

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO**

**PATRICIA REGINA DE SOUZA SIQUEIRA CAMPOS**

**AVALIAÇÃO DO MÉTODO “IN SITU” E DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE  
DEGRADAÇÃO RUMINAL DE FORRAGEIRAS TROPICAIS**

**Campos dos Goytacazes  
2010**

**PATRÍCIA REGINA DE SOUZA SIQUEIRA CAMPOS**

**AVALIAÇÃO DO MÉTODO “IN SITU” E DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE  
DEGRADAÇÃO RUMINAL DE FORRAGEIRAS TROPICAIS**

**Tese apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da  
Universidade Estadual do Norte  
Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das  
exigências para obtenção do título de  
Doutor em Ciência Animal.**

**ORIENTADOR: Prof. José Fernando Coelho da Silva**

**CO-ORIENTADORES**

**Prof. Hernán Maldonado Vasquez**

**Prof. Ricardo Augusto Mendonça Vieira**

**Campos dos Goytacazes - RJ  
2010**

**AVALIAÇÃO DO MÉTODO “IN SITU” E DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE  
DEGRADAÇÃO RUMINAL DE FORRAGEIRAS TROPICAIS**

**PATRÍCIA REGINA DE SOUZA SIQUEIRA CAMPOS**

**Tese apresentada ao Centro de Ciências e  
Tecnologias Agropecuárias da  
Universidade Estadual do Norte  
Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das  
exigências para obtenção do título de  
Doutor em Ciência Animal.**

**Orientador: Prof. José Fernando Coelho da Silva**

**CAMPOS DOS GOYTACAZES – RJ  
Julho - 2010**

**PATRICIA REGINA DE SOUZA SIQUEIRA CAMPOS**

**AVALIAÇÃO DO MÉTODO “IN SITU” E DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE  
DEGRADAÇÃO RUMINAL DE FORRAGEIRAS TROPICAIS**

**Tese apresentada ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias da Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, como parte das exigências para obtenção do título de Doutor em Ciência Animal.**

**Aprovada em 01 de julho 2010.**

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Mirton José Frota Morenz (DSc.) - UFRRJ**

---

**Prof. Rogério Figueiredo Daher (DSc.) – UENF**

---

**Prof. Ricardo Augusto Mendonça Vieira (DSc.) – UENF**  
Co-Orientador

---

**Prof. Hernán Maldonado Vasquez (DSc.) – UENF**  
Co-Orientador

---

**Prof. José Fernando Coelho da Silva (Ph.D.) – UENF**  
Orientador

**Aos amores eternos e fraternos  
Às amizades sinceras e desinteressadas**

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

À Deus, Pai Maior.

À Minha Família, Vovó Lalá, Mamãe, Papai, Mano Querido e Cunhada Querida, pelo amor incondicional e apoio na realização dos meus sonhos.

Ao meu amor Kenji Sugui pelo incansável apoio, pelas renúncias e por fazer minha vida mais feliz a cada dia.

À Universidade Estadual do Norte Fluminense, em especial ao Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias pela oportunidade do curso.

À FAPERJ pela concessão da bolsa de estudo e pelo financiamento parcial desta pesquisa.

Ao Professor José Fernando Coelho da Silva, pela orientação, pela confiança e pelo exemplo de dedicação à pesquisa.

Ao Professor Ricardo Augusto Mendonça Vieira, pela co-orientação, pela boa convivência e pelas valiosas contribuições na execução do projeto e das análises estatísticas.

Ao Professor Hernán Maldonado Vasquez, pela co-orientação e pelo apoio.

Aos Professores Rogério Figueiredo Daher e Mirton José Frota Morenz pelas contribuições nas correções da tese.

Ao programa de Pós-Graduação em Ciência Animal, em especial o Professor Olney Vieira Motta e as secretárias Jovana e Conceição por serem sempre atenciosos e sensíveis às necessidades dos alunos.

Aos funcionários do LZNA, Claudio Lombardi, Lanamar, Rogério, Sr. Amilson pelo auxílio na condução do experimento e pela agradável convivência.

Aos estagiários Alex Branco, Drieli Rossi, Felipe Pereira, Felipe do Valle, Tiago Cunha Rocha, pelo auxílio na condução dos experimentos e análises laboratoriais.

Aos queridos amigos Arthur Rodrigues (Tuzinho), João Gatto (Juzito) pelo ombro amigo de sempre e pelas boas gargalhadas.

Aos colegas de pós-graduação Saulo, Nivaldo, Fabinho, Victor Libardo, Renata Clipes, João Siqueira pela ajuda nos experimentos, pelos grupos de estudos e por tornarem o dia-a-dia mais agradável.

Aos colegas da Poli-Nutri pela amizade e companheirismo.

Aos que me adotaram de coração, Família Maeda, Família Bizarro, Família Sugui pelo carinho.

A todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para que esta etapa da minha vida fosse cumprida.

Muito Obrigada!

"Esta manhã, antes do alvorecer, subi numa colina para admirar o céu povoado.  
E disse à minha alma: Quando abarcarmos esses mundos e o conhecimento e o prazer  
que encerram, estaremos finalmente fartos e satisfeitos?  
E minha alma disse:  
Não, uma vez alcançados esses mundos prosseguiremos no caminho."

Walt Whitman

## AVALIAÇÃO DO MÉTODO “IN SITU” E DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE DEGRADAÇÃO RUMINAL DE FORRAGEIRAS TROPICAIS

**Resumo** – O experimento foi conduzido na Universidade Estadual do Norte Fluminense. A técnica “in situ” do saco de náilon foi utilizada na estimativa dos parâmetros de degradação ruminal da fibra em detergente neutro (FDN), e na verificação da heterogeneidade da fração potencialmente degradável FDN das forragens: capim-acroceres (*Acroceras macrum* Stapf.), capim-angola (*Brachiaria purpurascens* (Raddi) Henr.), capim-hemarthria (*Hemarthria altissima*, Poir), capim-mombaça (*Panicum maximum*, cv. Mombaça), capim-setária (*Setaria anceps* Stapf.), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), silagem de milho (*Zea mays* L.), feno de alfafa (*Medicago sativa*), duas cultivares comerciais de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) cultivares Napier e Cameroon, dois genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum): CNPGL 92-79-02 e CNPGL 94-07-02. Avaliou-se ainda o efeito do tipo de tecido (náilon ou TNT) na confecção dos sacos e da granulometria da amostra (2mm ou 5mm) nos parâmetros cinéticos de degradação e o fracionamento dos carboidratos. As amostras de forragens foram incubadas em 6 bois mestiços holandeses, machos, dotados de cânulas ruminais. Os parâmetros cinéticos de degradação da FDN foram estimados por modelo exponencial decrescente corrigido para latência discreta. Adotou-se o critério de informação de Akaike (AIC) como procedimento de ajuste no comparativo entre os modelos uni e bicompartimental. O fracionamento dos carboidratos foi obtido pelas equações descritas por Sniffen et al. (1992) e pela técnica “in vitro” da produção de gases. Na verificação da complexidade de modelos uni e bicompartimental, o modelo mais complexo (n=6) e o modelo menos complexo (n=4) tiveram valores dos critérios de informação de Akaike corrigidos próximos de 0,9 para a maioria das forragens avaliadas, indicativo que a natureza dos dados avaliados foi sensível a utilização de um modelo mais complexo. O tipo de saco influenciou a estimativa da fração não-degradável (I), da fração potencialmente degradável da FDN (B) e as estimativas da latência discreta (L) ( $p < 0,01$ ) e a taxa de degradação  $k_d$  da fração B ( $p < 0,05$ ). O tamanho de partícula da amostra influenciou a estimativa das frações “I”, “B” e “L” ( $p < 0,01$ ). Porém não influenciou as estimativas do parâmetro  $k_d$  ( $p > 0,05$ ). A fração  $A+B_1$  dos carboidratos mostrou ser semelhante entre o capim-elefante napier e o genótipo CNPGL 94-07-02 ( $p > 0,05$ ), sendo estes superiores aos demais exemplares de capim-elefante avaliados. Os teores das frações  $B_2$  não diferiram entre os exemplares de capim-elefante ( $p > 0,05$ ). O teor da fração C dos carboidratos não diferiu entre os genótipos e o capim-elefante cv. cameroon, sendo portanto significativamente distintos ( $P > 0,05$ ) da cultivar napier. Há uma maior contribuição dos carboidratos fibrosos na fermentação dos capins setária, mombaça, hemarthria e cana-de-açúcar. Mas para os capins acroceres e angola ocorre o inverso. Aparentemente os perfis de produção de gases dos CNF e CF dos genótipos e cultivares de capim-elefante foram semelhantes. O tipo de saco e o tamanho de partícula da amostra incubados influenciam diretamente a estimativa dos parâmetros de degradação ruminal, em especial a extensão e a taxa de degradação. Na análise dos parâmetros cinéticos de degradação da FDN não foi possível detectar superioridade dos genótipos de capim-elefante em relação as cultivares comerciais.

**Palavras-chave:** capim-elefante, fibra detergente neutro, modelagem

## EVALUATION OF “IN SITU” METHOD AND DETERMINATION OF RUMINAL DEGRADATION KINETICS OF TROPICAL FORAGES

**Abstract** – The experiment was carried out at the Universidade Estadual do Norte Fluminense. The in situ nylon bag technique was used to estimate parameters of ruminal degradation of neutral detergent fiber (NDF), and the verification of the heterogeneity of the potentially degradable NDF of forages. We evaluated the effect of the type of fabric (nylon or TNT) for the manufacture of bags and the size of the sample (2mm or 5mm) on the kinetic parameters of degradation of NDF. Forages: Nilo-grass (*Acroceras macrum* Stapf.) Angola-grass (*Brachiaria purpurascens* (Raddi) Henr.) , Hemarthria-grass (*Hemarthria altissima*, Poir), Mombaça-grass (*Panicum maximum* cv. Mombassa), Setaria-grass (*Setaria anceps*, Stapf.), sugarcane (*Saccharum officinarum* L.), corn silage (*Zea mays* L.), alfalfa hay (*Medicago sativa*), two commercial cultivars of elephant-grass (*Pennisetum purpureum*, Schum): cv. Napier and Camerron, and two genotype of elephant-grass (*Pennisetum purpureum*, Schum): CNPGL 92-79-02 e CNPGL 94-07-02 were incubated in six holstein crossbred cattle, male, rumen cannulated. The kinetic parameters of NDF degradation were estimated by an exponential equation corrected for discrete lag. We adopted the Akaike information criterion (AIC) as a statistical procedure to adjust the comparison between the models uni and bicompartmental. The fractioning of carbohydrates was obtained by the equations described by Sniffen et al. (1992) and by the in vitro technique of gas production. The evaluation of the complexity of the models , the more complex model (n=6) and less complex model (n=4) had values of the Akaike information criterion near 0.9 for most forages, indicating the nature of sensitive data was evaluated using a more complex model. The type of bag has influenced the estimate of non-degradable fraction (I), potentially degradable NDF (B), discrete lag time (L) ( $p < 0.01$ ) and kd degradation rate of fraction B ( $p < 0.05$ ). The particle size influenced the estimate of the fraction "I", "B" and "L" ( $p < 0.01$ ). It did not affect the estimates of the kd parameter ( $p > 0.05$ ). Fraction A + B1 of carbohydrate was shown to be similar in the elephant grass cv. napier and CNPGL 94-07-02 genotype ( $p > 0.05$ ), which are higher than other samples of elephant-grass evaluated. The contents of fractions B2 did not differ between samples of elephant-grass ( $p > 0.05$ ). The contents of carbohydrate C fraction did not differ between genotypes and elephant-grass cv. cameroon and is therefore significantly different from napier cultivar ( $P > 0.05$ ). There is a greater contribution of the fiber in the fermentation of Setaria-grass, Mombaça-grass, Hemarthria-grass and sugarcane. But for the Nilo-grass and Angola-grass the opposite occurred. Apparently the gas production profiles of NFC and CF of genotypes and cultivars of elephant grass were similar. The type of bag and the particle size of the sample incubated influences the estimation of ruminal degradation parameters, especially the extent and rate of degradation. In the analysis of kinetic parameters of degradation of NDF was not possible to detect superiority of elephant-grass genotypes in relation to commercial cultivars.

