

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

**VALOR NUTRICIONAL DAS SILAGENS DO
HÍBRIDO DE SORGO BRS 610 EM QUATRO ESTÁDIOS**

OTAVIANO DE SOUZA PIRES NETO

**BELO HORIZONTE
2017**

Otaviano de Souza Pires Neto

**Valor nutricional das silagens do híbrido de sorgo
BRS 610 em quatro estádios**

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
Escola de Veterinária da UFMG
2017

Ficha catalográfica

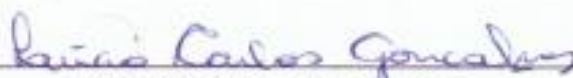
P667v Pires Neto, Otaviano de Souza, 1984-
Valor nutricional das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios / Otaviano de Souza Pires Neto. – 2017.
88 p. : il.

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

1. Sorgo – Silagem – Teses. 2. Silagem – Qualidade – Teses. 3. Valor nutricional – 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 em 16/02/2017, pela comissão examinadora constituída por:



Prof. Lúcio Carlos Gonçalves
(Orientador)



Dr. José Avelino Santos Rodrigues



Dr. Thierry Ribeiro Tomich



Prof. Alex de Matos Teixeira



Prof. Diogo Gonzaga Jayme

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais (Otaviano Jr. e Lucília) que foram fundamentais na conquista de mais essa etapa na minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus por me proporcionar essa oportunidade e por me acompanhar durante a caminhada.

Aos meus pais (Otaviano Jr. e Lucília) pela vida, amor imensurável, educação e ensinamentos fantásticos. Pelo exemplo de pai, mãe, filhos, tios, avós, em fim, cidadãos que são. Muito obrigado por ser filho de vocês.

Aos meus irmãos Felipe, Fabrício e Fabiano por torcerem pelo meu sucesso.

A Priscila, pela ajuda de sempre, incentivo, compreensão, companheirismo e amor.

Ao Professor Lúcio, pela confiança, oportunidade de trabalho e pelos constantes ensinamentos e conselhos para a vida profissional e pessoal, que além de orientador é um amigo.

Ao Dr. José Avelino (Piu), pela entrega constante na condução dos trabalhos e a irreverência nos momentos de distração.

Ao Professor Diogo pela amizade, prontidão em ajudar e ensinamentos contínuos.

Ao Thierry, que desde o início, ainda antes de eu entrar para o mestrado, até a finalização do doutorado, esteve de prontidão para auxiliar, ensinar e co-orientar.

Ao Diego Soares e André Moraes pela prontidão em ajudar e amizade.

Aos colegas de pós-graduação e alunos de iniciação científica que de alguma forma ajudaram na condução desse trabalho.

Aos professores da Escola de Veterinária, principalmente da pós-graduação em Zootecnia, que foram fundamentais na minha formação profissional e pessoal.

A secretaria de pós-graduação do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG.

Ao pessoal da copiadora pela amizade e presteza nos momentos necessários

Aos técnicos do laboratório de nutrição, principalmente Toninho e Carlos.

A EMBRAPA – Milho e Sorgo pela implantação do experimento no campo.

A EMBRAPA – Gado de Leite pela possibilidade de condução de uma parte desse trabalho.

A CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, pela concessão de bolsa de estudo.

Ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico, pelo financiamento do experimento.

SUMÁRIO

RESUMO.....	13
ABSTRACT	15

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL.....	17
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	18

CAPÍTULO II

REVISÃO DE LITERATURA.....	20
1. Composição de silagens de sorgo.....	20
2. Consumo voluntário e digestibilidade aparente.....	21
3. Partição da energia.....	22
4. Emissão de metano entérico.....	26
5. Avaliação <i>in situ</i> de silagens de sorgo.....	28
6. Avaliação <i>in vitro</i> de silagens de sorgo.....	30
CONSIDERAÇÕES FINAIS	32
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

CAPÍTULO III

PRODUÇÃO DE METANO, BALANÇO DE NITROGÊNIO E PARTIÇÃO ENERGÉTICA DE SILAGENS DO SORGO BRS 610 EM QUATRO ESTÁDIOS	
RESUMO.....	38
ABSTRACT	39
1. INTRODUÇÃO	40
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	41
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	45
4. CONCLUSÕES.....	54
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54

CAPÍTULO IV

DEGRADABILIDADE RUMINAL DA MATÉRIA SECA, PROTEÍNA BRUTA E FIBRA INSOLÚVEL EM DETERGENTE NEUTRO DAS SILAGENS DO HÍBRIDO DE SORGO BRS 610 EM QUATRO ESTÁDIOS

RESUMO.....	57
ABSTRACT	58
1. INTRODUÇÃO	59
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	60
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	64
4. CONCLUSÕES.....	71
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	71

CAPÍTULO V

CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO RUMINAL *IN VITRO* DAS SILAGENS DO HÍBRIDO DE SORGO BRS 610 EM QUATRO ESTÁDIOS

RESUMO	74
ABSTRACT	75
1. INTRODUÇÃO	76
2. MATERIAL E MÉTODOS.....	77
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	81
4. CONCLUSÕES.....	86
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86

CAPÍTULO VI

CONSIDERAÇÕES FINAIS	88
----------------------------	----

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO III

Tabela 1. Composição química das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação.....41

Tabela 2. Consumo voluntário e digestibilidade aparente de silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação46

Tabela 3. Utilização de nitrogênio por carneiros alimentados com silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação.....47

Tabela 4. Partição e eficiência energética das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação.....50

Tabela 5. Respirometria e produção de metano por carneiros alimentados com silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro idades.....52

Tabela 6. Teores de energia bruta (EB), energia digestível (ED), energia metabolizável (EM) e energia líquida (EL) em kcal/kg de matéria seca das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação.....53

CAPÍTULO IV

Tabela 1. Composição química das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação.....61

Tabela 2. Composição química da dieta dos animais utilizados na avaliação de degradabilidade *in situ* das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação62

Tabela 3. Valores médios de ácidos graxos voláteis e pH do fluido ruminal, coletados durante o período de avaliação, das três vacas utilizadas na avaliação *in situ* das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios63

Tabela 4. Parâmetros da degradação ruminal da matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação.....68

Tabela 5. Degradabilidade potencial (DP) e efetiva (DE) da matéria seca (MS), da proteína bruta (PB) e da fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 calculadas para taxas de passagem no rúmen de 2 e 5%/h70

CAPÍTULO V

Tabela 1. Composição química das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação.....78

Tabela 2. Médias dos parâmetros VF1 - Volume máximo de gases da fração de carboidratos não fibrosos (CNF); C1 - Taxa de degradação para a fração de CNF; VF2 - Volume máximo de gases da fração de carboidratos fibrosos (CF); C2 - Taxa de degradação para a fração de CF; L - Latência e R^2 - Coeficiente de Determinação, ajustados relativos à cinética de produção de gases dos CNF e dos CF no período de 96 horas referente as silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação.....84

Tabela 3. Degradabilidade efetiva (DE) da matéria seca (% da MS) e coeficiente de determinação (R^2) das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação dos grãos, nas taxas de passagens de 2, 5 e 8 %/h.....85

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II

Figura 1. Partição da energia no animal.....24

CAPÍTULO V

Figura 1. Desenho esquemático do transdutor de pressão acoplado a seringa para medir a pressão e o volume de gases produzido.....79

Figura 2. Gráfico da relação entre pressão e volume obtidos por meio da técnica *in vitro* de produção de gases.....82

RESUMO

Objetivou-se avaliar o consumo voluntário, a digestibilidade aparente, o balanço de nitrogênio, a partição energética, a cinética de degradação ruminal *in situ* e a fermentação *in vitro* das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação. Os consumos de matéria seca (MS) e matéria orgânica (MO) em g/kg de PV^{0,75}/dia apresentaram comportamento linear com o avançar da idade de corte das plantas para ensilagem. A digestibilidade aparente da MS e MO também apresentaram comportamento linear crescente. O nitrogênio ingerido (NI) e o nitrogênio fecal não foram diferentes entre as silagens dos diferentes estádios para ensilagem, o nitrogênio urinário apresentou redução linear, já o nitrogênio retido (NR) e a relação NR/NI apresentaram comportamento linear crescente. Os consumos de energia bruta, digestível, metabolizável e líquida em kcal/kg de PV^{0,75}/dia apresentaram comportamento linear crescente com a maturidade da planta. As perdas energéticas nas fezes e na urina apresentaram redução linear. Já as perdas energéticas na forma de metano (CH₄) e incremento calórico não apresentaram diferenças. As produções de CH₄ não foram diferentes entre as silagens. Na determinação dos parâmetros de degradação ruminal *in situ*, bem como a degradabilidade potencial e efetiva nas taxas de passagem de 2, 5 e 8 %/h, a silagem da planta aos 100 dias foi superior às demais, com valores de degradabilidade potencial da MS e da PB de 86,16 % e 84,17 %, respectivamente. Assim como na degradação efetiva da FDN, a silagem das plantas aos 100 dias se mostrou superior às demais, com valores de 27,09, 14,77 e 10,15 %, nas taxas de passagem 2, 5 e 8 %, respectivamente. A fração solúvel “a” da MS, teve o maior valor apresentado pela silagem das plantas aos 107 dias, ao passo que essa mesma fração da PB teve maior valor pela silagem da planta aos 100 dias de idade, com valores de 34,47 e 54,52 %, respectivamente. A fração insolúvel “b” com potencial de degradação, da MS e PB, teve os maiores valores observados nas silagens das plantas aos 100 e 121 dias, respectivamente, com valores de 55,23 e 39,18%. No entanto, as silagens das plantas aos 107 e 114 dias apresentaram maiores valores de fração “b” na degradação da FDN, com valores de 84,14 e 84,53 %, respectivamente. Ao avaliar as silagens *in vitro*, a silagem das plantas no estádio de grãos leitosos (100 dias) apresentou maior volume de gases da fração de carboidratos não fibrosos (VF1), com 40,2 mL/g de MS. Já os gases produzidos da fração fibrosa das quatro silagens se mostraram próximos, com valores entre de 68,0 a 71,0 mL/g de MS. Os altos coeficiente de determinação (R²), ambos acima de 0,96,

mostram que os resultados ajustaram bem ao modelo usado na avaliação. Na avaliação da degradabilidade efetiva (DE) da MS, a silagem da planta aos 100 dias se mostrou superior as demais, quando avaliada nas taxas de passagem de 2, 5 e 8 %/h, com valores de 40,18, 37,23 e 34,36 % da MS, respectivamente. O híbrido de sorgo BRS 610 deve ser cortado, para ensilagem, a partir dos 107 dias (Grão pastoso), pois é de melhor qualidade nutricional, ao ser utilizado por ovinos.

Palavras-chave: Forragem. Silagem de sorgo. Valor nutritivo. Estádio de maturação.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the voluntary intake, apparent digestibility, nitrogen balance, energetic partitioning, ruminal degradation kinetics (*in situ*) and fermentation of BRS 610 sorghum hybrid silages (*in vitro*) at four maturation stages. The intakes of dry matter (DM) and organic matter (OM) in g/kg of PV^{0.75}/day showed a linear behavior with the advancement of the cutting age of the plants for ensiling. The apparent digestibility of DM and MO also showed increasing linear behavior. Ingested nitrogen (IN) and fecal nitrogen were not different among silages of different stages of silage, urinary nitrogen presented a linear reduction, while retained nitrogen (RN) and NR / NI ratio presented increasing linear behavior. The consumption of crude, digestible, metabolizable and liquid energy in kcal/kg of PV^{0.75}/day showed an increasing linear behavior with the maturity of the plant. Energy losses in faeces and urine presented linear reduction. However, the energy losses in the form of methane (CH₄) and caloric increment did not present differences. The CH₄ productions were not different among the silages. In the determination of ruminal degradation parameters (*in situ*), as well as the potential and effective degradability in the rates of passage of 2, 5 and 8%/h, the plant silage at 100 days was superior to the others, with potential DM degradability values and BP of 86.16% and 84.17%, respectively. As with the effective degradation of NDF, plant silage at 100 days was higher than the others, with values of 27.09, 14.77 and 10.15% in the rates of passage of 2, 5 and 8%, respectively. The soluble fraction "a" of DM had the highest value presented by plant silage at 107 days, whereas that same fraction of PB had higher value by plant silage at 100 days of age, with values of 34.47 and 54.52%, respectively. The insoluble fraction "b" with degradation potential of DM and PB had the highest values observed in plant silages at 100 and 121 days, respectively, with values of 55.23 and 39.18%. However, plant silages at 107 and 114 days presented higher values of "b" fraction in the degradation of NDF, with values of 84.14 and 84.53%, respectively. When evaluating silages *in vitro*, plant silage in the (milky grain stage) (100 days) presented a higher volume of gases from non - fibrous carbohydrate fraction (VF1), with 40.2 mL / g DM. The gases produced from the fibrous fraction of the four silages were shown to be close, with values ranging from 68.0 to 71.0 mL / g of DM. The high coefficient of determination (R²), both above 0.96, show that the results fit well with the model used in the evaluation. In the evaluation of the effective degradability (ED) of the DM, the silage

of the plant at 100 days was superior to the others, when evaluated in the rates of passage of 2, 5 and 8% / h, with values of 40,18, 37,23 and 34.36% of DM, respectively. The sorghum hybrid BRS 610 must be cut for silage from 107 days (Grain pasty), because it is of better nutritional quality, when used by sheep.

Keywords: Forage. Sorghum silage. Nutritive value. Maturity stage.

CAPÍTULO I

INTRODUÇÃO GERAL

A cultura do sorgo [*Sorghum bicolor* (L) Moench] apresenta ampla versatilidade, podendo ser empregada, entre outras finalidades, para a produção de grãos e de volumosos para alimentação animal. Por ser resistente às estiagens, a espécie apresenta potencial para produção de forragem sob condições de baixas precipitações durante o ciclo de produção. Esta característica corresponde a um dos fatores que tem promovido a expansão da cultura do sorgo no Brasil.

Com valor nutritivo da forragem próximo ao do milho (85% a 95%), o uso do sorgo na forma de silagem é favorecido por apresentar altos níveis de carboidratos solúveis, capacidade tamponante relativamente baixa, conteúdo de matéria seca acima de 20% e estrutura física que favorece a compactação durante o enchimento do silo (Gonçalves et al., 2005).

Existe uma grande variabilidade entre a composição de nutrientes nos diferentes híbridos de sorgo. Estas variações ocorrem devido, principalmente, a diferentes proporções entre colmo, folhas e panícula, mas também devido a diferenças no valor nutritivo destas frações. Faria Júnior (2008) encontrou valores de proteína bruta de 3,64; 11,10 e 9,89% e de fibra em detergente neutro de 79,2; 69,25 e 40,77% no colmo, folha e panícula, respectivamente, do sorgo BRS-610, comprovando a importância da proporção das partes da planta sobre o valor nutritivo da silagem.

Entre os métodos empregados para a conservação de alimentos volumosos para ruminantes, a ensilagem destaca-se como processo que possibilita a adequada conservação de várias espécies forrageiras e a produção de alimento com boa qualidade nutricional (McDonald et al., 1991). A cultura do sorgo têm sido estudada e indicada para este propósito, pois, em regra, produz silagem de boa qualidade sem a necessidade do uso de aditivos ou tratamento prévio da forragem antes de ser ensilada. Para uma mesma espécie forrageira, a aptidão para a conservação do material ensilado e o valor nutritivo da silagem produzida depende, fundamentalmente, da cultivar utilizada e do estágio de maturação das plantas no momento da ensilagem (Araújo et al., 2007).

A composição em nutrientes, o consumo voluntário e o aproveitamento dos componentes nutricionais determinam o valor nutritivo dos alimentos. Segundo Minson e Milford (1967), a deficiência de nutrientes específicos na dieta poderá limitar seu consumo pelos

animais. Já conforme Van Soest (1994), o consumo representa um dos fatores mais importantes associados à produção animal. Enquanto para Minson (1990), o coeficiente de digestibilidade é um dos principais parâmetros para se qualificar um alimento volumoso, pois fornece a informação do aproveitamento das diversas frações nutritivas. Assim sendo, estudos abordando a composição químico-bromatológica, o consumo e a digestibilidade são pré-requisitos para apontar os genótipos superiores em avaliação nos programas de melhoramento e seleção de forrageiras.

Ainda em relação ao valor nutritivo dos alimentos, de acordo do Nunes (1998), a determinação dos valores de energia líquida (EL) é importante por quantificar a energia utilizada do alimento para os processos metabólicos envolvidos na manutenção, gestação e produção animal. Atualmente, o sistema de conteúdo de EL é considerado o critério mais adequado e amplamente utilizado para expressar o valor energético dos alimentos e os requerimentos de energia dos animais.

Objetivou-se com esse trabalho avaliar e demonstrar a qualidade nutricional das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, V. L.; Rodriguez, N. M.; Gonçalves, L. C.; et al. Qualidade das silagens de três híbridos de sorgo ensilados em cinco diferentes estádios de maturação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, n.1, p.168-174, 2007.

Faria Júnior, W.G. **Avaliação agrônômica e nutricional do híbrido de sorgo BRS-610 [Sorghum bicolor (L.) Moench] e de suas silagens em oito idades de corte**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Veterinária, UFMG, Belo Horizonte, MG. 102p. 2008.

Gonçalves, L.C.; Pires, D. A.A; Castro, G.H.D. Algumas considerações sobre silagens de sorgo. IN: III SIMPÓSIO DE NUTRIÇÃO DE GADO DE LEITE, 2005. Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte, 2005. p.5-18.

McDonald, P.; Henderson, A.R.; Heron, S. **The biochemistry of silage**. 2.ed. Marlow: Chalcombe Publications, 1991. 340p.

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, p.546-551, 1967.

Nunes, I. J. **Nutrição animal básica**. 2.ed. Belo Horizonte: FEP-MVZ, 1998. 388p.

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

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Composição de silagens de sorgo

O avançar da maturação da planta é responsável por alterações na qualidade da silagem produzida, oscilações nos teores de matéria seca (MS), das frações fibrosas, carboidratos não fibrosos (CNF) e da digestibilidade da silagem produzida. Com isso é muito importante avaliar em qual fase o sorgo concentra as melhores condições para produção de silagem de boa qualidade nutricional. Segundo McDonald et al., (1991), o teor de MS da planta é importante no processo de ensilagem, uma vez que este é fator determinante do tipo de fermentação que irá se desenvolver dentro do silo.

Araújo et al. (2007) ao avaliarem as silagens dos híbridos BR700, BR701 e MASSA 03, em cinco estádios de maturação, perceberam que os teores de MS aumentaram com o avanço do estágio de maturação para os três híbridos. Já as frações fibrosas e digestibilidade *in vitro* da MS não variaram com a maturidade. Aumentos da porcentagem dos componentes fibrosos, à medida que a planta envelhece são, em geral, inversamente correlacionados com a digestibilidade, resultando em redução do valor nutritivo (Van Soest, 1994). No entanto, Araújo et al. (2007) não detectaram incrementos nos teores de fibra insolúvel em detergente neutro (FDN), fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) e lignina com o avanço do estágio de maturação, possivelmente em razão da compensação entre a tendência de aumento da participação de panícula e redução da participação de colmos e folhas.

Quanto maior a qualidade da silagem maior será o conteúdo energético. Parte da FDN é digerida no rúmen, sendo que, em níveis altos esta tende a diminuir o ritmo de degradação do alimento, diminuindo a taxa de passagem e reduzindo o consumo voluntário de MS.

Faria Júnior (2008) ao avaliar as silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em sete estádios de maturação encontrou ampla variação na composição bromatológica, uma vez que as avaliações partiram dos grãos leitosos até os grãos secos. Os teores de MS foram os que apresentaram maiores amplitudes, com valores indo de 19,86% a 47,31%. Os teores de PB também oscilaram, mas em menores proporções, com valores médios indo de 5,99% a 7,27%, já os teores de frações fibrosas pouco variaram com o avançar da maturação da planta. A digestibilidade *in vitro* da MS apresentou redução linear com o avançar da maturidade. O efeito do estágio de maturação sobre a digestibilidade é variável em diferentes materiais em decorrência da variação na proporção das partes de colmo, folha

e panícula na planta e pelas diferenças entre os valores nutricionais dessas frações, o que interfere na qualidade final das silagens de sorgo.

Consumo voluntário e digestibilidade aparente

O consumo de alimentos é fundamental para nutrição, pois determina a quantidade de nutrientes ingeridos e, conseqüentemente, o desempenho animal. O aumento da disponibilidade da forragem permite maior seletividade, com maior ingestão de alimentos. Assim, o valor nutritivo de um volumoso é determinado em função da sua contribuição energética para atender as necessidades energéticas diárias do animal e da quantidade consumida espontaneamente (Van Soest, 1994).

