também foi observada por Ramirez (2011) avaliando feno de capim *Brachiaria decumbens*, entretanto não foi encontrada por Carvalho (2012), Faria Jr (2012) e Teixeira (2013) ao trabalharem com feno e silagem de Tifton-85 e capim-elefante verde, respectivamente.

Foram observados valores decrescentes para as correlações entre o consumo de matéria seca e os consumos de energia bruta ($r_{CMS \times CEB} = 0,99$; $P < 0,0001$), energia digestível ($r_{CMS \times CED} = 0,70$; $P < 0,0001$) e metabolizável ($r_{CMS \times CEM} = 0,68$; $P < 0,004$), sendo que não foi observada correlação com o consumo de energia líquida ($r_{CMS \times CEL} = 0,37$; $P = 0,16$). Dessa forma pode-se observar que, à medida que as perdas de energia na forma de fezes, urina, metano e incremento calórico vão sendo consideradas, a quantidade de energia disponível reduz sua dependência da quantidade de alimento consumida, sendo mais influenciada pela eficiência do fluxo de energia no animal.

3.4.6. Perdas energéticas

Não houve diferença significativa entre os tratamentos para os valores referentes às perdas da energia bruta nas fezes em $\text{kcal/kg}^{0,75}/\text{dia}$ ($P > 0,05$) (Tabela 10). Contudo, quando expressos em % da energia bruta (EB) consumida, os valores de perda energética fecal aumentaram de forma linear ($P < 0,05$) com o aumento da idade de corte do capim. A maior perda de energia nas fezes é consistente com a redução da digestibilidade aparente da MS encontrada com o aumento da idade de corte da planta, que pode ser confirmada pela correlação existente entre estas variáveis ($r_{EFZ \times DAMS} = 0,92$; $P < 0,0001$). De acordo com Blaxter (1962) as perdas fecais variam de 10% a 70% da energia bruta do alimento ingerido, sendo a principal fonte de perda de energia pelo animal e determinante no valor nutritivo dos alimentos. Trabalhos desenvolvidos na Escola de Veterinária da UFMG com forrageiras tropicais em diferentes idades de corte observaram perdas de energia nas fezes variando de 34,0 a 42,0% da EB para a *Brachiaria decumbens* verde (Velasco, 2011), de 44,1 a 54,1% da EB para os fenos de *Brachiaria decumbens* (Ramirez, 2011), de 39,0 a 46,0% da EB para fenos de capim Tifton-85 (Carvalho, 2012), de 45,5 a 54,5% da EB para silagens de capim Tifton-85 (Faria Jr., 2012) e de 29,9 a 43,0% da EB para o capim-elefante verde (Teixeira, 2013). Neste trabalho as perdas fecais de energia em % de EB variaram de 43,1 a 56,8%, confirmando a observação

feita por Blaxter (1962) e sendo próximo dos valores observados para outras forrageiras tropicais.

Tabela 10. Perdas de energia diárias nas fezes, urina, metano e incremento calórico por ovinos alimentados com silagens de capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.

Item	Idade de corte (dias)			EPM	Regressão linear [§]	R ²	P
	56	84	112				
Fezes (kcal/kg ^{0,75} /dia)	110,3	118,6	137,7	8,79	y = 81,234 + 0,488x	95,12	0,03
Fezes (% da EB consumida)	43,1 ^b	52,0 ^a	56,8 ^a	2,50	y = 30,078 + 0,245x	97,04	<0,01
Urina (kcal/kg ^{0,75} /dia)	6,1	4,6	3,9	0,74	y = 8,291 - 0,041x	96,55	0,03
Urina (% da EB consumida)	2,4	2,0	1,6	0,27	y = 3,253 - 0,015x	99,9	0,03
CH ₄ (kcal/kg ^{0,75} /dia)	9,3	7,4	9,9	1,98	-	-	0,88
CH ₄ (% da EB consumida)	3,4	3,2	3,7	0,67	-	-	0,74
Incremento calórico (kcal/kg ^{0,75} /dia)	22,8	18,3	17,1	7,61	-	-	0,57
Incremento calórico (% da EB consumida)	8,3	8,1	7,1	2,77	-	-	0,74

Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na mesma linha, indicam diferença estatística (P<0,05). EPM = erro padrão da média; R² = coeficiente de determinação; P = nível de significância (probabilidade de efeito linear); §y = parâmetro avaliado, x = idade de corte (em dias); EB = energia bruta.

As perdas de energia na forma de urina (kcal/kg^{0,75}/dia e % da EB ingerida) reduziram de forma linear (P<0,05) com o aumento da idade de corte do capim (Tabela 10). Este fato condiz com os resultados encontrados na Tabela 6 em que a perda de N na urina dos animais alimentados com as silagens diminui com o avanço da idade de corte da planta. Isto pode ser observado na correlação encontrada entre a perda de energia na urina (kcal/kg^{0,75}/dia) e N urinário (g/dia) ($r_{\text{Euri} \times \text{Nuri}} = 0,74$; P<0,001). As maiores perdas de energia na urina com a silagem produzida com a planta mais nova parecem estar relacionadas ao maior teor de N amoniacal na silagem (Tabela 2) e ao maior consumo de PB digestível pelos animais (Tabela 5). As perdas de energia na forma de urina observadas em trabalhos com forrageiras tropicais realizados na Escola de Veterinária da UFMG variaram de 0,5 a 5,2% da EB consumida (Ramirez, 2011; Velasco, 2011; Faria Jr., 2012; Carvalho, 2012, Teixeira, 2013). As perdas de energia na urina em % da energia bruta no presente trabalho variaram de 2,4 a 1,6 %, sendo inferiores a media de 5% para bovinos e ovinos encontrada por Blaxter e Waimnman (1964), mas condizentes com os valores encontrados para forrageiras tropicais. Os baixos valores encontrados são um reflexo do baixo teor e consumo de PB neste trabalho ($r_{\text{Eurina} \times \text{CPBUTM}} = 0,65$; P<0,01).

As perdas de energia na forma de metano (kcal/kg^{0,75}/dia e % da EB ingerida) pelos animais consumindo silagens de capim andropogon em diferentes idades de corte não diferiram

($P > 0,05$). O metano (CH_4) é produzido principalmente quando o substrato é fermentado a acetato e butirato (Sarwar *et al.*, 1992; Getachew *et al.*, 1998), o que ocorre quando o alimento apresenta maior conteúdo de carboidratos fibrosos. Os resultados deste trabalho são consistentes com a composição química das silagens (Tabela 3), as quais apresentaram teores semelhantes de carboidratos fibrosos (FDN e FDA). A maturidade da planta nem sempre causa mudanças na composição da planta (Wilson, 1994; Kozloski *et al.*, 2003) a ponto de alterar a produção de AGV's, e assim, a produção de CH_4 . Pinares-Patiño *et al.* (2003) também não observaram efeito da maturidade da planta sobre a emissão de CH_4 pelos animais. Trabalhos com forrageiras tropicais em diferentes idades de corte observaram perdas de energia na forma de CH_4 variando de 3,7 a 8,2% da EB ingerida (Machado, 2010; Ramirez, 2011; Velasco, 2011; Faria Jr. 2012; Carvalho, 2012, Teixeira, 2013). No presente estudo a emissão de CH_4 variou de 3,2 a 3,7% da EB ingerida, ficando dentro do intervalo de 2 a 12% da EB ingerida descrito por Johnson e Johnson (1995), quando são utilizadas câmaras respirométricas (calorimetria indireta) na determinação. Os baixos valores de perda de CH_4 em % da EB observados estão provavelmente relacionados à baixa fermentação ruminal das forragens estudadas e as possíveis perdas durante o processo de ensilagem.

Calculando as emissões de CH_4 em animais em manutenção a partir da fórmula proposta por Blaxter e Clapperton (1965) para forragens:

$$C_m = 4,67 + 0,047D$$

Em que C_m é produção de CH_4 em % da EB ingerida ao nível de manutenção, e D a digestibilidade aparente da energia bruta em porcentagem. A produção de CH_4 encontrada seria 7,4, 6,9 e 6,7% da EB ingerida para as silagens realizadas com o capim cortado aos 56, 84 e 112 dias de rebrote, respectivamente. Comparando com os resultados encontrados neste trabalho através da determinação direta em câmaras respirométricas, esta fórmula estaria superestimando a produção de metano em 2,18, 2,16 e 1,81 vezes, respectivamente. Estes resultados mostram a importância de ser determinar as emissões de CH_4 em câmaras respirométricas (*Gold Standard*) para que se possa, no futuro, desenvolver equações que se adaptem melhor as condições brasileiras (animais e alimentos). A partir destes resultados pode-se questionar se as emissões de CH_4 pela pecuária brasileira (em sua maior parte mantida a base de forrageiras tropicais) não são menores do que se tem divulgado.

As perdas de energia na forma de incremento calórico (IC) em kcal/kg^{0,75}/dia e em % da EB ingerida não diferiram ($P>0,05$) entre as silagens avaliadas. Os valores variaram de 7,1 a 8,3% da EB consumida. Compilando os dados de trabalhos com forrageiras tropicais realizados na Escola de Veterinária da UFMG observa-se que as perdas de energia na forma de IC variaram de 7 a 20% da EB consumida (Ramirez, 2011; Velasco, 2011; Faria Jr., 2012; Carvalho, 2012). De acordo com o trabalho de Blaxter e Wainman (1964) o IC de ovinos alimentados com de feno de forrageiras mistas (8,54 % PB) ao nível de manutenção foi de 25% da EB consumida. Percebe-se, então, que os incrementos calóricos (IC) das dietas deste trabalho foram muito baixos. Duas hipóteses podem explicar estes menores valores IC: primeiro o calor de jejum dos animais deste experimento foi maior (81,9 kcal/kg^{0,75}/dia) que o descrito por Blaxter e Wainman (1964) (57,2 kcal/kg^{0,75}/dia), Aguilera *et al.* (1986) (65,0 kcal/kg^{0,75}/dia) e Olthoff *et al.* (1989) (70,7 kcal/kg^{0,75}/dia); e segundo, o calor produzido pelos animais alimentados no presente trabalho pode ter sido menor que nos outros trabalhos (menor fermentação ruminal). Se utilizarmos o calor de jejum descrito por Blaxter e Wainman (1964) nos cálculos deste trabalho o IC passaria para 18,2% da EB ingerida, ficando mais próximo do que seria esperado nas condições deste experimento.

A maior produção de calor em jejum observadas no presente experimento pode estar relacionada à mobilização de proteína tecidual como fonte de energia pelos animais em jejum. Isso porque as reservas de tecido adiposo podem não ter sido suficientes para atender a demanda energética dos animais em jejum. O catabolismo de aminoácidos para que os mesmos forneçam esqueletos de carbono para o metabolismo oxidativo envolve a liberação de grupos aminas, que precisam ser transformados em uréia. A formação e excreção de uréia representam custo energético para os animais, levando a maior produção de calor.

3.4.7. Eficiência de utilização da energia

A digestibilidade aparente da EB das silagens reduziu de forma linear ($P<0,05$) com o aumento da idade de corte do capim (Tabela 11). Estes resultados são consistentes com a maior perda de energia fecal (% EB ingerida; Tabela 10) e com a menor digestibilidade da MO ($r_{\text{DAMO} \times \text{DAEB}} = 0,99$; $P<0,0001$) das silagens com aumento da idade de corte da planta. Alterações estruturais da fração fibrosa e, principalmente, o menor teor de PB digestível das silagens com o avanço da idade de corte do material são as principais causas deste resultado.

O valor da DAEB pode ser utilizado no lugar do NDT (nutrientes digestíveis totais) nos cálculos de rações/dietas, sendo considerado mais preciso pelo fato de ser a soma do calor de combustão dos verdadeiros nutrientes digestíveis (proteína, lípidos e carboidratos). A DAEB apresenta a vantagem de sofrer menor interferência dos componentes não lipídicos do extrato etéreo (ceras, pigmentos, terpenos etc.), como também dos erros laboratoriais das análises químicas necessárias para estimar o NDT. Entretanto, pode subestimar um pouco o valor, pois acrescenta a energia oriunda da matéria metabólica fecal, representada pelas secreções endógenas, contaminação por microorganismos e descamação do epitélio.

Tabela 11. Digestibilidade aparente da energia bruta (DAEB), metabolizabilidade (q_m), eficiência de uso da energia metabolizável para manutenção (K_m) e razão entre energia líquida (EL) e energia bruta (EB) em ovinos alimentados com silagens de capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.

Item	Idade de corte (dias)			EPM	Regressão linear [§]	R ²	P
	56	84	112				
DAEB	58,5 ^a	48,0 ^b	43,2 ^b	2,00	$y = 72,944 - 0,274x$	95,47	<0,01
q_m	0,51 ^a	0,43 ^b	0,38 ^b	0,024	$y = 0,6344 - 0,0023x$	97,86	<0,01
k_m	0,83	0,80	0,81	0,069	-	-	0,87
EL/EB (%)	42,8	34,7	30,8	4,36	$y = 54,011 - 0,213x$	95,91	0,05

Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na mesma linha, indicam diferença estatística ($P < 0,05$). EPM = erro padrão da média; R² = coeficiente de determinação; P = nível de significância (probabilidade de efeito linear); [§]y = parâmetro avaliado, x = idade de corte (em dias).

A relação entre a energia metabolizável (EM) e a energia bruta (EB) das silagens ao nível de manutenção dos animais, denominada metabolizabilidade (q_m), também reduziu de forma linear ($P < 0,05$) com o aumento da idade de corte do capim andropogon. Os valores de q_m reduzem quando aumentam as perdas de energia nas fezes, urina e metano. Neste trabalho, como as perdas de energia na forma de urina e CH₄ foram baixas e não diferiram entre as silagens, os valores de q_m variaram devido à diferença na perda de energia nas fezes dos animais. Isto pode ser verificado pela elevada correlação positiva entre q_m e DAEB ($r_{q_m \times DAEB} = 0,98$; $P < 0,0001$). Os valores de q_m encontrados neste experimento (0,38 a 0,51) situam-se dentro da faixa de variação descrita para forrageiras tropicais (na forma verde, de feno e de silagem) que foi de 0,38 a 0,62 (Machado, 2010; Ramirez, 2011; Velasco, 2011; Faria Jr. 2012; Carvalho, 2012, Teixeira, 2013).

Não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) nas eficiências de uso da energia metabolizável para manutenção (K_m) de ovinos entre as silagens avaliadas, sendo que o K_m médio encontrado foi de 0,81. Machado (2010), Velasco (2011), Ramirez (2011) e Faria Jr. (2012) também não

observaram efeito da maturidade da planta sobre os valores de K_m . Como a K_m expressa a relação entre energia líquida e metabolizável para manutenção, seus valores são influenciados apenas pela perda de energia como incremento calórico, o que justifica a alta correlação negativa entre esses parâmetros ($r_{K_m \times IC} = -0,98$; $P < 0,0001$). De acordo com o trabalho de Blaxter e Wainman (1964) os valores de K_m variaram de 70,4 a 77,6 ($\pm 3,8$ EP), sendo encontrados valores menores para dietas a base de forragem e maiores para dietas com maior proporção de concentrado. Desta forma pode-se considerar que os valores encontrados neste trabalho foram elevados. Isto parece ter acontecido devido à elevada produção de calor dos animais em jejum ($81,9 \text{ kcal/kg}^{0,75}/\text{dia}$) o que pode levar a subestimar o incremento calórico e, conseqüentemente, a superestimar o K_m .

Foi observada redução ($P=0,05$) dos valores de energia líquida, como porcentagem da energia bruta ingerida (EL/EB), das silagens com o aumento da idade de corte do capim. Os valores de EL/EB variaram de 42,8% a 30,8% para a silagem obtida aos 56 e 112 dias de rebrote do capim respectivamente. Os valores de EL/EB refletem as proporções de energia do alimento que serão efetivamente utilizadas pelos animais para manutenção e produção. Esta relação é determinada pelas perdas de energia do animal quando consumido este alimento, como pode ser verificado pelas correlações entre EL/EB e as perdas de energia nas fezes ($r_{EL/EB \times DAEB} = 0,80$; $P < 0,0002$), na urina e gases de fermentação ($r_{EL/EB \times q_m} = 0,84$; $P < 0,0001$), bem como pelo IC ($r_{EL/EB \times K_m} = 0,79$; $P < 0,0002$).

3.4.8. Teores de energia

A partir dos dados de consumo e perdas de energia foram calculados os teores de energia bruta, digestível, metabolizável e líquida (Mcal/kg MS) das silagens de capim *Andropogon gayanus* realizadas em três diferentes idades de corte (56, 84 e 112 dias de rebrote) (Tabela 12). As concentrações de energia bruta das silagens não variaram ($P > 0,05$), apresentando valor médio de 4,46 Mcal/kg MS. Este resultado apresenta coerência com a composição química das silagens (carboidratos, proteínas e lipídeos) que foram semelhantes. Já as concentrações de energia digestível, metabolizável e líquida das silagens reduziram de forma linear ($P < 0,05$) com o aumento da idade de corte do capim andropogon. Esta redução do teor de energia metabolizável das silagens com o aumento da idade de corte do capim ocorreu devido a menor digestibilidade aparente da energia bruta das silagens ($r_{EM \times DAEB} = 0,98$; $P < 0,0001$), uma vez que as perdas de energia na urina e na forma de metano não diferiram entre os tratamentos. A redução da energia líquida das silagens com avanço da maturidade da

planta proporcionou menor retenção de energia pelos animais com o aumento da idade de corte do capim (Tabela 10) como pode ser observado pela correlação entre estas variáveis ($r_{ER \times EL} = 0,85$; $P < 0,0001$).

Tabela 12. Teores de energia bruta, digestível, metabolizável e líquida em Mcal por Kg de matéria seca (MS) consumida das silagens de capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.