**Key-words:** elephant-grass, neutral detergent fiber, modeling

## SUMÁRIO

	Página
1. INTRODUÇÃO .....	7
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	11
2.1. Forrageiras Tropicais .....	11
2.2. Cinética Ruminal.....	14
2.2.1. A Técnica “in situ”.....	14
2.2.2. A Técnica “in vitro” – Produção cumulativa de gases.....	19
2.2.3. Avaliação de modelos matemáticos.....	22
2.2.3. Avaliação de modelos matemáticos.....	22
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	25
3.1. Experimento I - Verificação da heterogeneidade da fração potencialmente degradável da FDN de alimentos volumosos e avaliação da metodologia “in situ” em ensaios de cinética de degradação ruminal.....	28
3.1.1. Procedimentos experimentais.....	30
3.2. Experimento II - Fracionamentos dos carboidratos e avaliação da cinética de digestão dos carboidratos através da técnica da produção de gases.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1. Experimento I .....	36
4.2. Experimento II .....	50
5. CONCLUSÕES.....	56
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

## 1. INTRODUÇÃO

O agronegócio brasileiro é responsável por mais de 25% do PIB e por aproximadamente 37% dos empregos gerados no país. Nas últimas décadas, as atividades ligadas ao agronegócio têm batido recordes na produção de alimentos para humanidade. Segundo dados estatísticos da produção pecuária de leite e de corte (IBGE, 2009), tais segmentos tem mostrado progressivos aumentos nos volumes de comercialização no mercado interno e no faturamento no mercado externo.

A perspectiva é que a atividade pecuária enfrentará novos desafios que envolvem principalmente a crise energética, a escassez de água, o crescimento populacional, e questões ambientais. O desafio de produzir carne ou leite de modo sustentável, inevitavelmente gera a necessidade de aplicação de estratégias nutricionais mais precisas, inclusive sob o ponto de vista do uso eficiente dos recursos alimentares, sejam estes forragens ou grãos.

A grande diversidade de espécies vegetais presente nos trópicos fornece uma série de alternativas para combinação de alimentos que podem ser utilizados na nutrição dos bovinos. No entanto, a pecuária de leite e corte no Brasil ainda apresenta índices médios de produtividade relativamente baixos (ANUALPEC, 2003), decorrentes de deficiências nutricionais de ordem quantitativas e qualitativas.

A parede celular dos vegetais é a reserva de carbono mais abundante na superfície terrestre. Segundo Van Soest (1994) cerca de 50% do carbono orgânico encontra-se sob a forma de celulose, o que potencialmente representa uma fonte de energia para os organismos vertebrados. Porém, os mamíferos não são capazes de fazer uso desta fonte de energia devido à falta de sistema enzimático específico no seu trato digestório. Os ruminantes, em particular, apresentam como virtude a relação simbiótica com microrganismos presentes no rúmen que degradam eficientemente os polissacarídeos estruturais das plantas. Entre os produtos finais da digestão estão os ácidos graxos voláteis (AGV), principais fontes de energia no metabolismo dos ruminantes.

As forrageiras tropicais, em consequência da estacionalidade de produção, podem não fornecer nutrientes suficientes para o máximo desempenho dos rebanhos bovinos e, face a isto, amplia-se a necessidade de estabelecer quais

gramíneas se adaptam melhor às condições brasileiras de clima e solo, bem como aquelas que apresentam maior valor nutritivo (Euclides, 2000).

As pesquisas na área de nutrição de ruminantes objetivam propor soluções nutricionalmente equilibradas e economicamente viáveis, uma vez que os gastos com alimentação contribuem com um elevado percentual dos custos no sistema de produção de bovinos.

Atualmente, os sistemas de exigências nutricionais para ruminantes baseiam-se no grau em que os nutrientes estão disponíveis para os microrganismos ruminais e no escape ruminal de frações não degradadas dos mesmos (Nocek, 1988; Sniffen et al., 1992). Viera & Fernandes (2006) ressaltaram ainda que a quantificação dos atributos que causam repleção ruminal é de suma importância, com ênfase para a fração insolúvel potencialmente digerível, a taxa de degradação, a fração indigerível, a taxa de redução de partículas, a taxa de escape ruminal dos pequenos fragmentos e a capacidade do animal em acomodar fibra no retículo-rúmen.

O efeito “fill”, tido como o enchimento do retículo-rúmen é um fator físico que limita o consumo voluntário por restrições na capacidade do trato digestivo dos animais (Mertens, 1994). O consumo de matéria seca é de fundamental importância na nutrição porque estabelece a quantidade de nutrientes disponibilizados aos animais para manutenção das funções vitais e produtivas, onde a fibra em detergente neutro (FDN) é o constituinte dietético que está estreitamente relacionado com a limitação física do consumo de matéria seca (MS), em virtude da suas lentas taxas de remoção do rúmen e de passagem para as secções posteriores do trato gastrointestinal.

Segundo Mertens (1994) o teor de FDN na dieta define os limites superiores e inferiores do consumo de MS. Tais limites sofrem variações de acordo com as fontes da FDN, ou seja, a natureza deste atributo é afetada pelo tamanho de partícula, digestibilidade, e pela taxa de passagem no retículo-rúmen. E a digestibilidade da fibra, por seu turno, está em função da fração potencialmente degradável e da taxa de digestão da mesma (Allen, 1997).

A interação do volume ruminal, das taxas de passagem de sólidos e líquidos, das taxas e extensão da fermentação dos nutrientes, e as taxas de absorção dos produtos finais da fermentação determinam o perfil de metabólitos que estão disponíveis para o hospedeiro, pelo impacto direto na população microbiana.

No que diz respeito ao valor nutritivo dos alimentos, há a necessidade de um método acurado, simples e rápido para estimar a qualidade de forrageiras tropicais com base em sua digestibilidade. Neste contexto, os ensaios de digestão “in vivo” constituem a melhor forma para obter o valor nutritivo, determinando o valor padrão. Porém, tais ensaios demandam tempo e grandes quantidades de matéria-prima a serem consumidas pelos animais, o que limitam sua execução.

Várias técnicas alternativas têm sido empregadas com este propósito, as quais se destacam as técnicas enzimáticas (Poos-Floyd et al., 1985), “in situ” ou do saco de náilon (Ørskov & McDonald, 1979) e “in vitro” gravimétrica (Tilley & Terry, 1963) ou “in vitro”- volumétrica – método da produção cumulativa de gases (Menke et al., 1979).

A técnica enzimática apresenta uma série de vantagens em relação às culturas de microrganismos vivos, tais como: baixo custo, menor tempo de execução e menor contaminação do resíduo alimentar. Sendo útil para avaliar diferenças relativas entre alimentos, porém imprópria para fornecer valores absolutos de digestibilidade (Nocek & Hall, 1984).

A técnica “in situ” tem sido adotada como procedimento padrão para caracterizar a degradabilidade dos compostos nitrogenados por apresentar boa correlação com os resultados obtidos “in vivo” (AFRC, 1993), e ao longo dos anos também tem sido amplamente empregada na determinação das degradabilidades da MS e da FDN. Porém, apesar de esforços para padronizar tal procedimento, a técnica tem ainda uma baixa repetibilidade (Madsen & Hvelplund, 1994), e por esta razão não é utilizada em análises rotineiras nos laboratórios comerciais (Spanghero et al., 2003). Outras limitações estão relacionadas com o tamanho de partículas da amostra incubada, a porosidade dos sacos de náilon, o tempo de incubação, a frequência de alimentação, a contaminação bacteriana e o influxo e efluxo de micropartículas (Mertens, 1993b; Madsen & Hvelplund, 1994; e Van Soest, 1994).

Estes métodos são amplamente difundidos pelo mundo e empregados na avaliação do valor energético e protéico de alimentos para ruminantes, e até mesmo no auxílio da predição do consumo voluntário a partir das variáveis de degradação ruminal. Vários trabalhos têm sido feitos para avaliar a influência das fontes de variação dos ensaios “in situ” nas estimativas de degradação ruminal, o que representa um esforço para o estabelecimento de procedimentos-padrão para esta técnica. Porém, a existência de um grande número de interações das fontes de

variação faz com que a padronização dos procedimentos “in situ” seja uma proposição inerentemente difícil (Vanzant et al., 1998).

Como a digestão da fibra é um processo peculiar nos ruminantes, a utilização de modelos mecanicistas para estimativa dos parâmetros cinéticos de degradação de perfis obtidos “in vitro” ou “in situ”, deve permitir ajustes a fenômenos biológicos de natureza complexa. Principalmente, no que diz respeito à retenção seletiva da matéria alimentar no rúmen que reflete na passagem de partículas para as porções posteriores do trato gastrintestinal. Logo, o modelo matemático empregado deve ser uma ferramenta útil em descrever os fenômenos biológicos (“in vivo”) do modo mais fiel o possível.

Os objetivos gerais do presente trabalho foram avaliar o valor nutritivo de 12 forragens a partir da composição química e dos parâmetros cinéticos de degradação da FDN, “in situ” e “in vitro”.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1. Forrageiras tropicais

Na produção animal, prioriza-se a utilização de forrageiras com elevado potencial de crescimento que proporcionem a melhor produtividade animal por unidade de área. Os capins acroceres (*Acroceras macrum* Stapf.), angola (*Brachiaria purpurascens* (Raddi) Henr.), hemarthria (*Hemarthria altissima*, Poir), setária (*Setaria anceps* Stapf.) são espécies perenes oriundas da África que apresentam boa adaptabilidade as condições edafoclimáticas do Brasil, em regiões de várzea ou solos mal drenados apresentam boa produtividade (Gohl, 1981; Botrel, 1983; Mitidieri, 1988).

Na região Norte Fluminense – RJ, estudos conduzidos por Vittori (1998) registraram valores de produções de matéria seca aos 42 dias de idade de corte iguais a 3955, 3773, 5936 e 3955 Kg/ha das gramíneas acroceres, angola, hemarthria e setária, respectivamente.

Embora haja poucos relatos na literatura a respeito do capim-acroceres, os estudos conduzidos na região Norte Fluminense – RJ mostraram que trata-se de um recurso forrageiro interessante, cuja produção de matéria seca assemelhou-se aos valores alcançados pelos capim-angola e capim-tifton, superiores a 5000Kg /há de matéria seca, aos 56 dias de idade de corte (Vittori, 1998).

O capim-angola é uma gramínea perene, de hábito de crescimento estolonífero e encontra-se bem adaptado a diversas regiões edafoclimáticas do Brasil, inclusive as áreas de baixada úmida (Otero, 1961). Sob tais condições, estudos tem mostrado bons valores de produtividade, em torno de 3500 a 7000 Kg MS/ha (Silva et al., 2008).

O capim-hemártria é uma gramínea (*Poaceae*) de estação quente, conhecida pelo nome comum de Capim Limpo, é originária da África do Sul, destaca-se em regiões e épocas do ano com noites frias e geadas, condições nas quais tem maior produtividade que cultivares de *Panicum maximum*, *Cynodon spp.*, *Brachiaria spp.* e *Pennisetum purpureum*, sendo também utilizada em baixadas úmidas Killinger (1971). Lacerda et al. (2004) constataram que o capim-hemarthria apresentou bom valor nutritivo em períodos de seca, por possuir menores teores de frações

indigestíveis dos carboidratos quando cultivados em regiões de baixada litorânea no estado do Rio de Janeiro.

Em termos de produtividade a cana-de-açúcar se destaca entre as forrageiras tropicais pela sua resistência a seca e capacidade relativa de conservar seu valor nutritivo a campo. Apesar da elevada produtividade, esta apresenta características que limitam a sua utilização para elevado desempenho animal, com destaque para o baixo teor de proteína bruta e elevado teor de fibra não-degradável, o que limita a ingestão de alimentos (Pereira et al., 2001).

Atualmente a silagem de milho tem sido considerado o alimento padrão em rebanhos leiteiros de alto desempenho, em consequência da estacionalidade da produção, as pastagens tropicais não são capazes de fornecer quantidades suficientes de nutrientes para o máximo desempenho animal (Euclides, 2000). Neste contexto, a utilização de silagem vem sendo cada vez mais intensificada devido à necessidade de melhorar a produtividade, que hoje é sinônimo de maiores rendimentos, principalmente no período de redução do valor nutritivo das gramíneas tropicais. Na produção de silagens, o milho é uma gramínea que apresentam boa palatabilidade, conteúdo energético e alto rendimento forrageiro (Vilela, 1990; Zago, 1999).

O milho é uma das gramíneas mais usadas para produção de silagem devido à facilidade de cultivo, elevada produção de matéria seca, bom padrão fermentativo, bom valor energético e alto consumo pelos animais. Segundo Mora et al. (1996), a silagem de milho apresenta valores de fibra em detergente neutro entre 45 e 65%, os quais são desejáveis na nutrição de vacas leiteiras

A alfafa (*Medicago sativa* L.), por sua vez, intitulada, “rainha das forrageiras” - É uma forrageira rica em proteína, vitaminas e sais minerais. Adapta-se ao clima temperado e quente, e suporta quedas de temperatura; exige solos férteis, profundos com alto teor de matéria orgânica e cálcio; não suporta excesso de umidade. O principal atributo desta forrageira é sua alta produção de proteína associada a muitos minerais e ainda a uma vasta adaptação a condição do meio. Produz excelente feno artificialmente desidratado, silagem e forragem. Entre os pontos negativos estão a: pouca persistência a pragas e doenças, não suporta pastejo intenso (Bodgan, 1977).