O consumo é controlado por estímulos de fome e saciedade, que são controlados por mecanismos neuro-humorais. Os mecanismos homeostáticos que coordenam o consumo buscam assegurar a manutenção do peso vivo e as reservas teciduais durante a vida adulta. Os mecanismos homeorréticos ajustam o consumo para atender as exigências específicas de vários estágios fisiológicos, como crescimento, prenhez e lactação. O apetite é uma função dos requerimentos energéticos, determinados pelo potencial genético ou pela condição fisiológica do animal (Mertens, 1994).

Há, basicamente, dois mecanismos de regulação do consumo voluntário: o fisiológico, onde a regulação é dada pelo balanço nutricional e o físico, relacionado com a capacidade de distensão do rúmen do animal (Mertens, 1994).

O consumo e a digestibilidade estão correlacionados entre si, dependendo da qualidade e do balanceamento da ração. Ao inverso do que ocorre com rações de baixa qualidade (acima de 75% de FDN), em rações de alta digestibilidade, ricas em concentrados e com baixo teor de FDN (abaixo de 25%), quanto mais digestivo o alimento, menor o consumo (Van Soest, 1994).

A determinação da digestibilidade *in vivo* é mais realística que a obtida por métodos laboratoriais (Barbi et al., 1995). Segundo Minson (1990) o coeficiente de digestibilidade é um dos principais parâmetros para se avaliar um volumoso, pois fornece uma noção do aproveitamento das diversas frações do alimento. Sanches (1985) citou que fatores como a qualidade da dieta, nível de consumo, tempo de retenção da digesta, ciclo de ruminação e taxa de fermentação ruminal interferem na digestibilidade, estando todos estes fatores associados.

Dietas com baixos teores de proteína bruta (PB) podem limitar a digestão dos nutrientes por deficiência de compostos nitrogenados para os microrganismos ruminais. Não só a concentração, mas a qualidade da proteína da dieta, pode alterar o mecanismo físico do consumo em ruminantes. Dietas com teor de PB inferior a 7% ou com baixa disponibilidade de nitrogênio podem reduzir a digestibilidade dos constituintes fibrosos da parede celular e restringir o consumo, como consequência da lenta passagem dos alimentos pelo rúmen (Van Soest, 1994).

A ingestão de matéria seca (MS) da silagem possui relação com a umidade da dieta, uma vez que a proporção de volumoso, associada aos maiores conteúdos de água, determina o espaço ocupado no rúmen e pode limitar o consumo pelo efeito da distensão ruminal, mas também pode favorecer queda na ingestão de MS em detrimento ao processo fermentativo na ensilagem não ter sido adequado. Desta forma Ferreira et al. (2009) propuseram que ao adicionar subproduto de abacaxi desidratado (SAD) na ensilagem do capim-elefante pode aumentar o consumo por melhorar o processo fermentativo e reduzir o teor de umidade das silagens, pois os dois eventos foram observados por esses autores.

Machado et al. (2011) ao avaliarem silagens dos híbridos de sorgo BRS 610, BRS 655 e BRS 700 em três estádios de maturação, por meio de consumo e digestibilidade aparente por ovinos, encontraram valores médios de 45,90 a 59,99 g de MS/UTM e 48,53 a 56,67% respectivamente. Não encontraram diferenças ($P>0,05$) nos consumos de MS/UTM e nas digestibilidades aparentes da MS (DAMS) entre os híbridos e nem entre os estádios de maturação. O avanço do estágio de maturação não promoveu variação na DAMS, o que sugere que o acúmulo de amido nos grãos de sorgo compensou a queda na qualidade da parte vegetativa das plantas.

Já Teixeira et al. (2014) que, ao também avaliarem silagens dos híbridos de sorgo BRS 610, BRS 655 e (ATF54 A × CMSXS 235 R), em apenas uma idade de corte, também em ovinos, encontraram consumos de MS superiores, com valores médios de 58,94 a 62,09 g de MS/UTM, assim como as DAMS encontradas por esses autores também foram superiores aos de Machado et al. (2011), com valores médios variando de 55,22 a 58,20%.

Partição da energia

Para determinar a eficiência do uso de energia, as perdas de energia que ocorrem via fezes, urina, metano e de calor devem ser medidos. Em estudos de metabolismo de energia, o calor produzido pelos animais é medida como produção de calor total, que

inclui o calor utilizado para a manutenção e desperdiçado como incremento calórico. A calorimetria indireta é o método mais comumente utilizado para determinar a produção de CH₄ e a produção de calor em estudos do metabolismo energético nos países desenvolvidos. A introdução de estudos de calorimetria indireta em condições tropicais é importante para avanços conceituais na avaliação de volumosos, permitindo uma análise mais precisa da utilização e otimização do desempenho dos ruminantes (Rodriguez et al., 2007).

A energia não é considerada um nutriente ou uma porção física do alimento da qual pode-se fazer uma análise de laboratório para determinar a quantidade disponível no alimento, mas sim um parâmetro químico que pode ser mensurado. No entanto, o conhecimento do valor energético de um alimento é importante para o bom desempenho dos ruminantes, e merece atenção especial dos nutricionistas no que diz respeito às exigências do animal e à disponibilidade nos alimentos. Os carboidratos, proteínas e lipídeos dos alimentos agem como combustível para os processos vitais dos seres vivos, e cada um desses nutrientes apresenta diferente potencial de gerar energia na combustão (Resende et al., 2006).

A energia é liberada do alimento após complexos processos metabólicos, sendo que os constituintes orgânicos das dietas são sensíveis à oxidação. Algumas moléculas não são oxidadas, mas são imediatamente reconstituídas em novas estruturas moleculares incorporadas aos tecidos dos animais (Lawrence e Fowler, 1997).

Ao longo do processo de digestão e metabolização, parte significativa da energia é perdida nas fezes, na urina, ou na forma de gases decorrentes do processo de fermentação. Da energia restante, parte é utilizada pelo animal para manutenção da sua homeostase ou gasta nos processos de digestão e absorção, e parte é transformada sob a forma de produto animal.

Como o fluxo de energia pelo organismo animal obedece à lei de conservação da energia, a quantidade de energia contida no alimento é equivalente ao somatório da perda energética fecal, urinária e gasosa, da produção de calor e da energia recuperada.

A energia é representada a partir das seguintes formas: energia bruta (EB), energia digestível (ED), energia metabolizável (EM) e energia líquida (EL) (Figura 1).

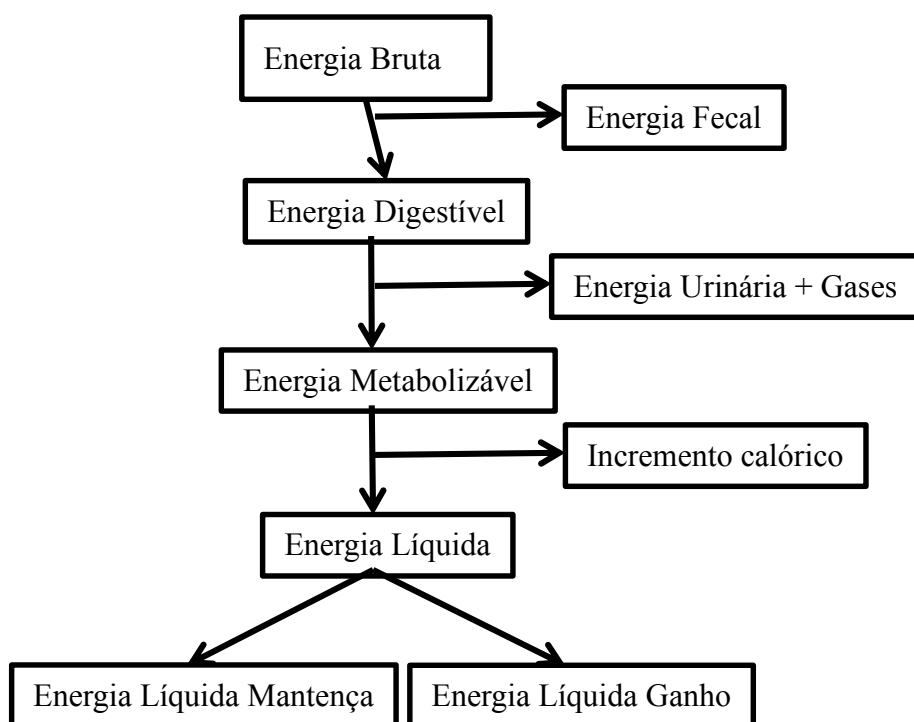


Figura 1. Partição da energia no animal (Adaptado de Ferrel, 1988).

O conhecimento da metabolizabilidade (q), que é definida como a relação entre a energia metabolizável e a energia bruta do alimento, faz-se necessário, uma vez que existe relação entre esse parâmetro e a concentração dos nutrientes da ração. O que tem sido observado é que, com o aumento da concentração de fibra, diminui a metabolizabilidade do alimento (Resende et al., 2006).

Atualmente, o sistema de conteúdo de energia líquida (EL) é considerado o critério mais adequado e amplamente utilizado para expressar os requerimentos de energia dos animais e o valor energético dos alimentos. Nesse sistema, deduz-se do conteúdo de energia metabolizável (EM) as perdas energéticas na forma de calor, geradas no processo de fermentação ruminal e no metabolismo dos produtos procedentes da fermentação/digestão. Assim, a eficiência de utilização da EM para manutenção pode ser expressa como K_m , que é a relação entre a energia líquida para manutenção e a energia metabolizável para manutenção (Resende et al., 2006).

Machado et al. (2015) ao realizarem a partição energética das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em três estádios de maturação dos grãos (Leitoso, pastoso e farináceo) encontraram valores de energia líquida de 1.146, 1.696 e 1.433 Mcal/kg de MS respectivamente. Mostrando, que, por ser material muito fibroso houve grande perda de

energia durante os processos de digestão e metabolização, visto que as energias brutas foram de 3.758, 4.208 e 4.555 Mcal/kg de MS das silagens, respectivamente.

A calorimetria, mensuração da produção de calor, poder ser realizada de forma direta ou indireta. A calorimetria direta é relativamente simples na teoria, porém bastante difícil na prática. Ela 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). Contudo, devido à complexidade dos calorímetros diretos, especialmente para uso com grandes ruminantes, a maioria dos métodos calorimétricos utilizados a partir da segunda metade do século XX tem sido a calorimetria indireta (Resende et al., 2011).

A calorimetria indireta ou respirometria é baseada no princípio de que a produção de calor metabólico é resultado da oxidação de compostos orgânicos. Caso estes compostos fossem oxidados completamente, a produção de calor poderia ser calculada pela quantidade de oxigênio consumido e gás carbônico produzido. Mas, outras formas de perda de calor devem ser consideradas como as perdas proteicas via urina, sendo a ureia o principal composto bem como da fermentação anaeróbica, a qual produz gases combustíveis, principalmente, o metano, devendo dessa maneira, ser também computada no cálculo (Resende et al., 2011). Para o cálculo da produção de calor em ruminantes tem sido sugerida a equação de Brouwer (1965): $H \text{ (kj)} = 16,18 \times O_2 \text{ (L)} + 5,02 \times CO_2 \text{ (L)} - 5,99 \times Nu \text{ (g)} - 2,17 \times CH_4 \text{ (L)}$; onde H é a produção de calor, Nu é o nitrogênio urinário. Através da relação entre a quantidade de gás carbônico produzido e o oxigênio consumido é possível identificar qual substrato está sendo metabolizado pelo animal. Esta relação ($CO_2:O_2$) é referida como quociente respiratório (QR), sendo descrito valores de 0,7; 0,8 e 1,0 para gordura, proteína e carboidrato, respectivamente (Diener, 1997).

Para medir as trocas gasosas pode-se utilizar câmaras de respiração com circuito aberto ou fechado. Nesta última, o ar é recirculado dentro da câmara, porém, enquanto o CO_2 é retido em absorventes (hidróxido de sódio ou potássio), novas quantidades de O_2 são adicionadas. Neste caso, CO_2 produzido é determinado diretamente pela diferença de peso dos absorventes antes e depois do experimento, enquanto que o O_2 consumido pelo animal é determinado pela mensuração do volume adicionado no sistema (Chwalibog, 2004).

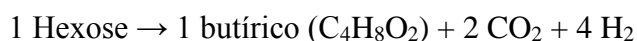
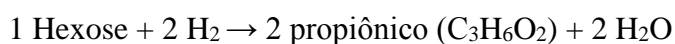
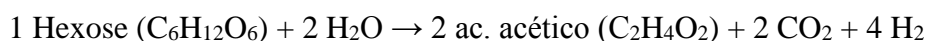
Por outro lado, nas câmaras de circuito aberto, o ar externo passa através da câmara sendo amostrado na entrada e na saída e suas composições são analisadas. Conhecendo-se o fluxo de ar que passa através da câmara e as concentrações dos gases, é possível determinar as quantidades de CO₂ e CH₄ produzidas e a quantidade de O₂ consumida (Resende et al., 2011). Atualmente, os sistemas utilizam analisadores de gases eletrônicos, com alta precisão e as suas descrições são encontradas em Rodríguez et al., (2007).

Emissão de metano entérico

As emissões de metano (CH₄) pelos ruminantes tem sido medidas em estudos tradicionais de fermentação ruminal e balanço energético, e o CH₄ é considerado como um gás de efeito estufa (Mwenya et al., 2004). Além da sua contribuição para o aquecimento global, o CH₄ representa uma perda de energia para o animal, representando de 2% a 12% do consumo de energia bruta (Johnson e Johnson, 1995). Pelchen & Peters (1998), ao trabalharem com ovelhas, puderam observar uma perda de 7,22% da EB ingerida na forma de CH₄, ou o equivalente a 30,9 litros por dia.

A fermentação do alimento ingerido, no rúmen, é um processo anaeróbio efetuado pela população microbiana ruminal, em que os carboidratos fibrosos são convertidos em ácidos graxos de cadeia curta (AGVs), os quais são utilizados pelo animal como fonte de energia. As *Archaea* metanogênicas, presentes no rúmen, obtêm energia para seu crescimento ao utilizar H₂ para reduzir CO₂ e formar CH₄, o qual é eructado ou exalado para a atmosfera (Cottle et al., 2011). Os carboidratos (estruturais e não estruturais) são convertidos a piruvato que, posteriormente, seguem as rotas metabólicas para formação de AGVs como o ácido acético, propiônico e butírico, principalmente.

As reações envolvidas na formação de acetato e butirato são interrelacionadas e interconectivas, se dando a partir da acetil CoA. A formação do propionato possui duas vias de reação, na primeira existe a formação de oxaloacetato e succinato, e a segunda envolve a formação de acrilato. Segundo Hungate et al. (1970) para a síntese de acetato, propionato e butirato têm-se as seguintes reações:



Immig (1996) analisando estas reações observou que como resultado da produção dos AGVs (exceto o propionato) ocorre produção de hidrogênio em excesso, que precisa ser removido do rúmen para o processo de fermentação e crescimento microbiano continuar de forma eficiente.

Segundo Pedreira et al. (2009), a relação parede celular:conteúdo celular e a constituição da parede celular das plantas forrageiras são os principais fatores envolvidos na produção de CH₄. Nesse sentido, existe um comportamento diferente entre plantas forrageiras de clima tropical (C4) e de clima temperado (C3). As características das gramíneas C4 podem conduzir a diferentes interpretações quanto ao potencial de fornecimento de substrato para fermentações que geram CH₄ no rúmen. Estas forrageiras, por possuírem maiores proporções de fibra que as plantas de metabolismo C3 (Nelson e Moser, 1994), favorecem a fermentação acética, com maiores produções de CH₄ (g/dia).

Morgado et al. (2013) avaliaram o potencial de produção de gás CH₄ ao incubarem *in vitro* os ingredientes casca de soja, farelo de girassol, milho, polpa cítrica e silagem de milho. A silagem de milho e casca de soja foram os ingredientes de maior potencial e a polpa cítrica e o farelo de girassol os de menor potencial para produção de CH₄ em relação à matéria seca degradada, podendo ser considerados, entre os ingredientes avaliados, os de piores eficiências energéticas. Alimentos com alto teor de proteína bruta tendem a produzir menor quantidade de CH₄, pois o NH₄ resultante da degradação de fontes proteicas como farelo de oleaginosas podem combinar com o CO₂ que é o substrato para a produção de CH₄, resultando em menor produção, o que pode explicar a baixa produção de metano para o farelo de girassol. Segundo Santoso et al. (2009), o alto teor de FDN dos alimentos está relacionado com a alta produção de CH₄, devido à alta correlação positiva observada entre a produção de metano e o teor de FDN dos alimentos.

Machado et al. (2015) mensuraram as produções de CH₄ em carneiros alimentados com silagens dos híbridos de sorgo BRS 610, BRS 655 e BR 700 em três estádios de maturação. Não encontraram diferenças entre os híbridos nas produções de CH₄ em g/kg de MS, g/kg de MS digestível e g/kh de FDN digestível, no entanto entre os estádios de maturação foram detectadas diferenças, com as silagens de plantas mais maduras produzindo maiores quantidades de CH₄, ao analisar os nutrientes digestíveis.

A presença de taninos na dieta dos animais está relacionada a efeitos adversos, como fatores antinutricionais, que causam menor consumo de MS e reduzem a digestão de proteínas e fibras. No entanto, um efeito benéfico está associado aos taninos: a redução da emissão de metano ruminal (Makkar, 2003). Os taninos podem reduzir a digestão da fibra por meio da complexação com a lignocelulose e evitar a digestão microbiana, agir inibindo diretamente sobre os microrganismos celulolíticos ou ambos. Considerando-se que os taninos podem afetar diretamente as populações específicas de microrganismos no rúmen, McSweeney et al. (2001) encontraram que, apesar dos taninos presentes (2% - 3% na MS) terem reduzido a população de bactérias que digerem fibra, o efeito sobre o metabolismo dos microrganismos ruminais não foi suficiente para alterar a eficiência de síntese de proteína microbiana.

Avaliação *in situ* de silagens de sorgo

A qualidade da forragem ingerida e sua digestão pela microbiota ruminal está diretamente relacionada com o desempenho animal. Por meio da degradabilidade ruminal pode-se avaliar qual o nível de aproveitamento das forrageiras. A avaliação da digestibilidade de uma forrageira, tem como objetivo satisfazer dois interesses básicos: a necessidade de se comparar diferentes forrageiras considerando-se que as mais digestíveis apresentarão melhor retorno econômico/produtivo pelos animais que as consumiram.

Os ensaios de digestibilidade pelo método *in vivo* têm sido utilizados para a determinação da digestibilidade aparente dos alimentos. Porém, esta técnica não descreve a diferenciação entre a degradação ruminal e a digestão pós-ruminal dos alimentos (Huntington e Gives, 1995).

O estudo *in situ* com sacos de náilon possibilita a determinação da degradabilidade de alimentos e seus diversos componentes nutricionais. Esta técnica tem sido muito utilizada na avaliação de alimentos para os ruminantes, devido à facilidade e rapidez de execução. Além disso, Huntington e Givens (1995) citam observações na literatura de correlações significativas entre o método *in situ* e *in vivo*.

A adoção desta metodologia, 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 metodologia de estimativa da degradação *in situ* está baseada na permanência do material incubado no rúmen em vários tempos, aplicando-se um modelo não linear nos dados de desaparecimento obtidos. O modelo de Ørskov e McDonald (1979) é o mais utilizado para descrever a degradação potencial do alimento. Estes mesmos autores propõem um modelo para se estimar a degradabilidade efetiva do alimento, considerando a taxa de passagem ruminal e incorporando as constantes da curva obtida no modelo de degradação potencial. Outros modelos estatísticos aplicados à avaliação da degradabilidade *in situ* foram revistos por Sampaio (1997).

Diversos fatores devem ser observados no momento da adoção da metodologia para que os erros possam ser minimizados. Um aspecto de grande importância é o material em que o alimento será incubado. Os materiais mais frequentemente utilizados para a confecção dos sacos são o poliéster, náilon e o dacron, sendo estes dois últimos os mais utilizados (Huntington e Gives, 1995). Além da composição, a estrutura do tecido também é importante. Sacos de tecidos monofilamentosos apresentam estrutura constante e porosidade uniforme (Marinucci et al., 1992).

A porosidade também é muito importante. Deve-se considerar uma porosidade adequada que permita a entrada dos microrganismos no interior dos sacos para a degradação do alimento, remoção dos produtos finais da degradação e redução das perdas de amostras não degradadas (Van Hellen e Ellis, 1977). Segundo Huntington e Givens (1995) a porosidade recomendada varia entre 30 e 50 μm . A porosidade do saco é condicionada principalmente pelo grau de moagem da amostra. Amostras muito finas aumentam as chances de material não degradado escapar pelo poro maior, superestimando a degradabilidade ruminal do substrato.