Item	Idade de corte (dias)			EPM	Regressão linear [§]	R ²	P
	56	84	112				
Energia bruta (Mcal/kg MS)	4,49	4,42	4,46	0,022	-	-	0,36
Energia digestível (Mcal/kg MS)	2,63 ^a	2,12 ^b	1,93 ^b	0,093	$y = 3,280 - 0,013x$	93,55	<0,01
Energia metabolizável (Mcal/kg MS)	2,29 ^a	1,89 ^b	1,69 ^b	0,110	$y = 2,866 - 0,011x$	96,43	<0,01
Energia líquida (Mcal/kg MS)	1,92	1,54	1,38	0,20	$y = 2,4347 - 0,0097x$	94,38	0,05

Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na mesma linha, indicam diferença estatística ($P < 0,05$). EPM = erro padrão da média; R² = coeficiente de determinação; P = nível de significância (probabilidade de efeito linear); [§]y = parâmetro avaliado, x = idade de corte (em dias).

A redução do teor energético das forragens com o avanço da maturidade da planta normalmente ocorre devido a fatores que alteram a digestibilidade desta como diminuição da relação folha/haste, aumento do teor e mudança na composição da lignina e aumento das ligações cruzadas entre a lignina e as hemiceluloses (Buxton e Russell, 1988; Jung e Deetz, 1993; Nelson e Moser 1994; Jung e Allen, 1995; Wilson e Hatfield, 1997). Muito embora isto possa estar acontecendo, em parte, os teores de PB muito baixos (<6%) nas silagens obtidas com a planta aos 84 e 112 dias de rebrote também poderiam limitar o crescimento microbiano no rúmen, o que resultaria em redução da digestibilidade da dieta (Minson e Milford, 1967; Mathis *et al.*, 2000; Bohnert *et al.*, 2011). As correlações positivas entre consumo de PB digestível e as digestibilidade aparente da MS ($r_{CPBD \times DAMS} = 0,83$; $P < 0,0001$) e MO ($r_{CPBD \times DAMO} = 0,88$; $P < 0,0001$) suportam esta ideia. Desta forma, avalia-se que os teores de energia das silagens de capim andropogon aos 84 e 112 dias de rebrote poderiam ser maiores se os animais fossem suplementados com proteína degradável no rúmen, a fim de manter uma concentração mínima de 5 mg de nitrogênio amoniacal/100 mL líquido ruminal (Satter e Slyter, 1974).

Trabalhos recentes com forrageiras tropicais em diferentes idades de corte encontraram valores de energia líquida variando de 1,7 a 1,75 Mcal/kg de MS para a *Brachiaria decumbens* verde (Velasco, 2011), de 1,3 a 1,50 Mcal/kg de MS para os fenos de *Brachiaria decumbens* (Ramirez, 2011), de 1,22 a 1,57 Mcal/kg de MS para fenos de capim Tifton-85 (Carvalho, 2012), de 0,96 a 1,71 Mcal/kg de MS para silagens de capim Tifton-85 (Faria Jr.,

2012) e de 1,36 a 1,89 Mcal/kg de MS para o capim-elefante verde (Teixeira, 2013). Estes trabalhos não verificaram qualquer redução do teor de energia líquida em função da idade de corte da planta (Ramirez, 2011; Velasco, 2011; Faria Jr., 2012; Carvalho, 2012; Teixeira, 2013). Parece que nestes trabalhos as maiores perdas de energia na forma de metano nas forrageiras mais novas, as menores perdas de energia na forma de incremento calórico nas forrageiras mais velhas junto com uma grande variação animal impediram de se observar diferenças para os valores de energia líquida para manutenção entre as diferentes idades de corte avaliadas.

3.4.9. Respirometria

O consumo diário de O₂ (L/kg^{0,75}/dia) e a produção de CO₂ (L/kg^{0,75}/dia), CH₄ (L/kg^{0,75}/dia) e calor (kcal/kg^{0,75}/dia) dos animais alimentados com as silagens realizadas em diferentes idades de corte não diferiram (P>0,05) (Tabela 13). Também não foi observada diferença (P>0,05) entre os tratamentos para o quociente respiratório (QR), o qual apresentou valor médio de 1,1. O QR é a relação entre produção de CO₂ e consumo de O₂ (QR = CO₂/O₂). De acordo com Kleiber (1972) o QR indica o tipo de substrato metabólico que está sendo utilizado. Valores de QR próximos a 1,0 seriam para carboidratos, 0,8 para proteína e 0,7 para gorduras. Os QR deste trabalho foram todos próximos de 1,0, o que indica que os animais estariam utilizando carboidratos como principal substrato energético. Castro (2008), Ramirez (2011), Velasco (2011), Carvalho (2012), Faria Jr. (2012) e Teixeira (2013) também encontraram valores de QR próximos de 1,0 trabalhando com diferentes forrageiras tropicais em diferentes idades de corte. Estes resultados parecem ser normais para animais em manutenção recebendo forragem *ad libitum* e são coerentes com balanço de energia, no qual os animais apresentaram balanço positivo ou muito próximo de zero (kcal/kg^{0,75}/dia), o que indica que as silagens supriram as exigências de manutenção. Isto pode ser confirmado pela alta correlação existente entre QR e energia retida (kcal/kg^{0,75}/dia) ($r_{CR \times ER} = 0,84$; P<0,0001).

A produção de calor pelos animais de acordo com a equação de Brouwer (1965) é determinada pela produção de CO₂ e CH₄, consumo de O₂ e perdas de N na urina. Apesar do teor de N na urina ter variado entre os tratamentos, a excreção de N urinário foi muita baixa e não afetou a produção de calor total pelos animais (kcal/kg^{0,75}/dia). Apesar da digestibilidade da dieta ter diferido entre os tratamentos, esta também não foi capaz de alterar os valores de produção de CO₂ e CH₄, consumo de O₂ e, conseqüentemente, a produção de calor.

Tabela 13. Valores médios da produção de metano (CH₄) e gás carbônico (CO₂), e consumo de oxigênio (O₂), produção diária de calor (PC) e quociente respiratório (QR) de ovinos alimentados com silagens de capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.

Item	Idade de corte (dias)			EPM	Regressão linear	R ²	P
	56	84	112				
CH ₄ (L/kg ^{0,75} /dia)	0,85	0,94	0,87	0,180	-	-	0,95
CO ₂ (L/kg ^{0,75} /dia)	20,2	20,5	19,2	0,75	-	-	0,32
O ₂ (L/kg ^{0,75} /dia)	18,1	19,3	19,0	1,26	-	-	0,59
PC (kcal/kg ^{0,75} /dia)	93,3	98,1	95,5	5,43	-	-	0,75
Quociente respiratório	1,1	1,1	1,0	0,05	-	-	0,10

EPM = erro padrão da média; R² = coeficiente de determinação; P = nível de significância (probabilidade de efeito linear).

3.4.10. Emissões de metano entérico

Não foram observadas diferenças ($P > 0,05$) entre a produção de metano por dia (g/dia) ou nas relações de metano produzido por consumo (g/kg) de matéria seca (MS), matéria seca digestível (MSD), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente neutro digestível (FDND), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) e fibra insolúvel em detergente ácido digestível (FDAD) entre as silagens de capim *Andropogon gayanus* realizadas em três idades de corte (56, 84 e 112 dias de rebrote) (Tabela 14). Pode-se observar uma tendência ($P < 0,10$) de aumento da produção de metano por MSD, FDND e FDAD com aumento da idade de corte do capim. Foram encontradas correlações positivas entre a produção de metano (g/dia) e os consumos (g/dia) de MS ($r_{CH_4 \times CMS} = 0,79$; $P < 0,001$) e MS digestível ($r_{CH_4 \times CMSD} = 0,73$; $P < 0,001$), MO ($r_{CH_4 \times CMO} = 0,79$; $P < 0,001$) e MO digestível ($r_{CH_4 \times CMOD} = 0,75$; $P < 0,001$). Apesar da maior produção de metano (g/dia) ser normalmente correlacionada à maior digestão da fibra, pois esta leva ao aumento da relação acetato/propionato comparado com a digestão de carboidratos não fibrosos, as correlações entre a produção de metano (g/dia) e os consumos de FDN ($r_{CH_4 \times CFDN} = 0,80$; $P < 0,001$) e FDN digestível ($r_{CH_4 \times CFDND} = 0,73$; $P < 0,01$) foram muito próximas às encontradas para os consumos de MS e MO digestíveis.

Avaliando a produção de CH₄ em forrageiras tropicais, Machado (2010) trabalhando com silagens de sorgo, Velasco (2011) com capim *Brachiaria decumbens*, Faria Jr. (2012) com silagens de Tifton-85 e Teixeira (2013) com capim-elefante encontraram valores médios de 14,5, 16,4, 16,9 e 16,19 g/kg de MS consumida respectivamente, valores estes que foram

superiores a média encontrada neste trabalho (11,6 g/kg de MS consumida). Esta menor produção é difícil de ser explicada, mas parece estar relacionada à menor fermentação ruminal devido ao elevado teor de fibra (FDN e FDA) e o baixo teor de PB das silagens avaliadas no presente trabalho. A correlação positiva encontrada entre o consumo de PB (g/dia) e produção de metano (g/dia) sustentam esta hipótese ($r_{CPB \times CH_4} = 0,74$; $P < 0,001$). O menor tamanho de partícula da dieta e uma maior taxa de passagem pelo rúmen são outros fatores que também podem contribuir para a redução da matéria orgânica fermentada no rumen e, conseqüentemente, para a redução da produção de CH_4 .

Tabela 14. Efeito da ensilagem do capim *Andropogon gayanus* colhido aos 56, 84 e 112 dias de rebrote sobre a emissão de metano por ovinos.

Item	Idade de corte (dias)			EPM	Regressão linear ^s	R ²	P
	56	84	112				
CH ₄ (g/dia)	15,9	11,7	15,2	3,66	-	-	0,90
CH ₄ (g/kg de MS)	11,5	10,7	12,5	2,25	-	-	0,75
CH ₄ (g/kg de MSD)	22,3	24,7	32,9	4,82	$y = 10,664 + 0,190x$	90,78	0,10
CH ₄ (g/kg de FDN)	15,4	14,4	16,8	3,02	-	-	0,72
CH ₄ (g/kg de FDND)	26,0	27,6	38,4	5,32	$y = 12,099 + 0,221x$	84,75	0,09
CH ₄ (g/kg de FDA)	25,5	25,2	29,4	5,21	-	-	0,58
CH ₄ (g/kg de FDAD)	42,7	49,5	67,1	9,41	$y = 16,480 + 0,436x$	93,91	0,07

EPM = erro padrão da média; R² = coeficiente de determinação; P = nível de significância (probabilidade de efeito linear); ^sy = parâmetro avaliado, x = idade de corte (em dias); MS = matéria seca; MSD = matéria seca digestível; FDN = fibra insolúvel em detergente neutro; FDND = fibra insolúvel em detergente neutro digestível; FDA = fibra insolúvel em detergente ácido; FDAD = fibra insolúvel em detergente ácido digestível.

A produção de metano (g/kg de MS ou g/kg MS digestível) em alguns trabalhos 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 linoleico e menores teores de carboidratos fibrosos (FDN e FDA). Desta forma, a fermentação de plantas mais jovens levaria a maior produção de propionato e, conseqüentemente, menor produção de CH_4 . A melhoria da qualidade das forragens algumas vezes 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 assim, a produção de CH₄. No presente trabalho os resultados de produção de metano (Tabela 13) foram coerentes com a composição química das silagens as quais apresentaram teor de FDN e FDA muito próximos como pode ser observado na Tabela 3. Entretanto, vale ressaltar que os teores de FDN mesmo na silagem obtida com a planta mais nova (56 dias), foram elevados (>74% da MS), indicando que, talvez, a planta já estivesse madura nesta idade. Mesmo assim, de acordo com O'Mara *et al.* (2008) 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. Trabalhos determinando a produção de metano com silagens produzidas com a planta mais jovem, com uma maior variação na composição química (maior variação no teor de FDN), e avaliando a produção animal são importantes para elucidar esta questão.

Em uma compilação de dados de vários trabalhos com câmaras respirométricas Blaxter e Clapperton (1965) encontraram aumento linear da produção de CH₄ (% da EB consumida) com o aumento da digestibilidade aparente da energia bruta por ruminantes ao nível de manutenção. Este resultado não foi observado neste trabalho. Não houve correlação entre a produção de CH₄ (% da EB consumida) e a digestibilidade aparente da energia bruta ($r_{CH_4 \times DAEB} = 0,16$; $P=0,57$). Johnson e Johnson (1995) em uma compilação de dados de 118 tratamentos também não encontraram correlação alguma entre estas variáveis. Estes resultados demonstram que as formulas amplamente utilizadas desenvolvidas por Blaxter e Clapperton (1965) para estimar as emissões de CH₄ a partir da digestibilidade aparente da energia bruta da dieta, parecem não ser adequadas a silagens de forrageiras tropicais. Moe e Tyrrell (1979) também propuseram uma equação para estimativa das emissões de metano baseada em características da dieta como o consumo de resíduos solúveis, hemiceluloses e celulose, entretanto esta equação foi gerada a partir mensurações feitas com vacas de leite de alta produção recebendo dietas de alta qualidade. Desta forma, também não se enquadram a este experimento, no qual os animais foram mantidos ao nível de manutenção recebendo volumoso de baixa qualidade.

De acordo com o IPCC (2006) a perda de energia na forma de metano em ovinos adultos alimentados em nível de manutenção é $6,5\% \pm 1,0\%$ da EB ingerida. Valor este bem acima da média encontrada neste trabalho (3,4% de EB ingerida). Desta forma destaca-se novamente que, as estimativas das emissões de metano pela pecuária brasileira podem estar sendo superestimadas. De acordo com Archimède *et al.* (2011) existe uma escassez de dados sobre

a produção de metano por ruminantes alimentados com forrageiras tropicais. Desta forma é importante gerar dados nacionais confiáveis a partir de dietas e animais que reflitam a realidade brasileira para que possam ser utilizados no desenvolvimento de equações mais precisas e em estimativas futuras das emissões dos GEE.

3.5. Conclusões

A silagem de capim *Andropogon gayanus* deve ser confeccionada aos 56 dias de rebrote a fim de se produzir uma silagem de melhor valor nutricional, pois o aumento da idade de corte do capim proporcionou redução linear da energia líquida das silagens e da retenção de energia pelos animais.

As silagens produzidas aos 56 e 84 dias de rebrote do capim foram capazes de atender às exigências energéticas de manutenção de ovinos adultos.

A produção de metano por ovinos não foi influenciada pela maturidade da planta no momento da ensilagem.

3.6. Referencias bibliográficas

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

ASSOCIATION OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **International Official methods of analysis**, 16 ed. Washington, D.C.: Animal feed., cap.4, 1995.

AGUILERA, J.F.; MOLINA, E.; PRIETO, C. et al. Estimación de las necesidades energéticas de mantenimiento en ganado ovino de raza segureña. **Archivos de Zootecnia**, v.53, p.89-97, 1986.

ANDRIGUETO, J. M.; PERLY, L.; MINARD, I. et al. **Nutrição Animal: Bases e fundamentos da Nutrição Animal**, v. 1, Rio de Janeiro: Nobel, 1990. 389 p.

ARCHIMÈDE, H.; EUGÈNE, M.; MARIE MAGDELEINE C.; et al. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and Legumes. **Animal Feed Science Technology**, v. 166-167, p. 59- 64, 2011.

ARCHIMÈDE, H.; BOVAL, M.; ALEXANDRE, G.; *et al.* Effect of regrowth age on intake and digestion of *Digitaria decumbens* consumed by Black-belly sheep. **Animal Feed Science Technology**, v. 87, p. 153-162, 2000.

BLAXTER, K. L. **The Energy Metabolism of Ruminants**. Illions:Springfield, 1962. 187p.

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

BOHNERT, D. W.; DELCURTO, T.; CLARK, A. A.; *et al.* Protein supplementation of ruminants consuming low-quality cool- or warm-season forage: Differences in intake and digestibility. **Journal of Animal Science**, v. 89, p. 3707-3717, 2011.

BRITO, C. J. F. A.; 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.

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.

BUXTON, D.R.; RUSSEL, J.R. Lignin constituents and cell wall digestibility of grass and legume stems. **Crop Science**, v. 28, p. 553-558, 1988.

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.

CHEEKE, P.R. **Applied Animal Nutrition: Feeds and Feeding**. Oregon State University, 1994. p.186-194.

CHESSON, A.; FORSBERG, C.W. Polysaccharide degradation by rumen microorganisms. In: HOBSON, P.N. e STEWART, C.S. **The rumen microbial ecosystem**. Londres: Brackie Academic & Professional, 1997. Cap. 8, p.329-381.

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

COMMONWEALTH SCIENTIFIC AND INDUSTRIAL RESEARCH ORGANIZATION - CSIRO PUBLISHING. **Nutrient requirements of domesticated ruminants**. Collingwood, Australia. 2007. 270p.

CONRAD, H. R.; PRATT, A. D.; HIBBS, J. D. W. Regulation of feed intake in dairy cows. I. Change in importance of physiological factors with increasing in digestibility. **Journal of Dairy Science**, v. 48, n. 1, p. 47-54, 1964.

DULPHY, J.P.; DEMARQUILLY, C. The regulation and prediction of feed intake in ruminants in relation to feed characteristics. **Livestock Production Science**, v. 39, n. 1, p. 1-12, 1994.

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.

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 JUNIOR, W. G. **Valor nutricional de silagens do capim-Tifton 85 em diferentes idades**. 2012. 199p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

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 and Technology**, v. 72, p. 261-281, 1998.

HENDERSON, N. Silage additives. **Animal Feed Science and Technology**, v. 45, n. 1, p. 35-56, 1993.

HUHTANEN, P.; KHALILI, H.; NOUSIAINEN J.I.; *et al.* Prediction of the relative intake potential of grass silage by dairy cows. **Livestock Production Science**, v. 73, p.111-130, 2002.

HUHTANEN, P.; RINNE, M.; NOUSIAINEN, J. Evaluation of the factors affecting silage intake of dairy cows: a revision of the relative silage dry-matter intake index. **Animal**, v. 1, p. 758-770, 2007.

INCT-CA – Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal. **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 2012, 214p.