Estudos sobre a espécie *Pennisetum purpureum*, (Schum.) relacionados com as características agrônômicas e valor nutritivo têm recebido grande atenção em

todo o território nacional (Daher et al., 2000; Soares, 2002). No entanto, ainda existem lacunas a serem preenchidas neste campo de estudo, devido à grande diversidade genética que a espécie apresenta (Haddade, 2004). Uma melhor caracterização do desempenho dos genótipos nas diversas regiões do país em conjunto com informações sobre o valor nutritivo destes sob diferentes práticas de manejo faz-se necessária, já que grandes variações são observadas nas características fenotípicas e fenológicas entre os genótipos e as cultivares de capim-elefante, o que implica em conseqüências na digestão dos ruminantes.

Pereira et al. (1997) mencionaram que o completo desenvolvimento da tecnologia da produção pecuária utilizando-se do capim-elefante como forrageira depende, principalmente, da geração e da seleção de novas cultivares mais adaptadas aos sistemas de produção. Para tanto, a avaliação dos aspectos produtivos e bromatológicos de plantas forrageiras reveste-se de grande importância na seleção de novos materiais, visto que os mesmos podem interferir no desempenho e na produtividade animal.

O melhoramento do capim-elefante, com base no aproveitamento do vigor híbrido (heterose), constitui-se em um processo simplificado, dado a possibilidade de se fixar um determinado genótipo e multiplicá-lo por propagação vegetativa (Daher et al., 2004). A Rede Nacional de Avaliação do Capim-Elefante (RENACE) propõe-se a avaliar e selecionar genótipos de capim-elefante para os sistemas de corte e/ou pastejo adaptados às diferentes condições edafoclimáticas do Brasil. Nos ensaios que compõem a RENACE, são adotadas metodologias-padrão para toda a rede. Os genótipos obtidos pelo programa de melhoramento genético de capim-elefante da Embrapa Gado de Leite são avaliados em três fases distintas: Fase 1- ensaio de observação; Fase 2- ensaio sob condição de corte; e Fase 3- ensaio sob condição de pastejo. Dentro do plano de ação da RENACE, a Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF) está incumbida da avaliação no estado do Rio de Janeiro dos genótipos da RENACE 1 e 2, realizando os ensaios das fases 1, 2, 3.

A recomendação de cultivares deve levar em consideração a determinação do máximo de características que permitam indicar com maior precisão possível o nicho de utilização da forrageira. Características como regime de corte, relação lâmina foliar:colmo, altura de corte, adubação, irrigação, entre outros, apresentam relação direta com a produtividade e a qualidade. Isto foi apropriadamente demonstrado por Andrade & Gomide (1971), ao estudarem os efeitos do envelhecimento sobre a

qualidade do capim-elefante. Os resultados de algumas avaliações têm mostrado que a maioria desses genótipos apresenta melhor comportamento que as testemunhas locais (Daher et al. 2000; Fernandes et al., 2002; Freitas et al., 2004; Haddade, 2004).

Mas tanto a produtividade quanto a qualidade do genótipo de capim-elefante estão intimamente relacionadas com o manejo utilizado. Como exemplo, pode-se citar os resultados obtidos em termos de produção de leite, que são bastante variáveis. Isto se deve, em grande parte, pela utilização de forragem com diferentes idades de corte e que apresentam valores nutritivos variáveis, afetando, conseqüentemente o consumo diário dos animais. Segundo Pedreira & Boin (1969), a rápida perda de qualidade decorrente do aumento da idade da planta é um fator observado no capim-elefante e na maioria das forrageiras tropicais.

Resultados de pesquisas nacionais mostram que o capim-elefante, cortado aos 60 dias de idade, fornece nutrientes apenas para suprir as exigências de manutenção e para a produção diária de cinco a seis quilos de leite por vaca (Deresz, et al. 1997). Produções de leite mais elevadas só seriam possíveis em idades de corte inferiores a 60 dias. Haddade (2004) ao avaliar quatro genótipos de capim-elefante, na região norte do Estado do Rio de Janeiro, concluiu que as idades de maior acréscimo de biomassa e maior perda de qualidade química coincidem com as idades de 45 e 60 dias de rebrota.

As características anatômicas da planta possuem alta correlação com o valor nutritivo da mesma; nas forrageiras C4 os efeitos deletérios da maturação fisiológica são mais pronunciados devido a maior proporção dos tecidos condutores (especialmente da bainha parenquimática dos feixes vasculares), que são lentamente degradados no rúmen. Com o avanço no estágio de desenvolvimento ocorre diferenciação química dos tecidos, alterando a relação folha:colmo e por sua vez, o grau de lignificação.

A hemicelulose é a fração mais afetada pela lignificação, apesar desta fração apresentar maior potencial de degradação que outros componentes fibrosos da parede celular, essa não é maximizada, pois se concentra, principalmente, na parede primária. Como a degradação da célula inicia-se pelo seu interior seguindo para a parede secundária, quando o microrganismo atinge a parede primária, que é a porção externa da célula, a partícula já está deixando o rúmen. Desse modo, plantas forrageiras de maior idade fisiológica, ou florescidas, apresentam redução

mais acentuada na degradabilidade da hemicelulose do que na degradação da celulose (Messman et al., 1991).

Na utilização de plantas forrageiras é importante considerar a época de corte mais adequada aos conceitos de valor nutritivo e produtividade (Andrade & Gomide, 1971). Tais autores ressaltaram ainda que o valor nutritivo das forrageiras decresce com o avanço no estágio de desenvolvimento da planta. Geralmente ocorre decréscimo nos teores de proteína bruta e minerais, e elevação nos teores de matéria seca, celulose e lignina, o que é deletério para o animal, pelas reduções na digestibilidade e na palatabilidade da forrageira.

## **2.2. Cinética Ruminal**

### **2.2.1. Fracionamento dos carboidratos**

A estimativa acurada das frações dos alimentos destina-se a abastecer bancos de dados de alimentos tropicais, que poderão ser utilizados para melhor adequação de dietas de ruminantes. Variações na composição química das forrageiras em função do manejo adotado ocorrem em função da idade de corte da planta, gerando mudanças na composição dos tecidos que da parede celular dos vegetais.

O CNCPS (Cornell Net Carbohydrate and Protein System; Sniffen et al., 1992) baseia na disponibilidade de energia oriunda dos carboidratos e de compostos nitrogenados para maximização do crescimento microbiano no rúmen.

O CNCPS considera que os alimentos são compostos por carboidratos (CHOs), proteína bruta (PB), gordura, cinza e água. Os CHOs são fracionados em açúcares (fração A), substâncias pécicas (fração B<sub>1</sub>), carboidratos estruturais potencialmente degradáveis (fração B<sub>2</sub>) e a fibra não digerível, calculada pelo teor de lignina multiplicado ao fator 2,4 (fração C).

Os carboidratos podem ser classificados em carboidratos fibrosos (CF) e não-fibrosos (CNF). Segundo MERTENS (1996), os CF são representados pela celulose e hemicelulose, descritos como sendo de lenta e incompleta digestão no trato gastrointestinal (TGI), e os CNF, pelos açúcares solúveis, amido e pectina, que são de rápida e completa digestão no TGI.

### 2.2.2. Técnica “in situ”

A manipulação do grau em que nutrientes específicos estão disponíveis para os microrganismos ruminais e a quantidade de nutrientes que escapam a fermentação microbiana determinam a resposta animal sob certa dieta. Segundo Nocek (1988) para se estabelecer as quantidades de nutrientes necessárias para uma resposta ótima no desempenho microbiano e conseqüentemente na resposta animal, primeiramente deve-se predizer adequadamente a disponibilidade de um dado nutriente no rúmen.

Os ensaios “in vivo” realizados para a determinação do valor nutritivo dos alimentos fornecem valores de digestibilidade e consumo de nutrientes mais acurados dentre as técnicas existentes. Porém, a laboriosidade e o elevado custo dos ensaios que envolvem animais fazem com que a sua aplicação rotineira seja inconveniente. Além disso, os ensaios “in vivo” tradicionalmente são empregados para determinar a digestibilidade aparente de alimentos, valores estes que expressam os fenômenos digestivos do trato gastrintestinal como um todo, não fornecendo informações a respeito com qual extensão o alimento é degradado no rúmen ou pós-ruminalmente (Huntington & Givens, 1995).

Como alternativa aos estudos “in vivo”, vários centros de pesquisa têm dedicado seus esforços em validar metodologias (“in vitro” e “in situ”) para estimar o valor nutritivo dos alimentos. As técnicas de avaliação da degradação ruminal dos alimentos, envolvem ensaios de desaparecimento de massa ou a quantificação dos produtos finais da atividade microbiana (Pell et al., 1994).

A técnica “in situ”, também conhecida como a técnica do saco de náilon, permite que o alimento a ser testado permaneça em íntimo contato com o meio ruminal. É gerada uma curva de desaparecimento do alimento incubado ao longo do tempo – ao se medir a quantidade de resíduo remanescente no interior do saco, em vários tempos de observação.

Esta técnica tem sido adotada pelo AFRC (1993) como método padrão para descrever a degradabilidade da proteína, pois inicialmente a técnica destinava-se a descrever a dinâmica da digestão das proteínas no rúmen (Mehrez and Ørskov, 1977; Ørskov and McDonald, 1979).

Segundo Nocek (1988) não há método mais adequado do que o “in situ” para simular as condições do ambiente ruminal sob um regime alimentar específico,

principalmente no que diz respeito à temperatura, pH e enzimas presentes. Van Soest (1994) ressaltou que, mesmo o alimento estando exposto às condições ruminais reais, este material não é submetido a fenômenos digestivos importantes como a mastigação, a ruminação e o escape.

A ausência de ruminação, no caso de alimentos incubados "in situ", sugere que algum processo adicional deve ser utilizado para que o tamanho de partícula represente adequadamente as características observadas "in vivo". Neste contexto o preparo da amostra a ser incubada tem grande magnitude, principalmente no que diz respeito ao tamanho de partícula. Segundo Huntington & Givens (1995) a moagem mecânica do substrato deve simular a distribuição de partículas que se encontram no rúmen após a mastigação e ruminação, pois o material contido no interior do saco só ganha condições de escape por ação das atividades muscular e microbiana no rúmen.

O tamanho de partícula pode permitir maior ou menor acesso para os microrganismos atuarem sobre os componentes do alimento (Owens & Goetsch, 1993), sendo este um fator relevante na taxa de degradação dos alimentos, principalmente na digestão da fração fibrosa que é um processo dependente da colonização microbiana. Tais autores destacaram ainda, que a taxa de degradação ( $k_d$ ) pode ser influenciada pelo processamento por alterar a área de superfície, geralmente aumentando a taxa de digestão. A redução do tamanho de partícula ao aumentar proporcionalmente a relação superfície:área, aumenta a exposição do alimento à digestão microbiana.

Porém, tamanhos de partícula muito pequenos podem induzir a uma excessiva perda física de partículas, o que conseqüentemente resulta na superestimação da degradação do substrato avaliado. A partícula perdida é composta por partículas não solúveis as quais poderiam ou não ser degradadas ao longo do tempo se estas permanecessem no interior do saco. A natureza das partículas perdidas é de frações do alimento não-degradável e potencialmente degradável, por esta razão, as perdas são especialmente importantes durante os estagios iniciais de incubação (France et al., 1997).

As perdas de partículas ocorrem imediatamente quando os sacos são imersos no conteúdo ruminal. E o desaparecimento inicial se dá por dois fatores: a solubilidade e a perda de partícula. Esta última é função da interação do tamanho de poro do saco e tamanho de partículas da amostra incubada. Embora se saiba que o

desaparecimento e a degradação não correspondem exatamente ao mesmo valor, considera-se que qualquer substrato que tenha sido dissolvido no rúmen seja considerado um componente da degradabilidade efetiva.

Lopez et al. (1994) e Marinucci et al. (1999) propuseram correções para perda de partículas no método de sacos de náilon, com o intuito de permitir que a degradabilidade ruminal seja estimada de forma mais acurada. France et al. (1997) enfatizaram que o uso de equações de correção não resolve completamente o problema da superestimação da degradação devido a perda de partícula. Tal correção tem menor acurácia para substratos de elevada degradabilidade, em que o material não-degradável é perdido mais rapidamente, como, por exemplo, concentrados finamente moídos.

O propósito da técnica do saco de náilon é medir o desaparecimento do alimento contido no interior do saco que é suspenso no rúmen, sem levar em consideração a passagem para as porções inferiores do trato digestivo. Inevitavelmente, algum material escapa da sacola sem ser digerido, a fração que escapa no tempo zero é indevidamente chamada de fração solúvel, por que o método do saco de náilon tem como pressuposição que a fração que escapa é completamente ou rapidamente degradada.