Tomich (2003) avaliando o desaparecimento ruminal da MS por meio da técnica *in situ* com sacos de náilon em dois híbridos de sorgo com capim Sudão, cana-de-açúcar e capim elefante relatou valores de desaparecimento da matéria seca de 76,4; 76,6; 66,3 e 75,5%, respectivamente, após 96 horas de incubação ruminal.

Pires et al. (2009) avaliaram a degradabilidade *in situ* e a cinética de degradação da fibra em detergente neutro (FDN) e fibra em detergente ácido (FDA) das silagens de quatro genótipos de sorgo, com presença e ausência de tanino nos grãos. Após 96 horas de incubação, as degradabilidades da FDN e FDA variaram de 32,22 a 56,07% e de 26,40 a 54,40%, para as silagens do BR700 e CMSXS165, respectivamente. Conforme os autores

a presença de tanino nos grãos comprometeu a degradabilidade ruminal da FDN e FDA das silagens de sorgo.

Avaliação *in vitro* de silagens de sorgo

Diversos métodos químicos e biológicos foram desenvolvidos para estimar a digestibilidade e degradabilidade de alimentos, predizendo, assim, o valor nutritivo dos mesmos. Os ensaios *in vivo* envolvendo produção animal e digestibilidade são os métodos mais precisos para determinar o valor nutricional dos alimentos. Entretanto, os mesmos requerem consideráveis uso de animais, alimentos, mão-de-obra, tempo e alto custo financeiro. Já os estudos *in situ* podem superestimar a degradação química e microbiana no rumem, tendo em vista a perda de partículas pelos poros dos sacos de náilon. Desta forma, metodologias *in vitro* de avaliação de alimentos têm sido utilizadas para a determinação do valor nutricional de forrageiras, apresentando altas correlações com o consumo e a digestibilidade *in vivo* (Ørskov, 2002). Estas técnicas possuem menor custo, menor tempo de execução e melhor controle das condições experimentais (Fondevilla e Barrios, 2001).

A técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases tem a capacidade de demonstrar a cinética de degradação da forrageira incubada com inóculo ruminal em meio tamponado, sendo a produção de gases proporcional a digestibilidade do material avaliado. A técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases (Maurício et al., 1999) apresenta comprovado potencial em descrever a cinética da fermentação no rúmen, fornecer a taxa e a extensão da degradação das forrageiras pelos microrganismos do rúmen (Cabral et al., 2002). Essa técnica permite avaliar grande número de substratos por experimento, apresentando alta acurácia nas medições, simplicidade no manuseio de equipamentos e baixo custo na implantação por amostra analisada (Maurício et al. 2003).

Simulando a digestão no rúmen é capaz de estimar o aproveitamento dos alimentos pelos ruminantes, atualmente esta técnica experimental está em evidência devido às adaptações que vem sofrendo para permitir avaliar as concentrações de gases e a associação com impactos ambientais derivados da pecuária (CO₂ e CH₄) presentes nos frascos de incubação (Tomich et al., 2012).

A técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases também pode ser relacionada com a predição do consumo da MS (Blümmel e Ørskov, 1993), auxiliar na seleção de genótipos superiores (Nogueira et al., 2004). Diversos fatores podem afetar a eficiência

da técnica de produção de gases, como a preparação do meio tampão, preparação da amostra, a qualidade do fluido ruminal e a temperatura.

O processo fermentativo ruminal envolve uma série de reações, onde os microrganismos hidrolisam os polissacarídeos das plantas como a celulose, as hemiceluloses, as pectinas, as frutanas e o amido a monômeros ou dímeros de açúcar, os quais são então fermentados. O desdobramento da energia dos carboidratos, oriundos da fermentação por microrganismos ruminais (bactérias, fungos e protozoários), é a produção de ácidos graxos de cadeia curta, principalmente o ácido acético, propiônico e butírico, além dos gases metano e dióxido de carbono (Hobson, 1997). Pela técnica *in vitro* de produção de gases, estes ácidos graxos voláteis podem ser mensurados.

Na maioria das situações alimentares o ácido acético é predominante, e com o ácido butírico, refletem dietas ricas em forragens, na qual, bactérias celulolíticas predominam. Em contraste, bactérias amilolíticas dominam em dietas enriquecidas com amido, onde o incremento dos teores do ácido propiônico são normalmente. A produção de gases oriunda da fermentação ruminal de proteína é relativamente menor que a oriunda de carboidratos, e irrisória quando advém da fermentação de gordura (Getachew et al., 1998).

A atividade microbiana, os volumes de gases produzidos e a pressão mudam com a temperatura. Deve haver controle rígido de temperatura (39°C) durante o experimento de degradabilidade *in vitro*. A quantidade de gás em moles é determinada pela temperatura e pressão seguindo a lei geral dos gases:

$$PV = nRT$$

Em que: P é a pressão medida em atmosferas (atm); V é o volume do gás em litros; n é o número de moles do gás; R (0,082) é a constante molar dos gases a 0°C e 760 mm de Hg; T é a temperatura em graus Kelvin.

Como cada laboratório está localizado em diferentes regiões, deve-se fazer ajustes para medir o valor correto de volume conforme a pressão de gás produzido (Mauricio et al., 1999), para cada laboratório deve haver uma equação para transformação dos dados de pressão em volume de gases produzidos.

Faria Júnior et al. (2010) ao avaliarem as silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em sete estádios de maturação dos grãos, compreendidos entre leitoso e duro, não observaram variação significativa ($P > 0,05$) na produção de gases entre os estádios de maturação para

um mesmo período de incubação. Já a comparação entre períodos de incubação para um mesmo estágio de maturação mostrou-se com produções acumuladas de gases crescentes ($P < 0,05$) até 96 horas de incubação, com as médias de 22,58, 60,79, 103,71, 139,85, 160,01 e 170,66 mL/g de MS, para os tempos de incubação de seis, 12, 24, 48, 72 e 96 horas, respectivamente. Os autores afirmaram ainda que, apesar da semelhança estatística, a diferença numérica de menor produção de gases (89,52, 121,13, 139,68 e 150,84 mL/g de MS) no estágio de grãos seco, para os tempos de incubação de 24, 48, 72 e 96 horas, pode ser indicativo de menor fermentação da fração fibrosa lentamente degradável presente nesse material em estágio de grãos seco, representado principalmente pelas frações folha e colmo.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A silagem de sorgo, há muito tempo, vem sendo avaliada na alimentação dos ruminantes, e pode-se perceber que a forragem conservada, de um mesmo híbrido, mas que em momentos de maturidade fisiológica diferentes, apresentam diferentes valores nutricionais, principalmente no quesito digestibilidade. Sendo assim, além de selecionar híbridos forrageiros de melhor qualidade nutricional, tem acima de tudo que ser determinado qual o melhor ponto de maturação.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araújo, V. L.; Rodriguez, N. M.; Gonçalves, L. C.; et al. Qualidade das silagens de três híbridos de sorgo ensilados em cinco diferentes estádios de maturação. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, n.1, p.168-174, 2007.

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.

Blummel, M.; Ørskov, E.R. Comparison of in vitro gas production and nylon degradability of roughage in predicting feed intake in cattle. **Animal Feed Science and Technology**, v.40, p.109-119, 1993.

Brouwer, M. Report of sub-committee on constants and factors. In: SYMPOSIUM ON ENERGY METABOLISM HELD AT EUROPEAN ASSOCIATION FOR ANIMAL

PRODUCTION, 1965, London. Proceedings... London: EAAP Academic, 1965. p. 441-443.

Cabral, L.S.; Valadares Filho, S.C.; Detmann, E. et al. Cinética ruminal das frações de carboidratos, produção de gás, digestibilidade in vitro da matéria seca e NDT estimado da silagem de milho com diferentes proporções de grãos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.31, n.6, p.2332-2339, 2002.

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

Cottle, D.J.; Nolan, J.V.; Wiedemann, S.G. **Ruminant enteric methane mitigation** : a review. *Animal Production Science*, v.51, p.491-514, 2011.

Diener, J. R.C. Calorimetria indireta. **Revista da Associação Médica Brasileira**. v.43, n.3, p.245-253, 1997.

Faria Júnior, W. G.; Gonçalves, L. C.; Maurício, R. M. et al. Avaliação das silagens do sorgo BRS-610 em sete estádios de maturação pela técnica in vitro semiautomática de produção de gases. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, n.4, p.898-905, 2010.

Faria Júnior, W.G. **Avaliação agronômica e nutricional do híbrido de sorgo BRS-610 [Sorghum bicolor (L.) Moench] e de suas silagens em oito idades de corte**. Dissertação (Mestrado) - Escola de Veterinária, UFMG, Belo Horizonte, MG. 102p. 2008.

Ferreira, A. C. H.; Neiva, J. N. M.; Rodríguez, N. M.; et al. Avaliação nutricional do subproduto da agroindústria de abacaxi como aditivo de silagem de capim-elefante. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.2, p.223-229, 2009.

Ferrel, C.L. **Energy Metabolism**. In: CHURCH, D.C. (Ed). The ruminant animal. Digestive Physiology and Nutrition. Englewood Cliffs: Waveland Press Inc., p.250-268, 1988.

Fondevilla, M.; Barrios, A. The gas production and its application to the study of the nutritive value of forages. **Cuban Journal Agriculture Science**, v.35, n.3, p. 187-199, 2001.

Getachew, G.; Blummel, M.; Makkar, H.P.S. et al. In vitro gás measuring techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. **Animal Feed Science and Technology**, v.72, n.3-4, p.261-281. 1998.

Hobson, P.N. **Introduction**. In: HOBSON, P.N.; STEWART, C.S. (Ed.) The rumen microbial ecosystem. London: Blackie Academic and Professional, p.1-9, 1997.

HUNGATE, R. E.; SMITH, W; BAUCHOP, T.; et al. Formate as an intermediate in the rumen fermentation. **Journal Bacteriology**,. v. 102, p. 384-397, 1970.

HUNTINGTON, J.A.; GIVENS, D.I. The in situ technique for studying the rumen degradation of feeds: reviews of the procedure. **Nutrition Abstracts and Reviews (SeriesB)** v.65, n.2, p.63-93, 1995.

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

Johnson, K.A.; Johnson, D.E. Methane emissions from cattle. **Journal Animal Science**, v.73, p.2483-2492, 1995.

Lawrence, T.L.J.; Fowler, V.R. **Growth of Farm Animals**. CAB International 1997, 321p.

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, n.6, p.1470-1478, 2011.

Machado, F. S.; Rodríguez, N. M.; Gonçalves, L. C.; et al. Energy partitioning and methane emission by sheep fed sorghum silages at different maturation stages **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.67, n.3, p.790-800, 2015.

Makkar, H.P.S. Effect and fate of tannins in ruminant animals, adaptation to tannins, and strategies to overcome detrimental effects of feeding tanninrich feeds. **Small Ruminant Research**, v.49, p.241-256, 2003.

Marinucci, M.T.; Dehority, B.A.; Loerch, S.C. In vitro and in vivo studies of factors affecting digestion of feeds in synthetic fiber bags. **Journal Animal Science**, v.70, p.296-307, 1992.

Mauricio, R.M.; Mould, F.L.; Dhanoa, M.S. et al. A semi-automated in vitro gas production technique for ruminants feedstuff evaluation. **Animal Feed Science Technology**, v.79, p.321-330, 1999.

Maurício, R.M.; Pereira, L.G.R.; Gonçalves, L.C. et al. Relação entre pressão e volume para implantação da técnica in vitro semi-automática de produção de gases na avaliação

de forrageiras tropicais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.55, p.216-219, 2003.

McDonald, P.; Henderson, A.R.; Heron, S. **The biochemistry of silage**. 2.ed. Marlow: Chalcombe Publications, 1991. 340p.

McSweeney, C.S.; Palmer, B.; Bunch, R.; Krause, D.O. Isolation and characterization of proteolytic ruminal bacteria from sheep and goats fed tannin- containing shrub legume *Calliandra calothyrsus*. **Applied Environment Microbiology**, v.65, p.3075-3083, 2001.

Mertens, D.R. **Regulation of forage intake**. In: FAHEY, G.C. (Ed.) Forrage quality, evaluation and utilization. 1.ed. Madison: American Society of Agronomy, p.450-493, 1994.

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

Morgado, E. S.; Ezequiel, J. M. B.; Homem Júnior, A. C.; Galzerano, L. Potencial de produção de gás metano e dióxido de carbono *in vitro* dos ingredientes utilizados em dietas para ovinos. **Ciência Animal Brasileira**, v.14, n.4, p.413-417, 2013.

Mwenya, B.; Santoso, B.; Sar, C. et al. Effects of including β 1-4 galacto-oligosaccharides, lactic acid bacteria or yeast culture on methanogenesis as well as energy and nitrogen metabolism in sheep. **Animal Feed Science Technology**, v.115, p.313-326, 2004.

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

Nogueira, U.T.; Mauricio, R.M.; Gonçalves, L.C. Predição da degradação da matéria seca através do volume de gases produzidos utilizando a técnica *in vitro* semi-automática de produção *in vitro* de gases. In: REUNIÃO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 41, 2004, Campo Grande. **Anais...Campo Grande: SBZ, 2004. (CD-ROM)**.

Ørskov, E. R. **Trails and trails in livestock research**. Abeerden: Garamond, 204p, 2002.

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**, v.92, n.2, p.499-503, 1979.

- Pedreira, M.S.; Primavesi, O.; Lima, M.A.; et al. Ruminant methane emission by dairy cattle in southeast Brazil. **Scientia Agricola**, v.66, p.742-750, 2009.
- Pelchen, A. & Peter, K. J. Methane emissions from sheep. **Small Rum. Res.** v.27, p.137-150, 1998.
- Pires, D. A. A.; Gonçalves, L. C.; Rodrigues, J. A. S. Degradabilidade in situ das frações fibrosas da silagem de sorgo. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.8, n.2, p. 175-185, 2009.
- Resende, K.T.; Teixeira, I.A.M.A.; Fernandes, M.H.R. **Metabolismo de energia**. In Berchielli, T. T.; Pires, A.V.; Oliveira, S.G. Nutrição de ruminantes. Jaboticabal: FUNEO. p.111-140. 2006.
- 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. 2.ed., Jaboticabal: FUNEP; 2011. p.323-344.
- 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.
- Sampaio, I.B.M. Métodos estatísticos aplicados a determinação de digestibilidade in situ. IN: SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE DIGESTIBILIDADE DE RUMINANTES. 1997, Lavras. **Anais...** Lavras: Julio César Teixeira. p.165-178, 1997.
- Sanches, L.N. **Comparação da eficiência digestiva entre caprinos e ovinos**. Belo Horizonte: UFMG - Escola de Veterinária, 1985. 98p. (Dissertação de mestrado).
- Santoso, B.; Hariadi, B.T. Evaluation of nutritive value and in vitro methane production of feedstuffs from agricultural and food industry by-products. **Journal of the Indonesian Tropical Animal Agriculture**, v.34, p.189-195, 2009.
- Teixeira, A. M.; Ribeiro Júnior, G. O.; Velasco, F. O.; et al. Intake and digestibility of sorghum (*Sorghum bicolor*, L. Moench) silages with different tannin contents in sheep. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.43, n.1, p.14-19, 2014.

Tomich, T. R.; Pires Neto, O. S.; Raposo, V. S. et al. Relação entre pressão e volume de gases para experimentos conduzidos no laboratório de produção de gases da Universidade Federal de Minas Gerais utilizando sacolas de filtragem pra segregação dos resíduos de incubação. **Caderno de Ciências Agrárias**, v.4, p.109-115, 2012.

Tomich, T.R. **Potencial forrageiro de híbridos de sorgo com capim-sudão avaliados em regime de corte**. 2003, 88p. Tese (Doutorado em Zootecnia) - Escola de Veterinária, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

Van Hellen, R. W. e Ellis, W. C. Sample container porosities for rumen in situ studies **Journal Animal Science**, 44:141. 1977.

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

CAPITULO III

Produção de metano, balanço de nitrogênio e partição energética de silagens do sorgo BRS 610 em quatro estádios

Resumo – O valor nutricional de silagens de sorgo sofrem alta variabilidade em função do estágio de maturação da planta no momento do corte. Assim, objetivou-se com esse trabalho avaliar o consumo voluntário, a digestibilidade aparente, o balanço de nitrogênio e a partição energética das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação, e assim determinar o melhor momento de corte para confecção de silagem. O delineamento experimental utilizado foi inteiramente ao acaso, com quatro tratamentos (Silagens) e cinco repetições (Carneiros). Os consumos de matéria seca (MS) e matéria orgânica (MO) em g/kg de $PV^{0,75}$ /dia apresentaram comportamento linear crescente com o avançar da idade de corte das plantas para ensilagem. A digestibilidade aparente da MS e MO também apresentaram comportamento linear crescente. O nitrogênio ingerido (NI) e o nitrogênio fecal não foram diferentes entre as silagens das diferentes idades, o nitrogênio urinário apresentou redução linear, já o nitrogênio retido (NR) e a relação NR/NI apresentaram comportamento linear crescente com a idade de corte. Os consumos de energia bruta, digestível, metabolizável e líquida em kcal/kg de $PV^{0,75}$ /dia apresentaram comportamento linear crescente com a maturidade da planta. As perdas energéticas nas fezes e na urina apresentaram redução linear. Já as perdas energéticas na forma de metano (CH_4) e incremento calórico não apresentaram diferenças. As produções de CH_4 , em g/dia/MS ingerida digestível, não foram diferentes entre as silagens. As silagens, do híbrido de sorgo BRS 610, confeccionadas com as plantas entre os dias 107 e 121 dias tem melhor valor nutricional.

Palavras chave: Consumo. Digestibilidade. Volumoso. Nutrição de ruminantes. Ovinos. Respirometria.

Methane production, nitrogen balance and energetic partitioning of BRS 610 sorghum silages in four stages

Abstract. The nutritional value of sorghum silages undergoes high variability as a function of the maturation stage of the plant at the time of cutting. Thus, the aim of this work was to evaluate the voluntary intake, apparent digestibility, nitrogen balance and energetic partitioning of BRS 610 sorghum hybrid silages at four stages of maturation, in order to determine the best cutting time for silage. The experimental design was completely random, with four treatments (Silages) and five replicates (Sheep). The intakes of dry matter (DM) and organic matter (OM) in g/kg of PV^{0.75}/day presented increasing linear behavior with the advancement of the cutting age of the plants for ensiling. The apparent digestibility of DM and OM also showed increasing linear behavior. Ingested nitrogen (IN) and faecal nitrogen were not different among silages of different ages, urinary nitrogen had a linear reduction. Retained Nitrogen (RN) and RN/IN ratio showed increasing linear behavior with age of cut. The consumption of crude energy, digestible, metabolizable and liquid in kcal /kg of PV^{0.75}/day showed an increasing linear behavior with the maturity of the plant. Energy losses in faeces and urine presented linear reduction. However, the energy losses in the form of methane (CH₄) and caloric increment did not present differences. The yields of CH₄, in g/day/DM ingested digestible, were not different among the silages. The silages of the BRS 610 sorghum hybrid, made with the plants between days 107 and 121 days, have better nutritional value.

Keywords: Consumption. Digestibility. Bulky. Ruminant nutrition. Ovine. Respirometry.

INTRODUÇÃO

Na produção animal, a alimentação representa o maior custo da atividade pecuária, principalmente quando se usa fontes suplementares de alta qualidade nutricional. Neste sentido, a obtenção e utilização de alimentos volumosos de alta qualidade é premissa básica para compor a dieta de melhor custo/benefício para produção de ruminantes.

A partir de informações de consumo e da digestibilidade da dieta, pode-se estimar a ingestão de nutrientes digestíveis, bem como o consumo de energia digestível, possibilitando prever o desempenho animal, em ganho de peso e/ou produção de leite.

Conforme Hristov et al. (2013) as reduções de produção de metano (CH₄) entérico estão correlacionados com maior qualidade e digestibilidade dos nutrientes, e que o tipo de forragem e a maturidade são os dois atributos mais importantes. O impacto na mitigação de CH₄, quando dimensionado por unidade de produto de origem animal, deve ser maior quando os animais consomem forragem de melhor qualidade.

O metano é um subproduto da fermentação microbiana de carboidratos e, em menor grau, de aminoácidos no rúmen e intestino grosso de animais ruminantes. As emissões de CH₄ representam uma perda de cerca de 5 a 7% do energia bruta da dieta, e são cerca de 16 a 26 g kg⁻¹ de matéria seca da dieta consumida. Os ovinos e os caprinos produzem cerca de 10 a 16 kg de CH₄ por ano e os bovinos de 60 a 160 kg por ano, dependendo do seu tamanho e da ingestão de matéria seca.