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, 2006. chap. 10, p. 747-846.

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

JAYME, C.G.; GONÇALVES, L.C.; MOLINA, L.R. *et al.* Consumo e digestibilidade aparente de silagens de *Brachiaria brizantha* cv. marandu adicionada de aditivos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 63, n. 3, p. 704-711. 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.

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.

KLEIBER, M. **Bioenergia animal: El fuego de la vida**. Zaragoza: Editorial Acribia, 1972, 428p.

KOZLOSKI, G. V.; PEROTONI, J.; CIOCCA, M. L. S. *et al.* Potential nutritional assessment of dwarf elephant grass (*Pennisetum purpureum* Schum. Mott) by chemical composition, digestion and net portal flux of oxygen in cattle. **Animal Feed Science and Technology**, v. 104, p. 29-40, 2003.

KRIZSAN, S.J.; WESTAD, F.; ÅDNØY, T.; *et al.* Effect of volatile compounds in grass silage on voluntary intake by cattle. **Animal**, v. 1, p.283-292, 2007.

LIMA, L.D.; KOZLOSKI, G.V.; SANCHEZ, L.M. B.; *et al.* Effect of harvesting period on the nutritive value of rice grass (*Echinochloa sp.*) hay given as sole diet to lambs. **Small Ruminant Research**, v. 75, p. 217-225, 2008.

MACHADO, F. S. **Consumo, digestibilidade aparente, participação de energia e produção de metano em ovinos alimentados com silagens de sorgo em diferentes estádios de maturação.** 2010. 107p. Tese (Doutorado em Zootecnia) – Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais.

MACHADO, F.S.; RODRÍGUEZ, N.M.; GONÇALVES, L.C. *et al.* Consumo e digestibilidade aparente de silagens de sorgo em diferentes estádios de maturação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, p.1470-1478, 2011.

MATHIS, C. P.; COCHRAN, R. C.; HELDT, J. S.; *et al.* Effects of supplemental degradable intake protein on utilization of medium- to low-quality forages. **Journal of Animal Science**, v. 78, p. 224-232, 2000.

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.

MERCHEN, N. R.; BOURQUIN, L. D. Processes of digestion and factors influencing digestion of forage-based diets by ruminants. In: FAHEY JR., G.C. (Ed.). **Forage quality, evaluation and utilization.** Madison: American Society of Agronomy, 1994, p.564-612.

MERTENS, D. R. Dietary fiber components: relationship to the rate and extent of ruminal digestion. **Federation Proceedings**, 36, p. 483-488, 1973.

MINSON, D. J.; MILFORD, R. The voluntary intake and digestibility of diets containing different proportions of legume and mature Pangola grass (*Digitaria decumbens*). **Australian Journal of Experimental Agriculture and Animal Husbandry**, v.7(29), p. 546-551, 1967.

MINSON, D.J.; WILSON, J.R. Prediction of intake as an element of forage quality. In: FAHEY JR., G. C.; COLLINS, M. C.; MERTENS, D. R.; MOSER, L. E. (Ed.) **Forage quality, evaluation, and utilization**. ASA-CSSA-SSSA, Madison, WI. 1994, p. 533-563.

MOE, P. W.; TYRREL, H. F. Methane production in dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 62, p. 1583-1586, 1979.

NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient Requirements of sheep**. 6. Ed. Washington DC, USA; National Academic Press, 1985, 99p.

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.

NELSON, C. J.; MOSER, L. E. Plant factors affecting forage quality. In: FAHEY JR., G. C. (Ed.) **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: American Society of Agronomy. 1994, p. 115-154.

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

O'MARA, F.; BEAUCHEMIN, K. A.; KREUZER, M.; MCALLISTER, T. A. Reduction of greenhouse gas emissions of ruminants through nutritional strategies. In: Proc. Inter. Conf. on **Livestock and Global Climate Change**, British Society of Animal Science, 17-20 Maio, 2008, Hammamet, Tunisia, 2008, p. 40-43.

OLTHOFF, J.C.; DICKERSON, G.E.; NIENABER, J.A. Energy utilisation in mature ewes from seven breeds with diverse production potentials. **Journal of Animal Science**, v. 67, p. 2550-2564, 1989.

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.

PINARES-PATIÑO, C. S.; D' HOUR, P.; JOUANY, J.-P.; MARTIN, C. Effects of stocking rate on methane and carbon dioxide emissions from grazing cattle. **Agriculture, Ecosystems & Environment**, v. 121, n. 1-2, p. 30-46, 2007.

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.

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

REIS, J.; PAIVA, P.C.A.; TIESENHAUSEN, I.M.E.V.; REZENDE C.A.P. Composição química, consumo voluntário e digestibilidade de silagens de resíduos de fruto de maracujá (*passiflora edulis* Sims f. *flavicarpa*) e de capim-elefante Cv. Camerron e suas combinações. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 24, n. 1, p. 213-224. 2000.

RIBEIRO JUNIOR, G.O., **Características agronômicas 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.

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.

SARWAR, M., FIRKINS, J.L. EASTRIDGE, M.L. Effects of varying forage and concentrate carbohydrates on nutrient digestibilities and milk production by dairy cows. **Journal of Dairy Science**, v. 75, p. 1533–1542, 1992.

SATTER, L.D., SLYTER, L.L. Effect of ammonia concentration on rumen microbial production in vitro. **British Journal of Nutrition**, v.32, n. 2, p. 199-208, 1974.

SILVA, J. F., LEÃO, M. I. **Fundamentos de nutrição dos ruminantes**. Piracicaba: Ceres, 1978. 379p.

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.

TEIXEIRA, A. M. **Consumo voluntário e digestibilidade aparente do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) verde em diferentes idades de corte, em ovinos**. 2009. 39f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) – Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

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

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

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.

VRANIĆ, M.; KNEŽEVIĆ, M.; PERČULIJA, G.; et al. Intake, digestibility *in vivo*, n utilization and *in sacco* dry matter degradability of grass silage harvested at three stages of maturity. **Asian-Australasian Journal of Animal Science**, v. 22, n. 2, p. 225 - 231, 2009.

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.

WILSON, J.R. Cell wall characteristics in relation to forage digestion by ruminants. **Journal of Agricultural Science**, v. 122, n. 2, p. 173-182, 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.

Capítulo IV – Experimento II

Cinética de degradação *in situ* dos componentes nutricionais das silagens de capim *Andropogon gayanus* produzidas em três idades de corte

4.1. Resumo

Objetivou-se avaliar e comparar a cinética de degradação ruminal da matéria seca (MS), matéria orgânica (MO), proteína bruta (PB), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) das silagens de capim *Andropogon gayanus* obtidas em três diferentes idades de corte (56, 84 e 112 dias). Os tempos de incubação utilizados para avaliar a degradação ruminal foram 0, 6, 12, 24, 48, 72 e 96 horas. Os parâmetros da cinética de degradação das silagens de cada tratamento (3 silagens) em cada animal (5 vacas) foram determinados pelo modelo: $y = a + b(1 - e^{-c(t-L)})$. Os parâmetros gerados pela equação foram analisados como blocos inteiramente casualizados, sendo que as idades de corte foram inseridas como efeito fixo e os animais como efeito aleatório (blocos). A silagem da planta aos 56 dias de rebrote apresentou os maiores ($P < 0,05$) valores de degradabilidade efetiva da MS, da FDN e FDA calculada para a taxa de passagem de 2,0%/h. Todas as silagens apresentaram baixa fração solúvel (<25,4%) e degradabilidade efetiva (<40,1%) da proteína bruta com taxa de passagem de 2%. Foi observado um maior ($P < 0,05$) tempo de colonização da FDN e da FDA para as silagens realizadas com as plantas aos 84 e 112 dias de crescimento em comparação com a silagem produzida aos 56 dias. Os resultados da cinética de degradação ruminal da MS, MO, PB, FDN e FDA das silagens de capim *Andropogon gayanus* indicam que a planta ensilada aos 56 dias de rebrote apresentou melhor valor nutricional.

Palavras-chave: degradação ruminal, estágio de maturação, forrageira tropical, silagem

4.2. Introdução

A utilização de gramíneas tropicais na forma de silagem tem ganhado importância devido à alta produtividade destas forrageiras, o que favorece a diminuição do custo de alimentação dos ruminantes. O capim *Andropogon gayanus* se destaca em relação às demais gramíneas tropicais por ser muito adaptado às condições de clima e solo do cerrado, sendo este atualmente o principal polo de expansão da pecuária brasileira. Entretanto, muito pouco se encontrou na literatura sobre sua utilização para a produção de silagem.

A determinação do momento de corte ideal desta planta forrageira para a ensilagem é fundamental, pois, apesar da produção de matéria seca aumentar com a idade, alterações estruturais da planta podem reduzir o valor nutritivo desta. Com o aumento da maturidade da planta ocorrem alterações na relação haste/folha, na proporção dos tecidos vegetais (estruturais x fotossintéticos) e nas interações da lignina e ácidos fenólicos com as hemiceluloses, as quais poderão causar mudança na taxa e extensão da degradação ruminal da fibra, alterando o tempo de retenção e modificando o consumo potencial e desempenho dos animais. Aliado a este fato, é importante determinar o momento em que a composição da planta (teor de umidade e carboidratos solúveis) favorecerá o processo de fermentação, reduzindo as perdas durante o processo de ensilagem, levando a produção de silagem de melhor qualidade nutricional.

Por meio da técnica *in situ*, é possível estimar parâmetros relacionados à cinética de degradação de um alimento e de suas frações, em função de períodos de incubação no rúmen. Trata-se de um método cujos resultados apresentam alta correlação com aqueles obtidos em experimentos *in vivo*, é preciso, simples e rápido para determinar a qualidade de uma forragem. Desta forma, tem sido de grande utilidade na avaliação de alimentos para ruminantes.

Objetivou-se com este trabalho avaliar e comparar a cinética de degradação ruminal dos componentes nutricionais (matéria seca, matéria orgânica, proteína bruta, fibra insolúvel em detergente neutro e fibra insolúvel em detergente ácido) das silagens de capim *Andropogon gayanus* obtidas em três idades de corte (56, 84 e 112 dias).

4.3. Material e métodos

A avaliação da cinética de degradação ruminal dos componentes nutricionais das silagens de capim *Andropogon gayanus* foi realizada com amostras coletadas das silagens utilizadas na alimentação dos animais durante o experimento I.

4.3.1. Procedimento experimental

O experimento foi conduzido na Fazenda Experimental Prof. Hélio Barbosa pertencente à Escola de Veterinária da UFMG, localizada em Igarapé, MG, Brasil. Neste trabalho foram utilizadas cinco vacas da raça Holandês (550 Kg de peso vivo), fistuladas no rúmen, mantidas em um piquete que dispunha de bebedouro e cocho, onde recebiam silagem de milho à vontade e 4 Kg de um concentrado comercial (20% de PB) por dia. As cânulas eram inspecionadas e lavadas diariamente.

Foram utilizados sacos de *nylon* devidamente identificados de 7,5 cm de largura x 15 cm de altura, o que correspondia a uma área útil de 225 cm², e tamanho médio dos poros de 50 µm. Os sacos foram lavados em água corrente, secos a 55°C por 24 h tendo seus pesos registrados. Todas as amostras de silagem foram pré-secas, em estufa de ventilação forçada a 55 °C por 72 h, e moídas a 5 mm. Após isto, 5 g de silagem foram adicionadas em cada saco de *nylon*, correspondendo a uma relação de 17 mg de amostra por cm².

Uma argola de metal com 2 (dois) centímetros de diâmetro foi colocada na extremidade aberta de cada saco, sendo o fechamento dos sacos realizado com presilhas de plástico. Os sacos foram fixados em uma corrente de aproximadamente 150 g, que funcionava com âncora, de forma a mantê-los em contato permanente com o líquido ruminal e posicionados no saco ventral do rúmen.

Os sacos de *nylon* foram incubados no rúmen por 6, 12, 24, 48, 72 e 96 h. Foram incubados 3 sacos por tratamento/tempo de degradação/animal, totalizando 270 sacos (54 sacos por animal). Todos os tratamentos foram incubados e retirados dos animais de forma conjunta em cada tempo de degradação, seguindo o cronograma apresentado no Quadro 01.

Após serem retirados do rúmen, os sacos foram mergulhados em água fria por cinco minutos para cessar o crescimento e a fermentação microbiana. A lavagem dos mesmos foi em água corrente até que a água da lavagem saísse límpida. Após a lavagem, os sacos foram

congelados (-10°C) até serem processados. Ao término do procedimento, o material foi levado para o Laboratório de Nutrição Animal da EV da UFMG.

Quadro 01. Cronograma de incubação ruminal

Tempo de incubação	Incubação		Retirada	
	Dia	Hora	Dia	Hora
06 horas	Dia 01	8:00	Dia 01	14:00
12 horas	Dia 01	8:00	Dia 01	20:00
24 horas	Dia 01	8:00	Dia 02	8:00
48 horas	Dia 01	8:00	Dia 03	8:00
72 horas	Dia 01	8:00	Dia 04	8:00
96 horas	Dia 01	8:00	Dia 05	8:00

4.3.2. Procedimento laboratorial

As amostras foram descongeladas à temperatura ambiente e os teores de matéria pré-seca determinados em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 horas (INCT-CA, 2012; método G-001/1). Os resíduos de incubação do mesmo animal, tempo de degradação e idade de corte foram homogeneizados, moídos utilizando-se peneira com malha de 1 mm e acondicionados em frascos de polietileno fechados e identificados, para posteriores análises.

Nos resíduos de incubação e no material incubado foram realizadas análises, em duplicatas, de matéria seca (MS) em estufa a 105°C (INCT-CA, 2012; método G-003/1), matéria orgânica (MO) (INCT-CA, 2012; método M-001/1); proteína bruta (PB) pelo método de Kjeldahl (INCT-CA, 2012; método N-001/1); fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) sem correção para cinzas e proteína (INCT-CA, 2012; método F-001/1) e fibra insolúvel em detergente ácido (INCT-CA, 2012; método F-003/1).

A determinação do tempo zero (t_0) foi feita colocando-se aproximadamente 5 g de MS da amostra moídos a 5 mm nos sacos de *nylon* e lavando-as seguindo os mesmos procedimentos dos outros tempos de incubação. Por esse procedimento, foi possível determinar a fração solúvel de cada amostra.

4.3.3. Procedimento estatístico

A cinética de desaparecimento *in situ* foi estimada através do procedimento não linear do programa estatístico SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC). Os dados de degradação da MS,

MO, FDN e FDA das silagens de cada idade de corte em cada animal foram regredidos pelo modelo de McDonald (1981):

$$y = a + b(1 - e^{-c(t-L)}) \text{ para } t > L$$

Em que: a é a fração rapidamente degradável (ou solúvel) em %; b é a fração lentamente degradável em %, c é a taxa fracional de desaparecimento (%/h), L é o tempo de colonização (*Lag time*) em h e t é o tempo de incubação em h.

A degradabilidade efetiva foi estimada utilizando o modelo:

$$y = a + b [c/c+k] e^{-kL/100}$$

Em que: k é a taxa fracional de passagem das partículas pelo rúmen.

Os dados de degradação da proteína bruta (PB) não se enquadraram ao modelo com tempo de colonização (*Lag*). Desta forma utilizou-se o modelo Ørskov e McDonald (1979) sem o tempo de colonização (*Lag time*):

$$y = a + b (1 - e^{-ct})$$

A degradabilidade efetiva da PB foi estimada utilizando o modelo:

$$y = a + [(b*c) / (c + k)]$$

Os parâmetros gerados pelas equações foram analisados como blocos inteiramente casualizados, sendo que as idades de corte foram inseridas como efeito fixo e os animais como efeito aleatório (blocos). Para a análise dos dados gerados utilizou-se o seguinte modelo estatístico:

$$y_{ij} = \mu + \alpha_i + \beta_j + \epsilon_{ij}$$

Em que: y_{ij} é a observação (parâmetro), μ é a média geral, α_i é o efeito animal (1-5), β_j o efeito de tratamento (idades de corte 56, 84 e 112 dias), e ϵ_{ij} o erro experimental.

As médias foram comparadas ao nível de 5% de probabilidade ($P < 0,05$) pela opção PDIFF do procedimento LSMEANS. Quando apropriado, a correlação de Pearson foi realizada entre as variáveis.

4.4. Resultados e discussão

A composição química das silagens de capim *Andropogon gayanus* realizadas aos 56, 84 e 112 dias de rebrote pode ser encontrada na Tabela 3 do capítulo III.

4.4.1. Matéria seca

As silagens de capim *A. gayanus* obtidas aos 56 e 112 dias de rebrote apresentaram menores ($P < 0,05$) valores da fração lentamente degradável (*b*) da matéria (MS) em comparação com a silagem produzida aos 84 dias (Tabela 1). Entretanto, a fração potencialmente degradável (*a+b*) não diferiu ($P > 0,05$) entre os tratamentos. A menor fração lentamente degradável (*b*) da MS nas silagens com a planta aos 56 e 84 dias foi causada por uma maior fração rapidamente degradável (*a*), a qual apresentou elevada correlação negativa com a porcentagem de hastes³ no material ensilado ($r_{a \times \%haste} = -0,99$; $P < 0,0001$). A taxa de degradação (*c*) foi maior ($P < 0,05$) para a silagem colhida aos 56 dias em comparação com a silagem obtida aos 84 dias de rebrote. Já a silagem produzida aos 112 dias apresentou valores intermediários, não diferindo ($P > 0,05$) das silagens colhidas aos 56 e 84 dias. Foi observado maior ($P < 0,05$) tempo de colonização (*Lag*) da MS para a silagem obtida aos 56 dias em comparação com as silagens aos 84 e 112 dias de corte, as quais não diferiram ($P > 0,05$) entre si. A silagem produzida com a planta aos 84 dias de rebrote apresentou o menor ($P < 0,05$) valor e a obtida aos 56 dias o maior ($P < 0,05$) valor de degradabilidade efetiva da MS calculada para as taxas de passagem de 2,0%/h. A silagem colhida aos 112 dias de rebrote apresentou valor de degradabilidade efetiva a 2,0 %/h inferior ($P < 0,05$) a silagem obtida aos 56 dias.