Na revisão publicada por Huntigton & Givens (1995) constata-se que a maioria dos experimentos com a técnica "in situ" utilizam o tamanho de partícula de 2mm. Devido as poucas evidências disponíveis sobre o efeito do tamanho de partícula afetando a degradação dos alimentos, Vanzant et al. (1996) e Vanzant et al. (1998) sugeriram que o tamanho de partícula de 2mm é adequado para rotinas de ensaios "in situ".

Barbosa et al. (1998) verificaram que não houve efeito dos tamanhos de partículas (1, 3 e 5 mm) nos parâmetros da equação de degradação "in situ" da matéria seca em fenos de capim-elefante cv. Cameroon e de capim-jaraguá.

Campos (2004) avaliaram os tamanhos de partícula de 1 e 2 mm em ensaios "in situ" de gramíneas tropicais com bovinos e ovinos, e constatou que tanto as taxas de degradação, quanto a degradabilidade potencial foram fracamente afetados pelo efeito do tamanho de partícula da amostra. E que as perdas de partícula foram bastante pronunciadas em ambas as granulometrias.

Valentim et al. (1999) contataram que ensaios "in situ" com silagem de milho moída a 5 mm e passados em peneiras de 1mm e 3mm, a perda de matéria seca

não degradada foi significativamente maior para o material moído a 3mm, a fração solúvel da MS também foi considerada maior para este tamanho de partícula. Vale ressaltar que a perda de partículas não-degradadas foi obtida pela simulação do ambiente ruminal, ao submergir os sacos de náilon em uma solução de pH 6,0 e temperatura de 39°C. A diferença de peso entre o material contido no interior do saco inicialmente e o resíduo obtido após lavagem mecânica por 1 hora, foi considerada a perda de MS não-degradável.

De maneira geral, os estudos na literatura mostram que os tamanhos de partícula empregados para ensaios “in situ” variam de 1,5 a 5 mm para alimentos volumosos (Vanzant et al, 1996).

O melhor entendimento de como os mecanismos que controlam ou influenciam estes fatores auxiliaria no estabelecimento de procedimentos padrão para esta técnica. Trabalhos mostraram que existe a possibilidade do microambiente do saco apresentar características que diferem daquelas encontradas no meio ambiente ruminal onde os sacos estão inseridos.

Marinucci et al. (1992) estudaram os fatores que afetam o micro-ambiente no interior dos sacos sintéticos e os efeitos causados no desaparecimento da matéria seca, e ainda investigaram os processos que podem reduzir a variabilidade da técnica “in situ”.

Tendo em vista que uma das limitações da técnica “in situ” é a necessidade de vários tempos de incubação para descrever a dinâmica ruminal de determinado nutriente, o que implica num grande número de amostras a serem incubadas, o número de sacos envolvidos no processo é grande. Quando se deseja avaliar um grupo de alimentos, utiliza-se sacos de procedência importada, o que acarreta num custo adicional para condução dos ensaios. Face a isto, trabalhos têm sido conduzidos na busca de materiais suficientemente adequados, tanto do ponto de vista técnico quanto financeiro (Casali, et al.,2009).

Muller & Prates (2003) testaram o efeito do uso de náilon importado ou nacional na confecção dos sacos empregados no ensaio de degradabilidade ruminal da MS e FDN de feno de capim-tifton 85, e encontraram resultados satisfatórios com o náilon nacional.

O TNT (tecido não-tecido) parece ser uma boa alternativa para ensaios de degradabilidade ruminal quando levado em consideração seu preço de mercado em comparação ao tecido náilon e a fibra sintética Ankon® (Casali, 2006).

O tipo de tecido do saco deve garantir que o microambiente no saco seja semelhante ao meio ambiente ruminal, permitindo o fluxo de fluido ruminal e efluxo de partículas degradadas ou solúveis, para tal os poros do tecido devem ser uniformes. Por esta razão em ensaios desta natureza deve-se priorizar o uso de sacos cujo tecido seja de natureza monofilamentar, uma vez que as tramas multifilamentares estão mais propensas a estiramento das fibras ao longo dos tempos de incubação, favorecendo as perdas de partículas (Marinucci et al., 1992; Adesogan, 2002).

Outro fator a ser considerado nos ensaios de incubação “in situ” é que os modelos para estimar a cinética de degradação da fração potencialmente degradável dos carboidratos, assumem que há homogeneidade na degradação da fração B<sub>2</sub>. Mas, Ellis et al. (2005) ressaltaram que a complexidade química e anatômica dos tecidos das plantas, torna questionável que esta fração seja degradada pelos microorganismos ruminais de forma uniforme. A FDN potencialmente digestível é composta de múltiplas sub-entidades nutricionais, face a isto, seria necessário estimar múltiplas taxas de degradação para as mesmas. Porém, isso ocasionaria em um grande número de parâmetros envolvidos no processo, sendo pouco viável sob o ponto de vista prático.

Com a técnica “in situ” do saco de náilon, as amostras de alimentos são segregadas basicamente em três frações distintas. Em que a fração solúvel, representada pela porção que passa pelos poros de náilon. Em fração degradável a qual não esta apta a escapar do saco a menos que seja fermentada pelos microorganismos. Além da fração não-degradável – que permanece no saco após longos períodos de incubação.

A porção que prontamente desaparece no rúmen é tida como a porção da matéria alimentar que é de imediato completamente degradada no rúmen. Porém grande parte do material que escapa do saco trata-se de material de média ou lenta degradação que escapa do saco como perda de partícula, sendo este um erro sistemático da técnica. Pois grânulos/partículas de dimensões inferiores a porosidade do saco (geralmente 40µm) podem escapar sem serem digeridos e são considerados como fração solúvel. E no caso da fibra - constituinte de grande percentual nos alimentos volumosos, não é adequado considerar tal fração, considerando-se a natureza química da fração fibrosa dos volumosos, não admitir fração solúvel.

### **2.2.3. Técnicas “in vitro” - Produção cumulativa de gases**

A técnica da produção de gases foi proposta inicialmente por Menke et al. (1979) com intuito de prever a digestibilidade e a energia metabolizável de alimentos para ruminantes. O princípio das técnicas “in vitro” consiste em simular o ambiente ruminal ao submeter as amostras de alimentos em contato com determinado inóculo (líquido de rúmen). A técnica proposta por Tilley & Terry (1963) é amplamente difundida em determinar gravimetricamente a digestibilidade de forrageiras, em que os substratos, previamente moídos, são inoculados com microrganismos ruminais e mantidos em meio anaeróbico a 39°C, com incubações de 24 a 48 horas.

A técnica de produção de gás, por sua vez, é volumétrica. Os gases: dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e metano (CH<sub>4</sub>) são os produtos finais da fermentação do substrato incubado em frascos fechados hermeticamente, e os gases que se acumulam entre a tampa e a superfície do meio de cultura são posteriormente mensurados (Menke et al., 1979; Beaubien et al., 1988; Pell & Schofield, 1993).

O método “in vitro” está sujeito a múltiplas fontes de variação em virtude da composição do tampão e manipulação do meio fermentador, das condições de incubação (temperatura, anaerobiose, pH, agitação) e preparo da amostra (Weiss, 1994; Schofield, 2000). Beever & Mould (2000) afirmaram ainda que é necessária uma padronização da metodologia para comparação de dados gerados em diferentes laboratórios.

Os registros da produção cumulativa de gases permitem que parâmetros cinéticos sejam estimados, os quais descrevem o padrão de fermentação do alimento avaliado. Tais dados podem ser utilizados nos sistemas de avaliação da utilização de energia pelo ruminante, porém para a avaliação das frações que compõem os alimentos, os parâmetros estimados são mais adequados na comparação de tratamentos experimentais (Dijkstra et al., 2005).

Atualmente, existem diversos métodos automatizados de registro da produção de gases obtidos pela técnica “in vitro”. Theodorou et al. (1994) descreveram a variabilidade da técnica “in vitro” da produção de gases através de um transdutor que realizava a leitura e liberava o volume de gás acumulado nas seringas de

incubação. Pell & Schofield (1993) desenvolveram um sistema onde sensores presentes nos frascos estão integrados a um computador Schofield (2000).

No entanto, os parâmetros estimados devem possuir significado biológico, principalmente a taxa de degradação e a extensão da degradação. Entende-se por taxa de degradação a proporção de matéria seca que desaparece por unidade de tempo, expressa em horas. E a extensão de digestão é a proporção da matéria alimentar que desaparece com a fermentação, num dado intervalo de tempo.

A fibra é uma matéria complexa de compostos químicos de natureza diversa. No sistema detergente desenvolvido por Van Soest et al. (1991) a fração FDN inclui os polímeros celulose, hemicelulose e lignina, os quais apresentam taxas de degradação distintas. A proporção destes compostos no tecido vegetal varia entre as espécies forrageiras e intra especificamente, e também com estágio fisiológico (Figura 1).

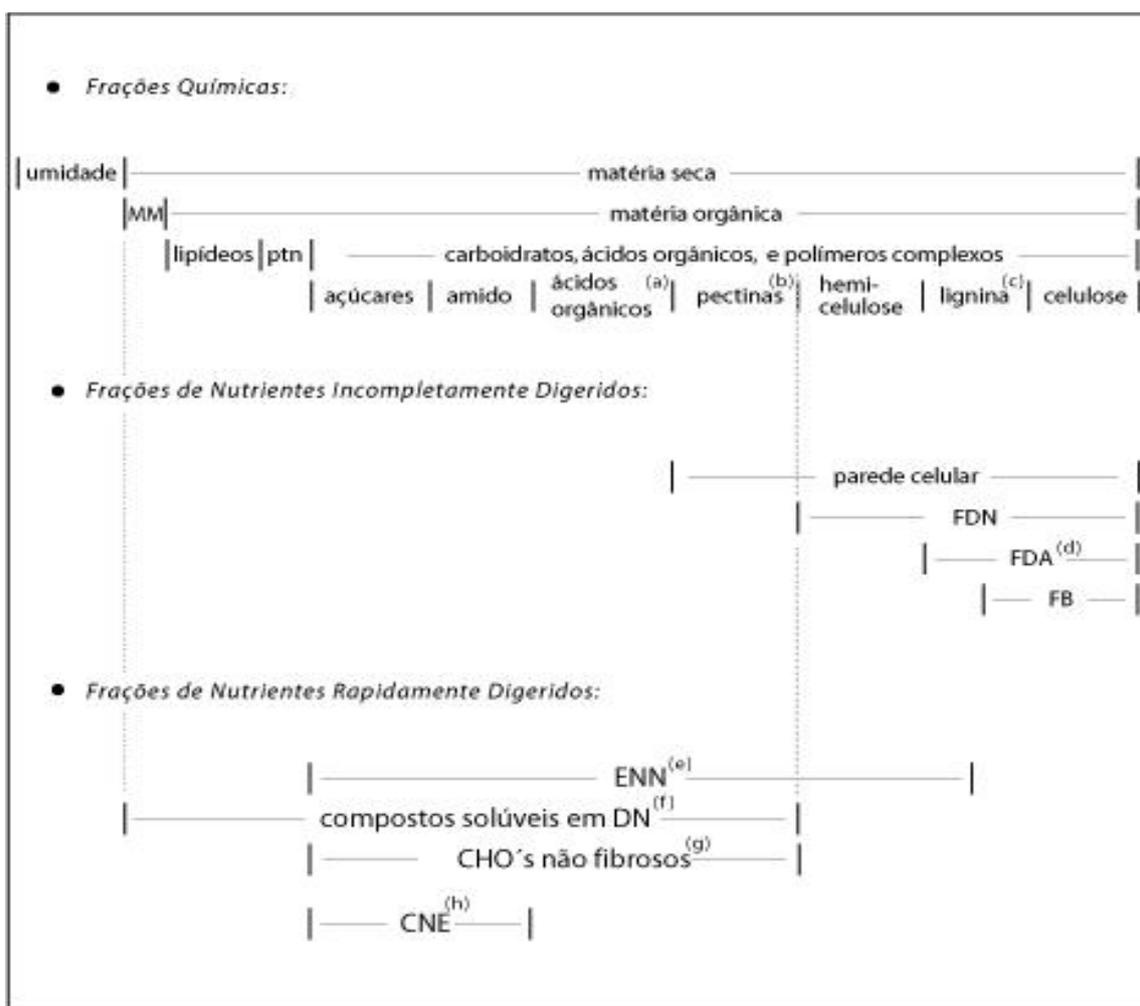


Figura 1 – Esquema ilustrativo das frações constituintes da matéria alimentar (Adaptado de Mertens; 2002).

Legenda: MM – matéria mineral; ptn – proteína bruta; FDN – fibra em detergente neutro; FDA – fibra em detergente ácido; FB – fibra bruta. (a) - Ácidos orgânicos; (b)- beta-glucanos e frutanas;(c) - Polímeros de lignina e ácidos fenólicos complexos; (d) –Fenóis complexos e ligninas de baixo peso molecular solúveis em detergente ácido; (e) – Extrato não-nitrogenado; (f) – Compostos solúveis em detergente neutro; (g) - Carboidratos não-fibrosos; (h) – Carboidratos não-estruturais totais.