O sorgo forrageiro tem sido uma planta muito utilizada para a confecção de silagem, devido ao seu alto potencial produtivo, resistência a restrição hídrica, facilidade de cultivo e por produzir silagem de alta qualidade, sem necessidade de inserir inoculantes para estimular fermentação. A silagem de sorgo, tem se mostrado como alternativa de impacto na alimentação de ruminantes para os períodos de escassez de forragem, causados pelos períodos de estiagem que ocorrem nos países de clima tropical.

Tem ocorrido, em várias instituições de pesquisa no Brasil, a busca incessante de materiais forrageiros produtivos mais resistentes a déficit hídricos, e aliado a isso, também a constante busca do conhecimento do melhor ponto de maturidade fisiológica da planta, para que a silagem conservada, seja de ótima qualidade. Silagens de melhor qualidade nutricional, certamente irão favorecer melhor eficiência aos sistemas de produção de ruminantes. Nesse sentido, objetivou-se com esse trabalho determinar o

melhor momento de corte do híbrido de sorgo BRS 610 para confecção de silagem em função do valor nutricional e emissão de CH₄.

MATERIAL E MÉTODOS

O híbrido de sorgo BRS-610 foi cultivado nas dependências da Embrapa Milho e Sorgo, localizada no Km 65 da rodovia MG 424, no município de Sete Lagoas - MG, entre as coordenadas 19° 28' de latitude sul e 44° 15' de longitude oeste de Greenwich.

As colheitas foram realizadas aos 100, 107, 114 e 121 dias após o plantio, nessas idades os grãos se encontravam leitosos, pastosos, farináceos e duros, respectivamente. As plantas foram cortados rente ao solo e picadas, com auxílio de ensiladeira, e ensiladas em tambores metálicos com capacidade para 200 litros cada, revestidos internamente com sacos plásticos. O material foi compactado e vedado. Os tambores foram conduzidos às dependências do departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG – Belo Horizonte, MG onde, após 60 dias da colheita, foram realizados os procedimentos experimentais e as análises laboratoriais.

Tabela 1. Composição química das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação

Ítem	Idade de Corte (dias) – (Grãos)			
	100	107	114	121
	Leitoso	Pastoso	Farináceo	Duro
Matéria Seca (MS) g/Kg MN	235	258	304	339
Matéria Orgânica (MO) g/Kg MS	951	951	954	956
Proteína Bruta (PB) g/Kg MS	67	68	63	63
Fibra em Detergente Neutro (FDN) g/Kg MS	491	432	434	430
Fibra em Detergente Ácido (FDA) g/Kg MS	279	253	251	244
Carboidratos não Fibrosos (CNF) g/Kg MS	447	499	502	503
Extrato Etéreo (EE) g/Kg MS	18	21	20	22
Lignina (Lig) g/Kg MS	41	28	18	35

MN = Matéria natural.

No ensaio de consumo voluntário e da digestibilidade aparente das silagens foram utilizados 20 carneiros adultos (Protocolo CETEA n° 66/2011), machos, castrados, sem raça definida, com peso médio de 47,5 Kg, sendo cinco carneiros por tratamento. Na tabela 1 encontra-se a composição química das silagens.

Os animais foram pesados, vermifugados e casqueados antes de serem alojados individualmente em gaiolas metabólicas localizadas no Laboratório de Metabolismo e Calorimetria Animal - LAMCA da Escola de Veterinária da UFMG. As gaiolas possuíam dimensões de 1,50m x 0,80m, com piso ripado de madeira e telas laterais, dispo de comedouro e bebedouro de aço inoxidável e saleiro de PVC.

Durante o período de adaptação, as silagens de sorgo foram fornecidas *ad libitum*, como único alimento, duas vezes ao dia (6:00 e 16:30). Diariamente a água foi trocada pela manhã e reabastecia-se o saleiro com sal mineral específico para ovinos. As sobras foram pesadas diariamente antes do trato da manhã para que o consumo fosse registrado e monitorado. A quantidade de alimento oferecido era ajustada para proporcionar 10 a 20% de sobras no cocho. Após 21 dias de adaptação às dietas, com o consumo estabilizado, iniciou-se o período de coleta de dados.

Durante a fase experimental, as silagens foram fornecidas em quantidades suficientes para proporcionar consumo em nível de manutenção (60 a 80 gramas de matéria seca por quilo de unidade de tamanho metabólico), o restante dos procedimentos foram semelhantes ao do período de adaptação. Os animais foram pesados no início e no final do período experimental.

Foram realizadas amostragens das silagens oferecidas, das sobras no cocho, das fezes e das urinas durante cinco dias consecutivos. Para o material oferecido, foram coletados aproximadamente 500 gramas por tratamento por dia. As sobras foram recolhidas pela manhã, pesadas e armazenadas. Para coleta de urina foram utilizados funis acoplados às gaiolas e baldes cobertos com telas metálicas e, para a coleta de fezes, caixas plásticas dispostas abaixo dos funis. Para se evitar a perda de nitrogênio da urina, diariamente foram adicionados 100 mL de HCl 2N aos baldes coletores. As fezes foram recolhidas pela manhã, pesadas, colhidas amostras de 20% do total mensurado e armazenadas. O volume de urina foi mensurado no período da manhã, com a amostragem de 10% do total mensurado e armazenado.

Ao final do período de coleta, os materiais coletados nos cinco dias foram homogeneizados para se obter as amostras compostas de sobras, fezes e urina (carneiros) e oferecido (quatro tratamentos). As amostras foram devidamente identificadas e congeladas.

As amostras do oferecido, sobras, fezes e urina foram descongeladas e posteriormente submetidas a análise de matéria pré-seca em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 horas (AOAC, 2010). Posteriormente, as amostras pré-secas foram moídas em moinho estacionário do tipo Willey, utilizando-se peneira de 1 mm e estocadas em frascos de polietileno com tampa. Foram determinados os teores de matéria seca em estufa a 105°C (AOAC, 2010), proteína bruta (PB) a partir da determinação do conteúdo de nitrogênio (N) pelo método de Kjeldahl (AOAC, 2010) utilizando-se aparelho da marca Büchi para destilação e titulação, e frações fibrosas, as quais foram determinadas pelo método sequencial (AOAC, 2010), com adição 2 mL de amilase termo-resistente, por amostra, no aparelho Fiber analyser ANKOM 220, utilizando saquinho TNT (tecido não tecido). Os teores de Extrato Etéreo (EE) das silagens, foram mensurados com éter de petróleo em aparelho Goldfish, segundo técnicas descritas na (AOAC, 2010). Os teores de carboidratos não fibrosos (CNF) das silagens foram determinados por meio da equação: $CNF = 100 - (PB + EE + MM + FDN_{cp})$; em que: CNF = teor estimado de CNF (%); PB = teor de PB (%); EE = teor de EE (%); MM = teor de MM; e FDN_{cp} = teor de FDN corrigido para cinzas e proteína (%). Foram determinados também os teores de energia bruta (EB) por combustão em bomba calorimétrica adiabática modelo PARR 2081 (AOAC, 2010). As amostras de urina dos animais alimentados foram analisadas para determinação de energia bruta e nitrogênio total. As amostras de urina dos animais em jejum foram analisadas para determinação do teor de nitrogênio total pelo método de Kjeldahl (AOAC, 2010).

A avaliação do consumo de matéria seca (CMS) das silagens foi determinada pela diferença entre a quantidade de alimento fornecido aos animais e quantidade de sobras no cocho, em Kg de matéria natural (MN), considerando-se separadamente o teor de matéria seca (%MS) do oferecido e das sobras. Os consumos de energia bruta (EB), digestível (ED), metabolizável EM), líquida (EL), proteína bruta (CPB), de fibra em detergente neutro (CFDN) e de fibra em detergente ácido (CFDA) foram determinados com base no CMS, levando-se em conta o percentual por kg de MS, de cada nutriente, no oferecido e nas sobras.

Para a determinação dos coeficientes de digestibilidade foram utilizados os dados de consumo e produção fecal. As digestibilidades aparentes da matéria seca (DAMS) e da proteína bruta (DAPB), e digestibilidades da fibra em detergente neutro (DFDN), da fibra em detergente ácido (DFDA) foram obtidas conforme metodologia utilizada por Maynard et al. (1984).

Para o cálculo do balanço de nitrogênio (N), ou N retido, foram utilizados os valores de N consumido, N fecal e N urinário, por diferença chegou-se no valor de N retido.

Após o ensaio de consumo e digestibilidade iniciou-se o ensaio de respirometria, conforme Rodriguez et al. (2007), com duração de 24 horas por animal alimentado, os carneiros continuaram recebendo uma vez por dia as silagens de sorgo correspondentes aos seus tratamentos. A cada dia um animal foi direcionado para o ensaio de calorimetria indireta. Os pesos dos animais foram registrados nos momentos de entrada e saída da câmara.

A respirometria foi realizada em duas etapas. Na primeira etapa foram mensuradas as trocas gasosas e calculou-se a produção de calor (calorimetria indireta) dos animais alimentados. Durante esta etapa a silagem de sorgo foi fornecida uma vez ao dia, no período da manhã, antes do fechamento da câmara e início das mensurações das trocas gasosas.

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

Os resultados das concentrações dos gases, que foram determinados conforme Chwalibog (2004), e o fluxo de ar foram automaticamente registrados por um *software ExpeData*, que por diferença entre a composição do ar que entrou na câmara e do que saiu, calculou-se o volume em (L) de oxigênio (O₂) consumido e de dióxido de carbono (CO₂) e de metano CH₄ produzidos pelos animais.

O cálculo da produção de calor foi realizado de acordo com a equação de Brouwer (1965). Para a transformação dos dados em calorias, utilizou-se como referência o valor de 1 joule correspondente a 0,239 calorias (Hargrove, 2006). O quociente respiratório (QR) foi calculado como a razão entre CO₂ produzido (L) e O₂ consumido (L).

Os valores de ED foram obtidos a partir da diferença entre a EB dos alimentos, das sobras no cocho e das fezes. Os valores de EM foram obtidos a partir da diferença entre ED e perdas de energia sob a forma de CH₄ e urina. Para o cálculo da energia perdida na forma de CH₄, considerou-se o valor de 13,334 Kcal/grama e densidade de 0,7143 gramas/litro (Rodriguez et al., 2007). Dos valores de produção de calor observados para o animal alimentado, foram descontados os valores observados para o mesmo animal em jejum, para o cálculo do incremento calórico. Os valores de EL foram obtidos a partir da diferença entre EM e perdas de energia como incremento calórico (IC).

Os dados foram analisados em delineamento inteiramente casualizado usando o procedimento estatístico GLM do *software* SAS (SAS Institute Inc., Cary, NC). O modelo estatístico foi:

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

Em que: Y_{ij} é a observação j na silagem i , μ é média geral, T_i é o efeito da idade de crescimento ($i = 100, 107, 114$ e 121 dias) e ϵ_{ij} é o erro residual. Quando houve efeito da idade de crescimento foram utilizados polinômios ortogonais para determinar se o estágio de maturidade resultou em efeitos lineares ou quadráticos sobre as variáveis. Valores de $P < 0,05$ foram considerados como significativos.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O consumo voluntário diário de matéria seca (MS) em g por dia não foi diferente ($P > 0,05$) para as silagens avaliadas (Tabela 2). Já os consumos de MS e matéria orgânica (MO) por kg de peso vivo metabólico (kg de $PV^{0,75}$) apresentaram comportamento linear crescente ($P < 0,01$) com o avanço da maturação da planta, com a maturidade houve deposição de amido na panícula, diminuindo percentualmente o teor de fibras da planta inteira, favorecendo assim os maiores consumos de MS e MO por $PV^{0,75}$. No entanto, os consumos de proteína bruta (PB), fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) e fibra insolúvel em detergente ácido (FDA) por kg de peso vivo metabólico ($PV^{0,75}$) não apresentaram diferença ($P > 0,05$) entre as silagens obtidas nas diferentes idades de corte. A FDN é a fração dos alimentos volumosos que melhor se correlaciona com a ingestão de MS por ruminantes (Mertens, 1993). Assim, o consumo de FDN pode ter sido um fator limitante para o consumo de MS devido ao efeito de enchimento. Machado et al. (2011) não encontraram diferenças ($P > 0,05$) nos consumos de MS, PB, FDN e FDA por kg de

PV^{0,75} ao avaliarem silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em três estádios de maturação, com valores médios variando entre 54,4 a 59,9, 3,79 a 3,83, 32,45 a 34,0 e 18,16 a 19,49 gramas de MS, respectivamente. Já Teixeira et al. (2014) ao avaliarem silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em ovinos, encontraram consumos de MS e PB por kg de PV^{0,75} próximos aos obtidos no presente trabalho, com valores médios de 58,94 e 4,14 gramas, respectivamente, no entanto os consumos de FDN e FDA foram superiores ao do presente trabalho, com valores médios de 35,16 e 23,44 gramas, respectivamente.

Tabela 2. Consumo voluntário e digestibilidade aparente de silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação

Ítem	Idade de Corte (dias)				EPM	Contraste (Valor P)	
	100	107	114	121		Linear	Quadrático
Cons. MS g/dia	961	1053	1023	1154	35,1	NS	NS
Cons. MS g/kg de PV ^{0,75} /dia	53	59	58	65	1,1	0,006	NS
Cons. MO g/kg de PV ^{0,75} /dia	50	56	55	62	1,5	0,005	NS
Cons. PB g/kg de PV ^{0,75} /dia	3,4	3,9	3,5	4,1	0,11	NS	NS
Cons. CNF g/kg de PV ^{0,75} /dia	23,6	29,4	29,1	32,6	0,7	0,005	NS
Cons. FDN g/kg de PV ^{0,75} /dia	26	24	23	26	0,6	NS	NS
Cons. FDA g/kg de PV ^{0,75} /dia	14	15	14	15	0,34	NS	NS
Relação CNF/PB Cons. g/kg de PV ^{0,75} /dia	6,9	7,5	8,3	8	0,25	0,003	NS
DA MS g kg ⁻¹	505	528	569	560	8,5	0,003	NS
DA MO g kg ⁻¹	536	555	589	584	7,4	0,003	NS
DA PB g kg ⁻¹	380	453	403	419	11,7	NS	NS
DA FDN g kg ⁻¹	400	311	372	365	10,3	NS	0,01
DA FDA g kg ⁻¹	350	325	361	338	14,1	NS	NS

Cons. = Consumo; MS = Matéria Seca; MO = Matéria Orgânica; PB = Proteína Bruta; FDN = Fibra em Detergente Neutro; FDA = Fibra em Detergente Ácido; CNF = Carboidrato não Fibroso; DA = Digestibilidade Aparente. NS = Não significativo. EPM = Erro Padrão da Média.

As digestibilidades aparentes da MS e da MO das silagens apresentaram comportamento linear crescente ($P < 0,05$) com a maturidade da planta (Tabela 2). O aumento nos teores

de carboidratos não fibrosos (CNF) (Tabela 1), em função do acúmulo de amido na panícula, favoreceu maiores digestibilidades da MS e MO, uma vez que os consumos de CNF também aumentaram com a maturidade dos grãos. As digestibilidades aparentes da PB e da FDA não apresentaram diferenças ($P>0,05$) com a maturação da planta, no entanto a digestibilidade aparente da FDN teve comportamento quadrático ($P<0,05$), mostrando que as silagens de plantas mais velhas apresentam teores de FDN digestível semelhantes ao das silagens de plantas mais novas. A presença de menores teores de fibras nas silagens confeccionadas com as plantas mais velhas, permitiu maiores teores de MO fermentável na MS, favorecendo assim melhor ambiente ruminal, e melhor eficiência na degradabilidade ruminal da FDN da dieta. O consumo e a digestibilidade de forrageiras estão intrinsicamente relacionados, e o aumento da digestibilidade influencia positivamente no consumo (Mertens, 2010). Teixeira et al. (2014), ao avaliarem silagens do híbrido de sorgo BRS 610, encontraram digestibilidades da MS, PB, FDN e FDA com valores médios de 58,20, 47,58, 50,85 e 51,99% respectivamente. Já Machado et al. (2011) ao avaliarem também o híbrido de sorgo BRS 610 em três estádios de maturação dos grãos encontraram digestibilidades da MS, PB, FDN e FDA próximas ao do presente estudo com valores médios de 49,58 a 56,67%, 38,78 a 45,69%, 35,03 a 48,88% e 31,43 a 45,52% respectivamente.

Tabela 3. Utilização de nitrogênio por carneiros alimentados com silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação

Ítem	Idade de Corte (dias)				EPM	Contraste (Valor P)	
	100	107	114	121		Linear	Quadrático
N ingerido g/dia	9,9	11,4	9,7	11,5	0,41	NS	NS
N fecal g/dia	6,1	6,1	5,8	6,7	0,2	NS	NS
N urinário g/dia	3,1	1,0	0,0	0,0	0,32	0,0001	0,006
N retido (NR) g/dia	0,7	4,2	4,0	4,8	0,49	0,001	NS
NR/N ingerido %	7,0	35	40	42	38,9	0,0001	0,009

N = Nitrogênio. NS = Não significativo. EPM = Erro padrão da média.

O N ingerido pelos carneiros, em gramas por dia, não foi diferente ($P>0,05$) entre as silagens avaliadas (Tabela 3), assim como o N fecal também não diferiu ($P>0,05$) entre

os tratamentos avaliados. No entanto, a quantidade de N excretado na urina pelos carneiros que consumiram a silagem confeccionada com as plantas mais novas foi maior, como pode-se observar na tabela 3, comportamento de redução linear ($P < 0,0001$) com o avançar da idade de corte das plantas, resultados que sugerem melhor aproveitamento do N pelos animais que consumiram as silagens de maior maturidade, provavelmente devido aos maiores teores de MO fermentável no rúmen, pois os teores de CNF aumentaram com o avançar da maturação dos grãos. O N retido e a relação N retido sob o N ingerido apresentaram comportamento linear ($P < 0,05$) com o avançar da idade de corte da planta para confecção das silagens, ambos mostraram balanços positivos. A recomendação mínima de 7% de PB na dieta (Van Soest, 1994) para adequado funcionamento da microbiota do rúmen tem sido discutida, pois muitas dietas com valores inferiores têm proporcionado balanços positivos de N, caso que ocorreu nesse experimento, pois os valores de PB das silagens variaram de 6,3 a 6,8%. Houve maior aproveitamento do N presente no rúmen, principalmente o N solúvel, pois maior quantidade de MO fermentável estava disponível com o avançar da maturidade para ensilagem. Conforme Pires et al. (2009) boa parte da proteína é convertida em N não-proteico, em decorrência da proteólise que ocorre na fermentação da massa ensilada. Viana et al. (2012) ao realizarem o fracionamento proteico de silagens do híbrido de sorgo BRS 601 encontraram 73,2% do N total na forma de N solúvel no rúmen.

Ribeiro Jr. et al. (2015) ao avaliarem silagens do capim *Andropogon gayanus*, em três idades de corte, utilizando ovinos como unidades experimentais, obtiveram consumos de 13,6 a 9,7 gramas de N por dia, valores próximos ao do presente trabalho, no entanto o percentual de N retido em relação ao consumido foi de apenas 6,0 a 12,7%, valores inferiores aos obtidos nesse estudo. Vale ressaltar que esses autores trabalharam com uma gramínea forrageira tropical, que não tem na sua constituição o amido como um dos CNF, ou seja, a principal fonte energética ruminal foi a FDN, de lenta degradação ruminal, podendo explicar a baixa eficiência do uso do N consumido. Já Machado et al. (2011) ao avaliaram as silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em três estádios de maturação dos grãos, também em ovinos, obtiveram consumos de 11,03 a 11,31 gramas de N por dia, valores semelhantes ao desse estudo, e os percentuais de N retido em relação ao consumido também foram próximos, variando de 26,87 a 32,65%, ou seja, mostrando mais uma vez a necessidade de MO fermentável para melhor aproveitamento do N consumido. No entanto, Teixeira et al. (2014) ao avaliarem a silagem do híbrido de sorgo

BRS 610, também em ovinos, porém confeccionada com plantas em maturidade fisiológica precoce, teor de MS de 18,58% e FDN de 58,64%, obtiveram consumo de 14,92 gramas de N por dia e o percentual de N retido em relação ao consumido foi de apenas 18,92%, devido aos baixos teores de CNF disponíveis para a fermentação microbiana.