Tabela 1. Parâmetros de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da matéria seca (MS) das silagens de capim *Andropogon gayanus* obtidas aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.

Item	Idade de corte (dias)			EPM	P
	56	84	112		
a	12,3	9,6	11,8	-	-
b	59,6 ^b	64,2 ^a	59,9 ^b	1,33	<0,01
c (%/h)	3,13 ^a	2,41 ^b	2,76 ^{ab}	0,176	<0,01
a+b	71,9	73,8	71,7	1,33	0,19
Lag (h)	4,3 ^a	3,4 ^b	3,3 ^b	0,18	<0,01
Degradabilidade efetiva (2%/h)	45,7 ^a	42,9 ^c	44,7 ^b	0,24	<0,01

Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na mesma linha, indicam diferença estatística ($P < 0,05$).

EPM = erro padrão da média.

³ A relação haste/folha foi determinada no trabalho de Ribeiro Jr. (2009).

A redução do tempo de colonização (*Lag*) com o aumento da idade ao corte do capim também foi encontrada por Castro (2008) trabalhando com silagens de capim *Panicum maximum* cv. Tanzânia, entretanto é de difícil explicação biológica, já que as alterações observadas com o aumento da idade ao corte na célula vegetal tendem a aumentar o tempo de colonização microbiana (Chesson e Forsberg, 1997). Coblenz *et al.* (1998), trabalhando com capim-guatemala (*Tripsacum dactyloides* L), observaram maiores valores de *Lag* para o estágio de desenvolvimento com menor teor de hemiceluloses e maior teor de celulose. É possível que as alterações causadas durante a fermentação no silo da planta mais nova (56 dias), como o consumo de parte da hemicelulose como substrato adicional aos carboidratos solúveis durante a fermentação, possam ter alterado este tempo de colonização no presente trabalho.

As taxas de degradação encontradas (de 2,4 a 3,1 %/h) foram um pouco inferiores às taxas observadas por Castro (2008) trabalhando com silagens de capim *Panicum maximum* cv. Tanzânia em diferentes idades de corte (2,9 a 3,3 %/h). Entretanto no presente trabalho foram observados maiores valores das frações solúveis, lentamente degradável e potencialmente degradável da MS, e conseqüentemente valores maiores de degradabilidade efetiva da MS.

Segundo Borges (1997), as forragens mais digestíveis apresentam valores altos da fração potencialmente degradável ($a+b$), mas necessitam também de altos valores de taxa de degradação (c), para que alcancem o potencial máximo de degradação em menor tempo. 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 o maior valor de " c " implica menor tempo para o desaparecimento da fração potencialmente degradável, sendo que forragens de boa qualidade devem apresentar taxas de degradação superiores a 2%/h. No presente trabalho foram verificadas taxas de degradação superior a 2%/h para todas as silagens avaliadas.

A redução da degradabilidade da MS em função da idade de corte tem sido relatada para diversas forrageiras tropicais, entre elas o capim *Brachiaria decumbens* (Ramirez, 2011; Velasco, 2011), o Tifton 85 (Carvalho, 2012), capim-Tanzânia (Castro, 2008), *Brachiaria brizantha* (Rodrigues *et al.*, 2004), o capim-guatemala (*Tripsacum dactyloides* L) (Coblenz *et al.*, 1998) e o capim-elefante (Silva *et al.*, 2008; Teixeira, 2013). Essa redução da degradabilidade da MS com a maturidade da planta é explicada pelo aumento da relação haste/folha e declínio da qualidade dos componentes da haste (Nelson e Moser, 1994, 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 vascular, que possuem células densamente agrupadas com paredes espessas e lignificadas, de difícil degradação pelos microorganismos do rúmen (Wilson and Mertens, 1995). No presente trabalho, a planta ensilada mais velha (112 dias) apresentou valores de degradabilidade efetiva da MS superiores à planta ensilada aos 84 dias. Esse resultado concorda com a maior relação haste/folha descrita por Ribeiro Jr. (2009) para a forragem colhida aos 84 dias em comparação com esta aos 112 dias de rebrote.

4.4.2. Matéria orgânica

Os parâmetros de degradabilidade ruminal da matéria orgânica (MO), apresentados na Tabela 2, seguiram comportamento semelhante ao descrito para a MS. Este comportamento se deve a elevada correlação existente entre a degradabilidade da MS e MO ($r = 0,99$; $P < 0,0001$). A menor ($P < 0,05$) fração lentamente degradável (b) da MO encontrada para as silagens produzidas aos 56 e 112 dias de rebrote em comparação com a silagem obtida aos 84 dias foi compensada por uma maior fração rapidamente degradável (a). Este fato levou a semelhança ($P > 0,05$) entre todos os tratamentos para a fração potencialmente degradável da MO ($a+b$). A taxa de degradação (c) da MO foi maior ($P < 0,05$) para a silagem colhida aos 56 dias em comparação com a silagem obtida aos 84 dias de rebrote. Já a silagem produzida aos 112 dias apresentou valores intermediários, não diferindo ($P > 0,05$) das silagens colhidas aos 56 e 84 dias. As silagens produzidas aos 56 e 112 dias de rebrote do capim apresentaram valores de degradabilidade efetiva da MO para as taxas de 2,0%/h semelhantes entre si ($P > 0,05$) e superiores ($P < 0,05$) a silagem colhida aos 84 dias. A maior degradabilidade efetiva para as silagens produzidas aos 56 e 112 dias parece estar relacionada à menor relação haste/folha destes materiais em comparação com a planta ensilada aos 84 dias. A causa deste aumento na relação haste/folha aos 112 dias de crescimento da planta parece estar ligada a fatores ambientais, como a ocorrência de chuvas, temperatura e luminosidade, entretanto é difícil de ser explicada. Bhering *et al.* (2008) encontraram comportamento semelhante a este avaliando o capim elefante roxo. A semelhança encontrada entre as degradabilidades efetivas calculadas para as silagens obtidas aos 56 e 112 dias de idade sustenta a teoria de que a menor digestibilidade da MO em ovinos com o aumento da maturidade da planta, encontrada no capítulo III, pode ter sofrido influência dos teores de proteína degradável no rúmen.

Ramirez (2011) trabalhando com feno de capim *Brachiaria decumbens* nas mesmas idades de corte deste experimento encontraram taxas de degradação variando de 3,5 a 2,6%/h as quais foram próximas as descritas neste trabalho (3,1 a 2,4%/h). Já Carvalho (2012) encontraram valores variando de 3,6 a 2,5%/h para fenos de capim-Tifton 85 entre 27 e 84 dias de crescimento. Sendo que a taxa de degradação encontrada por Carvalho (2012) foi maior apenas no feno realizado com a planta mais jovem (27 dias).

Tabela 2. Parâmetros de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da matéria orgânica (MO) das silagens de capim *Andropogon gayanus* obtidas aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.

Item	Idade de corte (dias)			EPM	P
	56	84	112		
a	8,0	5,8	8,4	-	-
b	63,9 ^b	68,8 ^a	63,6 ^b	1,29	<0,01
c (%/h)	3,12 ^a	2,40 ^b	2,75 ^{ab}	0,163	<0,01
a+b	71,9	74,6	72,0	1,29	0,08
Lag (h)	4,3 ^a	3,5 ^b	3,3 ^b	0,17	<0,01
Degradabilidade efetiva (2%/h)	43,7 ^a	41,3 ^b	43,1 ^a	0,28	<0,01

Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na mesma linha, indicam diferença estatística (P<0,05).

EPM = erro padrão da média.

As degradabilidades efetivas da MO calculadas para a taxa de passagem de 2,0%/h para as silagens de capim andropogon obtidas aos 56, 84 ou 112 dias foram superiores às observadas por Carvalho (2012) para os feno de Tifton 85 realizado aos 73 ou 84 dias de crescimento e inferiores às encontradas por Ramirez (2011) para o feno de capim *Brachiaria decumbens* realizados nas mesmas idades de corte deste trabalho. A menor degradabilidade das silagens de andropogon em comparação aquelas dos fenos de *Brachiaria decumbens* possivelmente está relacionada ao consumo de nutrientes (carboidratos solúveis e parte das hemiceluloses) durante o processo de fermentação da silagem. A menor degradabilidade efetiva dos fenos de Tifton-85 quando produzidos aos 73 ou 84 dias, mas não dos produzidos aos 27 e 43 dias, em comparação com as silagens obtidas neste experimento ocorreu possivelmente devido à rápida modificação na estrutura da planta, característica do Tifton-85, a qual levou ao aumento da relação haste/folha, dos teores de carboidratos estruturais e das concentrações de lignina. A proporção de hastes superou a de folhas no trabalho de Carvalho (2012) aos 56 dias, já neste trabalho, conforme descrito por Ribeiro Jr. (2009) trabalhando com o mesmo material, isto só aconteceu aos 84 dias de rebrote. Isto evidencia a maior velocidade de maturação do Tifton-85 comparado ao capim andropogon.

4.4.3. Proteína bruta

Foi observado maior ($P < 0,05$) valor da fração rapidamente degradável (a) da PB para a silagem colhida aos 112 dias de rebrote (25,4%) e menor ($P < 0,05$) valor para a silagem colhida aos 84 dias (0,8%) (Tabela 3). Já a fração lentamente degradável foi maior para as silagens obtidas aos 56 e 84 dias em comparação com a silagem produzida aos 112 dias de rebrote do capim. Entretanto não foi observada diferença ($P > 0,05$) entre as silagens para o potencial máximo de degradação ($a+b$). A taxa de degradação (c) da PB das silagens ($P = 0,06$) reduziu com o aumento da idade de corte do capim. Para a degradabilidade efetiva calculadas para a taxa de passagem de 2,0%/h a silagem colhida aos 56 dias apresentou maiores ($P < 0,05$) valores em comparação com a silagem obtida aos 84 dias de rebrote. Já a silagem produzida aos 112 dias apresentou valores intermediários, não diferindo ($P > 0,05$) das silagens colhidas aos 56 e 84 dias.

Tabela 3. Parâmetros de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da proteína bruta (PB) das silagens de capim *Andropogon gayanus* obtidas aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.

Item	Idade de corte (dias)			EPM	P
	56	84	112		
a	14,8 ^b	0,8 ^c	25,4 ^a	0,78	<0,01
b	49,1 ^a	52,7 ^a	31,5 ^b	6,32	0,02
c (%/h)	2,32	1,86	1,04	0,319	0,06
a+b	63,9	53,5	56,8	6,29	0,35
Degradabilidade efetiva (2%/h)	40,1 ^a	28,7 ^b	34,0 ^{ab}	2,64	0,03

Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na mesma linha, indicam diferença estatística ($P < 0,05$).
EPM = erro padrão da média.

Os menores valores da fração solúvel da PB para as silagens colhidas aos 56 e 84 dias em comparação com a silagem obtida aos 112 dias de rebrote estão relacionados à perda de MS ($r = 0,80$; $P < 0,001$) na lavagem. Os resultados encontrados para a fração solúvel da PB (de 0,8 a 25,4%) foram muito baixos comparados aos resultados encontrados por Castro (2008) avaliando silagens de capim *Panicum maximum* cv. Tanzânia (de 38,4 a 42,7%) colhidas em diferentes idades de corte (42, 63,84 e 107 dias). Esta menor fração solúvel da PB para as silagens de capim andropogon possivelmente esta ligada a maior fração nitrogenada associada à parede celular e ligada a lignina nesta planta em comparação com as silagens de capim Tanzânia e a uma menor perda de partículas pelos poros dos sacos na lavagem.

O potencial máximo de degradação da PB das silagens de capim *A. gayanus* neste trabalho variou de 56,8 a 63,9% e as taxa de degradação variou de 1,0 a 2,3%. Pereira (2003), em avaliação das silagens de girassol colhidas em quatro diferentes épocas de corte (100, 107, 114 e 121 dias após o plantio), obtiveram valores de potencial máximo de degradação (a+b) variando entre 87,0% e 89,3% e taxa de degradação (c) de 6%/h. Gimenes et al. (2006) verificaram potenciais de degradação máximos da PB variando de 74,15% a 78,81% e taxas de degradação dessa fração entre 1,73% a 3,01%, estudando silagens de milho confeccionadas com inoculantes bacteriano e/ou enzimático. Já Lopes et al. (2010) avaliando quatro espécies de *Brachiaria* colhidas aos 56 dias de crescimento encontraram valores entre 30,7 e 53,4% para a fração solúvel da PB e valores de 55,4 a 71,6% para degradabilidade efetiva da PB calculada para taxa de passagem de 2%. Estes resultados demonstram que as silagens de capim andropogon além de ter baixo ter de PB, apresenta baixa e lenta disponibilidade desta. Desta forma, para que não haja limitação da degradação ruminal nos animais alimentados com estas silagens é essencial que se um faça suplementação dos animais com uma fonte de proteína degradável no rúmen, a fim de garantir concentrações de nitrogênio amoniacal no líquido ruminal acima de 5 mg/100 ml (Satter e Slyter 1974).

Vale ressaltar que neste trabalho não foi realizado correção para a contaminação microbiana da PB. De acordo com Valadares Filho et al. (1992) a contaminação microbiana de silagens de milho após 48 h de incubação no rúmen foi de 53,9%. Quando não foi feita a correção para contaminação por proteína microbiana, a degradabilidade efetiva da silagem de milho foi subestimada em 38%. Prado et al. (2004) trabalhando com aveia preta, estrela roxa, milheto e capim Mombaça encontrou valores médios de 52%, sendo que esta contaminação por proteína bruta microbiana foi semelhante entre as forrageiras e para os diferentes tempos de incubação. No trabalho de Prado et al. (2004) a degradabilidade efetiva da proteína bruta da grama estrela roxa e do capim-Mombaça foram subestimadas em, aproximadamente, 28,0%. A degradabilidade efetiva da aveia preta e do milheto foram subestimadas em, aproximadamente, 14,0%. De acordo com este trabalho pode-se perceber que a contaminação microbiana pode ter subestimado mais a degradabilidade efetiva das gramíneas de menor teor proteico (grama estrela roxa e do capim-Mombaça). Desta forma, é provável que a degradação da PB das silagens do capim andropogon deste trabalho esteja sendo subestimada.

4.4.4. Fibra insolúvel em detergente neutro

Não houve diferença ($P>0,05$) entre as silagens avaliadas para a fração rapidamente degradável (ou solúvel, a) da fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) (Tabela 4). Este resultado era esperado, pois não se espera que ocorra fração rapidamente degradável (ou solúvel) para a FDN, uma vez que esta não é solúvel em água. A fração lentamente degradável (b) e a fração potencialmente degradável ($a+b$) da FDN apresentam valores semelhantes já que o valor de a é zero. Foi observado um maior ($P<0,05$) valor da fração lentamente degradável (b) e da fração potencialmente degradável ($a+b$) da FDN para a silagem produzida aos 84 dias em comparação com a silagem obtida aos 112 dias de rebrote. Já a silagem colhida aos 56 dias apresentou valores intermediários, não diferindo ($P>0,05$) das silagens produzidas tanto aos 84 quanto aos 112 dias. Para a taxa de degradação (c) da FDN a silagem produzida aos 112 dias apresentou maiores valores ($P<0,05$) em comparação com a silagem colhida aos 84 dias de rebrote. A silagem produzida aos 56 dias apresentou valores de c da FDN intermediários, não diferindo ($P>0,05$) das silagens produzidas tanto aos 84 quanto aos 112 dias. Foi observado maior ($P<0,05$) tempo de colonização (Lag) para as silagens obtidas aos 84 e 112 dias em comparação com a silagem produzida aos 56 dias de rebrote. A silagem colhida aos 56 dias apresentou o maior ($P<0,05$) valor de degradabilidade efetiva da FDN calculada para a taxa de passagem de 2,0%/h em comparação com as silagens produzidas aos 84 e 112 dias de rebrote as quais não diferiram entre si ($P>0,05$).

Tabela 4. Parâmetros de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) das silagens de capim *Andropogon gayanus* obtidas aos 56, 84 e 112 dias de rebrote.

Item	Idade de corte (dias)			EPM	P
	56	84	112		
a	0,0	0,0	0,0	-	-
b	73,3 ^{ab}	74,9 ^a	70,3 ^b	1,61	0,05
c (%/h)	2,79 ^{ab}	2,47 ^b	3,12 ^a	0,172	0,02
a+b	73,3 ^{ab}	74,9 ^a	70,3 ^b	1,61	0,05
Lag (h)	5,0 ^b	7,0 ^a	6,4 ^a	0,33	<0,01
Degradabilidade efetiva (2%/h)	39,4 ^a	36,7 ^b	37,5 ^b	0,38	<0,01

Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na mesma linha, indicam diferença estatística ($P<0,05$).

EPM = erro padrão da média.

A menor degradabilidade efetiva que ocorre com o aumento da idade de corte das gramíneas forrageiras parece estar relacionada a alterações estruturais que levam ao aumento da proporção dos tecidos vegetais de sustentação e vascular (esclerênquima e xilema), que

possuem células densamente agrupadas com paredes espessas e lignificadas, de difícil degradação pelos microorganismos do rúmen (Wilson and Mertens, 1995; Wilson e Hatfield, 1997). Além disso, uma possível maior cristalinidade da celulose, em virtude da substituição das moléculas de água por açúcares entre as fibrilas deste composto, aumenta a hidrofobicidade e dificulta o acesso da microbiota ruminal, aumentando assim o tempo de colonização (Chesson e Forsberg 1997).