O rúmen possui uma abundância de alimentos sólidos, aproximadamente 10% p/v, compostos primariamente de polímeros grandes. Estes polímeros devem ser degradados a substâncias de peso molecular menor para que possam ser metabolizados. O processo digestivo é realizado por enzimas extra-celulares que estão freqüentemente aderidas a superfície externa de uma bactéria, essa estratégia de utilizar células associadas a enzimas permite capturar uma grande parte dos produtos.

O perfil da produção cumulativa de gases reflete a cinética da atividade microbiana dentro do sistema fechado (frasco). Mas tal quantificação é dependente da adequação dos modelos matemáticos em relação a digestão da fibra, devido a sua natureza peculiar. Por esta razão a utilização de modelos lineares não é adequada para descrever os eventos cinéticos de digestão da fibra pelo ruminante.

As vantagens de utilizar a técnica de produção de gás consistem, primeiramente, em se caracterizar de forma mais adequada as particularidades inerentes ao alimento, seguida pela rapidez e uniformidade físico-química do meio ambiente ruminal (Malafaia et al., 1998a). No entanto, limitações inerentes à técnica também ocorrem, como o não suprimento de nutrientes essenciais aos microrganismos, o uso inadequado dos tampões, falta de manutenção das condições anaeróbicas, pH inadequado e desuniformidade na manipulação das amostras, entre outras (Williams, 2000).

Porém, o volume de gás produzido quando alimentos são incubados “in vitro” com tampão e líquido ruminal é reflexo somente dos eventos ruminais, e tais valores têm sido correlacionados com a digestibilidade dos alimentos no trato como um todo (Menke et al., 1979). Os resultados gerados por esta técnica apresentam baixa repetibilidade (entende-se por repetibilidade, a realização de análises sucessivas dentro de um mesmo laboratório).

Considera-se que o método “in situ” mensura os efeitos da dieta e do animal na cinética da digestão concomitantemente e não é afetado pela condição artificial do sistema “in vitro”. Mas quando o objetivo é avaliar a natureza intrínseca da cinética de digestão da parede celular o método “in situ” apresenta desvantagens.

Pois em geral, o ambiente ruminal não está no estado de equilíbrio, por esta razão os parâmetros cinéticos são influenciados pelo plano nutricional ao qual o animal está submetido e pelas variações no ambiente ruminal (Mertens, 1993a).

### 2.2.3. Avaliação de modelos não-lineares

O processo de digestão da matéria alimentar no rúmen é caracterizado por uma fase inicial (tempo de latência) onde ocorre a colonização microbiana, seguida de uma fase de degradação cuja taxa é relativamente rápida, e com o passar do tempo, encerra no estado em que o nível do resíduo alimentar permanece constante.

A expressão gráfica remete que os fenômenos digestivos tem natureza não-linear, os perfis de degradação obtidos “in vitro” e “in situ” apresentam curvas semelhantes, com característica sigmoideal. O desafio em questão está em derivar equações capazes de estimar acuradamente os parâmetros de degradação. Para tal, modelos em esquema compartimental têm sido avaliados, onde a matéria alimentar é fracionada em pelo menos dois compartimentos distintos: uma fração potencialmente degradável (B) e uma fração não-degradável (U). O comportamento dinâmico das frações é expresso pelas equações diferenciais:

$$\frac{dB}{dt} = 0, 0 \leq t \leq L, \text{ e}$$

$$\frac{dB}{dt} = kB, t \geq L$$

$$\frac{dU}{dt} = 0, t \geq 0$$

Em que  $t$  = tempo (h);  $L$  = tempo de latência ( $h^{-1}$ ),  $B$  = fração potencialmente digerível (substrato), (%);  $k$  = taxa de degradação da fração potencialmente digerível (%/h),  $U$  = fração não degradável

A taxa de degradação  $k$  trata-se de uma característica intrínseca do alimento, embora uma vez no rúmen, a mesma sofre influência de fatores inerentes ao animal (France et al., 2000; López et al., 2000).

Nos modelos lineares, a obtenção da estimativa dos parâmetros encerra no problema de resolver um sistema de equações lineares com relação aos coeficientes

de regressão desconhecidos. Existe uma solução única e, portanto, obtém-se uma forma analítica de estimação dos parâmetros. Esta forma é a mesma para qualquer modelo e qualquer conjunto de dados.

Além disso, como os coeficientes são combinações lineares das observações, pela teoria estatística, demonstra-se que a distribuição amostral dos coeficientes de regressão segue uma distribuição *t*, assim, pode-se realizar os testes de hipóteses, calcular os intervalos de confiança para esses coeficientes.

No caso dos estudos de cinética de digestão, não é adequado descrever os fenômenos inerentes ao processo por intermédio de um modelo de regressão linear. Ao invés de uma descrição puramente empírica do fenômeno em estudo, pode-se, a partir de suposições importantes sobre o problema, ao derivar as equações, com objetivo de obter uma relação teórica entre as variáveis observáveis de interesse.

Geralmente os modelos não lineares fornecem bom ajuste, com menos parâmetros do que os modelos lineares, onde os parâmetros estimados trazem a simplicidade e facilidade de interpretação. A estimativa dos parâmetros pelo método dos mínimos quadrados ou pela máxima verossimilhança. Existem diversas técnicas para ajuste dos dados/perfis a modelos de cinética, onde se destacam as técnicas de “curve peeling”, transformação logarítmica e regressão, e regressões não-lineares, por procedimentos dos mínimos quadrados (Mertens, 2005).

No caso específico do fenômeno de digestão, a curva de degradação da matéria alimentar no rúmen é caracterizada por uma fase inicial ou tempo de latência, seguida de uma fase de degradação com taxa relativamente rápida. No decorrer do tempo de permanência no rúmen, a matéria alimentar é consumida e o resíduo não-digerido permanece constante. Desta forma, a curva típica que descreve tal processo apresenta natureza sigmóide. Pode ser descrita por uma função exponencial - é nítida a evidencia de que o processo de digestão microbiana no rúmen é melhor descrito por modelos de regressão não-linear. Sendo o método adequado para estimativas dos parâmetros cinéticos de degradação ruminal.

Vários autores vem parametrizando modelos para interpretação de dados da cinética de digestão obtidos “in situ” e “in vitro”, afim de estimar os parâmetros que expressem a digestão microbiana dos alimentos retidos no rúmen (Mertens (1993b); Ellis et al. (1994), France et al., (1998)).

Em incubações com substratos celulósicos puros e substratos mistos de  $\alpha$ -celulose e celulose microbiana, os modelos com 2 *pools* (compartimentos) tendem a

se ajustar melhor aos perfis “in vitro” (produção de gases) do que os modelos de primeira ordem.

A fim de avaliar o grau de complexidade dos modelos, qualidade do ajuste e validade das pressuposições, um modelo generalizado (GnG1) baseado em conceitos teóricos e probabilísticos foi proposto por Vieira et al. (2008a,b), em que perfis de natureza sigmoidal – comuns em degradação da fibra no rúmen são ajustados. Baseando-se nos princípios mecanicistas de que a dinâmica compartimental que permite maior flexibilidade no ajuste do modelo, evitando a excessiva estimativa de parâmetros, e conseqüentemente, minimiza a problemática da complexidade na interpretação (Figura 2).

O modelo GnG1 foi concebido a partir de perfis de degradação da fibra “in vitro” e perfis de passagem “in vivo”, considerando que a matéria fibrosa no rúmen possui natureza heterogênea.

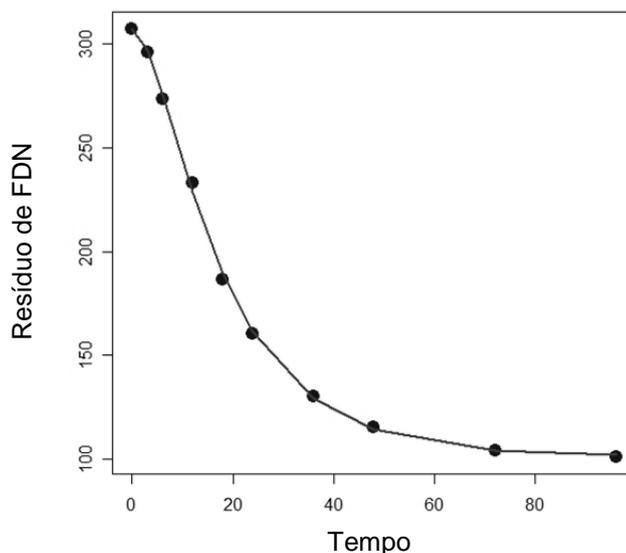


Figura 2 – Perfil de degradação ajustado para o modelo ‘ $Y_{ijk} = u + \alpha_i + p_{ji} + \beta_k + \alpha\beta_{ik}$  ( $n=1$ ,  $k_d=0,06556$ ,  $\Lambda=0,223$ ,  $u=101,7$ )’, em que:  $n$ = número de compartimentos,  $k_d$ = taxa fracional de degradação,  $\Lambda$  = tempo de latência discreta,  $u$ = fração não-degradável.

Extraído de: <http://nutritionmodels.tamu.edu/gng1.htm>.

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido nas dependências da Universidade Estadual do Norte Fluminense (UENF), em Campos dos Goytacazes, RJ. O município de Campos dos Goytacazes está situado a 21° 45' 14" latitude Sul e 41° 19' 26" longitude Oeste, a 12m de altitude (Ometto, 1981). Segundo a classificação de Köppen (1948), o clima da região Norte Fluminense é do tipo Aw - tropical quente e úmido, com período seco no inverno e chuvoso no verão com precipitação média anual de 800mm.

Foram avaliadas 12 forragens: capim-acroceres (*Acroceras macrum* Stapf.), capim-angola (*Brachiaria purpurascens* (Raddi) Henr.), capim-hemarthria (*Hemarthria altissima*, Poir), capim-mombaça (*Panicum maximum*, cv. Mombaça), capim-setária (*Setaria anceps* Stapf.), cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.), silagem de milho (*Zea mays* L.), feno de alfafa (*Medicago sativa*), dois genótipos de capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) que são híbridos interespecíficos tetraplóides, devidamente registrados no Banco Ativo de Germoplasma - pertencentes à RENACE I (Rede Nacional de Avaliação do Capim-elefante) da EMBRAPA Gado de Leite. E duas cultivares comerciais de capim-elefante a cultivar napier e a cameroon (Tabela 1).

Tabela 1 - Caracterização das forragens amostradas e utilizadas nos ensaios

Forragem	Descrição das amostras	
	Origem	Características
Capim-acroceres	Campo agrostológico UENF	Corte com 60 dias de idade, altura de corte 10cm do solo
Capim-angola	Campo agrostológico UENF	Corte com 60 dias de idade, altura de corte 10cm do solo
Capim-elefante cv. Cameroon e cv. Napier	Campo experimental UENF	Obtido de capineira, corte com 60 dias de idade, altura de corte 30cm do solo, planta inteira altura média 100cm.
Cana-de-açúcar (variedade SP 80-1842)	PESAGRO – Campos dos Goytacazes -RJ	Colhidas com 9 meses de idade, em abril de 2007
Genótipos de C. elefante CNPGL 92-79-02	Campo experimental UENF - EMBRAPA Gado de leite	Genótipos RENACE I Obtido de capineira, corte com 60 dias de idade, altura de corte 30cm do solo, planta inteira altura média 100cm.
Genótipos de C. elefante CNPGL 94-07-02	Campo experimental UENF - EMBRAPA Gado de leite	Genótipos RENACE I Obtido de capineira, corte com 60 dias de idade, altura de corte 30cm do solo, planta inteira altura média 100cm.
Capim-hemarthria	Campo agrostológico UENF	Corte com 60 dias de idade, altura de corte 10cm do solo
Capim-mombaça	Campo experimental UENF	Área de pastejo, altura de corte 30cm.
Capim-setária	Campo agrostológico UENF	Corte com 60 dias de idade, altura de corte 20cm do solo
Silagem de milho	Campo experimental UENF	Colheita do milho 50 dias, silagem de planta inteira, silagem com 60 dias.

Feno de alfafa	Comprado	Aquisição do feno no mesmo período de corte das
	Origem Estado do Paraná	gramíneas.

Os dois genótipos de capim-elefante foram escolhidos através da técnica de agrupamento hierárquico entre 10 genótipos da Rede RENACE: BAG 66, CNPGL 91-25-01, CNPGL 92-70-02, CNPGL 92-79-02, CNPGL 93-32-02, CNPGL 94-07-02, CNPGL 94-09-01, CNPGL 91-06-02, CNPGL 92-94-01 e CNPGL 94-49-06.