Os consumos das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 pelos carneiros nas formas de EB, ED, EM e EL em kcal/kg de $PV^{0,75}$ /dia apresentaram comportamento linear ($P < 0,05$) com o avançar da maturidade dos grãos (Tabela 4). A determinação destes parâmetros é importante para a avaliação nutricional de alimentos, pois indicam a eficiência com que a EB consumida foi utilizada. Teixeira et al. (2014) encontraram consumos intermediários de EB e ED em kcal/kg de $PV^{0,75}$ /dia em relação aos do presente estudo, com valores de 240,99 e 143,44 respectivamente. Já Ribeiro Jr. et al. (2015) observaram consumos de EB, ED e EM em kcal/kg de $PV^{0,75}$ /dia próximos aos obtidos nesse estudo, com valores variando de 229,0 a 255,8, 104,2 a 150,0 e 91,5 a 131,2 respectivamente. Diferentemente do obtido nesse trabalho, esses autores determinaram que a planta mais nova tem mais alto valor energético, pois trabalharam com uma gramínea forrageira tropical.

Uma grande quantidade da EB ingerida pelos carneiros foi perdida pelas fezes, apresentando decréscimo linear ($P < 0,05$) com o avançar da maturidade da planta. A silagem de 100 dias proporcionou perdas pelas fezes de 48,61% da EB consumida (Tabela 4), sendo 17% superior em perdas em relação a silagem confeccionada aos 114 dias, com os grãos pastosos. Essas menores perdas energéticas pelas fezes obtidas nas silagens das plantas mais velhas ocorreram devido aos menores teores de fibras na massa ensilada. Os percentuais de perdas energéticas via urina também apresentaram decréscimo linear ($P < 0,05$) com o avançar da maturidade, já as perdas energéticas via produção de CH_4 e IC não apresentaram diferenças ($P > 0,05$) entre as silagens das diferentes idades de corte. Os ruminantes são considerados energeticamente ineficientes, devido as perdas que ocorrem em cada estágio de assimilação de nutrientes (Marcondes et al. 2010). Machado et al. (2015) ao avaliarem as silagens do híbrido sorgo BRS 610 em três estádios de maturação, em ovinos, também obtiveram altos percentuais de perdas energéticas via fezes, valores que foram de 42,0 a 49,2% da EB ingerida, semelhantes ao do presente trabalho. Esses mesmos autores também encontraram teores de perdas energética via urina e CH_4 próximo aos obtidos nesse trabalho, com percentuais entre 0,95 a 1,98 e 4,6

a 4,3 respectivamente, no entanto os percentuais de perdas via IC obtidos por esses pesquisadores foram inferiores, com valores entre 12,3 a 14,7% da EB ingerida.

Tabela 4. Partição e eficiência energética das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação

Ítem	Idade de Corte (dias)				EPM	Contraste (Valor P)	
	100	107	114	121		Linear	Quadrático
<i>IE (Kcal kg⁻¹ PV^{-0,75} d⁻¹)</i>							
Energia bruta	221,12	273,39	262,45	276,32	7,48	0,01	NS
Energia digestível	113,48	156,45	156,61	158,65	5,59	0,001	0,01
Energia metabolizável	99,07	140,7	141,69	142,47	5,39	0,001	0,01
Energia Líquida	47,6	88,0	93,6	94,77	5,27	0,0004	0,008
<i>PE (% da EBI)</i>							
Fezes	48,61	42,9	40,34	42,5	0,91	0,002	0,007
Urina	1,47	1,22	0,68	0,83	0,009	0,002	NS
Metano	5,06	4,56	4,99	5,06	0,17	NS	NS
Incremento Calórico	23,37	19,35	18,25	16,99	0,27	NS	NS
q _m	0,45	0,51	0,54	0,52	0,01	0,001	0,006
k _m	0,48	0,62	0,66	0,67	0,006	0,006	NS

IE = Ingestão de energia; PE = Perda de energia; RE = Retenção de energia; EBI = Energia bruta ingerida; q_m = Metabolizabilidade da energia bruta (EM/EB); K_m = Conversão da energia metabolizável em energia líquida (EL/EM); NS = Não significativo. EPM = Erro padrão da média.

As eficiências de utilização de energias das silagens apresentaram comportamento linear (P<0,05) com a maturidade da planta (Tabela 4). A metabolizabilidade (q_m) e a eficiência de uso da energia metabolizável (k_m) das silagens confeccionadas com as plantas aos 100 dias foram inferiores (P<0,05) as demais silagens avaliadas. A eficiência de utilização da EB é influenciada pelas perdas energéticas durante o fluxo da energia pelo animal, sendo que a metabolizabilidade da EB (q_m = consumo de EM/consumo de EB) envolve as

perdas de energia nas fezes, urina e CH₄. Já a eficiência de uso da EM ($k_m = \text{Consumo de EL}/\text{consumo de EM}$) é influenciada pelo IC. O k_m representa a real EL disponível para manutenção e desempenho do animal. As perdas energéticas nas fezes foram as perdas que mais impactaram no q_m , resultando os baixos valores nas quatro idades das silagens, já o k_m se mostrou mais elevado devido as perdas energéticas detectadas no IC. Machado et al. (2015) ao avaliarem os híbridos de sorgo BRS 610, BR 700 e BRS 655 em três estádios de maturação encontraram valores de q_m próximos ao desse estudo, no entanto os valores de k_m foram superiores, justificados pelos valores mais baixos de IC que esses autores obtiveram na avaliação.

A produção de CH₄ entérico pelos carneiros em g/dia, g/dia de MS ingerida e g/dia de MS digestível ingerida não apresentaram diferenças ($P>0,05$) em função da idade de corte do híbrido de sorgo BRS 610 para confecção das silagens (Tabela 5). Segundo Hegarty et al. (2007) a produção de CH₄ por ruminantes é fortemente influenciada pela ingestão de alimentos. No entanto, Ribeiro Jr. et al. (2015) encontraram valores de produção de CH₄ em g/dia de MS ingerida inferiores ao do presente estudos e ao avaliarem as produções de CH₄ em g/dia de MS digestível ingerida, encontraram valores próximos ao desse trabalho, ou seja, demonstrando que há alta relação da produção de CH₄ com o consumo de MS digestível e não apenas ao consumo de MS. Dietas ricas em forragem geralmente produzem maiores quantidades de CH₄ (g/kg de MS ingerida) do que dietas com altos níveis de concentrado, quando apresentam digestibilidades semelhantes (Janssen, 2010). Teixeira et al. (2015) ao avaliarem as produções de CH₄, por ovinos alimentados com capim elefante (*Pennisetum purpureum* Schum. cv. Napier) em três idades, não encontraram diferenças ($P>0,05$) nas produções de CH₄ em g/dia de MS digestível ingerida com o avançar da idade de maturação da planta, mas ao avaliar as produções por g/dia de MS ingerida perceberam que a planta mais nova proporcionava maior produção de CH₄. As produções de CH₄ em g/dia de MS digestível ingerida encontradas por esses mesmos autores foi de 25,46 a 29,09, valores próximos aos obtidos nesse trabalho. Assim como Machado et al. (2015), também encontraram valores de produção de CH₄ em g/dia de MS digestível ingerida semelhantes ao desse estudo, com valores variando de 24,1 a 29,9 gramas. Archimède et al. (2011) ao realizarem uma meta-análise, encontraram diferenças nas produções de CH₄ a partir de animais suplementados com gramíneas C3 vs. gramíneas C4. Os autores concluíram que as gramíneas C4 produziam 17% mais CH₄ (por kg de MO) em comparação as gramíneas C3. Em média,

as gramíneas C4 apresentaram 16% a mais de FDN que as gramíneas C3 (64,6 vs. 55,7%, respectivamente). Conforme Santoso et al. (2007) a produção de CH₄ é altamente influenciada pelo consumo de frações fibrosas, principalmente a FDN digestível.

Tabela 5. Respirometria e produção de metano por carneiros alimentados com silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro idades

Ítem	Idade de Corte (dias)				EPM	Contraste (Valor P)	
	100	107	114	121		Linear	Quadrático
Produção de Metano (g/dia)	15,18	16,54	17,16	18,58	0,68	NS	NS
Produção de Metano (g/d/MSI)	15,86	15,87	17,02	16,08	0,54	NS	NS
Produção de Metano (g/dia/MSID)	31,69	30,09	29,98	28,81	1,14	NS	NS
Produção de CO ₂ (L/dia)	424,1	431,8	417,8	403,2	12,8	NS	NS
Produção de CO ₂ (L/dia/PV ^{0,75})	23,3	24,1	23,9	22,4	0,5	NS	NS
Consumo de O ₂ (L/dia)	459,1	492,6	462,9	481	18,3	NS	NS
Consumo de O ₂ (L/dia/ PV ^{0,75})	25,2	27,3	26,4	26,7	0,8	NS	NS
Produção de calor (Kcal/dia)	2267,2	2405,2	2275,1	2326,1	85,1	NS	NS
Produção de calor (kcal/dia/PV ^{0,75})	124,7	133,5	130	129,2	3,8	NS	NS
Quociente Respiratório (QR)	0,93	0,89	0,91	0,84	0,01	NS	NS

MSI = Matéria seca ingerida; MSID = Matéria seca ingerida digestível; EPM = Erro padrão da média.

As produções de CO₂ em L/dia e L/dia/PV^{0,75}, produções de calor em kcal/dia e kcal/dia/PV^{0,75}, consumo de O₂ em L/dia e L/dia/PV^{0,75} e o quociente respiratório (QR) obtidos na respirometria não apresentaram diferenças (P>0,05) ao se avaliar as silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturidade (Tabela 5). O QR é a relação entre a produção de CO₂ e o consumo de O₂ (QR = CO₂/O₂). Conforme Kleiber (1972) o QR indica o tipo de substrato metabólico que está sendo utilizado pelo animal, valores de QR próximos a 1,0 indicam metabolismo de carboidratos, 0,8 de proteínas e 0,7 de gorduras. Sendo assim, os valores de QR do presente estudo indicaram um metabolismo de carboidratos, como principal fonte energética dos carneiros. A produção de CO₂ e consumo de O₂ estão diretamente relacionados ao consumo de MS e digestão

desse material consumido, no entanto o aumento linear ($P < 0,05$) no consumo de MS/PV^{0,75} e também da digestibilidade aparente da MS na avaliação dessas silagens não foram capazes de favorecer aumentos no consumo de O₂ e produção de CO₂ pelos carneiros.

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 N urinário dos carneiros alimentados com as silagens de 100 dias ter sido superior ($P < 0,05$) aos demais, não foi suficiente para impactar na produção de calor pelos animais nas diferentes dietas. Teixeira et al. (2015) ao realizarem a respirometria de carneiros alimentados com capim elefante em três idades, obtiveram resultados semelhantes ao desse experimento. No entanto, esses valores próximos somente foram detectados com as plantas aos 56 dias de rebrote, pois as plantas mais velhas proporcionaram menor consumo e digestibilidade da MS em detrimento dos maiores teores de frações fibrosas.

Tabela 6. Teores de energia bruta (EB), energia digestível (ED), energia metabolizável (EM) e energia líquida (EL) em kcal/kg de matéria seca das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação

Ítem	Idade de Corte (dias)				EPM	Contraste (Valor P)	
	100	107	114	121		Linear	Quadrático
EB Kcal/Kg MS	4176	4647	4545	4241	46,1	NS	0,0001
ED Kcal/Kg MS	2146	2651	2711	2436	56,7	0,001	0,0001
EM Kcal/Kg MS	1873	2383	2454	2186	58,2	0,001	0,0001
EL Kcal/Kg MS	897	1484	1623	1465	60,1	0,0004	0,0001

NS = Não significativo. EPM = Erro padrão da média.

As ED, EM e EL das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 apresentaram comportamento linear ($P < 0,05$) com o avançar da maturidade (Tabela 6). Já a EB apresentou comportamento quadrático ($P < 0,05$). A utilização da EB na nutrição de ruminantes é limitada, pois esta não indica a disponibilidade da energia do alimento para o animal, devido às perdas variáveis nos processos de digestão e metabolização (Weiss, 1993). A EL é a forma mais correta para expressar a energia útil dos alimentos, pois, esta é

efetivamente disponível para produção do animal. Teixeira et al. (2014) ao avaliarem silagem do híbrido de sorgo BRS 610, confeccionada com 18,58% de MS, obtiveram 2,44 Mcal/Kg MS de ED, valores próximos aos encontrados nesse trabalho. A deposição da EL ocorre quando a ingestão diária de alimento excede o que é requerido para manutenção, e assim, a energia torna-se disponível para produção. O excedente pode ser transformado em produto animal, carne e/ou leite, dependendo da disposição genética do animal.

CONCLUSÕES

A produção de metano não foi influenciada pelo avançar da maturação das plantas. O híbrido de sorgo BRS 610, para confecção de silagem, deve ser cortado quando os grãos estiverem entre os estádios pastoso e duro. Neste intervalo apresentaram melhores valores energéticos, além de terem proporcionado melhor consumo, digestibilidade e melhor eficiência no uso do nitrogênio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Archimede, H.; Eugene, M.; Magdeleine, C. M. et al. Comparison of methane production between C3 and C4 grasses and legumes. **Animal Feed Science and Technology**, v.166, p.59-64, 2011.

Association of official analytical chemists - AOAC. **Official Methods of Analysis**. 18.ed. Maryland: USA, 2010. 3000p.

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.

Chwalibog, A. **Physiological basis of heat production – The fire of life**. Frederiksberg: Research School of Nutrition and Physiology, 23p, 2004.

Hargrove, J. L. History of the calorie in nutrition. **Journal of Nutrition**, v.136, p.2957-2961, 2006.

- Hegarty, R. S.; Goopy, J. P.; Herd, R. M.; McCorkell, B. Cattle selected for lower residual feed intake have reduced daily methane production. **Journal of Animal Science**, v.85, p.1479-1486, 2007.
- Hristov, A. N.; Oh, J.; Firkins, J. L.; Dijkstra, J. et al. Mitigation of methane and nitrous oxide emissions from animal operations: I. A review of enteric methane mitigation options. **Journal of Animal Science**, v.91, p.5045–5069, 2013.
- 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.
- Kleiber, M. **Bioenergia animal: El fuego de la vida**. Zaragoza: Editora Acribia, 1972, 428p.
- 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, n.6, p.1470-1478, 2011.
- Machado, F. S.; Rodríguez, N. M.; Gonçalves, L. C. et al. Energy partitioning and methane emission by sheep fed sorghum silages at different maturation stages. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.67, n.3, p.790-800, 2015
- Maynard, L. A.; Loosli, B. S.; Hintz, H. F.; Warner, R. G. **Nutrição animal**. 3. ed. Rio de Janeiro: Freitas Bastos, 1984. 726p.
- Marcondes, M. I.; Chizzotti, M. L.; Valadares Filho, S. C.; Gionbelli, M. P.; Paulino, P. V. R.; PAULINO, M. F. **Exigências nutricionais de energia para bovinos de corte**. In: Exigências nutricionais de zebuínos puros e cruzados BR-CORTE. 2 ed. Viçosa: Valadares Filho, S.C., Marcondes, M.I.; Chizzotti, M.L.; Paulino, P.V.R. p.85-100, 2010.
- Mertens, D. R. NDF and DMI – Has anything changed? IN: CORNELL NUTRITION CONFERENCE, 2010, Syracuse. **Proceedings...** p.160-174.
- Mertens, D. R. **Rate and extent of digestion**. Cap. 2, p.14-51. In: Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism. Forbes, J.M.; France, J., eds. CAB International, Londres. 1993.
- Pires, A. J. V.; Carvalho, G. G. P.; Garcia, R. et al. Fracionamento de carboidratos e proteínas de silagens de capim-elefante com casca de café, farelo de cacau ou farelo de mandioca. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.3, p.422-427, 2009.

- Ribeiro Júnior, G. O.; Teixeira, A. M.; Velasco, F. O. et al. Methane production and energy partitioning in sheep fed *Andropogon gayanus* grass ensiled at three regrowth stages. **Canadian Journal of Animal Science**, v.95, p.103-110, 2015.
- Rodríguez, N. M.; Campos, W. E.; Lachica, M. L. et al. A calorimetry system for metabolism trials. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.59, p.495-500, 2007.
- Santoso, B.; Mwenya, B.; Sar, C.; Takahashi, J. Methane Production and Energy Partition in Sheep Fed Timothy Silage-or Hay-based Diets. **Indonesian Journal of Animal and Veterinary Sciences**, v.12, n.1, 2007.
- Teixeira, A. M.; Gonçalves, L. C.; Velasco, F. O. et al. Respirometria e emissão de metano por ovinos alimentados com capim-elefante cortado com diferentes idades. **Bioscience Journal**, v.31, n.3, p.841-849, 2015.
- Teixeira, A. M.; Ribeiro Júnior, G. O.; Velasco, F. O. et al. Intake and digestibility of sorghum (*Sorghum bicolor*, L. Moench) silages with different tannin contents in sheep. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.43, n.1, p.14-19, 2014.
- Van Soest, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca, New York : Cornell University, 1994. 476p.
- Viana, P. T.; Pires, A. J. V.; Oliveira, L. B. et al. Fracionamento de carboidratos e de proteína das silagens de diferentes forrageiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.41, n.2, p.292-297, 2012.
- Weiss, W.P. Predicting energy values of feed. In. Symposium: prevailing concepts in energy utilization by ruminants. **Journal Dairy Science**, Champaign, v.76, p.1802-1811, 1993.

CAPITULO IV

Degradabilidade ruminal da matéria seca, proteína bruta e fibra insolúvel em detergente neutro das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios

Resumo – O conhecimento da extensão da fermentação ruminal dos nutrientes é necessário para formulações de dietas de precisão. Assim, objetivou-se com esse trabalho determinar a degradabilidade ruminal, por meio da técnica de incubação ruminal *in situ*, da matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e fibra da insolúvel em detergente neutro (FDN) das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 com as plantas colhidas em quatro estádios de maturação dos grãos. Utilizou-se 3 vacas fistuladas no rúmen, sendo que o delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso (Animais), em esquema de parcelas subdivididas, com o estádio como parcela e o tempo de incubação como subparcela. Determinou-se os parâmetros de degradação ruminal, bem como a degradabilidade potencial e efetiva nas taxas de passagem de 2 e 5%/h. A silagem da planta com os grãos leitosos foi superior as demais, com valores de degradabilidade potencial da MS e da PB de 86,16 e 84,17 %, respectivamente. Assim como na degradação efetiva da FDN, a silagem das plantas com grãos leitosos se mostrou superior as demais, com valores de 27,09 e 14,77%, nas taxas de passagem 2 e 5%, respectivamente. A fração solúvel “a” da MS, teve o maior valor apresentado pela silagem das plantas com os grãos pastosos, ao passo que essa mesma fração da PB teve maior valor pela silagem da plantas com grãos leitosos, com valores de 34,47 e 54,52 %, respectivamente. A fração insolúvel “b” com potencial de degradação, da MS e PB, teve os maiores valores observados nas silagens das plantas de grãos leitosos e duros, respectivamente, com valores de 55,23 e 39,18%. No entanto, as silagens das plantas com os grãos pastosos e farináceos apresentaram maiores valores de fração “b” na degradação da FDN, com valores de 84,14 e 84,53 %, respectivamente. A silagem do híbrido de sorgo BRS 610, confeccionado com as plantas em estádio de grãos leitosos, se mostrou superior as demais, apresentado maiores percentuais de degradabilidade ruminal.

Palavras-chave: Volumoso. Conservação de forragem. Idade de corte.

Rumen degradability of dry matter, crude protein and insoluble fiber in neutral detergent of the silages of the BRS 610 sorghum hybrid in four stages

Abstract. The knowledge about extent of ruminal fermentation of nutrients is required for precision diets formulations. The aim of this work was to determine ruminal degradability, by means of ruminal incubation *in situ*, of the dry matter (DM), crude protein (CP) and insoluble fiber in neutral detergent (IFND) of the silages of the hybrid of sorghum BRS 610 with the plants harvested at four stages of grain maturation. Three rumen fistulated cows were used, and the experimental design was a randomized block design (Animals), in a subdivided plot scheme, with the stage as a plot and incubation time as a subplot. Ruminal degradation parameters were determined, as well as potential and effective degradability in the passage rates of 2 and 5%/h. The silage of the plant with the milky grains was superior to the others, with the values about potential degradability of DM and PB of 86.16 and 84.17%, respectively. As with the effective degradation of IFND, the silage of the milky grains was higher than the others, with values of 27.09 and 14.77%, in the pass rates of 2 and 5%, respectively. The soluble fraction "a" of DM had the highest value presented by the silage of the plants with the pasty grains, whereas that same fraction of the CP had higher value by the silage of the plants with milky grains, with values of 34.47 and 54.52%, respectively. The insoluble fraction "b" with degradation potential, of DM and CP, had the highest values observed in the silages of the milky and hard grain, respectively, with values of 55.23 and 39.18%. However, the silages of the plants with the pasty and farinaceous grains had higher values of fraction "b" in the degradation of IFND, with values of 84.14 and 84.53%, respectively. The silage of the BRS 610 sorghum hybrid, made with milky grain plants, was superior to the others, presenting higher percentages of rumen degradability.