Campos *et al.* (2006) relatam valores da fração lentamente degradável (*b*) da FDN de 63,36%, para a silagem de milho, 61,68%, para a silagem de capim Elefante e 51,43%, para a silagem de sorgo. Estes autores citam valores de taxa *c* de 3,08%/h para a FDN da silagem de milho, 3,10%/h para a FDN da silagem de capim elefante e 2,53%/h para a FDN da silagem de sorgo. Campos *et al.* (2003b) encontraram valores de degradabilidade efetiva da FDN variando de 30,3% a 39,1% para uma taxa de 2%/h e 17,1% a 29,4% para uma taxa de 5%/h em silagens de quarto genótipos de sorgo. Já Castro (2008), trabalhando com silagens de capim Tanzânia em diferentes idades de corte, encontrou degradabilidade efetiva da FDN variando entre 13,4 a 19,9% para taxa de passagem de 2%/h. No presente trabalho, o potencial de degradação máximo da FDN variou de 70,3 a 74,9%, com taxas de degradação variando entre 2,5 e 3,1%/h. Os valores de degradabilidade efetiva para a taxa de passagem de 2%/h foram 39,4, 36,7 e 37,5% para as silagens colhidas aos 56, 84 e 112 dias de rebrote respectivamente. Estes resultados demonstram o bom potencial de degradação da fração fibrosa das silagens de capim andropogon.

4.4.5. Fibra insolúvel em detergente ácido

Não foram observados valores para a fração rapidamente degradável (ou solúvel) da fibra insolúvel em detergente ácido (FDA), pois esta, da mesma forma que a FDN, também não é solúvel em água. Os parâmetros de degradação da FDA das silagens de capim *A. gayanus*, apresentados na Tabela 5, demonstram um comportamento semelhante ao observado para a FDN. Como o valor da fração solúvel é zero, os valores da fração lentamente degradável (*b*) e a fração potencialmente degradável (*a+b*) da FDA são semelhantes. Foi observado um maior ($P < 0,05$) valor da fração lentamente degradável (*b*) e da fração potencialmente degradável (*a+b*) da FDA para a silagem produzida aos 84 dias em comparação com a silagem obtida aos 112 dias de rebrote. Já a silagem colhida aos 56 dias apresentou valores intermediários, não diferindo ($P > 0,05$) das silagens produzidas tanto aos 84 quanto aos 112 dias. Para a taxa de degradação (*c*) da FDA a silagem produzida aos 112 dias apresentou maiores valores

($P < 0,05$) em comparação com a silagem colhida aos 84 dias de rebrote. A silagem produzida aos 56 dias apresentou valores de c da FDA intermediários, não diferindo ($P > 0,05$) das silagens produzidas tanto aos 84 quanto aos 112 dias. Foi observado maior ($P < 0,05$) tempo de colonização (*Lag*) para as silagens obtidas aos 84 e 112 dias em comparação com a silagem produzida aos 56 dias de rebrote. O maior ($P < 0,05$) valor de degradabilidade efetiva da FDA calculada para taxa de passagem de 2%/h foi observado para a silagem colhida aos 56 dias e o menor ($P < 0,05$) para a obtida aos 84 dias de rebrote. A silagem colhida aos 112 dias de rebrote apresentou valor de degradabilidade efetiva a 2,0%/h intermediários sendo inferior ($P < 0,05$) a silagem obtida aos 56 dias e superior a produzida com 84 dias de rebrote.

Os mesmos fatores que influenciam a degradabilidade da FDN também influenciam a degradabilidade da FDA. Isto pode ser observado pela correlação entre a degradabilidade da FDA e da FDN ($r = 0,96$; $P < 0,0001$). Desta forma a redução na relação folha/haste, aumento do teor e mudança em na composição da lignina e aumento das ligações cruzadas entre a lignina e as hemiceluloses com a maturação da planta irão influenciar negativamente a degradação da fibra (Buxton e Russell, 1988; Jung e Deetz, 1993; Nelson e Moser 1994; Jung e Allen, 1995; Wilson e Hatfield, 1997). Neste trabalho, a melhor degradabilidade da FDA da planta ensilada aos 112 dias em comparação com aos 84 dias parece ter ocorrido devido a maior relação folha/haste na planta ensilada aos 112 dias, conforme pode ser observado no trabalho de Ribeiro Jr. (2009).

Tabela 5. Parâmetros de degradabilidade ruminal e degradabilidade efetiva da fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) das silagens de capim *Andropogon gayanus* Tabela 5.

Item	Idade de corte (dias)			EPM	P
	56	84	112		
a	0,0	0,0	0,0	-	-
b	74,1 ^{ab}	77,1 ^a	68,9 ^b	3,06	0,04
c (%/h)	2,73 ^{ab}	2,29 ^b	3,42 ^a	0,315	0,02
a+b	74,1 ^{ab}	77,1 ^a	68,9 ^b	3,07	0,05
Lag (h)	4,7 ^b	8,7 ^a	7,1 ^a	1,17	<0,01
Degradabilidade efetiva (2%/h)	39,1 ^a	34,9 ^c	36,8 ^b	0,50	<0,01

Médias seguidas por letras minúsculas distintas, na mesma linha, indicam diferença estatística ($P < 0,05$).

EPM = erro padrão da média.

De acordo com Wilson (1993) e Jung e Allen (1995) a qualidade das forragens esta intimamente relacionada à degradação da parede celular, pois este é o principal componente dos tecidos das forrageiras podendo compor até 80% da matéria orgânica e sua fermentação

pelos microorganismos do rúmen é a principal fonte de energia para a produção animal. Desta forma, o maior consumo de forragem e a maior digestibilidade da parede celular são essências para melhorar o ganho de peso ou produção de leite dos ruminantes. Tanto o consumo quanto a digestibilidade das forragens são influenciados pela proporção de parede celular e pela resistência das forragens e da parede celular à degradação em partículas pequenas durante a mastigação e digestão (Wilson e Mertens, 1995).

4.5. Conclusões

Os resultados da cinética de degradação ruminal da MS, MO, PB, FDN e FDA das silagens de capim *Andropogon gayanus* indicam que a planta ensilada aos 56 dias de rebrote apresentou melhor valor nutricional.

4.6. Referências bibliográficas

BHERING, M; CABRAL, L. S.; ABREU, J. G.; et al. Características agronômicas do capim-elefante roxo em diferentes idades de corte na depressão cuiabana. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v. 9, n. 3, p. 384-396, 2008.

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 sangüínea de ovinos**. 130 f. Tese (Doutorado em Ciência Animal) – UFMG, Belo Horizonte, 1997.

BUXTON, D.R.; RUSSEL, J.R. Lignin constituents and cell wall digestibility of grass and legume stems. **Crop Science**, v. 28, p. 553-558, 1988.

CAMPOS, P.R.S.S.; VALADARES FILHO, S.C.; CECON, P.R; et al. Estudo comparativo da cinética de degradação ruminal de forragens tropicais em bovinos e ovinos. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**. v. 58, n. 6, p. 1181-1191, 2006.

CAMPOS, W. E.; SATURNINO, H. M.; SOUZA, B. M.; GONÇALVES, L. C.; et al. Degradabilidade *in situ* da silagem de quatro genótipos de sorgo com e sem tanino. II – Fibra detergente neutro, fibra detergente ácido, hemicelulose e celulose. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 55, n. 4, p. 450-453, 2003.

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.

CHESSON, A.; FORSBERG, C.W. Polysaccharide degradation by rumen microorganisms. In: HOBSON, P.N. e STEWART, C.S. **The rumen microbial ecosystem**. Londres: Brackie Academic & Professional, 1997. Cap. 8, p. 329-381.

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.

GIMENES, A. L. G.; MIZUBUTI, I. Y.; MOREIRA, F. B.; *et al.* Degradabilidade *in situ* de silagens de milho confeccionadas com inoculantes bacteriano e/ou enzimático. **Acta Scientiarum Animal Sciences**, v. 28, n. 1, p. 11-16, 2006.

INCT-CA – Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia de Ciência Animal. **Métodos para análise de alimentos**. Visconde do Rio Branco, MG: Suprema, 2012, 214p.

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.

LOPES, F. C. F.; PACIULLO, D. S. C.; MOTA, E. F.; *et al.* Chemical composition and *in situ* ruminal degradability of four *Brachiaria* species. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 62, n. 4, p. 883-888, 2010.

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

NELSON, C.J.; MOSER, L.E. Plant factors affecting forage quality. In: FAHEY JR., G. C. (Ed.) **Forage quality, evaluation and utilization**. Madison: American Society of Agronomy. 1994, p. 115-154.

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.

PEREIRA, L.G.R. **Potencial forrageiro da cultura do girassol (*Helianthus annuus* L.) para a produção de silagem**. 2003, 134p. Dissertação (Doutorado em Ciência Animal) – Belo Horizonte, Escola de Veterinária da UFMG, 2003.

PRADO, I.N.; MOREIRA, F.B.; ZEOULA, L.M. *et al.* Degradabilidade *in situ* da matéria seca, proteína bruta e fibra em detergente neutro de algumas gramíneas sob pastejo contínuo. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 33, p. 1332-1339, 2004.

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

RIBEIRO JUNIOR, G.O., **Características agronômicas 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.

RODRIGUES, A.L.P.; SAMPAIO, I.B.M.; CARNEIRO, J.C.; *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, p.658-664, 2004.

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, University of Reading, 1988.

SATTER, L.D., SLYTER, L.L. Effect of ammonia concentration on rumen microbial production *in vitro*. **British Journal of Nutrition**, v. 32, n. 2, p. 199-208, 1974.

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.

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.

VALADARES FILHO, S.C.; SILVA, J.F.C.; SANT'ANA, R. et al. Contaminação bacteriana em resíduos da incubação de alguns alimentos em sacos de náilon. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 21, n. 3, p. 467-474, 1992.

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

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.; 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.

WILSON, J.R. Organization of forage plant tissues. In: JUNG, H. J. G.; BUXTON, D. R., HATFIELD, R. D.; RALPH, J. (Ed.) **Forage cell wall structure and digestibility**. ASA, CSSA, SSSA, Madison, Wisconsin, USA, 1993. p.1-27.

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.

CAPÍTULO V

CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES

A silagem de capim *Andropogon gayanus* deve ser confeccionada aos 56 dias de rebrote, a fim de se produzir uma silagem de melhor valor nutricional, pois o aumento da idade de corte do capim proporcionou redução da degradação ruminal dos componentes nutricionais, da energia líquida das silagens e da retenção de energia pelos animais.

As emissões de metano (% da EB consumida, g/kg MS consumida ou g/kg MS digestível consumida) por ovinos não foi influenciada pela maturidade da planta no momento da ensilagem.

O baixo teor e a reduzida digestibilidade da proteína bruta nas silagens produzidas com o capim *A. gayanus* aos 84 e 112 dias de rebrote influenciaram negativamente a digestibilidade da matéria orgânica. Desta forma, os valores de energia digestível, metabolizável e líquida das silagens realizadas com a planta aos 84 e 112 dias poderão ser maiores se for realizada suplantação dos animais com uma fonte de proteína degradável no rúmen.

Sugere-se a realização de novos experimentos avaliando o efeito da idade de corte do capim *A. gayanus* sobre o valor nutritivo das silagens quando utilizadas em dietas completas.

The CORR Procedure

Coeficientes de Correlação de Pearson

Prob > |r| sob H0: Rho=0

Número de Observações

	DAEB	CEDUTM	EB	ED	CEMUTM	CELUTM	QM	KM
TRAT	-0.80226	-0.68906	-0.20885	-0.79391	-0.64972	-0.50400	-0.75744	-0.03766
TRAT	<.0001	0.0016	0.4056	<.0001	0.0064	0.0465	0.0007	0.8899
	18	18	18	18	16	16	16	16
ANIMAL	0.14978	-0.12794	-0.22302	0.12846	-0.19834	-0.11647	0.13251	-0.05702
ANIMAL	0.5530	0.6129	0.3737	0.6114	0.4615	0.6675	0.6247	0.8339
	18	18	18	18	16	16	16	16
Peso	-0.32150	-0.02321	0.21575	-0.29532	0.03885	-0.20492	-0.32171	-0.34472
Peso	0.1933	0.9272	0.3899	0.2341	0.8864	0.4465	0.2243	0.1910
	18	18	18	18	16	16	16	16
CMS	-0.03006	0.41567	0.19940	-0.01561	0.44946	0.11004	-0.07935	-0.31944
CMS	0.9057	0.0862	0.4276	0.9510	0.0807	0.6850	0.7702	0.2278
	18	18	18	18	16	16	16	16
DMS	0.93376	0.76266	0.21747	0.92081	0.73668	0.69282	0.90842	0.27320
DMS	<.0001	0.0002	0.3860	<.0001	0.0011	0.0029	<.0001	0.3059
	18	18	18	18	16	16	16	16
CMO	-0.07515	0.37338	0.19681	-0.05934	0.40446	0.07771	-0.12893	-0.31911
CMO	0.7670	0.1270	0.4338	0.8151	0.1202	0.7748	0.6342	0.2283
	18	18	18	18	16	16	16	16
DMO	0.99525	0.85247	0.30248	0.98733	0.84203	0.78190	0.97363	0.26685
DMO	<.0001	<.0001	0.2225	<.0001	<.0001	0.0003	<.0001	0.3178
	18	18	18	18	16	16	16	16
CMSUTM	0.26702	0.70484	0.14083	0.26667	0.67540	0.36877	0.14331	-0.17656
CMSUTM	0.2841	0.0011	0.5773	0.2848	0.0041	0.1599	0.5965	0.5130
	18	18	18	18	16	16	16	16
CMOUTM	0.19386	0.64806	0.14184	0.19610	0.61327	0.32093	0.06480	-0.18006
CMOUTM	0.4408	0.0036	0.5745	0.4355	0.0115	0.2255	0.8115	0.5046
	18	18	18	18	16	16	16	16
CMSD	0.65595	0.88039	0.28920	0.65644	0.86315	0.54369	0.55902	-0.10017
CMSD	0.0031	<.0001	0.2444	0.0031	<.0001	0.0295	0.0244	0.7120
	18	18	18	18	16	16	16	16
CMOD	0.63083	0.88774	0.34006	0.63655	0.86511	0.53963	0.51052	-0.12708
CMOD	0.0050	<.0001	0.1674	0.0045	<.0001	0.0310	0.0433	0.6391
	18	18	18	18	16	16	16	16
CMSDUTM	0.86246	0.95519	0.22571	0.85113	0.94087	0.72009	0.76957	0.08226
CMSDUTM	<.0001	<.0001	0.3678	<.0001	<.0001	0.0017	0.0005	0.7620
	18	18	18	18	16	16	16	16
CMODUTM	0.86437	0.99352	0.29145	0.85851	0.97659	0.74839	0.74676	0.06761
CMODUTM	<.0001	<.0001	0.2406	<.0001	<.0001	0.0009	0.0009	0.8035
	18	18	18	18	16	16	16	16

The CORR Procedure

Coeficientes de Correlação de Pearson
 Prob > |r| sob H0: Rho=0
 Número de Observações

	DAEB	CEDUTM	EB	ED	CEMUTM	CELUTM	QM	KM
CPB	0.39727	0.73072	0.35192	0.41093	0.71059	0.34167	0.29147	-0.25044
CPB	0.1026	0.0006	0.1521	0.0903	0.0020	0.1952	0.2734	0.3495
	18	18	18	18	16	16	16	16
DPB	0.91014	0.81612	0.33368	0.90656	0.78580	0.74630	0.85070	0.29586
DPB	<.0001	<.0001	0.1760	<.0001	0.0003	0.0009	<.0001	0.2659
	18	18	18	18	16	16	16	16
CPBUTM	0.68205	0.90888	0.33051	0.68473	0.86834	0.56403	0.54262	-0.08804
CPBUTM	0.0018	<.0001	0.1804	0.0017	<.0001	0.0229	0.0299	0.7458
	18	18	18	18	16	16	16	16
CPBDUTM	0.89393	0.91840	0.35305	0.89223	0.90439	0.74743	0.80467	0.15780
CPBDUTM	<.0001	<.0001	0.1507	<.0001	<.0001	0.0009	0.0002	0.5594
	18	18	18	18	16	16	16	16
CFDN	-0.00375	0.44014	0.21411	0.01117	0.46279	0.11979	-0.06644	-0.31877
CFDN	0.9882	0.0676	0.3936	0.9649	0.0711	0.6586	0.8069	0.2288
	18	18	18	18	16	16	16	16
DFDN	0.97121	0.81087	0.27761	0.96214	0.78199	0.71426	0.93546	0.23193
DFDN	<.0001	<.0001	0.2647	<.0001	0.0003	0.0019	<.0001	0.3874
	18	18	18	18	16	16	16	16
CFDA	0.09399	0.52415	0.26179	0.10974	0.53304	0.17794	0.01623	-0.30799
CFDA	0.7107	0.0256	0.2940	0.6647	0.0335	0.5097	0.9524	0.2458
	18	18	18	18	16	16	16	16
DFDA	0.96635	0.82314	0.38926	0.96604	0.79442	0.76923	0.92489	0.30633
DFDA	<.0001	<.0001	0.1103	<.0001	0.0002	0.0005	<.0001	0.2485
	18	18	18	18	16	16	16	16
CHCEL	-0.14898	0.30185	0.13670	-0.13576	0.34594	0.02971	-0.18857	-0.32689
CHCEL	0.5552	0.2235	0.5886	0.5912	0.1894	0.9130	0.4843	0.2165
	18	18	18	18	16	16	16	16
DHCEL	0.84410	0.67984	0.02810	0.81966	0.66242	0.52800	0.82535	0.07299
DHCEL	<.0001	0.0019	0.9119	<.0001	0.0052	0.0355	<.0001	0.7882
	18	18	18	18	16	16	16	16
CCEL	0.17389	0.58845	0.25809	0.18697	0.59395	0.22403	0.09214	-0.30688
CCEL	0.4901	0.0102	0.3011	0.4575	0.0153	0.4042	0.7343	0.2476
	18	18	18	18	16	16	16	16
DCEL	0.97539	0.82831	0.34032	0.97099	0.80738	0.75909	0.94501	0.27268
DCEL	<.0001	<.0001	0.1670	<.0001	0.0002	0.0006	<.0001	0.3069
	18	18	18	18	16	16	16	16
CLIG	-0.28993	0.12722	0.22736	-0.26505	0.15294	-0.06666	-0.33368	-0.25422
CLIG	0.2432	0.6149	0.3642	0.2878	0.5718	0.8062	0.2066	0.3420
	18	18	18	18	16	16	16	16