A definição dos agrupamentos de genótipos em função de similaridades do comportamento das variáveis elencadas. Onde a menor distância entre os pontos é indicativo de maior semelhança – segundo o método da mínima variância (SAEG, 2007). A análise de agrupamento hierárquico teve como principal objetivo formar grupos de genótipos com características "semelhantes", em relação às variáveis - teores de FDN, carboidratos não fibrosos (CNF), lignina, carboidratos totais (CHT), e das frações de compostos nitrogenados e de carboidratos (Sniffent et al. 1992) Tais valores foram determinados nos ensaios conduzidos por Lima et al. (2008), com os mesmos genótipos e na mesma área experimental do presente estudo.

Na Figura 2 pode-se identificar 2 grandes grupos, em que um grupo é composto pelos genótipos CNPGL: 94-04-01, 94-07-02, 94-09-01 e BAG 66, expressos no gráfico pelos números: 1,5,7, e 9, respectivamente. O outro grupo contém os genótipos 2, 4, 3, 6, 8 e 10, correspondentes aos genótipos CNPGL: 92-79-02, 92-70-02, 91-06-02, 94-49-06, 91-25-01, 93-32-02. Em seguida, foi escolhido aleatoriamente 1 exemplar de cada grupo: os genótipos: CNPGL 92-79-02 e CNPGL 94-07-02.

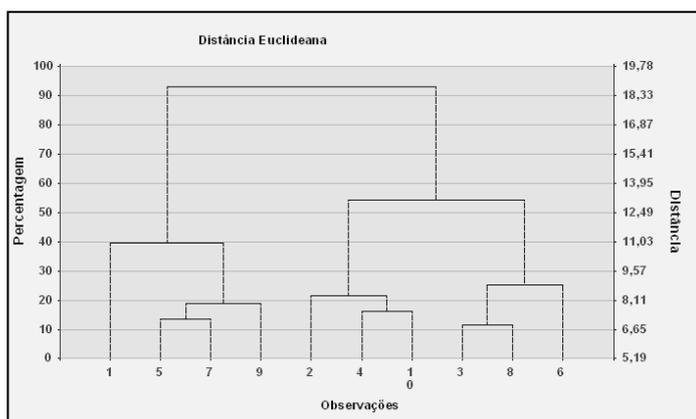


Figura 2 - Dendrograma da análise de agrupamento hierárquico dos genótipos de capim-elefante (observações) da Rede RENACE.

As amostras das forrageiras foram analisadas quanto a composição química, para tal, as mesmas foram secas em estufa com ventilação forçada a 55°C e em seguida

moídas em moinho tipo *Willey* em peneira de 1mm para realização das análises de matéria seca (MS), extrato etéreo (EE), matéria mineral (MM), e o nitrogênio total foi determinado pelo método de Micro-Kjeldahl, sendo a proteína bruta calculada multiplicando-se o N por 6,25, conforme os métodos descritos por AOAC (1990). Os teores de fibra em detergente neutro (FDN), lignina e compostos nitrogenados insolúveis em detergente neutro (NIDN) foram obtidos segundo técnica descrita por AOAC (1990); Van Soest et. al (1991); Van Soest & Robertson (1985). Os teores de carboidratos totais (CHT) calculados conforme a equação descrita por Sniffen et al. (1992):

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

Os carboidratos não-fibrosos (CNF) foram calculados pela equação:

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

### **3.1. Experimento I – Avaliação de parâmetros cinéticos da técnica de incubação “in situ” em ensaios de cinética de degradação ruminal**

A técnica “in situ” do saco de náilon descrita por Quin et al., (1938); Ørskov & McDonald (1979) foi utilizada na estimativa dos parâmetros de degradação ruminal da FDN e na verificação da heterogeneidade da fração potencialmente degradável FDN das forrageiras. Avaliou-se o efeito do tipo de tecido utilizado na confecção dos sacos e da granulometria da amostra incubada, nos parâmetros cinéticos de degradação “in situ” de 12 forragens.

Foram utilizados 6 bois mestiços holandeses, machos, castrados, dotados de cânulas ruminais com diâmetro interno de 4 ½ polegadas para realização das incubações “in situ”. Os animais foram divididos em dois grupos, cada grupo continha um animal de peso leve, médio e pesado, conforme expresso na Tabela 2.

Os bovinos foram mantidos em baias individuais com livre acesso a água e sal mineral. A dieta dos bovinos foi constituída de capim-elefante e feno de capim-tifton 85 picados, ração a base de farelo de soja, milho, e o sal mineral comercial foi fornecido à vontade. Na proporção de volumoso: concentrado, na base da matéria

seca, igual a 75:25. A composição química dos ingredientes da dieta experimental está descrita na Tabela 3.

Tabela 2 - Peso corporal dos animais experimentais e consumo diário de matéria seca

Grupo	Nº de identificação do Animal	Peso vivo (Kg) <sup>1</sup>	CMS <sup>2</sup> (Kg/animal/dia)
1	1	690	11,40
1	6	410	8,60
1	11	493	9,60
2	2	587	10,40
2	7	451	8,75
2	9	565	10,45

<sup>1</sup>- Peso vivo em jejum, <sup>2</sup>- CMS – Consumo de matéria seca.

A dieta foi balanceada conforme as exigências nutricionais recomendadas pelo National Research Council para gado de leite (NRC, 2001), e ofertada aos animais duas vezes ao dia: às 7:00 e às 17:00h, para consumo na base da manutenção, ajustado após um período de adaptação de 14 dias.

Tabela 3 - Composição química e proporção dos ingredientes na dieta experimental

Itens <sup>1</sup>	Alimentos				Dieta
	Feno de Tifton-85	Capim-elefante	Milho	Farelo de Soja	
MS (%)	87,45	26,70	89,86	89,32	83,43
MO <sup>2</sup>	93,02	91,86	98,64	94,03	93,81
PB <sup>2</sup>	8,63	5,77	8,59	45,62	12,48
EE <sup>2</sup>	1,67	1,03	3,72	1,04	1,83
CHT <sup>2</sup>	82,72	85,06	86,33	47,37	79,50
FDN <sup>2</sup>	71,48	67,55	10,01	14,33	56,48
FDNcp <sup>2</sup>	67,99	63,48	9,83	14,02	53,75
CNF <sup>2</sup>	14,73	21,58	76,50	33,35	25,75
FDA <sup>2</sup>	34,25	39,39	3,83	9,95	27,79
Lignina	6,75	4,18	1,64	2,29	5,36
Proporção <sup>3</sup>	67,80	7,50	13,70	11,00	-

<sup>1</sup>-MS – Matéria Seca; MO – Matéria Orgânica; PB – Proteína Bruta; EE – Extrato Etéreo; CHT – Carboidratos Totais; FDN – Fibra em Detergente Neutro; FDNcp – Fibra em Detergente Neutro Corrigida para Cinzas e Proteínas; CNF – Carboidratos Não-Fibrosos, FDA – Fibra em Detergente Ácido; <sup>2</sup>- valores expressos em % da matéria seca; <sup>3</sup>- Proporção dos ingredientes na dieta experimental, expresso em percentual da matéria seca.

### 3.1.1. Procedimentos Experimentais

Para avaliação do efeito do tamanho do fragmento na cinética de degradação da FDN, em especial na perda de partícula, foram avaliadas duas granulometrias. Para tal, as amostras das 12 forragens descritas na Tabela 1 foram moídas em moinho de facas com 2 diferentes tamanhos de peneiras, resultando em amostras com tamanho de partículas de 5mm e 2mm.

Foram utilizados sacos de náilon, tecido de natureza monofilamentar com abertura de malha de 50 $\mu$ m, confeccionados em formato retangulares de dimensões iguais a 10x14cm, selados a quente. Cerca de 4,2g de cada amostra foi inserida nos sacos, mantendo-se a relação aproximada de 15mg de forragem/cm<sup>2</sup> de área do saco, segundo as recomendações de Nocek (1988). Os sacos foram fechados com elástico e presos a uma corrente e, cada corrente foi inserida no rúmen através da cânula.

Na avaliação do tipo de tecido utilizado na confecção dos sacos, utilizou-se além do tecido náilon, o TNT (tecido não-tecido), comercialmente conhecido como TNT 100 (100g/cm<sup>2</sup>). Assim como os sacos de náilon, foram cortados nas dimensões de 10x14cm e selados a quente.

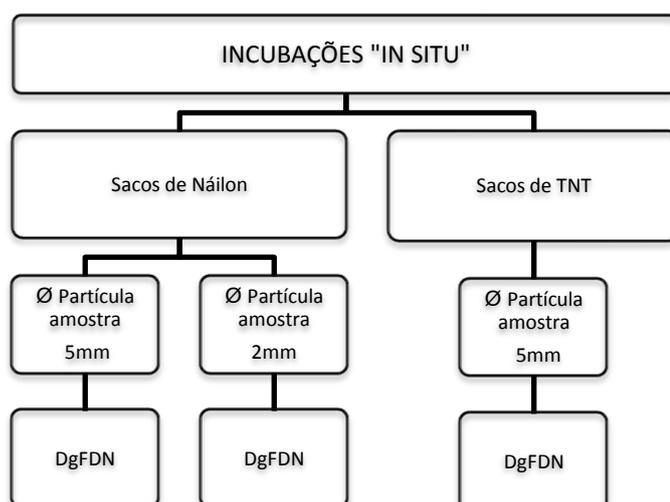


Figura 4 – Ilustração do esquema de incubações "in situ" nas avaliações de tipos de saco e tamanhos de partícula. DgFDN – Degradabilidade da fibra em detergente neutro.

As amostras de forragens moídas a 5mm dos sacos de náilon foram incubadas no rúmen e retiradas nos tempos: 3, 6, 9, 12, 18, 24, 30, 36, 42, 48, 60, 72, 84, 96, 108, 120, 132, 144, 156, 168, 192, 240, 336, 528, 912, 1440h, além do

tempo zero. Ao passo que as amostras com tamanho de partícula de 2mm somente foram incubadas em sacos de náilon e as amostras moídas a 5mm incubadas em sacos de TNT foram retiradas nos tempos: 3, 6, 12, 24, 36, 48, 72, 96, 144h, e tempo zero. Para cada tempo de incubação foram incubados 3 repetições, uma para cada animal.

Assim, as amostras foram divididas em dois grupos distintos para serem incubadas nos animais dos 2 blocos, as mesmas foram dispostas ao acaso: nos animais do grupo 1 foram incubadas as amostras de capim-acroceres, capim-angola, cana-de-açúcar, capim-setária e capim-elefante cultivares napier e cameroon. Nos animais do grupo 2 foram incubadas amostras de capim-hemarthria, capim-mombaça, feno de alfafa e os genótipos CNPGL 92-79-02 e CNPGL 94-04-02, conforme esquema descrito na Tabela 4. Respeitando-se o limite de não exceder a incubação de mais de 54 sacos por vez em cada animal.

Tabela 4 - Esquema de incubações “in situ”

Animal					
Grupo 1			Grupo 2		
Nº 1	Nº 6	Nº11	Nº 2	Nº 7	Nº 9
acroceres	acroceres	acroceres	Hemarthria	Hemarthria	Hemarthria
Angola	Angola	Angola	Mombaça	Mombaça	Mombaça
Cana	Cana	Cana	Feno Alfafa	Feno Alfafa	Fenos Alfafa
Setária	Setária	Setária	Silagem milho	Silagem milho	Silagem milho
Napier	Napier	Napier	CNPGL 92-79-02	CNPGL 92-79-02	CNPGL 92-79-02
Cameroon	Cameroon	Cameroon	CNPGL 94-07-02	CNPGL 94-07-02	CNPGL 94-07-02

Após serem retirados do rúmen os sacos foram lavados mecanicamente em água fria por aproximadamente 12 minutos, ou até que a água de lavagem ficasse completamente clara. Após a lavagem, os mesmos foram secos em estufa a 55°C por 72 horas e em seguida pesados em balança analítica para determinação do peso do resíduo após incubação. Os sacos correspondentes ao tempo zero não foram introduzidos no rúmen, mas foram lavados e secos pelo mesmo processo dos demais sacos.

Os resíduos de todos os tempos de incubação e do tempo zero foram analisados quanto aos teores de MS (AOAC, 1990) e FDN (Van Soest, 1991). A diferença entre o peso da matéria incubada e o resíduo pós-incubação geraram os perfis de desaparecimento da MS, PB ou FDN ao longo dos tempos de incubação.

Os parâmetros cinéticos de degradação da matéria alimentar foram estimados pelo modelo exponencial decrescente corrigido para latência discreta, descrito por:

$$R(t) = B(0) + I(0), 0 \leq t \leq L \quad (1)$$

$$R(t) = B(0) \times e^{-kd(t-L)} + I(0), t > L \quad (2)$$

Em que:  $R(t)$  – Resíduo de incubação do nutriente em estudo (%);  $t$  – Tempo, (h);  $B(0)$  – Fração potencialmente degradável do substrato incubado (%);  $kd$  – Taxa de degradação da fração potencialmente digerível ( $h^{-1}$ );  $L$  – Latência discreta (h);  $I(0)$  – Fração não-degradável (%).