Keywords: Voluminous. Forage conservation. Age of cut.

INTRODUÇÃO

O uso de plantas forrageiras para produção de volumosos conservados, na forma de silagem, para a alimentação dos rebanhos em períodos de escassez de alimentos é uma alternativa viável para intensificação dos sistemas produtivos. O sorgo vem ganhando espaço, dentre as grandes culturas para produção de silagem, devido à sua versatilidade quando comparada às outras, em especial a do milho, que é a principal cultura utilizada para produção de silagem no Brasil. O sorgo se destaca pela ampla adaptação, podendo ser cultivado em todo o território nacional, fornecendo forragem de alta produtividade de massa seca com boa qualidade nutricional. No processo de produção de silagem de sorgo de qualidade, deve-se atentar para o momento correto da colheita do material para ensilagem, sendo de fundamental importância, que a massa esteja com 30% a 35% de matéria seca. Faria Jr et al. (2011), ao avaliarem as silagens híbridas de sorgo BRS 610 em sete estádios de maturação dos grãos, observaram variação de mais de 11% na digestibilidade *in vitro* da MS, sendo que o teor de MS das silagens variou de 19,9% a 47,3%, mostrando a real importância do conhecimento do melhor momento de corte da planta para ensilagem, quando se almeja obter forragem de alta qualidade.

Diante da grande diversidade de alimentos utilizados na alimentação dos ruminantes, o conhecimento da degradabilidade ruminal desses, gera importantes informações do processo de digestão microbiana que, melhor descrevem o valor nutritivo dos alimentos proporcionando aos técnicos melhor conhecimento nas formulações das dietas.

Os sistemas de adequação de dietas para ruminantes (NRC, 2001) consideram as frações dos alimentos, bem como suas taxas de digestão; no sentido de sincronizar a disponibilidade de energia e nitrogênio (N) no rúmen, maximizando a eficiência microbiana e reduzindo perdas decorrentes da fermentação ruminal. A sincronização entre a fermentação de proteína e de carboidratos, para uma mesma taxa de degradação, promove a máxima síntese microbiana aumentando a ingestão de proteína metabolizável. A oferta de nutrientes para o animal depende da fermentação pelos microrganismos do rúmen. Já a proliferação da microbiota oscila com as condições do rúmen, como temperatura, pH, substratos energéticos e proteicos, produtos da fermentação e baixa concentração de oxigênio. As exigências de proteína metabolizável em ruminantes são atendidas pela produção de proteína microbiana e pela proteína dietética não degradada

no rúmen. Para que os animais possam expressar seu potencial genético, na produção de leite e/ou carne, é preciso maximizar a eficiência de síntese proteica.

A taxa de degradação ruminal dos nutrientes é altamente variável entre híbridos de sorgo, como é demonstrado no trabalho de Cardoso et al. (2012), que ao avaliarem três híbridos, constataram mais de 11% de variação na degradação da fração solúvel “a” e ainda mais de 10% de diferença na fração potencialmente degradável “b”. Aliando a necessidade do conhecimento da degradação das frações das silagens dos diferentes híbridos, há ainda a precisão do entendimento da degradabilidade dos diferentes pontos de maturidade fisiológica da planta no momento de corte para ensilagem.

Assim, objetivou-se com esse trabalho avaliar, pela técnica *in situ*, a degradabilidade ruminal da matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturidade dos grãos, bem como determinar qual melhor momento de corte da planta para ensilagem.

MATERIAL E MÉTODOS

O híbrido de sorgo BRS-610 foi cultivado nas dependências da Embrapa Milho e Sorgo, localizada no Km 65 da rodovia MG 424, no município de Sete Lagoas - MG, entre as coordenadas 19° 28' de latitude sul e 44° 15' de longitude oeste de Greenwich.

As colheitas foram realizadas quando os grãos se encontravam leitosos, pastosos, farináceos e duros. As plantas foram cortadas rente ao solo e picadas, com auxílio de ensiladeira, e ensiladas em tambores metálicos com capacidade para 200 litros cada, revestidos internamente com sacos plásticos. O material foi compactado e vedado. Os tambores foram conduzidos às dependências do departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG – Belo Horizonte, MG onde, após 60 dias da colheita, foram realizados os procedimentos experimentais e as análises laboratoriais.

As amostras foram submetidas a análise de matéria pré-seca em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 horas (AOAC, 2010). Posteriormente, as amostras pré-secas foram moídas em moinho estacionário do tipo Willey, utilizando-se peneira de 5 mm e estocadas em frascos de polietileno com tampa. Foram determinados os teores de matéria seca em estufa a 105°C (AOAC, 2010), proteína bruta (PB) a partir da determinação do conteúdo de nitrogênio (N) pelo método de Kjeldahl (AOAC, 2010) utilizando-se aparelho da marca Büchi para destilação e titulação, e frações fibrosas, as quais foram determinadas

pelo método sequencial (AOAC, 2010), com adição 2 mL de amilase termo-resistente, por amostra, no aparelho Fiber analyser ANKOM 220, utilizando saquinho TNT (tecido não tecido). Os teores de Extrato Etéreo (EE), foram mensurados com éter de petróleo em aparelho Goldfish, segundo técnicas descritas na (AOAC, 2010). Os teores de carboidratos não fibrosos (CNF) das silagens foram determinados por meio da equação: $CNF = 100 - (PB + EE + MM + FDN_{cp})$; em que: CNF = teor estimado de CNF (%); PB = teor de PB (%); EE = teor de EE (%); MM = teor de MM; e FDN_{cp} = teor de FDN corrigido para cinzas e proteína (%). Na tabela 1 encontra-se a composição química das silagens.

Tabela 1. Composição química das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação

Ítem	Idade de Corte (dias)			
	100	107	114	121
Matéria Seca (MS) g/Kg MN	235	258	304	339
Matéria Orgânica (MO) g/Kg MS	951	951	954	956
Proteína Bruta (PB) g/Kg MS	67	68	63	63
Fibra em Detergente Neutro (FDN) g/Kg MS	491	432	434	430
Fibra em Detergente Ácido (FDA) g/Kg MS	279	253	251	244
Carboidrato não Fibroso (CNF) g/Kg MS	447	499	502	503
Extrato Etéreo (EE) g/Kg MS	18	21	20	22
Lignina (Lig) g/Kg MS	41	28	18	35

MN = Matéria natural.

Para a avaliação da degradabilidade “in situ” foram utilizadas três vacas de raça Holandês, (Protocolo CETEA n° 66/2011), fistuladas no rúmen, com peso médio de 550 kg, cedidas pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) Gado de Leite, localizada em Coronel Pacheco, MG. Os animais foram mantidos confinados em baias individuais, receberam silagem de milho a vontade acrescidos de 3 kg de concentrado de 20% de PB, para o nível de manutenção, bem como água e sal mineral a vontade. As cânulas foram inspecionadas e lavadas diariamente. Na Tabela 2 estão a composição química da silagem e do concentrado fornecidos a essas vacas.

Tabela 2. Composição química da dieta dos animais utilizados na avaliação de degradabilidade *in situ* das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação

Ingrediente	% MS	% PB	% MO	% MM	% FDN	% FDA
Concentrado	92,08	19,55	93,71	0,06	14,85	3,64
Silagem de Milho	25,84	7,93	96,75	0,03	40,91	23,78

MS – Matéria Seca na matéria natural; PB – Proteína Bruta na MS; MO – Matéria Orgânica na MS; MM – Matéria Mineral na MS; FDN – Fibra em Detergente Neutro na MS; FDA – Fibra em Detergente Ácido na MS.

Foram utilizados sacos de náilon 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 devidamente identificados. Os sacos foram lavados em água corrente, secos a 55°C por 24h tendo seus pesos registrados e receberam 6 g da amostra, moída a 5 mm.

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

Os tempos de incubação usados para avaliação da degradabilidade *in situ* das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 foram: 3, 6, 12, 24, 48, 96 e 120 horas. Foram incubados três sacos por tratamento para os tempos de 3, 6 e 12 horas, quatro sacos para os tempos de 24 e 48 horas e cinco sacos para os tempos de 96 e 120 horas. Todos os tratamentos foram incubados e retirados em cada animal de forma conjunta em cada tempo. Durante o período em que as amostras estiveram incubadas, foram coletadas amostras do fluido ruminal para determinação dos ácidos graxos voláteis e também mensuração do pH (Tabela 3).

Tabela 3. Valores médios de ácidos graxos voláteis e pH do fluido ruminal, coletados durante o período de avaliação, das três vacas utilizadas na avaliação *in situ* das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios

Ítem	Animal 1	Animal 2	Animal 3
Ác. Acético ($\mu\text{mol/mL}$)	36,98	37,97	44,19
Ác. Propriônico ($\mu\text{mol/mL}$)	19,44	18,74	18,09
Ác. Butírico ($\mu\text{mol/mL}$)	14,84	15,03	17,54
Relação acetato:propionato	1,9	2,0	2,3
pH	6,48	6,30	6,30

Uma vez 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 translúcida. Após a lavagem os sacos foram armazenados em bandejas e colocados em um freezer (-10°C) até serem processados.

Após todos os tempos de incubação todo o material foi pré-seco em estufa a 55°C por 72 horas. Após 30 minutos dentro do dessecador os pesos brutos foram registrados. Deste peso bruto, subtraiu-se o peso do saco vazio, obtendo-se dessa forma a proporção de MS pré-seca que desapareceu das bolsas durante a incubação ruminal. Os resíduos de incubação dos mesmos animais, tempos de degradação e tratamentos foram homogeneizados, moídos em peneiras de 1 mm e acondicionados em frascos de polietileno fechados e identificados, para posteriores análises químicas.

A determinação do tempo zero (t_0) foi feita colocando-se aproximadamente 6 g da amostra moída a 5 mm nos sacos de náilon e lavando-as seguindo os mesmos procedimentos dos outros tempos de incubação. Por esse procedimento, foi possível determinar a fração solúvel de cada amostra. Neste caso foram realizadas 3 réplicas por tratamento.

Foram realizadas as seguintes análises bromatológicas nos resíduos: matéria seca (MS) (AOAC, 2010), proteína bruta (PB) pela metodologia de Kjeldahl (AOAC, 2010) e fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) pelo método sequencial (AOAC, 2010), no aparelho Fiber analyser ANKOM 220, utilizando saquinho TNT (tecido não tecido).

O delineamento experimental utilizado foi o de parcelas subdivididas, em que os três animais representaram os blocos, as quatro silagens representaram os tratamentos e os sete tempos de incubação dos alimentos no rúmen, as subparcelas.

Os parâmetros de degradabilidade *in situ* foram obtidos pelo algoritmo de MARQUARDT do programa estatístico computacional SAEG (Euclides, 2005). Por ser um modelo de crescimento assintótico de primeira ordem, que foi reparametrizado subdividindo o valor da assíntota em duas frações, “a” e “B”, as taxas de degradação da MS e da proteína bruta (PB) foram calculadas utilizando-se a equação proposta por Ørskov e McDonald (1979): $D_t = a + B(1 - e^{-ct})$, em que: D_t = fração degradada no tempo “t” (%), “a” = fração solúvel (%); “B” = fração insolúvel potencialmente degradável (%); “c” = taxa de degradação da fração “B” (/h); e “t” = tempo (h).

A degradabilidade efetiva (DE) da MS e PB foram calculadas a partir do modelo proposto por Orskov e McDonald (1979): $DE = S + [(B1*c) / (C+ K)]$; em que: DE é a degradabilidade efetiva, S é a fração solúvel (tempo 0), B1 é a fração degradável (A – S), c é a taxa constante de degradação da fração que permanece no saco de náilon, e k é a taxa fracional de passagem, sendo consideradas para este experimento as taxas de 0,02, 0,05 e 0,08 hora⁻¹.

Os parâmetros da degradabilidade da FDN foram estimados utilizando-se o modelo de Mertens e Loften (1980): $R_t = B \times (1 - e^{-ct})$, em que R_t = fração degradada no tempo t; c = taxa de degradação da fração B (h⁻¹); e t = tempo (horas). Após os ajustes da equação de degradação da FDN, procedeu-se a padronização de frações, conforme proposto por Waldo et al. (1972), utilizando-se as equações: $B_P = B/(B+I) \times 100$; $I_P = I/(B+I) \times 100$, em que: B_P = fração potencialmente degradável padronizada (%); I_P = fração indigestível padronizada (%); e B, I = fração indigestível. No cálculo da degradabilidade efetiva da FDN, utilizou-se o modelo: $DE = B_P \times c/(c+k)$, em que B_P e a fração potencialmente degradável (%) padronizada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A silagem confeccionada com as plantas em estádios de grãos pastosos apresentou 25% a mais da fração solúvel “a” da MS em relação a silagem confeccionada com os grãos duros, como pode ser observado tabela 4. Conforme Tonani et al. (2001), a solubilização

da fração “a” caracteriza a degradação dos açúcares e compostos nitrogenados solúveis remanescentes da fermentação no silo, constituída, principalmente, de sacarose, frutose, glicose e amônia. Com o avançar da maturação da planta, ocorre translocação desse nutrientes solúveis para os grãos, sendo que a planta mais velha tem menores valores percentuais na matéria seca final. Já a fração “b” da MS, insolúvel, com potencial de degradação, teve o maior valor observado na silagem confeccionada com as plantas aos 100 dias (55,23% da MS); os grãos ainda se encontraram leitosos, o que favoreceu menores valores de carboidratos não fibrosos (CNF) (44,7% da MS) na massa seca final, proporcionando assim maior degradabilidade ruminal em função de não haver ainda solidificação da matriz proteica em volta dos grânulos de amido no endosperma dos grãos. A taxa de degradação “c” teve maior valor (1,7 %/h) com a silagem confeccionada com as plantas em estágio de grãos duros; essa silagem apresentou maiores valores de CNF (50,3% na MS), que é constituído na sua maioria por amido, depositados nos grãos com a maturação fisiológica; esse maior valor de CNF favorece maior taxa de degradação ruminal da fração insolúvel “b”, sendo que maiores valores de FDN (49,1% na MS), observados na silagem confeccionada com as plantas em estágio leitoso favoreceu menores taxas (1,2 %/h) de degradação da fração insolúvel “b”. A menor degradação da MS (79,88% da MS) da silagem do híbrido de sorgo BRS 610 confeccionada com as plantas em estágio duro pode ser devido a diferentes proporções de componentes estruturais e, conseqüentemente, sua composição química bromatológica. Pires et al. (2010) encontraram valores de 73,9% de degradação potencial da MS da silagem do híbrido de sorgo BR 700, valor aquém do encontrado nas quatro silagens do presente estudo. O estágio de maturação dos grãos impacta consideravelmente na degradação ruminal, no entanto deve-se levar em consideração também o genótipo do híbrido de sorgo avaliado, assim como a presença ou não de tanino nos grãos, uma vez que o BR 700 é possuidor de tanino nos grãos e o BRS 610 não. Molina et al. (2003), ao avaliarem silagens de seis genótipos de sorgo, sendo quatro sem tanino e dois com tanino, observaram efeito dos taninos sobre a degradabilidade potencial da matéria seca. Todos os parâmetros de degradação de MS obtidos nesse trabalho convergiram ao modelo exponencial proposto Orskov e McDonald (1979). Os elevados coeficientes de determinação (R^2), ambos maiores que 0,97, indicam que os resultados para as quatro silagens estudadas demonstraram uma boa adequação ao modelo exponencial proposto.

A fração solúvel “a” da PB foi maior (54,52% da PB) na silagem confeccionada com as plantas de grãos leitosos (Tab. 4), momento em que o teor de PB na matéria seca total se encontrava com 6,7%. Nessa idade de corte (Grãos Leitosos), a fração proteica (Prolaminas) presente nos grãos da planta ainda estão com maior solubilidade ruminal. Diferentemente dos grãos de milho, o grão de sorgo possui maiores quantidades de prolaminas na camada periférica do endosperma, local que com o avançar da maturidade ficará denso, espesso e duro (Rooney e Pflugfelder, 1986). A matriz proteica do sorgo é composta pelas kafarinas, que são consideradas proteínas hidrofóbicas (Hamaker et al., 1995). São insolúveis em fluido ruminal e responsáveis por dificultar a ação enzimática dos microrganismos ruminais (Larson e Hoffman, 2008). A presença dessa prolamina em grandes quantidades está relacionada com a baixa degradabilidade ruminal da PB. No processo de ensilagem, ocorre degradação desses complexos proteicos, favorecendo maiores valores de N-NH₃ e N solúvel, sendo assim melhores aproveitados no rúmen, principalmente na síntese de proteína microbiana. Já a fração “b” da PB, insolúvel, com potencial de degradação, teve o maior valor (39,18% da PB) observado na silagem confeccionada com as plantas em estágio de grãos duros, no entanto esse maior valor não foi suficiente para tornar essa silagem (Grãos duros) com maior potencial de degradação ruminal da PB. Mesmo após o processo de ensilagem, com fermentação e solubilização de prolaminas presentes nos grãos do sorgo, a silagem das plantas em estágio duro não foi capaz de obter valores semelhantes de degradabilidade potencial aos da silagem das plantas em estágio leitoso (84,17% da PB).

O conhecimento das frações “a” e “b” nitrogenadas são importantes na avaliação de alimentos e na especificação de exigências nutricionais dos ruminantes. A flora microbiana do rúmen transforma nitrogênio não proteico e proteico degradável em proteína microbiana, desde que disponha de energia. Conforme Pires et al. (2010), a disponibilidade de energia e nitrogênio para os microrganismos é determinada pelas taxas de degradação e passagem pelo rúmen, e influencia a eficiência e a quantidade de proteína microbiana sintetizada. Molina et al. (2003) ao avaliarem silagens de seis genótipos de sorgo, ensilados no estágio pastoso, sendo dois com tanino nos grãos e quatro sem, encontraram valores de degradabilidade potencial da PB próximos aos valores encontrados nesse trabalho, uma vez que esses autores não detectaram diferenças nos potenciais de degradação entre os genótipos com ou sem tanino, podendo o estágio de

maturação dos grãos influenciar mais do que precisamente o presença ou não desses polifenóis, como observado no presente trabalho.

Para a taxa de degradação da fração insolúvel da PB descrita como fração “c”, observou maior valor na silagem confeccionada com as plantas em estágio de grãos pastosos (2,8 %/h) e o menor valor na silagem confeccionada com as plantas em estágio de grãos farináceos (1,7 %/h). Ambos são valores baixos, quando comparados com alimentos concentrados proteicos como farelo de soja (5,8 %/h), farelo de algodão (10,9 %/h) e farinha de carne e osso (13,0 %/h) obtidos por Martins et al. (1999). Mas estão compatíveis com resultados encontrados por esses mesmos autores ao avaliarem silagem de sorgo (1,7 %/h) e também por Jobim et al. (2011) ao avaliarem feno de Tifton 85 (2,02 %/h). Ambos alimentos são volumosos, que possuem taxa de degradação da proteína bruta baixa, devido a necessidade de degradação da fração fibrosa, que envolve os compostos proteicos.

A fração insolúvel com potencial de degradação “b” da FDN apresentou-se superior nas silagens das plantas em estádios de grãos pastosos e farináceos, com percentuais de 84,14 e 84,53, respectivamente (Tab. 4), sendo superiores em 14% a silagem confeccionada com as plantas em estágio de grãos duros. A relação entre a quantidade de carboidratos da parede celular e seu teor de lignina são os fatores que mais afetam a qualidade das forrageiras tropicais. E assim, teores de CNF mais elevados nas silagens confeccionadas com plantas mais velhas, pode ter proporcionado maiores quantidades de matéria orgânica fermentável e influenciado a degradação da FDN. A silagem confeccionada com as plantas em estágio de grãos duros apresentou fração “b” menor que as outras, 70,3 %, podendo ser explicado pelos maiores teores de lignina (3,5%) na massa seca final. Bezerra et al. (2015) ao avaliarem silagens de capim elefante inoculadas ou não, cortados com 60 dias de rebrota e com 2,5 metros de altura, obtiveram valores da fração “b” inferiores ao do presente estudo, com valores de 57,19 e 56,52 % da FDN, respectivamente.

Tabela 4. Parâmetros da degradação ruminal da matéria seca (MS), proteína bruta (PB) e fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação.