The CORR Procedure

Coeficientes de Correlação de Pearson

Prob > |r| sob H0: Rho=0

Número de Observações

	DAEB	CEDUTM	EB	ED	CEMUTM	CELUTM	QM	KM
CFDNUTM	0.30208	0.73032	0.16162	0.30253	0.68648	0.37741	0.15921	-0.17526
CFDNUTM	0.2231	0.0006	0.5217	0.2224	0.0033	0.1495	0.5559	0.5162
	18	18	18	18	16	16	16	16
CFDAUTM	0.42267	0.80994	0.23328	0.42526	0.75976	0.44329	0.26782	-0.15648
CFDAUTM	0.0806	<.0001	0.3515	0.0785	0.0006	0.0855	0.3159	0.5628
	18	18	18	18	16	16	16	16
CHCELUTM	0.07432	0.53916	0.02762	0.07107	0.52347	0.24565	-0.02946	-0.19539
CHCELUTM	0.7695	0.0209	0.9134	0.7793	0.0374	0.3591	0.9138	0.4683
	18	18	18	18	16	16	16	16
CCELUTM	0.51194	0.85737	0.20970	0.51021	0.81121	0.48654	0.36184	-0.15259
CCELUTM	0.0299	<.0001	0.4036	0.0305	0.0001	0.0560	0.1685	0.5726
	18	18	18	18	16	16	16	16
CFDNDUTM	0.86960	0.97979	0.27393	0.86225	0.95751	0.71931	0.75630	0.04539
CFDNDUTM	<.0001	<.0001	0.2713	<.0001	<.0001	0.0017	0.0007	0.8674
	18	18	18	18	16	16	16	16
CFDADUTM	0.88858	0.97549	0.37683	0.88897	0.96122	0.76830	0.77701	0.11757
CFDADUTM	<.0001	<.0001	0.1232	<.0001	<.0001	0.0005	0.0004	0.6646
	18	18	18	18	16	16	16	16
CLIGUTM	-0.18369	0.23102	0.24212	-0.16186	0.21609	0.06613	-0.26771	-0.11015
CLIGUTM	0.4656	0.3564	0.3330	0.5211	0.4215	0.8077	0.3161	0.6847
	18	18	18	18	16	16	16	16
NI	0.39727	0.73072	0.35192	0.41093	0.71059	0.34167	0.29147	-0.25044
NI	0.1026	0.0006	0.1521	0.0903	0.0020	0.1952	0.2734	0.3495
	18	18	18	18	16	16	16	16
NF	-0.18907	0.22308	0.16246	-0.17194	0.29127	-0.07043	-0.19176	-0.42255
NF	0.4524	0.3736	0.5195	0.4951	0.2737	0.7955	0.4768	0.1030
	18	18	18	18	16	16	16	16
NU	0.67238	0.75324	0.39566	0.68255	0.69486	0.40623	0.55239	-0.15953
NU	0.0022	0.0003	0.1041	0.0018	0.0028	0.1184	0.0265	0.5551
	18	18	18	18	16	16	16	16
NR	0.70914	0.77973	0.24246	0.70446	0.73589	0.66773	0.60456	0.24205
NR	0.0010	0.0001	0.3324	0.0011	0.0012	0.0047	0.0131	0.3664
	18	18	18	18	16	16	16	16
NRI	0.62152	0.58499	0.15698	0.61236	0.53519	0.59402	0.53937	0.36453
NRI	0.0059	0.0108	0.5339	0.0069	0.0327	0.0153	0.0311	0.1651
	18	18	18	18	16	16	16	16
EFIC	0.48943	0.45097	0.00956	0.47371	0.46009	0.46767	0.49095	0.21835
EFIC	0.0393	0.0603	0.9700	0.0471	0.0729	0.0677	0.0535	0.4165
	18	18	18	18	16	16	16	16

Anexo II: Coeficientes de Correlação de Pearson – Capítulo IV

The CORR Procedure

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15

Prob > |r| sob H0: Rho=0

	TRAT	VACA	AMO	BMO	CMO	ABMO	LagMO	DE02MO	DE03MO
TRAT	1.00000	0.00000	0.14077	-0.04520	-0.16924	-0.01435	-0.32376	-0.03684	-0.02551
TRAT		1.00000	0.6168	0.8729	0.5465	0.9595	0.2391	0.8963	0.9281
VACA	0.00000	1.00000	0.00001	0.06043	0.60829	0.06834	0.18967	0.44741	0.48301
VACA	1.00000		1.00000	0.8306	0.0161	0.8088	0.4984	0.0945	0.0682
AMO	0.14077	0.00001	1.00000	-0.58743	0.37141	-0.40310	0.23281	0.21285	0.29635
AMO	0.6168	1.00000		0.0213	0.1729	0.1363	0.4037	0.4463	0.2835
BMO	-0.04520	0.06043	-0.58743	1.00000	0.18002	0.97740	0.30756	0.52411	0.43630
BMO	0.8729	0.8306	0.0213		0.5209	<.0001	0.2648	0.0449	0.1040
CMO	-0.16924	0.60829	0.37141	0.18002	1.00000	0.30059	0.83065	0.90056	0.93132
CMO	0.5465	0.0161	0.1729	0.5209		0.2763	0.0001	<.0001	<.0001
ABMO	-0.01435	0.06834	-0.40310	0.97740	0.30059	1.00000	0.40860	0.64828	0.57079
ABMO	0.9595	0.8088	0.1363	<.0001	0.2763		0.1305	0.0090	0.0263
LagMO	-0.32376	0.18967	0.23281	0.30756	0.83065	0.40860	1.00000	0.82885	0.82237
LagMO	0.2391	0.4984	0.4037	0.2648	0.0001	0.1305		0.0001	0.0002
DE02MO	-0.03684	0.44741	0.21285	0.52411	0.90056	0.64828	0.82885	1.00000	0.99439
DE02MO	0.8963	0.0945	0.4463	0.0449	<.0001	0.0090	0.0001		<.0001
DE03MO	-0.02551	0.48301	0.29635	0.43630	0.93132	0.57079	0.82237	0.99439	1.00000
DE03MO	0.9281	0.0682	0.2835	0.1040	<.0001	0.0263	0.0002	<.0001	
DE05MO	0.00733	0.51476	0.41509	0.31330	0.94728	0.46271	0.78582	0.96825	0.98903
DE05MO	0.9793	0.0496	0.1239	0.2555	<.0001	0.0824	0.0005	<.0001	<.0001
AMS	-0.17641	0.00000	0.94968	-0.56971	0.42281	-0.39620	0.33390	0.22329	0.30272
AMS	0.5294	1.00000	<.0001	0.0266	0.1164	0.1437	0.2239	0.4237	0.2728
BMS	-0.00520	0.08124	-0.51771	0.99192	0.24466	0.98648	0.37918	0.59481	0.51027
BMS	0.9853	0.7735	0.0481	<.0001	0.3795	<.0001	0.1634	0.0193	0.0520
CMS	-0.16881	0.61419	0.37417	0.16382	0.99835	0.28299	0.81292	0.88909	0.92200
CMS	0.5476	0.0149	0.1695	0.5596	<.0001	0.3068	0.0002	<.0001	<.0001
ABMS	-0.05501	0.09051	-0.31175	0.94608	0.39054	0.98844	0.51560	0.72496	0.65294
ABMS	0.8456	0.7484	0.2580	<.0001	0.1501	<.0001	0.0492	0.0022	0.0083
LagMS	-0.37058	0.21848	0.22861	0.30250	0.85968	0.40179	0.99032	0.83556	0.83249
LagMS	0.1739	0.4340	0.4125	0.2731	<.0001	0.1377	<.0001	0.0001	0.0001

The CORR Procedure

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15

Prob > |r| sob H0: Rho=0

	DE05MO	AMS	BMS	CMS	ABMS	LagMS	DE02MS	DE03MS	DE05MS
TRAT	0.00733	-0.17641	-0.00520	-0.16881	-0.05501	-0.37058	-0.08909	-0.08876	-0.08186
TRAT	0.9793	0.5294	0.9853	0.5476	0.8456	0.1739	0.7522	0.7531	0.7718
VACA	0.51476	0.00000	0.08124	0.61419	0.09051	0.21848	0.43706	0.46931	0.49461
VACA	0.0496	1.0000	0.7735	0.0149	0.7484	0.4340	0.1033	0.0776	0.0609
AMO	0.41509	0.94968	-0.51771	0.37417	-0.31175	0.22861	0.24388	0.32419	0.43995
AMO	0.1239	<.0001	0.0481	0.1695	0.2580	0.4125	0.3811	0.2385	0.1008
BMO	0.31330	-0.56971	0.99192	0.16382	0.94608	0.30250	0.49577	0.40817	0.28419
BMO	0.2555	0.0266	<.0001	0.5596	<.0001	0.2731	0.0602	0.1309	0.3046
CMO	0.94728	0.42281	0.24466	0.99835	0.39054	0.85968	0.91166	0.94086	0.95682
CMO	<.0001	0.1164	0.3795	<.0001	0.1501	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
ABMO	0.46271	-0.39620	0.98648	0.28299	0.98844	0.40179	0.62434	0.54625	0.43629
ABMO	0.0824	0.1437	<.0001	0.3068	<.0001	0.1377	0.0129	0.0351	0.1040
LagMO	0.78582	0.33390	0.37918	0.81292	0.51560	0.99032	0.84923	0.84417	0.81581
LagMO	0.0005	0.2239	0.1634	0.0002	0.0492	<.0001	<.0001	<.0001	0.0002
DE02MO	0.96825	0.22329	0.59481	0.88909	0.72496	0.83556	0.99767	0.98926	0.96015
DE02MO	<.0001	0.4237	0.0193	<.0001	0.0022	0.0001	<.0001	<.0001	<.0001
DE03MO	0.98903	0.30272	0.51027	0.92200	0.65294	0.83249	0.99454	0.99707	0.98263
DE03MO	<.0001	0.2728	0.0520	<.0001	0.0083	0.0001	<.0001	<.0001	<.0001
DE05MO	1.00000	0.41038	0.39093	0.94092	0.55003	0.79954	0.97127	0.98842	0.99488
DE05MO		0.1287	0.1496	<.0001	0.0336	0.0003	<.0001	<.0001	<.0001
AMS	0.41038	1.00000	-0.51305	0.42542	-0.29252	0.34454	0.27067	0.35041	0.46332
AMS	0.1287		0.0505	0.1139	0.2901	0.2086	0.3292	0.2004	0.0820
BMS	0.39093	-0.51305	1.00000	0.22483	0.97089	0.36403	0.56728	0.48210	0.36089
BMS	0.1496	0.0505		0.4205	<.0001	0.1822	0.0274	0.0688	0.1863
CMS	0.94092	0.42542	0.22483	1.00000	0.36919	0.84828	0.89982	0.93122	0.94990
CMS	<.0001	0.1139	0.4205		0.1757	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
ABMS	0.55003	-0.29252	0.97089	0.36919	1.00000	0.50169	0.70751	0.63487	0.53134
ABMS	0.0336	0.2901	<.0001	0.1757		0.0567	0.0032	0.0110	0.0415
LagMS	0.79954	0.34454	0.36403	0.84828	0.50169	1.00000	0.85692	0.85578	0.83133
LagMS	0.0003	0.2086	0.1822	<.0001	0.0567		<.0001	<.0001	0.0001

The CORR Procedure

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15

Prob > |r| sob H0: Rho=0

	AFDN	BFDN	CFDN	ABFDN	LagFDN	DE02FDN	DE03FDN	DE05FDN	AFDA
TRAT	0.50608	-0.10016	0.00232	-0.07954	0.43669	-0.13753	-0.15088	-0.17896	-0.53977
TRAT	0.0543	0.7225	0.9934	0.7781	0.1036	0.6250	0.5914	0.5234	0.0378
VACA	-0.32529	-0.01442	0.69076	-0.02809	-0.08790	0.41798	0.45766	0.48822	-0.12376
VACA	0.2368	0.9593	0.0044	0.9208	0.7554	0.1211	0.0863	0.0648	0.6603
AMO	0.00452	-0.35465	0.30158	-0.35633	-0.63040	0.15194	0.21794	0.29695	0.23254
AMO	0.9873	0.1946	0.2747	0.1924	0.0118	0.5888	0.4352	0.2825	0.4043
BMO	-0.24422	0.90966	0.23459	0.90425	0.37996	0.56019	0.48489	0.39086	-0.53585
BMO	0.3804	<.0001	0.4000	<.0001	0.1624	0.0299	0.0670	0.1497	0.0395
CMO	-0.33957	0.33676	0.93549	0.32435	-0.51624	0.89074	0.92647	0.95489	-0.16258
CMO	0.2156	0.2197	<.0001	0.2382	0.0488	<.0001	<.0001	<.0001	0.5626
ABMO	-0.27500	0.93604	0.34405	0.92949	0.26502	0.67317	0.60526	0.51956	-0.54522
ABMO	0.3212	<.0001	0.2092	<.0001	0.3398	0.0059	0.0168	0.0471	0.0356
LagMO	-0.22668	0.54426	0.68181	0.53766	-0.54829	0.85969	0.86355	0.86143	-0.10361
LagMO	0.4166	0.0359	0.0051	0.0387	0.0343	<.0001	<.0001	<.0001	0.7133
DE02MO	-0.33073	0.65571	0.87823	0.64535	-0.31971	0.99216	0.99040	0.97445	-0.35352
DE02MO	0.2286	0.0080	<.0001	0.0094	0.2454	<.0001	<.0001	<.0001	0.1961
DE03MO	-0.32938	0.57880	0.90691	0.56809	-0.37217	0.97979	0.98775	0.98292	-0.31805
DE03MO	0.2306	0.0238	<.0001	0.0272	0.1719	<.0001	<.0001	<.0001	0.2480
DE05MO	-0.32063	0.46691	0.92469	0.45597	-0.42950	0.94262	0.96300	0.97274	-0.27077
DE05MO	0.2440	0.0793	<.0001	0.0876	0.1101	<.0001	<.0001	<.0001	0.3290
AMS	-0.15566	-0.32089	0.29910	-0.32908	-0.76492	0.19459	0.26443	0.35186	0.40196
AMS	0.5796	0.2436	0.2788	0.2310	0.0009	0.4871	0.3409	0.1984	0.1375
BMS	-0.23559	0.92637	0.30135	0.92141	0.32410	0.62604	0.55288	0.45989	-0.53169
BMS	0.3980	<.0001	0.2751	<.0001	0.2386	0.0125	0.0325	0.0846	0.0414
CMS	-0.33480	0.32016	0.93213	0.30786	-0.51241	0.87844	0.91565	0.94586	-0.16450
CMS	0.2226	0.2447	<.0001	0.2643	0.0508	<.0001	<.0001	<.0001	0.5580
ABMS	-0.30589	0.94249	0.41918	0.93467	0.14762	0.75175	0.68973	0.61053	-0.48016
ABMS	0.2675	<.0001	0.1199	<.0001	0.5996	0.0012	0.0044	0.0156	0.0701
LagMS	-0.27686	0.52547	0.71029	0.51667	-0.54999	0.86891	0.87711	0.87985	-0.09416
LagMS	0.3178	0.0443	0.0030	0.0486	0.0337	<.0001	<.0001	<.0001	0.7385

The CORR Procedure

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15

Prob > |r| sob H0: Rho=0

	BFDA	CFDA	ABFDA	LagFDA	DE02FDA	DE03FDA	DE05FDA	aPB	bPB
TRAT	-0.00080	-0.27649	-0.03276	0.19117	-0.25901	-0.29566	-0.34702	0.42476	-0.46012
TRAT	0.9977	0.3185	0.9077	0.4949	0.3513	0.2847	0.2051	0.1145	0.0844
VACA	-0.04789	0.02334	-0.05731	-0.20608	0.42045	0.44693	0.44940	0.01458	0.12164
VACA	0.8654	0.9342	0.8392	0.4612	0.1186	0.0949	0.0928	0.9589	0.6658
AMO	-0.46393	0.26824	-0.47049	-0.45100	0.29401	0.40792	0.51088	0.94321	-0.43499
AMO	0.0815	0.3337	0.0767	0.0915	0.2875	0.1312	0.0516	<.0001	0.1051
BMO	0.80072	-0.50894	0.80408	-0.05293	0.38948	0.22663	0.05374	-0.53037	0.43148
BMO	0.0003	0.0527	0.0003	0.8514	0.1513	0.4166	0.8492	0.0420	0.1083
CMO	0.13861	-0.07935	0.13506	-0.56236	0.90319	0.89680	0.85379	0.26511	0.30775
CMO	0.6223	0.7786	0.6313	0.0291	<.0001	<.0001	<.0001	0.3396	0.2645
ABMO	0.78431	-0.50547	0.78640	-0.17765	0.51723	0.36283	0.19421	-0.35340	0.37432
ABMO	0.0005	0.0546	0.0005	0.5265	0.0483	0.1838	0.4880	0.1963	0.1693
LagMO	0.29842	-0.11674	0.30535	-0.47509	0.86549	0.81487	0.73385	0.07132	0.34530
LagMO	0.2800	0.6786	0.2684	0.0735	<.0001	0.0002	0.0018	0.8006	0.2075
DE02MO	0.39347	-0.23992	0.38978	-0.48971	0.94213	0.87598	0.77020	0.17496	0.30621
DE02MO	0.1468	0.3891	0.1509	0.0639	<.0001	<.0001	0.0008	0.5328	0.2670
DE03MO	0.32022	-0.19808	0.31543	-0.51725	0.94591	0.89650	0.80672	0.25364	0.27032
DE03MO	0.2446	0.4791	0.2521	0.0483	<.0001	<.0001	0.0003	0.3617	0.3298
DE05MO	0.21635	-0.14110	0.20980	-0.54686	0.93049	0.90462	0.83827	0.37267	0.20091
DE05MO	0.4387	0.6159	0.4530	0.0349	<.0001	<.0001	<.0001	0.1713	0.4728
AMS	-0.46101	0.35417	-0.45742	-0.50886	0.37426	0.49911	0.61772	0.80337	-0.28690
AMS	0.0837	0.1953	0.0865	0.0527	0.1693	0.0582	0.0141	0.0003	0.2999
BMS	0.77784	-0.48048	0.78044	-0.06420	0.46359	0.30306	0.12653	-0.45582	0.39623
BMS	0.0006	0.0698	0.0006	0.8202	0.0818	0.2722	0.6532	0.0877	0.1437
CMS	0.12858	-0.08251	0.12448	-0.56964	0.88980	0.88621	0.84695	0.26739	0.31036
CMS	0.6479	0.7700	0.6585	0.0266	<.0001	<.0001	<.0001	0.3353	0.2602
ABMS	0.73791	-0.43646	0.74181	-0.21352	0.62090	0.47690	0.31334	-0.28363	0.36136
ABMS	0.0017	0.1038	0.0015	0.4448	0.0135	0.0723	0.2555	0.3056	0.1857
LagMS	0.28698	-0.11490	0.29397	-0.51113	0.87570	0.83213	0.75946	0.05285	0.39891
LagMS	0.2997	0.6835	0.2875	0.0515	<.0001	0.0001	0.0010	0.8516	0.1408