Os resíduos oriundos dos diferentes tempos de incubação foram ajustados pelo algoritmo Gauss-Newton, com uso do software GnG1 Models (Vieira et al. 2008a,b) programado no pacote estatístico “R” versão 2.9 (R Development Core Team, 2007)

Os modelos de regressão não-linear discretos foram estimados os parâmetros  $kd$ ,  $L$  e  $I$ , ao passo que o parâmetro a fração potencialmente digestível ( $B$ ) foi calculada pela diferença:

$$B = 100 - I \quad (3)$$

Os efeitos fixos foram testados com uso do teste Tipo 3 para efeitos fixos por intermédio do Proc Mixed do programa estatístico SAS (2002).

Concomitantemente a este processo de estimativa dos parâmetros discretos, foi verificado o grau de complexidade dos modelos em relação ao melhor ajuste (discreto versus GnG1 - número de compartimentos) através da SSE pelo critério de Akaike, o grau de convergência - pelo número de iterações realizadas, e ainda a análise do resíduo semi-studentizado.

Os intervalos de confiança das estimativas e a soma do quadrado do resíduo (SQR) foram úteis na verificação da adequação dos modelos.

O critério de Akaike (AIC- *Akaike Information Criterion*) foi o procedimento adotado conforme a estatística de ajuste (Akaike, 1974):

$$-2l + 2d$$

Em que  $l$  é o valor máximo de log a verossimilhança; e  $d$  trata da dimensão do modelo. Na comparação entre os modelos unicompartimental (4) e bi-compartimental (5).

$$R_t = (R_0 - I) \times e^{-k(t-L)} + I \quad (4)$$

$$R_t = (R_0 - I) \times [A_1 e^{-k_1(t-L)} + (1 - A_1) e^{-k_2(t-L)}] + I + e \quad (5)$$

O critério de informação de Akaike corrigido descrito conforme segue:

$$AIC_c = n \ln \left( \frac{SQR}{n} \right) + 2k + \frac{2k(k+1)}{N-k-1}, n > k$$

Em que: SQR – soma do quadrado do resíduo;  $n$  = número de observações por perfil de degradação;  $k$  – número de parâmetros.

$$\Delta = AIC_c^{(B)} - AIC_c^{(A)}$$

$$Pr = \frac{e^{-\frac{1}{2}\Delta}}{1 + e^{-\frac{1}{2}\Delta}}$$

Em que:  $AIC_c^{(B)}$  – Informação de akaike do modelo mais complexo;  $AIC_c^{(A)}$  - Informação de akaike do modelo mais simples; Pr – probabilidade (valor -P). No critério utilizado, quanto maior o valor-P maior é a probabilidade de verossimilhança do modelo.

Em virtude do grande número de tempos de incubação e amostras para avaliação das forrageiras foram conduzidos 2 experimentos simultâneos.

Os sacos confeccionados de náilon e TNT foram avaliados quanto a porosidade e integridade da malha antes e após a incubação no rúmen. As análises

foram realizadas no laboratório do SENAI- CETIQT-RJ (Centro de Tecnologia da Indústria Química e Têxtil) nas dependências do Laboratório de Ensaio Físicos e de Composição.

Foram selecionados 120 saquinhos incubados nos tempos 6, 24, 48, 72 e 144 horas, também foram avaliadas amostras do tecido intacto (parte do tecido na integra). Os sacos foram abertos no sentido longitudinal e os corpos de prova foram submetidos ao ensaio de permeabilidade ao ar. Esta norma descreve o método para a determinação da permeabilidade ao ar dos não-tecidos, sob pequena diferença de pressão. Representada pelo volume de ar que passa através de uma área de dimensão definida, em um período de tempo e diferença de pressão determinados, conforme a norma ISO 9237 (1995). Os resultados foram analisados por meio de estatística descritiva (SAS, 2002).

### 3.2. Experimento II – Avaliação da cinética de digestão dos carboidratos através da técnica da produção de gases

Os carboidratos totais (CHT) e as frações A + B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub> e C foram obtidos utilizando-se as equações descritas por Sniffen et al. (1992):

$$CHT = 100 - PB - EE - MM$$

$$B_2 = 100 \times \frac{(FDN - PIDN (\%PB) \times 0,01 \times PB - (FDN \times 0,01) \times LIG \times 2,4)}{CHT}$$

$$C = \frac{(100 \times FDN \times 0,01 \times LIG (\%FDN) \times 2,4)}{CHT}$$

$$A + B_1 = 100 - (C + B_2)$$

Em que:

MS – matéria seca, %

MM – matéria mineral, %

CHT – carboidratos totais, % MS

PB – Proteína bruta, %

PIDN – Proteína insolúvel em detergente neutro, % PB

FDN – Fibra em detergente neutro, % MS

LIG – lignina, % da FDN

Os comparativos das frações dos carboidratos dos genótipos e cultivares de capim-elefante foram feitos pela análise de variância das médias pelo teste de

Student Newman-Keuls. Adotando-se o nível de significância de 5% de probabilidade.

A cinética dos carboidratos foi estimada pela técnica “in vitro” da produção cumulativa de gases (Menke et al., 1979), com modificações descritas por Malafaia et al. (1999). Cerca de 25mg de amostra seca ao ar dos capins acroceres, angola, genótipos de capim-elefante CNPGL 92-79-02 e CNPGL 94-04-02, cameroon, cana, hemarthria, mombaça, napier, setária e da silagem de milho e feno de alfafa foram incubadas, em duplicata, em frascos de vidro de 50mL contendo 20mL de meio tampão (Goering & Van Soest, 1970) e 5mL de inoculo ruminal, que em seguida foram fechados hermeticamente. Para quantificar a produção de gases relativa ao meio fermentador e inoculo ruminal, foi incubada uma amostra em branco.

Os frascos foram acondicionados em banho-maria a temperatura de 39°C, e foram agitados mecanicamente durante todo o tempo de incubação. O volume de gases produzidos durante a fermentação foi medido manualmente com auxílio de um manômetro e uma seringa (Malafaia et al. 1998a). As leituras de pressão e volume de gás foram feitas nos tempos: 0; 0,25; 0,75; 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14, 18, 24, 30, 36, 48, 60, 72 e 96 horas.

O volume total de gás medido em cada tempo de incubação foi descontado do valor aferido na amostra em branco. O volume final acumulado foi ajustado ao modelo descrito por Van Milgen et al. (1991), através do processo iterativo de Marquadt (SAS, 2002).

Em que:

$V(t_i)$  - Volume acumulado de gás no tempo  $t$ , em mL/100 mg de MS incubada

$V_f$  - Volume de gás máximo produzido, em mL

$\lambda$  - Tempo de latência e a taxa de degradação, em  $h^{-1}$

$t_i$  - Tempo de leitura, h

A natureza sigmoideal das curvas de produção de gás ajustou-se ao modelo bi-compartimental, onde dois *pools* distintos descrevem o volume acumulado total ( $V_f$ ), conforme descrito por Schofield et al. (1994):

$$V = V_{1f} * [1 - e^{(-k_1(-t+\lambda_1))}] + V_{2f} / [1 + e^{(4*k_2(-t+\lambda_2)+2)}]$$

Na predição da contribuição das frações dos carboidratos fibrosos e dos carboidratos não-fibrosos no volume de gás produzido, considerando a pressuposição de que o volume de gás produzido resultante da fermentação é o mesmo para carboidratos fibrosos e não-fibrosos (Beuvink et al. 1992, Hall et al., 1995; Favoretto et al., ).

$$V(t) = V_f \times \left\{ \left[ \frac{p(A + B_1)}{1 + e^{(2+4SQR_1(L-t))}} \right] + \left[ \frac{p(B_2)}{1 + e^{(2+4SQR_2(L-t))}} \right] \right\} + e_i$$

Em que:

$$p(A + B_1) = \frac{A+B_1}{A+B_1+B_2} e;$$

$$p(B_2) = \frac{B_2}{A + B_1 + B_2}$$

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Experimento I

A composição química das forragens avaliadas está descrita na Tabela 05. As cultivares de capim-elefante Cameroon e Napier apresentaram composição bromatológica semelhante aos genótipos de capim-elefante pertencentes à rede RENACE (CNPGL).

Lima et al. (2008) estudaram a cultivar Cameroon e os genótipos de capim-elefante CNPGL 92-7902 e CNPGL 94-07-02 na região Norte-Fluminense – RJ, aos 56 dias de rebrota, e verificaram valores de FDN superiores ao do presente estudo, iguais a 76,20%; 76,79% e 74,52%, respectivamente.

Os valores de lignina dos genótipos avaliados por Lima et al. (2008) também foram superiores, cerca de 6,21% para o CNPGL 92-79-02 e 5,41% para o CNPGL 94-07-02.

Em termos práticos, o teor de FDN de gramíneas tropicais é um importante fator limitante do consumo alimentar nos ruminantes, principalmente, devido a baixa digestibilidade desta fração (Mertens, 2002). Embora os novos genótipos avaliados tenham teores de carboidratos totais semelhantes aos teores presentes nas

cultivares comerciais, os genótipos apresentam percentuais ligeiramente superiores de carboidratos não-fibrosos.

No presente estudo os teores de matéria seca das gramíneas acroceras, angola, hemarthria e setária foram semelhantes aos encontrados por Vittori (1998) na região Norte Fluminense, na idade de corte de 56 dias (22,3%, 21,65%, 22,63% e 17,84%, respectivamente). Porém, o teor de proteína bruta do capim-hemarthria mostrou ser superior ao encontrado pelo mesmo autor (6,42%).

Os valores médios dos parâmetros cinéticos de degradação da FDN das forragens avaliadas obtidos "in situ" estão apresentados na Tabela 6. Pela análise visual dos parâmetros discretos não é possível detectar superioridade dos genótipos sobre as cultivares em relação as frações B ou I, ou ainda pela taxa de degradação da fração B. Os valores observados neste estudo são muito semelhantes as cultivares comerciais.

Tabela 05 – Valores médios da composição química das forragens avaliadas

Item <sup>1</sup>	Forragens												EPM <sup>2</sup>
	Acroceres	Angola	Cameroon	Cana	CNPGL 92-79- 02	CNPGL 94-07- 02	Hemarthria	Mombaça	Napier	Setária	Sil. milho	Feno Alfafa	
<b>MS (%)</b>	25,33	21,19	16,44	27,73	21,52	21,68	19,85	25,38	18,50	16,21	32,60	87,45	5,59
<b>MM</b>	3,57	9,32	7,46	3,71	9,11	6,71	7,08	11,64	9,77	9,00	6,44	8,83	0,69
<b>MO</b>	96,43	90,68	92,54	96,29	90,89	93,29	92,92	88,36	90,23	91,00	93,56	91,17	0,69
<b>PB</b>	10,41	7,75	12,40	2,15	10,24	12,45	8,83	17,00	13,64	8,89	6,95	18,45	1,28
<b>EE</b>	3,49	1,43	1,29	1,27	1,07	0,82	1,22	1,73	0,69	2,15	3,04	2,56	0,26
<b>FDN</b>	71,90	69,55	71,59	47,17	69,93	68,12	75,67	65,22	64,55	70,19	60,92	46,48	2,70
<b>FDNcp</b>	69,40	67,27	67,98	41,82	66,85	64,61	72,15	60,76	61,06	66,95	59,47	43,86	2,78
<b>CNF</b>	13,14	14,24	10,87	51,06	12,72	16,20	10,73	8,87	14,83	13,02	24,10	26,31	3,36
<b>FDA</b>	40,01	42,38	39,95	30,19	42,66	40,12	39,01	32,11	34,82	41,73	35,22	35,33	1,19
<b>LIGNINA</b>	4,54	8,66	4,87	5,55	4,89	4,53	5,17	2,97	2,96	6,65	4,60	9,47	0,57
<b>NIDN/N<sup>3</sup></b>	5,36	6,76	4,99	10,91	5,19	5,94	8,44	6,43	5,16	8,32	5,47	4,91	0,53
<b>NIDA/N<sup>3</sup></b>	4,71	4,09	2,24	27,81	2,79	3,74	6,60	3,27	3,37	6,15	6,49	4,25	2,00

<sup>1</sup>- MS – Matéria Seca; MM – Matéria Mineral; MO – Matéria Orgânica; PB – Proteína Bruta; EE – extrato etéreo; FDN – Fibra em Detergente Neutro; FDNcp – Fibra em Detergente Neutro Corrigida para Cinzas e Proteínas; CNF – Carboidratos Não-Fibrosos; FDA – Fibra em Detergente Ácido.<sup>1</sup> - valores expressos em % da matéria seca <sup>2</sup>- EPM – Erro padrão da média; <sup>3</sup> - NIDN/N – Compostos Nitrogenados Insolúveis em Detergente Neutro (Porcentagem do Nitrogênio total); NIDA/N – Compostos Nitrogenados Insolúveis em Detergente Ácido (Porcentagem do Nitrogênio total).