Parâmetros	Idade de Corte (dias)			
	100	107	114	121
<i>Matéria Seca (MS)</i>				
a (%)	30,93	34,47	32,72	25,70
b (%)	55,23	46,64	50,72	54,18
a+b (%)	86,16	81,11	83,44	79,88
c (%/h)	1,20	1,40	1,40	1,70
R ²	0,98	0,98	0,97	0,985
<i>Proteína Bruta (PB)</i>				
a (%)	54,52	49,79	50,25	40,98
b (%)	29,65	28,40	33,53	39,18
a+b (%)	84,17	78,19	83,78	80,16
c (%/h)	1,80	2,80	1,70	2,30
R ²	0,937	0,90	0,80	0,92
<i>Fibra Insolúvel em Detergente Neutro (FDN)</i>				
b (%)	48,25	84,14	84,53	70,30
I (%)	30,91	0,01	12,99	17,27
c (%/h)	0,16	0,06	0,09	0,09
L (h)	17,17	19,06	1,83	13,12
R ²	0,97	0,94	0,96	0,94

a - fração solúvel; b – fração insolúvel potencialmente degradável; a+b – potencial de degradação ruminal; c- taxa de degradação de b; R² – coeficiente de determinação; I – fração não degradável da fibra em detergente neutro; L – lag time.

O tempo de latência ou “lag time” é fundamental na demonstração da qualidade da fibra do material, principalmente da FDN, uma vez que ela mostra o tempo necessário que os microrganismos necessitam para começar a degradar os carboidratos fibrosos. Observa-se que as silagens das plantas em estádios de grãos leitosos e pastosos apresentaram os maiores tempos de latência na degradação da FDN, com valores de 17,17 e 19,06, respectivamente. Bezerra et al. (2015) ao avaliarem silagem de capim elefante, uma gramínea tropical sem amido na sua composição química e que foi cortada aos 60 dias após brotação, encontraram tempos de latência de degradação da FDN menores que os obtidos nesse trabalho, com valores de 3,68 e 1,34 horas, nas silagens confeccionadas com e sem inoculante microbiano respectivamente. A rapidez da degradação da fibra, por meio de ação microbiana, das plantas forrageiras é inversamente proporcional ao tempo de maturação da planta no momento do corte, uma vez que a constituição da parede celular se torna cada vez mais lignificada.

As degradabilidades efetiva (DE) da PB das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 nos quatro estádios de maturação, calculada nas taxas de passagem ruminal a 2 e 5%/h foram superiores na silagem confeccionada com as plantas em estágio de grãos leitosos, com valores de 68,56 e 62,37%, respectivamente (Tab. 5). Isto mostra que para o parâmetro de degradabilidade da PB, o material mais jovem (Grãos Leitosos) é superior as demais silagens. Já a DE da MS, mostrou que as silagens confeccionadas com as plantas em estágio de grãos pastoso e farináceo são superiores a silagem confeccionada com as plantas em estágio de grãos leitosos, resultado que não desqualifica a silagem com as plantas mais jovens, uma vez que a maior degradabilidade potencial (DP) (Tab. 5) da MS foi observada exatamente nessa silagem (Grão Leitoso). Oliveira et al. (2009) ao avaliarem silagens de dois genótipos de sorgo, possuidores de tanino, encontraram valores de DE da MS menores do que os do presente estudo, sendo 43,82 e 48,71% na taxa de passagem de 2 %/h, resultados que podem ser explicados pela presença dos compostos fenólicos complexados, que podem ser corroborados por Campos et al. (2003) que associaram a presença de tanino à redução na degradação ruminal da matéria seca e proteína em silagens de sorgo. Jobim et al. (2011) ao avaliarem silagem de milho encontraram percentuais de DE (5%/h) da PB próximo ao obtido da silagem das plantas mais novas deste presente estudo, com valor de 61,11%. Mostrando que com o envelhecimento da planta, ocorre solidificação da matriz proteica nos grãos, dificultando a ação enzimática dos microrganismos ruminais.

Tabela 5. Degradabilidade potencial (DP) e efetiva (DE) da matéria seca (MS), da proteína bruta (PB) e da fibra insolúvel em detergente neutro (FDN) das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 calculadas para taxas de passagem no rúmen de 2 e 5%/h

Idade de corte (Estádio grãos)	DP	Taxa de Passagem (/h)	
		0,02	0,05
<i>Matéria Seca (%)</i>			
100 dias (Leitoso)	86,16	51,64	41,62
107 dias (Pastoso)	81,11	53,67	44,67
114 dias (Farináceo)	83,44	53,6	43,82
121 dias (Duro)	79,88	50,59	39,45
<i>Proteína Bruta (%)</i>			
100 dias (Leitoso)	84,17	68,56	62,37
107 dias (Pastoso)	78,19	66,36	59,98
114 dias (Farináceo)	83,78	65,66	58,76
121 dias (Duro)	80,16	61,94	53,32
<i>Fibra Insolúvel em Detergente Neutro (%)</i>			
100 dias (Leitoso)	48,25	27,09	14,77
107 dias (Pastoso)	84,14	23,07	10,71
114 dias (Farináceo)	84,53	26,09	13,22
121 dias (Duro)	70,3	24,91	12,24

Cavalcante et al. (2012) ao avaliarem o sorgo volumax, obtiveram 29,82 % de DE da MS calculada na taxa de passagem de 2 %/h, percentual abaixo do encontrado no presente estudo, assim como o valor de DP da MS, que foi de 44,49 %. O híbrido de sorgo BRS 610, passou por processo de seleção genética em que se buscou material com boa produção por área, aliada ainda a boa qualidade nutricional, sendo considerado um híbrido forrageiro de alta qualidade, uma vez que a produção de grãos é elevada, podendo

ser confirmado pelos elevados teores de CNF (Tab. 1), proporcionando a essas plantas altos percentuais de degradação ruminal.

A DE da FDN das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 confeccionadas com as plantas em estádios de grãos leitosos e farináceos, calculadas na taxa de passagem de 2%/h, apresentaram pouca diferença, com valores de 27,09 e 26,09 %, respectivamente (Tab. 5), sendo essas superiores às outras duas silagens nesse quesito. No entanto, a DP da FDN foi superior nas silagens confeccionadas com as plantas em estádios pastoso e farináceo, com valores de 84,14 e 84,53 %, respectivamente. Já Bezerra et al. (2015) ao avaliarem silagens de capim elefante, encontraram DP de 56,52 e 57,19 % nas silagens sem e com inoculante, respectivamente. Entretanto, esses mesmos autores encontraram DE, calculadas nas taxas de passagem a 2%, próximas ao do presente estudo, com valores de 30,29 e 28,52 %, respectivamente. O grau de degradação da FDN das forrageiras tropicais é diretamente influenciada pela composição química do material no momento da colheita, sendo exclusiva do alimento, pois conforme Campos et al. (2006) a fração potencialmente degradável é pouco influenciada pela espécie animal (Bovino x ovino) ou tamanho da partícula do alimento incubado (2 x 1 mm), pois é composta basicamente por amido, compostos nitrogenados proteicos e carboidratos estruturais (principalmente celulose e hemicelulose).

CONCLUSÕES

As silagens do híbrido de sorgo BRS 610, confeccionadas com as plantas em estádios de grãos pastoso e farináceo, têm melhor valor nutricional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Association of official analytical chemists - AOAC. **Official Methods of Analysis**. 18.ed. Maryland: USA, 2010. 3000p.

Bezerra, H. F. C.; Santos, E. M.; Oliveira, J. S. et al. Degradabilidade ruminal *in situ* de silagens de capim-elefante aditivadas com farelo de milho e inoculante da microbiota autóctone. **Revista Brasileira de Saúde e Produção Animal**, v.16, n.2, p.265-277, 2015.

- 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.; Sousa, B. M. et al. Degradabilidade *in situ* da silagem de quatro genótipos de sorgo com e sem tanino. I - Matéria seca e proteína bruta. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.55, n.2, p.209-215, 2003.
- Cardoso, R. M.; Pires, D. A. A.; Rocha Júnior, V. R. et al. Avaliação de híbridos de sorgo para silagem por meio de degradabilidade *in situ*. **Revista Brasileira de Milho e Sorgo**, v.11, n.1, p. 106-114, 2012.
- Cavalcante, D. R.; Perin, F. B.; Benedetti, E. Degradabilidade *in situ* da matéria seca de três forrageiras tropicais nas formas *in natura* e ensilada. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.64, n.1, p.163-168, 2012.
- Euclides, R.F. **Sistema para análises estatísticas** (SAEG 9.0). Viçosa: Funarbe, 2005.
- Faria Júnior, W.G.; L.C. Gonçalves, G.O. Ribeiro Júnior. et al. Effect of grain maturity stage on the quality of sorghum BRS-610 silages. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.63, n.5, p.1215-1223, 2011.
- Hamaker, B. R.; Mohamed, A. A.; Habben, J. E. et al. Efficient procedure for extracting maize and sorghum kernel proteins reveals higher prolamin contents than the conventional method. **Cereal Chemistry**, v.72, p. 583-588, 1995.
- Jobim, C. C.; Ferreira, G. A.; Bumbieris J. R. et al. Cinética de degradação ruminal dos fenos de alfafa e Tifton-85 e da silagem de milho. **Semina: Ciências Agrárias**, v.32, n.2, p.747-758, 2011.
- Larson, L.; Hoffman, P. C. Technical note: a method to quantify prolamin proteins in corn that are negatively related to starch digestibility in ruminants. **Journal of Dairy Science**, v.91, p. 4834-4839, 2008.
- Martins, A. S.; Zeoula, L. M.; Prado, I. N. et al. Degradabilidade ruminal *in situ* da matéria seca e proteína bruta das silagens de milho e sorgo e de alguns alimentos concentrados. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.28, n.5, p.1109-1117, 1999.
- Mertens, D.R.; Loften, J.R. The effect of starch on forage fiber digestion kinetics *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.63, p.1437-1446, 1980.

Molina, L. R.; Rodríguez, N. M.; Gonçalves, L.C. et al. Efeito do tanino na degradabilidade *in situ* da matéria seca e da proteína bruta de seis genótipos de sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench) ensilados no estágio de grão pastoso. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, vol.55 n.2, 2003

NRC-National Research Council. Nutrient requirements of dairy cattle. 7th ed. Washington, D.C.: National Academy Press, 2001.

Oliveira, S. G.; Berchielli, T. T.; Pedreira, M. S. et al. Degradação ruminal e síntese de proteína microbiana em bovinos alimentados com silagem de sorgo contendo tanino suplementado com concentrado ou uréia. **Acta Scientiarum. Animal Sciences**, v.31, n.1, p.45-51, 2009.

Orskov, E. R.; McDonald, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **Journal of Agriculture Science**, v. 92, n. 1, p. 499-508, 1979.

Pires, A. J. V.; Reis, R. A.; Carvalho, G. G. P. et al. Degradabilidade ruminal da matéria seca, da proteína bruta e da fração fibrosa de silagens de milho, de sorgo e de *Brachiaria brizantha*. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, n.2, p.391-400, 2010.

Rooney, L. W.; Pflugfelder, R. L. Factors affecting starch digestibility with special emphasis on sorghum and corn. **Journal of Dairy Science**, v.63, p. 1607-1623, 1986.

Tonani, F.L.; Ruggieri, A.C.; Queiroz, A.C. et al. Degradabilidade ruminal *in situ* da matéria seca e da fibra em detergente neutro em silagens de híbridos de sorgo colhidos em diferentes épocas. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia** v.53, p.100-104, 2001.

Waldo, D.R.; Smith, L.W.; Cox, E.L. Model of cellulose disappearance from the rumen. **Journal of Dairy Science**, v.55, p.125-129, 1972.

CAPITULO V

Cínética de fermentação ruminal *in vitro* das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios

Resumo – O estágio de maturação das plantas forrageiras no momento do corte pode impactar no valor nutricional da silagem obtida. Objetivou-se com esse trabalho avaliar, pela técnica *in vitro* de produção de gases, a cinética de fermentação ruminal das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturidade dos grãos, bem como determinar qual a silagem de melhor valor nutricional. O delineamento experimental utilizado foi o de blocos ao acaso, em esquema de parcelas subdivididas. A produção de gases foi estimada por meio do modelo logístico bicompartimental, ajustado às curvas de produção cumulativa de gases. A silagem das plantas no estádios de grãos leitosos apresentou maior volume de gases da fração de carboidratos não fibrosos (VF1), com 40,2 mL/g de MS. Já os gases produzidos da fração fibrosa das quatro silagens se mostraram próximos, com valores entre de 68,0 a 71,0 mL/g de MS. Os altos coeficiente de determinação (R^2), ambos acima de 0,96, mostram que os resultados ajustaram bem ao modelo usado na avaliação. Na avaliação da degradabilidade efetiva (DE) da MS, a silagem confeccionada com as plantas em estágio de grãos leitosos se mostrou superior as demais, quando avaliada nas taxas de passagem de 2, 5 e 8 %/h, com valores de 40,18, 37,23 e 34,36 % da MS, respectivamente. O híbrido de sorgo BRS 610 deve ser cortado em estágio de grãos leitosos para confecção de silagem, momento de maior valor nutricional.

Palavras-chave: Forragem. Silagem. Suplementação volumosa.

Kinetics of *in vitro* ruminal fermentation of BRS 610 sorghum hybrid silages in four stages

Abstract - The maturation stage of forage plants at the moment of cutting may impact the nutritional value of the silage obtained. The aim of this study was to evaluate, the *in vitro* gas production technique, the kinetics of ruminal fermentation of the BRS 610 sorghum hybrid silages at four stages of grain maturity, as well as to determine the best nutritional value of the silage. The experimental design was a randomized block design, in a subdivided plot scheme. The gas production was estimated by means of the bicompartamental logistic model, adjusted to the curves of cumulative gas production. The silage of the plants in milky grains showed a higher volume of gases from non - fibrous carbohydrate fraction (VF1), with 40.2 mL / g DM. The gases produced from the fibrous fraction of the four silages were shown to be close, with values ranging from 68.0 to 71.0 mL / g of DM. The high coefficient of determination (R^2), both above 0.96, show that the results fit well with the model used in the evaluation. In the evaluation of the effective degradability (ED) of DM, the silage made with the plants in the milky grain stage was superior to the others, when evaluated in the rates of passage of 2, 5 and 8% / h, with values of 40.18 , 37.23 and 34.36% of DM, respectively. The BRS 610 sorghum hybrid must be cut in a milky grain stage to make silage, the moment of greatest nutritional value.

Keywords: Fodder. Silage. Bulk supplementation.

INTRODUÇÃO

A sazonalidade na produção de volumosos existente no Brasil central é um dos principais entraves na produtividade animal. A produção de silagem é uma importante estratégia para o fornecimento de alimentos aos animais em épocas de escassez. O processo de conservação de volumosos na forma de silagem ocorre por meio da produção de ácidos orgânicos, como o ácido lático, a partir da fermentação de carboidratos solúveis, os quais tem como função reduzir o pH da massa ensilada, e inibir a ação indesejável dos microrganismos.

A escolha da forrageira para ser ensilada deve ser criteriosa, pois a técnica exige altos custos com equipamentos. Assim, se faz necessário escolher o híbrido de sorgo que melhor se adapte e tenha bom valor nutricional, como foi demonstrado por Silva et al. (2014), que ao avaliarem 23 híbridos de sorgo, por meio da técnica *in vitro* de produção de gases, determinaram que dois híbridos foram superiores aos outros, com volumes médios finais de produção de gases maiores, somadas as frações de carboidratos fibrosos e não fibrosos.

O sorgo, na produção de silagem tem se destacado por sua facilidade de cultivo, boas produções de massa seca, menor necessidade de recurso hídricos, pela qualidade da silagem produzida e valor nutritivo próximo à silagem de milho. Em regiões áridas e semi-áridas o sorgo tem sido cultivado como primeira cultura, já em regiões de melhor distribuição de chuvas tem apresentado boa adaptação ao cultivo de safrinha.

Estudos comparativos de silagens de sorgo confeccionadas com plantas em distintos estádios de maturação são de importante relevância para fornecer aos produtores orientações quanto ao melhor momento da ensilagem, que proporcione a melhor relação produção e valor nutritivo. Faria Jr et al. (2010) ao avaliarem silagens do híbrido de sorgo BRS 610, em sete estádios de maturação dos grãos observaram grande variação no valor nutricional, com diferenças de mais 30% na degradabilidade efetiva da matéria seca (MS) na taxa de passagem de 2%/h, e a produção acumulativa de gases até as 48 horas de fermentação apresentou mais de 23% de diferença. Assim, com a técnica *in vitro* de produção de gases, pode-se descrever a cinética de fermentação ruminal, o que a torna uma ferramenta para avaliação nutricional de forrageiras.

Objetivou-se com esse trabalho avaliar, pela técnica *in vitro* de produção de gases, a cinética de fermentação ruminal das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturidade dos grãos, bem como determinar qual a silagem de melhor valor nutricional.

MATERIAL E MÉTODOS

O cultivo foi realizado na EMBRAPA Milho e Sorgo, em Sete Lagoas – MG. O processamento e preparação do material, assim como a condução do ensaio de cinética de fermentação *in vitro* pela técnica semiautomática de produção de gases foi realizado no Laboratório de Produção de Gases do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, em Belo Horizonte - MG.

As colheitas do híbrido de sorgo BRS-610 foram realizadas quando os grãos se encontravam leitosos, pastosos, farináceos e duros. Para determinação dos estádios de maturação, avaliou-se os grãos localizados no meio da panícula. As plantas foram cortados rente ao solo e picadas, com auxílio de ensiladeira, e ensiladas em tambores metálicos com capacidade para 200 litros cada, revestidos internamente com sacos plásticos. O material foi compactado e vedado. Os tambores foram conduzidos às dependências do departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da UFMG – Belo Horizonte, MG onde, após 60 dias da colheita, foram realizados os procedimentos experimentais e as análises laboratoriais.

As amostras foram submetidas a análise de matéria pré-seca em estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 horas (AOAC, 2010). Posteriormente, as amostras pré-secas foram moídas em moinho estacionário do tipo Willey, utilizando-se peneira de 1 mm e estocadas em frascos de polietileno com tampa. Foram determinados os teores de matéria seca em estufa a 105°C (AOAC, 2010), proteína bruta (PB) a partir da determinação do conteúdo de nitrogênio (N) pelo método de Kjeldahl (AOAC, 2010) utilizando-se aparelho da marca Büchi para destilação e titulação, e frações fibrosas, as quais foram determinadas pelo método sequencial (AOAC, 2010), com adição 2 mL de amilase termo-resistente, por amostra, no aparelho Fiber analyser ANKOM 220, utilizando saquinho TNT (tecido não tecido). Os teores de Extrato Etéreo (EE), foram mensurados com éter de petróleo em aparelho Goldfish, segundo técnicas descritas na (AOAC, 2010). Os teores de

carboidratos não fibrosos (CNF) das silagens foram determinados por meio da equação: $CNF = 100 - (PB + EE + MM + FDN_{cp})$; em que: CNF = teor estimado de CNF (%); PB = teor de PB (%); EE = teor de EE (%); MM = teor de MM; e FDN_{cp} = teor de FDN corrigido para cinzas e proteína (%). Na tabela 1 encontra-se a composição química das silagens.

Tabela 1. Composição química das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação

Ítem	Idade de Corte (dias)			
	100	107	114	121
Matéria Seca (MS) g/Kg MN	235	258	304	339
Matéria Orgânica (MO) g/Kg MS	951	951	954	956
Proteína Bruta (PB) g/Kg MS	67	68	63	63
Fibra em Detergente Neutro (FDN) g/Kg MS	491	432	434	430
Fibra em Detergente Ácido (FDA) g/Kg MS	279	253	251	244
Carboidratos não Fibrosos (CNF) g/Kg MS	447	499	502	503
Extrato Etéreo (EE) g/Kg MS	18	21	20	22
Lignina (Lig) g/Kg MS	41	28	18	35

MN = Matéria natural.

Para a avaliação da cinética de degradação “in vitro” foi utilizado inoculo ruminal de três vacas mestiças, (Protocolo CETEA n° 66/2011), fistuladas no rúmen, com peso médio de 500 kg. Os animais ficaram mantidos em piquetes coletivos, e estavam sendo alimentados com silagem de milho *ad libitum* adicionado de 2 kg de ração concentrada comercial com 18% de proteína bruta, e ainda dispunha de cochos com água e sal mineral *ad libitum*. O líquido foi coletado via fístula quatro horas após a última alimentação, por compressão do material fibroso com as mãos e foi acondicionado em garrafa térmica previamente aquecida (39°C) com água destilada, a porção superior foi completada com material fibroso para impedir a permanência de ar. As garrafas térmicas foram imediatamente

encaminhadas ao laboratório de Nutrição Animal do Departamento de Zootecnia da Escola de Veterinária da Universidade Federal de Minas Gerais, onde o líquido foi filtrado, mantido sob fluxo constante de CO₂ e em banho Maria (39°C), sendo então submetido à avaliação de suas características físico-químicas e atividade microbiana pelo teste do azul de metileno.