The CORR Procedure

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15
 Prob > |r| sob H0: Rho=0

	CPB	ABPB	DE02PB	DE03PB	DE05PB
TRAT	-0.13433	-0.21727	-0.35668	-0.20192	-0.00764
TRAT	0.6332	0.4367	0.1919	0.4705	0.9784
VACA	-0.12961	0.15469	0.21123	0.14618	0.07351
VACA	0.6452	0.5820	0.4498	0.6032	0.7946
AMO	-0.40675	0.20981	0.50423	0.57822	0.65896
AMO	0.1324	0.4530	0.0553	0.0240	0.0075
BMO	0.05922	0.10252	-0.19348	-0.28663	-0.38506
BMO	0.8340	0.7162	0.4896	0.3003	0.1564
CMO	-0.54423	0.56633	0.37418	0.25667	0.14163
CMO	0.0360	0.0277	0.1694	0.3558	0.6146
ABMO	-0.03928	0.17073	-0.08710	-0.17311	-0.26332
ABMO	0.8895	0.5429	0.7576	0.5373	0.3430
LagMO	-0.67222	0.46208	0.09142	-0.04757	-0.17444
LagMO	0.0060	0.0829	0.7459	0.8663	0.5341
DE02MO	-0.54546	0.49540	0.20236	0.09486	-0.00373
DE02MO	0.0355	0.0604	0.4695	0.7367	0.9895
DE03MO	-0.56332	0.51337	0.25632	0.15570	0.06384
DE03MO	0.0288	0.0503	0.3565	0.5795	0.8212
DE05MO	-0.57239	0.52272	0.33001	0.24527	0.16894
DE05MO	0.0258	0.0456	0.2296	0.3783	0.5472
AMS	-0.36190	0.27734	0.61416	0.63876	0.65757
AMS	0.1850	0.3169	0.0149	0.0104	0.0077
BMS	-0.05522	0.11808	-0.22403	-0.31463	-0.40417
BMS	0.8450	0.6751	0.4222	0.2534	0.1351
CMS	-0.52499	0.57115	0.39331	0.27654	0.16095
CMS	0.0445	0.0262	0.1470	0.3184	0.5666
ABMS	-0.16250	0.20894	-0.07820	-0.17227	-0.26677
ABMS	0.5628	0.4549	0.7818	0.5393	0.3365
LagMS	-0.61032	0.51116	0.17753	0.02865	-0.11390
LagMS	0.0157	0.0515	0.5267	0.9193	0.6861

The CORR Procedure

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15

Prob > |r| sob H0: Rho=0

	TRAT	VACA	AMO	BMO	CMO	ABMO	LagMO	DE02MO	DE03MO
DE02MS	-0.08909	0.43706	0.24388	0.49577	0.91166	0.62434	0.84923	0.99767	0.99454
DE02MS	0.7522	0.1033	0.3811	0.0602	<.0001	0.0129	<.0001	<.0001	<.0001
DE03MS	-0.08876	0.46931	0.32419	0.40817	0.94086	0.54625	0.84417	0.98926	0.99707
DE03MS	0.7531	0.0776	0.2385	0.1309	<.0001	0.0351	<.0001	<.0001	<.0001
DE05MS	-0.08186	0.49461	0.43995	0.28419	0.95682	0.43629	0.81581	0.96015	0.98263
DE05MS	0.7718	0.0609	0.1008	0.3046	<.0001	0.1040	0.0002	<.0001	<.0001
AFDN	0.50608	-0.32529	0.00452	-0.24422	-0.33957	-0.27500	-0.22668	-0.33073	-0.32938
AFDN	0.0543	0.2368	0.9873	0.3804	0.2156	0.3212	0.4166	0.2286	0.2306
BFDN	-0.10016	-0.01442	-0.35465	0.90966	0.33676	0.93604	0.54426	0.65571	0.57880
BFDN	0.7225	0.9593	0.1946	<.0001	0.2197	<.0001	0.0359	0.0080	0.0238
CFDN	0.00232	0.69076	0.30158	0.23459	0.93549	0.34405	0.68181	0.87823	0.90691
CFDN	0.9934	0.0044	0.2747	0.4000	<.0001	0.2092	0.0051	<.0001	<.0001
ABFDN	-0.07954	-0.02809	-0.35633	0.90425	0.32435	0.92949	0.53766	0.64535	0.56809
ABFDN	0.7781	0.9208	0.1924	<.0001	0.2382	<.0001	0.0387	0.0094	0.0272
LagFDN	0.43669	-0.08790	-0.63040	0.37996	-0.51624	0.26502	-0.54829	-0.31971	-0.37217
LagFDN	0.1036	0.7554	0.0118	0.1624	0.0488	0.3398	0.0343	0.2454	0.1719
DE02FDN	-0.13753	0.41798	0.15194	0.56019	0.89074	0.67317	0.85969	0.99216	0.97979
DE02FDN	0.6250	0.1211	0.5888	0.0299	<.0001	0.0059	<.0001	<.0001	<.0001
DE03FDN	-0.15088	0.45766	0.21794	0.48489	0.92647	0.60526	0.86355	0.99040	0.98775
DE03FDN	0.5914	0.0863	0.4352	0.0670	<.0001	0.0168	<.0001	<.0001	<.0001
DE05FDN	-0.17896	0.48822	0.29695	0.39086	0.95489	0.51956	0.86143	0.97445	0.98292
DE05FDN	0.5234	0.0648	0.2825	0.1497	<.0001	0.0471	<.0001	<.0001	<.0001
AFDA	-0.53977	-0.12376	0.23254	-0.53585	-0.16258	-0.54522	-0.10361	-0.35352	-0.31805
AFDA	0.0378	0.6603	0.4043	0.0395	0.5626	0.0356	0.7133	0.1961	0.2480
BFDA	-0.00080	-0.04789	-0.46393	0.80072	0.13861	0.78431	0.29842	0.39347	0.32022
BFDA	0.9977	0.8654	0.0815	0.0003	0.6223	0.0005	0.2800	0.1468	0.2446
CFDA	-0.27649	0.02334	0.26824	-0.50894	-0.07935	-0.50547	-0.11674	-0.23992	-0.19808
CFDA	0.3185	0.9342	0.3337	0.0527	0.7786	0.0546	0.6786	0.3891	0.4791
ABFDA	-0.03276	-0.05731	-0.47049	0.80408	0.13506	0.78640	0.30535	0.38978	0.31543
ABFDA	0.9077	0.8392	0.0767	0.0003	0.6313	0.0005	0.2684	0.1509	0.2521

The CORR Procedure

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15

Prob > |r| sob H0: Rho=0

	DE05M0	AMS	BMS	CMS	ABMS	LagMS	DE02MS	DE03MS	DE05MS
DE02MS	0.97127	0.27067	0.56728	0.89982	0.70751	0.85692	1.00000	0.99462	0.96986
DE02MS	<.0001	0.3292	0.0274	<.0001	0.0032	<.0001		<.0001	<.0001
DE03MS	0.98842	0.35041	0.48210	0.93122	0.63487	0.85578	0.99462	1.00000	0.98969
DE03MS	<.0001	0.2004	0.0688	<.0001	0.0110	<.0001	<.0001		<.0001
DE05MS	0.99488	0.46332	0.36089	0.94990	0.53134	0.83133	0.96986	0.98969	1.00000
DE05MS	<.0001	0.0820	0.1863	<.0001	0.0415	0.0001	<.0001	<.0001	
AFDN	-0.32063	-0.15566	-0.23559	-0.33480	-0.30589	-0.27686	-0.35477	-0.35670	-0.35666
AFDN	0.2440	0.5796	0.3980	0.2226	0.2675	0.3178	0.1945	0.1919	0.1919
BFDN	0.46691	-0.32089	0.92637	0.32016	0.94249	0.52547	0.63948	0.56353	0.45381
BFDN	0.0793	0.2436	<.0001	0.2447	<.0001	0.0443	0.0103	0.0287	0.0893
CFDN	0.92469	0.29910	0.30135	0.93213	0.41918	0.71029	0.87733	0.90190	0.91374
CFDN	<.0001	0.2788	0.2751	<.0001	0.1199	0.0030	<.0001	<.0001	<.0001
ABFDN	0.45597	-0.32908	0.92141	0.30786	0.93467	0.51667	0.62803	0.55160	0.44130
ABFDN	0.0876	0.2310	<.0001	0.2643	<.0001	0.0486	0.0122	0.0330	0.0996
LagFDN	-0.42950	-0.76492	0.32410	-0.51241	0.14762	-0.54999	-0.36954	-0.42507	-0.49462
LagFDN	0.1101	0.0009	0.2386	0.0508	0.5996	0.0337	0.1752	0.1142	0.0609
DE02FDN	0.94262	0.19459	0.62604	0.87844	0.75175	0.86891	0.99382	0.97986	0.94247
DE02FDN	<.0001	0.4871	0.0125	<.0001	0.0012	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
DE03FDN	0.96300	0.26443	0.55288	0.91565	0.68973	0.87711	0.99526	0.99096	0.96610
DE03FDN	<.0001	0.3409	0.0325	<.0001	0.0044	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
DE05FDN	0.97274	0.35186	0.45989	0.94586	0.61053	0.87985	0.98404	0.99101	0.98133
DE05FDN	<.0001	0.1984	0.0846	<.0001	0.0156	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
AFDA	-0.27077	0.40196	-0.53169	-0.16450	-0.48016	-0.09416	-0.30169	-0.26131	-0.19911
AFDA	0.3290	0.1375	0.0414	0.5580	0.0701	0.7385	0.2745	0.3468	0.4768
BFDA	0.21635	-0.46101	0.77784	0.12858	0.73791	0.28698	0.36534	0.29358	0.19026
BFDA	0.4387	0.0837	0.0006	0.6479	0.0017	0.2997	0.1805	0.2882	0.4970
CFDA	-0.14110	0.35417	-0.48048	-0.08251	-0.43646	-0.11490	-0.20262	-0.15985	-0.09636
CFDA	0.6159	0.1953	0.0698	0.7700	0.1038	0.6835	0.4689	0.5693	0.7326
ABFDA	0.20980	-0.45742	0.78044	0.12448	0.74181	0.29397	0.36349	0.29098	0.18682
ABFDA	0.4530	0.0865	0.0006	0.6585	0.0015	0.2875	0.1829	0.2927	0.5050

The CORR Procedure

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15

Prob > |r| sob H0: Rho=0

	AFDN	BFDN	CFDN	ABFDN	LagFDN	DE02FDN	DE03FDN	DE05FDN	AFDA
DE02MS	-0.35477	0.63948	0.87733	0.62803	-0.36954	0.99382	0.99526	0.98404	-0.30169
DE02MS	0.1945	0.0103	<.0001	0.0122	0.1752	<.0001	<.0001	<.0001	0.2745
DE03MS	-0.35670	0.56353	0.90190	0.55160	-0.42507	0.97986	0.99096	0.99101	-0.26131
DE03MS	0.1919	0.0287	<.0001	0.0330	0.1142	<.0001	<.0001	<.0001	0.3468
DE05MS	-0.35666	0.45381	0.91374	0.44130	-0.49462	0.94247	0.96610	0.98133	-0.19911
DE05MS	0.1919	0.0893	<.0001	0.0996	0.0609	<.0001	<.0001	<.0001	0.4768
AFDN	1.00000	-0.14657	-0.39848	-0.10557	0.15098	-0.36269	-0.37811	-0.39118	-0.30034
AFDN		0.6022	0.1412	0.7081	0.5912	0.1840	0.1646	0.1494	0.2767
BFDN	-0.14657	1.00000	0.26995	0.99915	0.09816	0.68844	0.61756	0.53341	-0.56273
BFDN	0.6022		0.3305	<.0001	0.7278	0.0045	0.0142	0.0406	0.0290
CFDN	-0.39848	0.26995	1.00000	0.25473	-0.29031	0.85647	0.88972	0.90744	-0.15485
CFDN	0.1412	0.3305		0.3596	0.2939	<.0001	<.0001	<.0001	0.5816
ABFDN	-0.10557	0.99915	0.25473	1.00000	0.10498	0.67692	0.60502	0.51988	-0.57824
ABFDN	0.7081	<.0001	0.3596		0.7096	0.0056	0.0169	0.0470	0.0239
LagFDN	0.15098	0.09816	-0.29031	0.10498	1.00000	-0.33707	-0.39640	-0.47739	-0.42082
LagFDN	0.5912	0.7278	0.2939	0.7096		0.2192	0.1435	0.0719	0.1183
DE02FDN	-0.36269	0.68844	0.85647	0.67692	-0.33707	1.00000	0.99510	0.97666	-0.29720
DE02FDN	0.1840	0.0045	<.0001	0.0056	0.2192		<.0001	<.0001	0.2820
DE03FDN	-0.37811	0.61756	0.88972	0.60502	-0.39640	0.99510	1.00000	0.99291	-0.24935
DE03FDN	0.1646	0.0142	<.0001	0.0169	0.1435	<.0001		<.0001	0.3701
DE05FDN	-0.39118	0.53341	0.90744	0.51988	-0.47739	0.97666	0.99291	1.00000	-0.18750
DE05FDN	0.1494	0.0406	<.0001	0.0470	0.0719	<.0001	<.0001		0.5034
AFDA	-0.30034	-0.56273	-0.15485	-0.57824	-0.42082	-0.29720	-0.24935	-0.18750	1.00000
AFDA	0.2767	0.0290	0.5816	0.0239	0.1183	0.2820	0.3701	0.5034	
BFDA	-0.00624	0.83460	0.07210	0.83874	0.38060	0.40404	0.33202	0.24788	-0.75291
BFDA	0.9824	0.0001	0.7985	<.0001	0.1617	0.1353	0.2267	0.3731	0.0012
CFDA	-0.26563	-0.58638	0.02009	-0.60056	-0.35698	-0.20652	-0.15476	-0.09665	0.92887
CFDA	0.3386	0.0216	0.9433	0.0179	0.1915	0.4602	0.5818	0.7319	<.0001
ABFDA	-0.02428	0.83785	0.06610	0.84125	0.37237	0.40414	0.33181	0.24764	-0.72671
ABFDA	0.9316	<.0001	0.8150	<.0001	0.1717	0.1352	0.2270	0.3735	0.0021

The CORR Procedure

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15

Prob > |r| sob H0: Rho=0

	BFDA	CFDA	ABFDA	LagFDA	DE02FDA	DE03FDA	DE05FDA	aPB	bPB
DE02MS	0.36534	-0.20262	0.36349	-0.50727	0.95887	0.90074	0.80349	0.18747	0.30655
DE02MS	0.1805	0.4689	0.1829	0.0536	<.0001	<.0001	0.0003	0.5035	0.2664
DE03MS	0.29358	-0.15985	0.29098	-0.53641	0.96189	0.92056	0.83979	0.25983	0.27547
DE03MS	0.2882	0.5693	0.2927	0.0393	<.0001	<.0001	<.0001	0.3497	0.3204
DE05MS	0.19026	-0.09636	0.18682	-0.56985	0.94956	0.93242	0.87635	0.36817	0.21512
DE05MS	0.4970	0.7326	0.5050	0.0266	<.0001	<.0001	<.0001	0.1769	0.4413
AFDN	-0.00624	-0.26563	-0.02428	0.23472	-0.44565	-0.48769	-0.52335	0.15194	-0.38526
AFDN	0.9824	0.3386	0.9316	0.3998	0.0959	0.0652	0.0453	0.5888	0.1562
BFDN	0.83460	-0.58638	0.83785	-0.27362	0.52345	0.35539	0.17848	-0.35945	0.31592
BFDN	0.0001	0.0216	<.0001	0.3237	0.0452	0.1936	0.5245	0.1882	0.2513
CFDN	0.07210	0.02009	0.06610	-0.38979	0.87626	0.87845	0.83448	0.27691	0.31950
CFDN	0.7985	0.9433	0.8150	0.1509	<.0001	<.0001	0.0001	0.3177	0.2457
ABFDN	0.83874	-0.60056	0.84125	-0.26526	0.50759	0.33689	0.15756	-0.35499	0.30149
ABFDN	<.0001	0.0179	<.0001	0.3393	0.0534	0.2195	0.5749	0.1942	0.2748
LagFDN	0.38060	-0.35698	0.37237	0.32779	-0.45991	-0.55307	-0.63012	-0.40849	0.01203
LagFDN	0.1617	0.1915	0.1717	0.2330	0.0845	0.0325	0.0118	0.1306	0.9661
DE02FDN	0.40404	-0.20652	0.40414	-0.45856	0.95664	0.88882	0.78160	0.08934	0.37928
DE02FDN	0.1353	0.4602	0.1352	0.0856	<.0001	<.0001	0.0006	0.7515	0.1632
DE03FDN	0.33202	-0.15476	0.33181	-0.47743	0.96890	0.91790	0.82635	0.14465	0.36932
DE03FDN	0.2267	0.5818	0.2270	0.0719	<.0001	<.0001	0.0001	0.6070	0.1755
DE05FDN	0.24788	-0.09665	0.24764	-0.50287	0.97063	0.93970	0.86830	0.20677	0.35109
DE05FDN	0.3731	0.7319	0.3735	0.0561	<.0001	<.0001	<.0001	0.4597	0.1994
AFDA	-0.75291	0.92887	-0.72671	0.33002	-0.03844	0.12466	0.28096	0.08573	0.05009
AFDA	0.0012	<.0001	0.0021	0.2296	0.8918	0.6580	0.3104	0.7613	0.8593
BFDA	1.00000	-0.85526	0.99924	-0.39224	0.21054	0.01746	-0.15599	-0.42425	0.23303
BFDA		<.0001	<.0001	0.1482	0.4513	0.9508	0.5788	0.1150	0.4032
CFDA	-0.85526	1.00000	-0.83775	0.48054	0.03305	0.20315	0.34592	0.20038	0.04009
CFDA	<.0001		<.0001	0.0698	0.9069	0.4677	0.2066	0.4740	0.8872
ABFDA	0.99924	-0.83775	1.00000	-0.38989	0.21749	0.02560	-0.14620	-0.43775	0.24620
ABFDA	<.0001	<.0001		0.1508	0.4362	0.9279	0.6031	0.1027	0.3764

The CORR Procedure

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15

Prob > |r| sob H0: Rho=0

	CPB	ABPB	DE02PB	DE03PB	DE05PB
DE02MS	-0.55478	0.50539	0.23290	0.12132	0.01697
DE02MS	0.0318	0.0546	0.4035	0.6667	0.9521
DE03MS	-0.56856	0.52419	0.29001	0.18387	0.08429
DE03MS	0.0270	0.0449	0.2944	0.5118	0.7652
DE05MS	-0.57541	0.53603	0.36939	0.27570	0.18736
DE05MS	0.0248	0.0394	0.1754	0.3199	0.5037
AFDN	-0.09034	-0.33808	-0.43073	-0.32193	-0.18533
AFDN	0.7488	0.2178	0.1090	0.2419	0.5084
BFDN	-0.16148	0.09720	-0.14692	-0.24287	-0.34314
BFDN	0.5653	0.7304	0.6013	0.3831	0.2105
CFDN	-0.50188	0.58924	0.29879	0.20488	0.12157
CFDN	0.0566	0.0208	0.2794	0.4639	0.6660
ABFDN	-0.16610	0.08359	-0.16568	-0.25759	-0.35269
ABFDN	0.5541	0.7671	0.5551	0.3540	0.1973
LagFDN	0.52557	-0.29894	-0.35719	-0.28460	-0.21597
LagFDN	0.0442	0.2791	0.1912	0.3039	0.4395
DE02FDN	-0.53760	0.51598	0.18599	0.05977	-0.05914
DE02FDN	0.0387	0.0490	0.5069	0.8324	0.8342
DE03FDN	-0.55276	0.54663	0.23996	0.11417	-0.00466
DE03FDN	0.0326	0.0350	0.3890	0.6854	0.9868
DE05FDN	-0.56035	0.57274	0.30895	0.18409	0.06485
DE05FDN	0.0298	0.0256	0.2625	0.5113	0.8184
AFDA	-0.12023	0.12481	0.09349	0.06679	0.04492
AFDA	0.6695	0.6576	0.7403	0.8131	0.8737
BFDA	0.17261	-0.05027	-0.08492	-0.13765	-0.21007
BFDA	0.5385	0.8588	0.7635	0.6247	0.4524
CFDA	-0.27683	0.20091	-0.02524	-0.03596	-0.02212
CFDA	0.3179	0.4728	0.9289	0.8988	0.9376
ABFDA	0.17305	-0.04509	-0.08311	-0.13973	-0.21661
ABFDA	0.5374	0.8732	0.7684	0.6194	0.4381

The CORR Procedure

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15

Prob > |r| sob H0: Rho=0

	TRAT	VACA	AMO	BMO	CMO	ABMO	LagMO	DE02MO	DE03MO
LagFDA	0.19117	-0.20608	-0.45100	-0.05293	-0.56236	-0.17765	-0.47509	-0.48971	-0.51725
LagFDA	0.4949	0.4612	0.0915	0.8514	0.0291	0.5265	0.0735	0.0639	0.0483
DE02FDA	-0.25901	0.42045	0.29401	0.38948	0.90319	0.51723	0.86549	0.94213	0.94591
DE02FDA	0.3513	0.1186	0.2875	0.1513	<.0001	0.0483	<.0001	<.0001	<.0001
DE03FDA	-0.29566	0.44693	0.40792	0.22663	0.89680	0.36283	0.81487	0.87598	0.89650
DE03FDA	0.2847	0.0949	0.1312	0.4166	<.0001	0.1838	0.0002	<.0001	<.0001
DE05FDA	-0.34702	0.44940	0.51088	0.05374	0.85379	0.19421	0.73385	0.77020	0.80672
DE05FDA	0.2051	0.0928	0.0516	0.8492	<.0001	0.4880	0.0018	0.0008	0.0003
aPB	0.42476	0.01458	0.94321	-0.53037	0.26511	-0.35340	0.07132	0.17496	0.25364
aPB	0.1145	0.9589	<.0001	0.0420	0.3396	0.1963	0.8006	0.5328	0.3617
bPB	-0.46012	0.12164	-0.43499	0.43148	0.30775	0.37432	0.34530	0.30621	0.27032
bPB	0.0844	0.6658	0.1051	0.1083	0.2645	0.1693	0.2075	0.2670	0.3298
cPB	-0.13433	-0.12961	-0.40675	0.05922	-0.54423	-0.03928	-0.67222	-0.54546	-0.56332
cPB	0.6332	0.6452	0.1324	0.8340	0.0360	0.8895	0.0060	0.0355	0.0288
ABPB	-0.21727	0.15469	0.20981	0.10252	0.56633	0.17073	0.46208	0.49540	0.51337
ABPB	0.4367	0.5820	0.4530	0.7162	0.0277	0.5429	0.0829	0.0604	0.0503
DE02PB	-0.35668	0.21123	0.50423	-0.19348	0.37418	-0.08710	0.09142	0.20236	0.25632
DE02PB	0.1919	0.4498	0.0553	0.4896	0.1694	0.7576	0.7459	0.4695	0.3565
DE03PB	-0.20192	0.14618	0.57822	-0.28663	0.25667	-0.17311	-0.04757	0.09486	0.15570
DE03PB	0.4705	0.6032	0.0240	0.3003	0.3558	0.5373	0.8663	0.7367	0.5795
DE05PB	-0.00764	0.07351	0.65896	-0.38506	0.14163	-0.26332	-0.17444	-0.00373	0.06384
DE05PB	0.9784	0.7946	0.0075	0.1564	0.6146	0.3430	0.5341	0.9895	0.8212

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15

Prob > |r| sob H0: Rho=0

	DE05MO	AMS	BMS	CMS	ABMS	LagMS	DE02MS	DE03MS	DE05MS
LagFDA	-0.54686	-0.50886	-0.06420	-0.56964	-0.21352	-0.51113	-0.50727	-0.53641	-0.56985
LagFDA	0.0349	0.0527	0.8202	0.0266	0.4448	0.0515	0.0536	0.0393	0.0266
DE02FDA	0.93049	0.37426	0.46359	0.88980	0.62090	0.87570	0.95887	0.96189	0.94956
DE02FDA	<.0001	0.1693	0.0818	<.0001	0.0135	<.0001	<.0001	<.0001	<.0001
DE03FDA	0.90462	0.49911	0.30306	0.88621	0.47690	0.83213	0.90074	0.92056	0.93242
DE03FDA	<.0001	0.0582	0.2722	<.0001	0.0723	0.0001	<.0001	<.0001	<.0001

The CORR Procedure

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15

Prob > |r| sob H0: Rho=0

	DE05MO	AMS	BMS	CMS	ABMS	LagMS	DE02MS	DE03MS	DE05MS
DE05FDA	0.83827	0.61772	0.12653	0.84695	0.31334	0.75946	0.80349	0.83979	0.87635
DE05FDA	<.0001	0.0141	0.6532	<.0001	0.2555	0.0010	0.0003	<.0001	<.0001
aPB	0.37267	0.80337	-0.45582	0.26739	-0.28363	0.05285	0.18747	0.25983	0.36817
aPB	0.1713	0.0003	0.0877	0.3353	0.3056	0.8516	0.5035	0.3497	0.1769
bPB	0.20091	-0.28690	0.39623	0.31036	0.36136	0.39891	0.30655	0.27547	0.21512
bPB	0.4728	0.2999	0.1437	0.2602	0.1857	0.1408	0.2664	0.3204	0.4413
cPB	-0.57239	-0.36190	-0.05522	-0.52499	-0.16250	-0.61032	-0.55478	-0.56856	-0.57541
cPB	0.0258	0.1850	0.8450	0.0445	0.5628	0.0157	0.0318	0.0270	0.0248
ABPB	0.52272	0.27734	0.11808	0.57115	0.20894	0.51116	0.50539	0.52419	0.53603
ABPB	0.0456	0.3169	0.6751	0.0262	0.4549	0.0515	0.0546	0.0449	0.0394
DE02PB	0.33001	0.61416	-0.22403	0.39331	-0.07820	0.17753	0.23290	0.29001	0.36939
DE02PB	0.2296	0.0149	0.4222	0.1470	0.7818	0.5267	0.4035	0.2944	0.1754
DE03PB	0.24527	0.63876	-0.31463	0.27654	-0.17227	0.02865	0.12132	0.18387	0.27570
DE03PB	0.3783	0.0104	0.2534	0.3184	0.5393	0.9193	0.6667	0.5118	0.3199
DE05PB	0.16894	0.65757	-0.40417	0.16095	-0.26677	-0.11390	0.01697	0.08429	0.18736
DE05PB	0.5472	0.0077	0.1351	0.5666	0.3365	0.6861	0.9521	0.7652	0.5037

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15

Prob > |r| sob H0: Rho=0

	AFDN	BFDN	CFDN	ABFDN	LagFDN	DE02FDN	DE03FDN	DE05FDN	AFDA
LagFDA	0.23472	-0.27362	-0.38979	-0.26526	0.32779	-0.45856	-0.47743	-0.50287	0.33002
LagFDA	0.3998	0.3237	0.1509	0.3393	0.2330	0.0856	0.0719	0.0561	0.2296
DE02FDA	-0.44565	0.52345	0.87626	0.50759	-0.45991	0.95664	0.96890	0.97063	-0.03844
DE02FDA	0.0959	0.0452	<.0001	0.0534	0.0845	<.0001	<.0001	<.0001	0.8918
DE03FDA	-0.48769	0.35539	0.87845	0.33689	-0.55307	0.88882	0.91790	0.93970	0.12466
DE03FDA	0.0652	0.1936	<.0001	0.2195	0.0325	<.0001	<.0001	<.0001	0.6580
DE05FDA	-0.52335	0.17848	0.83448	0.15756	-0.63012	0.78160	0.82635	0.86830	0.28096
DE05FDA	0.0453	0.5245	0.0001	0.5749	0.0118	0.0006	0.0001	<.0001	0.3104
aPB	0.15194	-0.35945	0.27691	-0.35499	-0.40849	0.08934	0.14465	0.20677	0.08573
aPB	0.5888	0.1882	0.3177	0.1942	0.1306	0.7515	0.6070	0.4597	0.7613
bPB	-0.38526	0.31592	0.31950	0.30149	0.01203	0.37928	0.36932	0.35109	0.05009
bPB	0.1562	0.2513	0.2457	0.2748	0.9661	0.1632	0.1755	0.1994	0.8593

The CORR Procedure

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15

Prob > |r| sob H0: Rho=0

	AFDN	BFDN	CFDN	ABFDN	LagFDN	DE02FDN	DE03FDN	DE05FDN	AFDA
cPB	-0.09034	-0.16148	-0.50188	-0.16610	0.52557	-0.53760	-0.55276	-0.56035	-0.12023
cPB	0.7488	0.5653	0.0566	0.5541	0.0442	0.0387	0.0326	0.0298	0.6695
ABPB	-0.33808	0.09720	0.58924	0.08359	-0.29894	0.51598	0.54663	0.57274	0.12481
ABPB	0.2178	0.7304	0.0208	0.7671	0.2791	0.0490	0.0350	0.0256	0.6576
DE02PB	-0.43073	-0.14692	0.29879	-0.16568	-0.35719	0.18599	0.23996	0.30895	0.09349
DE02PB	0.1090	0.6013	0.2794	0.5551	0.1912	0.5069	0.3890	0.2625	0.7403
DE03PB	-0.32193	-0.24287	0.20488	-0.25759	-0.28460	0.05977	0.11417	0.18409	0.06679
DE03PB	0.2419	0.3831	0.4639	0.3540	0.3039	0.8324	0.6854	0.5113	0.8131
DE05PB	-0.18533	-0.34314	0.12157	-0.35269	-0.21597	-0.05914	-0.00466	0.06485	0.04492
DE05PB	0.5084	0.2105	0.6660	0.1973	0.4395	0.8342	0.9868	0.8184	0.8737

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15

Prob > |r| sob H0: Rho=0

	BFDA	CFDA	ABFDA	LagFDA	DE02FDA	DE03FDA	DE05FDA	aPB	bPB
LagFDA	-0.39224	0.48054	-0.38989	1.00000	-0.45623	-0.42760	-0.42165	-0.33055	0.19511
LagFDA	0.1482	0.0698	0.1508		0.0874	0.1119	0.1175	0.2288	0.4859
DE02FDA	0.21054	0.03305	0.21749	-0.45623	1.00000	0.97897	0.91723	0.20018	0.33766
DE02FDA	0.4513	0.9069	0.4362	0.0874		<.0001	<.0001	0.4744	0.2184
DE03FDA	0.01746	0.20315	0.02560	-0.42760	0.97897	1.00000	0.97844	0.29567	0.29236
DE03FDA	0.9508	0.4677	0.9279	0.1119	<.0001		<.0001	0.2846	0.2903
DE05FDA	-0.15599	0.34592	-0.14620	-0.42165	0.91723	0.97844	1.00000	0.37687	0.22636
DE05FDA	0.5788	0.2066	0.6031	0.1175	<.0001	<.0001		0.1661	0.4172
aPB	-0.42425	0.20038	-0.43775	-0.33055	0.20018	0.29567	0.37687	1.00000	-0.54160
aPB	0.1150	0.4740	0.1027	0.2288	0.4744	0.2846	0.1661		0.0370
bPB	0.23303	0.04009	0.24620	0.19511	0.33766	0.29236	0.22636	-0.54160	1.00000
bPB	0.4032	0.8872	0.3764	0.4859	0.2184	0.2903	0.4172	0.0370	
cPB	0.17261	-0.27683	0.17305	-0.00711	-0.60143	-0.61344	-0.57747	-0.39515	0.01640
cPB	0.5385	0.3179	0.5374	0.9799	0.0177	0.0150	0.0242	0.1449	0.9537
ABPB	-0.05027	0.20091	-0.04509	-0.02319	0.55184	0.57159	0.55596	0.12756	0.76468
ABPB	0.8588	0.4728	0.8732	0.9346	0.0329	0.0260	0.0314	0.6505	0.0009
DE02PB	-0.08492	-0.02524	-0.08311	-0.65492	0.25875	0.33245	0.42227	0.35527	0.06204
DE02PB	0.7635	0.9289	0.7684	0.0081	0.3517	0.2260	0.1169	0.1938	0.8262

The CORR Procedure

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15

Prob > |r| sob H0: Rho=0

	BFDA	CFDA	ABFDA	LagFDA	DE02FDA	DE03FDA	DE05FDA	aPB	bPB
DE03PB	-0.13765	-0.03596	-0.13973	-0.63539	0.13500	0.21628	0.31773	0.47470	-0.11702
DE03PB	0.6247	0.8988	0.6194	0.0109	0.6314	0.4388	0.2485	0.0738	0.6779
DE05PB	-0.21007	-0.02212	-0.21661	-0.57161	0.01910	0.10795	0.21744	0.61279	-0.29200
DE05PB	0.4524	0.9376	0.4381	0.0260	0.9461	0.7018	0.4363	0.0151	0.2910

Coeficientes de Correlação de Pearson, N = 15

Prob > |r| sob H0: Rho=0

	cPB	ABPB	DE02PB	DE03PB	DE05PB
LagFDA	-0.00711	-0.02319	-0.65492	-0.63539	-0.57161
LagFDA	0.9799	0.9346	0.0081	0.0109	0.0260
DE02FDA	-0.60143	0.55184	0.25875	0.13500	0.01910
DE02FDA	0.0177	0.0329	0.3517	0.6314	0.9461
DE03FDA	-0.61344	0.57159	0.33245	0.21628	0.10795
DE03FDA	0.0150	0.0260	0.2260	0.4388	0.7018
DE05FDA	-0.57747	0.55596	0.42227	0.31773	0.21744
DE05FDA	0.0242	0.0314	0.1169	0.2485	0.4363
aPB	-0.39515	0.12756	0.35527	0.47470	0.61279
aPB	0.1449	0.6505	0.1938	0.0738	0.0151
bPB	0.01640	0.76468	0.06204	-0.11702	-0.29200
bPB	0.9537	0.0009	0.8262	0.6779	0.2910
cPB	1.00000	-0.28356	0.35134	0.39163	0.37185
cPB		0.3058	0.1991	0.1488	0.1723
ABPB	-0.28356	1.00000	0.34553	0.22582	0.12523
ABPB	0.3058		0.2072	0.4184	0.6565
DE02PB	0.35134	0.34553	1.00000	0.97562	0.89645
DE02PB	0.1991	0.2072		<.0001	<.0001
DE03PB	0.39163	0.22582	0.97562	1.00000	0.97092
DE03PB	0.1488	0.4184	<.0001		<.0001
DE05PB	0.37185	0.12523	0.89645	0.97092	1.00000
DE05PB	0.1723	0.6565	<.0001	<.0001	