A cinética de fermentação foi determinada por meio da técnica *in vitro* de produção de gases. Utilizou-se a técnica descrita por Maurício et al. (1999), adaptada à metodologia de Amaral et al. (2014), que faz uso da sacola de filtragem (F57 da ANKOM®), no entanto foi realizado com frascos de tamanhos diferentes aos descritos por Amaral et al. (2014), e assim foi necessário realizar, concomitantemente, um ensaio para determinação de uma equação, que por meio da pressão, obtém a quantidade, em mL, de gases produzidos. Utilizou-se um aparato semelhante à figura 1, em que mensura-se a pressão (PSI) e consecutivamente o volume de gases (mL) produzidos.

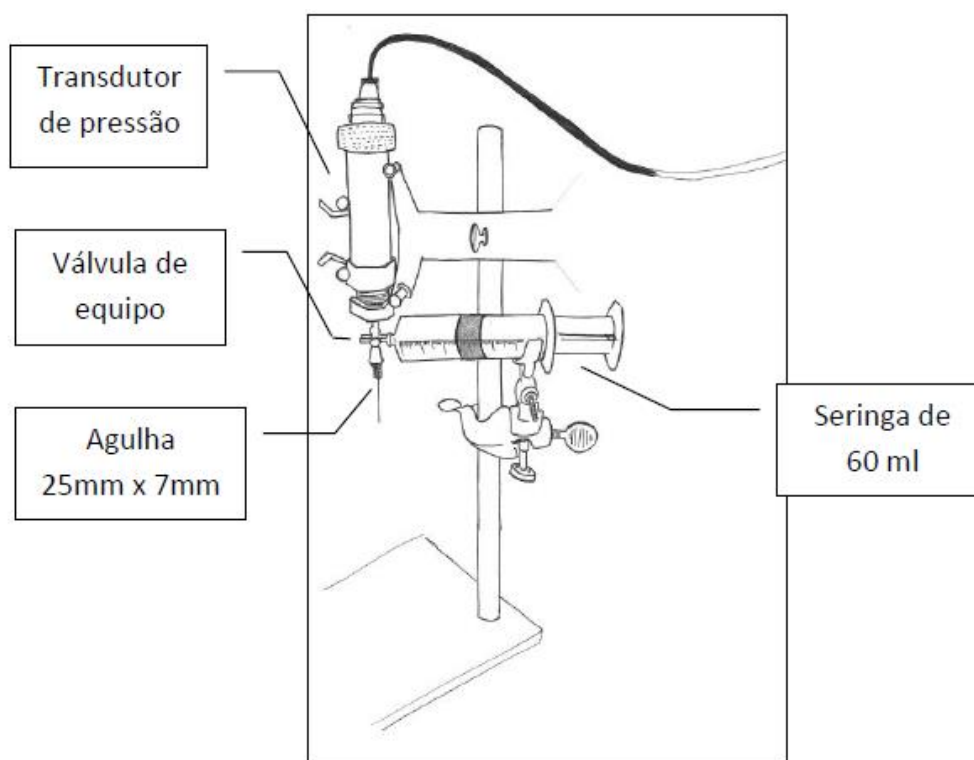


Figura 1. Desenho esquemático do transdutor de pressão acoplado a seringa para medir a pressão e o volume de gases produzido (sem escala).

A fermentação desses materiais foi realizada em frascos (50mL) previamente lavados com água destilada e posteriormente secos em estufa. Em todos os frascos foi injetado

CO₂ por cinco segundos anteriormente à adição do inóculo. Foi adicionado a cada frasco uma sacola de filtragem (F57 da ANKON®) adicionado com 0,5 grama de substrato e posteriormente selado em seladora, sendo que foram utilizados dois frascos por tratamento.

Foram também utilizados frascos contendo somente líquido ruminal, meio de cultura (Tampão) e sacola de filtragem vazia como controle, ou seja, a produção de gases oriundos do conteúdo ruminal foi descontada da produção total. Em cada frasco foram adicionados manualmente, com auxílio de uma seringa descartável, 12,5 mL de meio de cultura (Theodorou et al., 1994). Os frascos foram vedados com rolhas de borracha (14 mm) garantindo a completa manutenção de gases em seu interior. Esses procedimentos foram realizados no dia anterior a inoculação. Com o objetivo de evitar qualquer tipo de fermentação esse material permaneceu na geladeira a 4°C durante a noite. No dia seguinte, faltando cinco horas para iniciar o ensaio o material foi removido da geladeira e colocado em estufa a 39°C.

A inoculação foi realizada injetando quatro mL do inóculo preparado em cada frasco, usando-se uma seringa graduada. Logo após a inoculação, injetou-se mais CO₂ para garantir a anaerobiose do sistema e posteriormente os frascos foram vedados novamente com rolhas de borracha (14 mm). Em seguida foram agitados manualmente e colocados em estufa a 39°C (tempo zero).

A pressão originada pelos gases acumulados nos frascos foi medida com auxílio de um transdutor de pressão conectado a um leitor digital (tipo Druck GE DPI 705). As leituras de pressão foram tomadas em maior frequência durante o período inicial de fermentação e reduzidas posteriormente nos seguintes tempos pós-inoculação (tempo zero), 2, 4, 6, 8, 10, 12, 15, 19, 24, 30, 48, 72 e 96 h.

Para a descrição matemática da cinética de fermentação ruminal, utilizou-se o modelo logístico bicompartimental proposto por Schofield et al. (1994), ajustado às curvas de produção cumulativa dos gases:

$$V = Vf1 / (1 + \exp. (2 - 4*C1*(T - L))) + Vf2 / (1 + \exp. (2 - 4*C2*(T - L)))$$

Em que:

Vf1 = volume máximo dos gases da fração dos CNF;

C1 = à taxa de degradação (h⁻¹) da fração dos CNF;

Vf2 = ao volume máximo dos gases da fração dos CF;

C2 = à taxa de degradação (h^{-1}) dos CF;

T = tempos de incubação (h);

L = tempo de latência (h).

As degradabilidades efetivas da matéria seca (DEMS) empregando as taxas de passagem de 2, 5 e 8 %/h para baixo, médio e alto consumo, respectivamente, conforme recomendações do Report... (1984), foram calculadas pela equação proposta por France et al. (1993).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na avaliação, para obtenção da nova equação entre pressão e volume de gases, os valores de pressão variaram de 0 a 6,587 psi e os de volume de 0 a 24,5 mL, em um total de 1232 avaliações, como pode ser observado na figura 2. A faixa de pressão obtida está dentro das recomendações de Theodorou et al. (1994), pois esses autores verificaram que valores de pressão acima de 7,0 psi causam instabilidade na correlação entre essas variáveis.

A seguinte equação foi obtida e utilizada para converter os dados de pressão em volume de gases nesse experimento:

$$VG = - 0,085 + 3,582P + 0,019P^2 \quad (R^2 = 0,996)$$

em que: VG = volume de gases produzido (ml); P = pressão (psi).

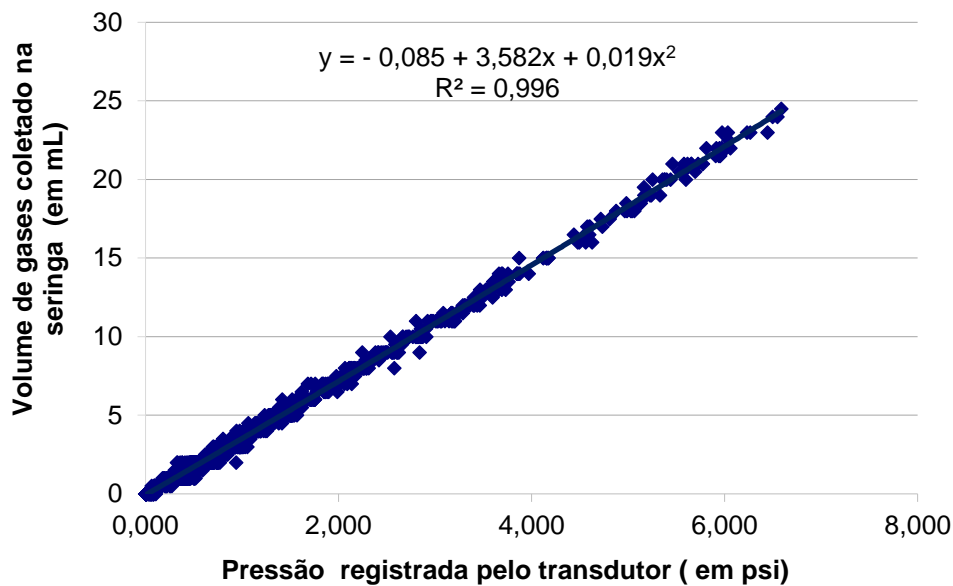


Figura 2. Gráfico da relação entre pressão e volume obtidos por meio da técnica in vitro de produção de gases. N amostral: 1232

Essa equação é diferente da obtida por Maurício et al. (2003) no mesmo laboratório utilizando quantidades diferentes de amostra, meio de cultura e inóculo, que foi: $VG = - 0,004 + 4,43 P + 0,051 P^2$, o que comprova que a redução das quantidades de amostra, meio de cultura e inóculo gerou a necessidade de obtenção de uma nova equação. No presente trabalho, o volume de gases estimado para um psi de pressão foi de 3,5 ml, já na equação proposta por Maurício et al. (2003) esse valor foi de 4,38 ml. O alto coeficiente de determinação ($R^2 = 99,6$) da equação de regressão, obtido por meio do programa estatístico computacional SAEG (Euclides, 2005), indica que essa equação pode ser utilizada em trabalhos posteriores realizados no laboratório de produção de gases da Escola de Veterinária da UFMG com a utilização de bolsas Ankom F57, frascos de fermentação de 50 ml, meio grama de amostra, 12,5 ml de meio de cultura e 4 ml de inóculo.

Com relação ao volume máximo de gases produzidos da fração CNF, a silagem confeccionada com as plantas em estágio de grãos leitosos apresentou maior valor (40,2 mL/g de MS) (Tab. 2), mostrando ter maiores quantidades desse tipo de carboidrato disponível para a fermentação. O grão de sorgo em estágio de alta maturação, possui característica de baixa taxa de fermentação do amido, pois o endosperma é dividido em periférico córneo (vítreo ou duro) e endosperma central farináceo (mole). Esta porção é

mais densa e caracteriza-se por uma região extremamente densa, dura e resistente a penetração de água (Antunes et al. 2007), dificultando assim a ação microbiana. Mesmo a silagem confeccionada com as plantas em estágio de grãos duros tendo apresentado maiores teores de CNF (50,3 % da MS), como pode ser observado Tab. 1, mostrou-se com menor potencial de fermentação da fração CNF (34,6 mL de gases/g de MS). Silva et al. (2014) ao avaliarem silagens de 23 genótipos de sorgo obtiveram, em média, 59,06 mL de gases/g de MS da fração CNF, é um valor bem superior ao encontrado no presente estudo, apesar de ter sido uma avaliação em 144 horas e não apenas em 96.

O volume máximo de produção de gases da fração fibrosa (CF2) foi semelhante nas quatro silagens avaliadas, com valores entre 68,0 a 71,3 mL de gases por grama de MS. A qualidade das fibras nas quatro silagens parecem semelhantes, uma vez que os teores de lignina pouco variaram (Tabela 1). A taxa de degradação (C2), da fração fibrosa, também não se mostrou distinta entre as silagens, com valores de 0,01 mL/g de MS/h, para ambas. Os carboidratos estruturais possuem capacidade de degradação mais lenta; por esse motivo, a taxa de degradação de carboidratos fibrosos é inferior à taxa de degradação de carboidratos não fibrosos, 0,01 e 0,1 mL/g de MS/h, respectivamente (Tabela 2). Prado et al. (2013) ao avaliarem silagens de *Brachiaria decumbens* com diferentes teores de inoculantes, obtiveram produções máximas de gases da fração fibrosa de 104,52 a 115,09 mL/g de MS incubada, com taxas de degradação que variaram de 0,01 a 0,019 mL/g de MS/h, respectivamente, valores superiores que os obtidos no presente estudo. Assim como Cruz et al. (2010) que ao avaliarem o fracionamento e cinética *in vitro* dos carboidratos de cinco variedades de cana-de-açúcar, observaram valores entre 117,0 e 147,1 mL de gases/g de MS das frações fibrosas; e também Silva et al. (2014) que ao avaliarem silagens de 23 genótipos de sorgo obtiveram, em média, 125,28 mL de gases/g de MS da fração de carboidratos fibrosos. Já Sá et al. (2011) encontraram valores de 83,25; 68,25 e 92,25 mL para *Brachiaria brizantha* cv. Marandu em idades de corte de 28, 35 e 54 dias, respectivamente, dos carboidratos fibrosos, com taxa de degradação de 0,01 mL/g de MS/h, resultados esses próximos ao do presente estudo, mas ainda superiores. Nas forrageiras tropicais o principal fator limitante é a qualidade da fibra, quanto menor for a sua degradabilidade, menor será a passagem do alimento pelo trato gastrointestinal e, conseqüentemente, menor será o consumo, impactando o sistema de produção.

Tabela 2. Médias dos parâmetros VF1 - Volume máximo de gases da fração de carboidratos não fibrosos (CNF); C1 - Taxa de degradação para a fração de CNF; VF2 - Volume máximo de gases da fração de carboidratos fibrosos (CF); C2 - Taxa de degradação para a fração de CF; L - Latência e R² - Coeficiente de Determinação, ajustados relativos à cinética de produção de gases dos CNF e dos CF no período de 96 horas referente as silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação

Idade de corte Maturação dos grão	Parâmetros					
	VF1	C1	VF2	C2	L	R ²
100 Dias (Grão Leitoso)	40,2	0,07	68,3	0,01	7,4	0,985
107 Dias (Grão Pastoso)	37,0	0,09	71,3	0,01	8,7	0,996
114 Dias (Grão Farináceo)	35,1	0,10	68,0	0,01	10,0	0,964
121 Dias (Grão Duros)	34,6	0,08	69,5	0,01	10,0	0,972

A Latência (L), em horas, variou de 7,4 a 10,0, sendo a silagem confeccionada com as plantas em estágio de grãos leitosos com menor valor e as silagens com as plantas em estádios farináceo e duro, semelhantes, com maiores tempos (Tabela 2). O tempo de colonização, ou Latência (L) representa o tempo compreendido entre o início da incubação até a ação microbiana sobre a amostra. A redução no tempo de colonização é favorecida pela presença de substratos prontamente fermentáveis, ausência de fatores anti-nutricionais e por características físicas e químicas (como maior ou menor teor de lignina) da parede celular da amostra. Apesar da silagem com grãos leitosos possuir menores teores de CNF (Tabela 1), mostrou-se ter maiores quantidades de nutrientes prontamente fermentáveis. Essa maior disponibilidade do amido, na silagem com as plantas em estágio leitoso, pode ser explicada pelo fato de os grânulos de amido não estarem ainda cristalizados pela matriz proteica, favorecendo assim a ação da microbiota! Como a produção de gases da fração fibrosa foi semelhante nas quatro silagens, pouco contribuiu para aumentar o tempo de colonização da MS pelos microrganismos ruminais. Os elevados coeficientes de determinação (R²), ambos maiores que 0,96, indicam que os resultados para as quatro silagens avaliadas demonstraram uma boa adequação ao modelo utilizado.

Tabela 3. Degradabilidade efetiva (DE) da matéria seca (% da MS) e coeficiente de determinação (R^2) das silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em quatro estádios de maturação dos grãos, nas taxas de passagens de 2, 5 e 8 %/h

Ítem	Silagens (Idade de Corte)			
	100	107	114	121
DE 2 %/h	40,18	37,89	37,63	39,31
DE 5 %/h	37,23	35,08	34,06	35,04
DE 8 %/h	34,46	32,46	30,81	31,21
R^2	0,98	0,99	0,96	0,97

A silagem das plantas de grãos leitosos, apresentou valores de DE maiores que as outras silagens, 40,18, 37,23 e 34,36 % da MS nas taxas de passagem de 2, 5 e 8 %/h, respectivamente (Tabela 3). Com o avançar da maturação, ocorre diminuição da degradabilidade da forragem, devido ao aumento do percentual de hastes ou diminuição do percentual de folhas, o que resulta em aumento da cristalinidade da celulose e dos teores de lignina na parede celular. Os coeficientes de determinação (R^2), ambos maiores que 0,96 indicam alta confiabilidade dos resultados regredidos aos parâmetros, utilizando ainda a degradação da MS no tempo de 96 horas. Faria Jr. et al. (2010) ao avaliarem silagens do híbrido de sorgo BRS 610 em sete estádios de maturação encontraram valores de DE que variaram de 33,83 a 25,85 % da MS na taxa de passagem de 2 %/h, são valores próximos aos obtidos de presente estudo. A degradabilidade efetiva da MS está intimamente relacionada a quantidade total de gases produzidos, e esses autores obtiveram produções totais de gases maiores do que o presente estudo.

Ao avaliarmos e compararmos os parâmetros da cinética de degradação ruminal *in vitro* do híbrido de sorgo BRS 610, obtidos pela metodologia utilizada nesse trabalho, pode-se destacar que a técnica possibilitou qualificar os materiais avaliados, no entanto, ao se avaliar a produção total de gases, sempre irá obter menores volumes, em detrimento de menores quantidades de amostra e inoculo utilizados.

CONCLUSÕES

O híbrido de sorgo BRS 610 deve ser cortado em estágio de grãos leitosos para confecção de silagem. Nesse momento se mostrou com maior valor nutricional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Amaral, A. P. S. F.; Coelho, S. G.; Tomich, T. R. et al. Use of F57 bags by the semi-automatic *in vitro* technique of gas production. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.66, n.6, p.1936-1940, 2014.

Antunes, R. C.; Rodríguez, N. M.; Gonçalves, L. C. et al. Composição bromatológica e parâmetros físicos de grãos de sorgo com diferentes texturas do endosperma. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.59, n.5, p.1351-1354, 2007.

Association of official analytical chemists - AOAC. **Official Methods of Analysis**. 18.ed. Maryland: USA, 2010. 3000p

Cruz, P. G.; Figueiredo, M. P.; Pereira, L. G. R. et al. Fracionamento e cinética da fermentação ruminal *in vitro* dos carboidratos de cinco variedades de cana-de-açúcar. **Ciência Animal Brasileira**, v.11, n.4, p.784-793, 2010.

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

Faria Júnior, W. G.; Gonçalves, L. C.; Maurício, R. M. et al. Avaliação das silagens do sorgo BRS-610 em sete estádios de maturação pela técnica *in vitro* semiautomática de produção de gases. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.62, n.4, p.898-905, 2010.

France, J., Dhanoa, M. S., Theodorou, M. K., et al. A model to interpret gas accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds. **Journal Theology Biology**, v. 163, p. 99-111, 1993.

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

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

Prado, O. P. P.; Bumbieris J. R.; FLORIANO, A. R. et al. Cinética de degradação ruminal de silagens de *Brachiaria decumbens* com diferentes aditivos nitrogenados. **Semina: Ciências Agrárias**, v.34, n.6, suplemento 2, p.093-4104, 2013.

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

Sá, J. F.; Pedreira, M. S.; Silva, F. F. et al. Cinética da fermentação *in vitro* do capim-marandu em diferentes idades de corte. **Acta Scientiarum Animal Sciencens**, v.33, n.3, p.225-231, 2011.

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

Silva, T. C.; Santos, E. M.; Macedo, C. H. O. et al. Cinética de fermentação ruminal *in vitro* de silagens de híbridos de sorgo. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.66, n.6, p.1865-1873, 2014.

Theodorou, M. K.; Willians, B. A.; Dhanoa, M. S., et al. A new gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminal feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.48, p.185-197, 1994.

CAPITULO VI

CONSIDERAÇÕES FINAIS E IMPLICAÇÕES

Os resultados desse estudo apontam que as silagens do híbrido de sorgo BRS 610 confeccionadas com as plantas a partir dos 107 dias (Grão pastoso) são de melhor qualidade nutricional.

Quanto mais cedo a planta for cortada, menores serão os prejuízos com perdas de grão em detrimento ao ataque de pássaros, muito comum em culturas de sorgo e ainda liberando a área para nova cultura, possibilitando a maximização do uso da terra.

A qualificação das silagens apresentou diferenças nos diferentes estudos devido as técnicas utilizadas nas avaliações. Na avaliação *in vivo*, as silagens confeccionada com as plantas em estádios de grãos mais avançados se mostraram superior no valor nutricional em relação a silagem confeccionada com as plantas em estágio de grãos leitosos. Já na avaliação *in vitro*, ocorreu o contrário, sendo a silagem de plantas em estágio de grãos leitosos se mostrou melhor nutricionalmente.