A fração não-degradável “I”, um dos principais determinantes no efeito de enchimento (rúmen fill), causadora do efeito de redução no consumo voluntário. A estimativa deste parâmetro expressa uma constante, pois o método do saco de náilon é um sistema fechado, o processo de degradação ruminal é mensurado pelo desaparecimento da fração potencialmente degradável da FDN.

Nos ensaios de incubação “in situ”, tempos de incubação muito prolongados podem trazer complicações na estimativa da fração não degradável “I”, pois em animais alimentados sob manutenção a obtenção de estimativas viesadas ocorre devido aos fenômenos de retenção e passagem da digesta.

O período de latência é um reflexo dos processos que retardam a degradação, a digestão ruminal inicia-se após a colonização pelos microorganismos, em que há adesão/colonização microbiana como uma preparação do substrato para a degradação. A introdução da variável binária no processo para discretização do tempo de latência (L) estima este parâmetro.

A presença de período de latência discreta é um indicativo que o processo de degradação depende dos processos relacionados à hidratação e aderência de microorganismos, os quais são processos tempo-dependentes.

A adesão microbiana (bactérias celulolíticas) à parede celular é necessária para que ocorra a degradação da FDN, supõe-se que este processo pode estar sujeito ao período de adaptação (McAllister et al., 1994).

Nas incubações em sacos de TNT os valores numéricos do período de latência (L) mostraram-se superiores aos valores encontrados em sacos de náilon. Pois as características físicas dos tecidos utilizados devem evitar o efluxo de partículas, que encerra em parte o erro sistemático da técnica. Dados na literatura mostram que tem se utilizado sacos de náilon com tamanhos de poro variando entre 20 e 75  $\mu\text{m}$  (Huntington & Givens, 1995).

Tabela 6 - Estimativas da fração insolúvel potencialmente degradável (B), da fração não-degradável (I), da taxa de degradação da fração B ( $k_d$ ), e da latência discreta (L) referente a degradação ruminal da FDN (dFDN), obtidas em diferentes tipos de saco e tamanhos de partícula

FORRAGEM	ESTIMATIVA DOS PARÂMETROS DISCRETOS dFDN <sup>1</sup>											
	Saco Náilon 2mm				Saco Náilon 5mm				Saco TNT 5mm			
	B	I	L	$k_d$	B	I	L	$k_d$	B	I	L	$k_d$
Acroceres	71,288	28,712	1,840	0,041	70,377	29,623	0,715	0,047	55,265	44,735	5,350	0,038
Angola	74,339	25,661	0,844	0,026	71,711	28,289	1,793	0,049	62,654	37,346	3,046	0,034
Cameroon	62,015	37,985	4,727	0,048	75,561	24,439	2,010	0,046	77,471	22,529	0,610	0,023
Cana	43,656	56,344	0,768	0,043	58,634	41,366	0,771	0,214	32,246	67,754	3,009	0,026
CNPGL 92-79-02	59,812	40,188	4,638	0,062	72,795	27,205	1,715	0,050	65,322	34,678	3,193	0,029
CNPGL 94-07-02	74,446	25,554	0,983	0,053	69,960	30,040	1,143	0,062	68,028	31,972	2,087	0,026
Hemarthria	75,687	24,313	2,050	0,063	72,253	27,747	1,575	0,069	63,422	36,578	1,595	0,049
Mombaça	73,382	26,618	1,542	0,048	76,568	23,432	3,338	0,059	63,380	36,620	4,617	0,036
Napier	70,852	29,148	2,214	0,054	74,819	25,181	1,155	0,050	71,096	28,904	2,465	0,032
Setária	76,210	23,790	4,731	0,049	75,144	24,856	0,290	0,048	67,717	32,283	3,228	0,019
Silagem de milho	66,384	33,616	0,120	0,033	77,379	22,621	0,770	0,034	64,219	35,781	2,490	0,023
Feno de Alfafa	50,417	49,583	3,093	0,066	73,895	26,105	1,916	0,062	61,894	38,106	1,100	0,024

<sup>1</sup> -  $k_d$  – Expresso em  $\%.h^{-1}$ , L – Expresso em horas; B, I – Expressos em %.

As taxas de degradação (kd) da matéria alimentar no rúmen exercem grande efeito sobre o processo fermentativo e seus produtos finais (Nocek & Russell, 1988). Os valores de kd tem sido expressos como constantes pelos sistemas do CNCPS e do *CPM Dairy (Cornell Pen Miner)* (Van Soest et al., 2000).

Lopes & Aroeira (1998), em um estudo conduzido com vacas mestiças Holandês-Zebu, estimaram valores médios da taxa de degradação da FDN 3,3%/h do capim-elefante com 60 dias de idade. Mas, as taxas de degradação para os genótipos e cultivares de capim-elefante observados neste experimento foram maiores do que os valores usualmente descritos na literatura (Tabela 6).

Trabalhos na literatura mostram taxas de degradação da FDN na ordem de 2%/h para silagem de milho, e cerca de 3%/h para o capim-elefante e forrageiras tropicais em geral (Katsuki et al., 2006; Valadares Filho et al., 2006). Tratam-se de estimativas relativamente elevadas, pois o substrato não está prontamente disponível para a digestão microbiana por estar envolto na parede celular.

Embora considere-se que a lignificação resulte em taxas de digestão menores, o feno de alfafa apresenta kd relativamente mais elevados do que as demais gramíneas avaliadas (Tabela 6) apesar de possuir maior percentual de lignina, na planta como um todo, tal fato se justifica pela rota fotossintética, comum as plantas de clima temperado (C3). Apesar das gramíneas possuírem maior percentual de fibra na composição dos seus tecidos vegetais e de maior digestibilidade, a taxa de degradação da fibra em leguminosas é mais rápida (Akin, 1989; Buxton & Redfearn, 1997).

A Figura 05 ilustra o que ocorre, na prática, durante o processo de digestão da fibra, as taxas de degradação de volumosos decrescem ao longo do tempo, nas primeiras 48 horas de incubação o desaparecimento do resíduo insolúvel em detergente neutro é notoriamente mais acelerado do que nos tempos mais longos de incubação. O que justifica a existência de mais de um “pool” durante o processo, em que o aumento na ordem de dependência do modelo amenize a superestimação da taxa de digestão do resíduo insolúvel em detergente neutro.

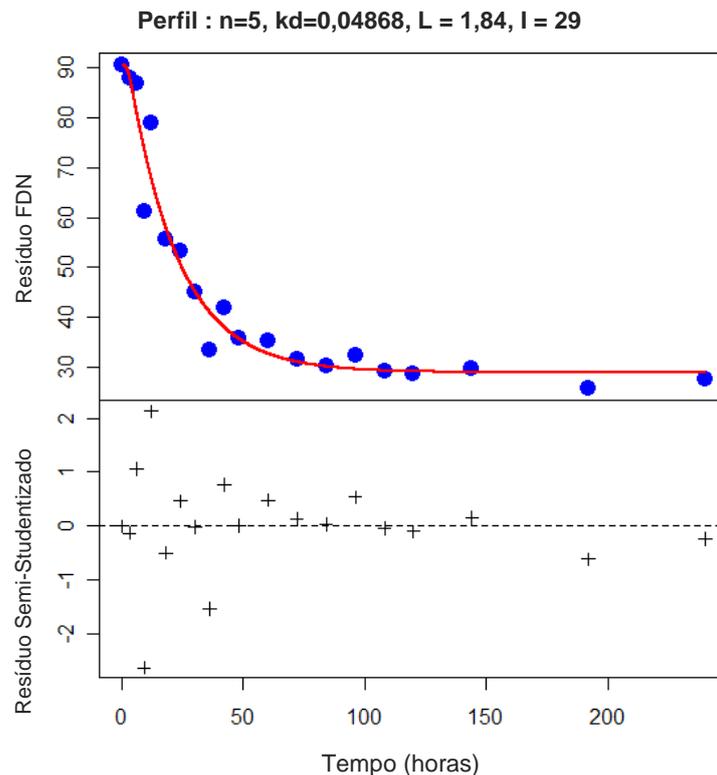


Figura 05 – Perfil de degradação do resíduo insolúvel em detergente neutro do capim-acroceres incubado “in situ” por 240 horas –  $Y =$

Na maioria dos estudos as estimativas de taxas de digestão são baseados numa cinética de primeira ordem em que a taxa de digestão é considerada constante, gerada em função da decrescente proporção de substrato no sistema. Esta pressuposição é inadequada tanto para forrageiras de alta qualidade quanto para forrageiras de baixo valor nutritivo, sub ou superestimam o parâmetro (Sniffen et al. 1992, ; Van Soest, 2000). Tais estimativas provavelmente são baseadas na teoria de Waldo (1969) fundamentada no princípio de que ao subtrair o resíduo não-digerível, a fração potencialmente digestível dos compostos de parede celular devem se comportar como uma cinética de primeira ordem.

Os resíduos semi-studentizados (Figura 05) são particularmente úteis para identificar valores discrepantes (“outliers”), valores extremos atípicos identificados no gráfico onde se plotam os resíduos semi-studentizados versus as variáveis preditoras.

Dentre os aspectos relevantes dos perfis destacam-se a existência de fração solúvel do nutriente, a detecção de períodos de latência para digestão do substrato, a homogeneidade da fração insolúvel potencialmente digerível e taxas de degradação que podem variar em função do tempo. Tais

características devem ser contabilizadas, particularmente quando os perfis exibirem forma sigmóide, o que exige interpretação diferenciada da classicamente empregada na forma do sistema abc (Vieira & Fernandes, 2006).

Considerando que os modelos são representações substitutivas da realidade e devem permitir, em situações específicas ou gerais, uma equivalência adequada (Goldbarg & Lurra, 2000). Nos modelos tempo-dependentes, o aumento da ordem de dependência da integração de distribuições gama na ordem “n” – permitem maior flexibilidade no ajuste das curvas de cinética de digestão.

A aplicação do teste de AIC objetivou verificar a heterogeneidade da fração potencialmente degradável da FDN. Apesar do método de Akaike (1973, 1974) ser amplamente utilizado na tomada de decisão sobre o ajuste mais adequado dos dados a um modelo, por intermédio da máxima verossimilhança. O uso de procedimentos de estimação robustos (mínimos quadrados ponderado iterativamente) produziu estimativas menos distorcidas.

O teste de AIC é relativamente fácil de ser aplicado, e apresenta a vantagem de determinar quantitativamente se há benefício em incluir um parâmetro para melhorar a predição de um modelo em superar (em exceder) o grau (o custo) de aumentar a incerteza no resultado do modelo através de erros nas estimativas dos parâmetros.

O comparativo entre os modelos uni e bicompartimental expressos pela probabilidade de verossimilhança (Pr), através do delta ( $\Delta$ ) entre os critérios de informação de Akaike corrigidos (AICc) estão descritos na Tabela 7. A solução desejável é que o valor da probabilidade seja superior ao valor absoluto de 0,9.

Tabela 7 – Comparativo da complexidade dos modelos através do critério de informação de Akaike

Forragem	N	Bicompartimental			Unicompartimental			$\Delta$	Pr
		SSE	K	AICc(b)	SSE	K	AICc(u)		
Acroceres	21	422,528	7	81,036	598,543	5	80,849	0,187	0,477
Angola	20	225,034	7	66,872	244,591	5	60,744	6,128	0,045
Cameroon	21	164,181	7	61,185	274,806	5	64,502	-3,317	0,840
Cana	22	380,128	7	80,288	652,083	5	84,914	-4,626	0,910
Cnpgl 92-79-02	20	90,220	7	48,592	295,587	5	64,531	-15,939	1,000
Cnpgl 94-07-02	22	138,223	7	58,032	209,657	5	59,950	-1,918	0,723
Hemarthria	19	100,045	6	46,178	184,307	4	50,771	-4,593	0,909
Mombaça	19	48,048	7	36,627	112,694	5	44,682	-8,054	0,982
Napier	23	116,763	7	54,617	149,446	5	53,265	1,351	0,337
Setária	22	86,311	7	47,672	280,597	5	66,362	-18,690	1,000
Silagem de milho	21	101,446	6	47,075	140,948	4	47,393	-0,318	0,540
Feno de Alfafa	24	125,793	7	56,699	155,145	5	54,897	1,803	0,289

N – número de observações utilizadas, SSE –resíduo semi-studentizado (objetivo), k- número de parâmetros estimados pelo modelo, AICc(b) – Critério de informação de akaike corrigido do modelo bicompartimental, AICc(u) – Critério de informação de akaike corrigido do modelo unicompartimental,  $\Delta$  – Diferença entre o modelo mais complexo e o menos complexo, Pr – Probabilidade de verossimilhança.

Na verificação da complexidade de modelos uni e bicompartimental, com base no número de parâmetros estimados o modelo mais complexo foram estimados seis parâmetros (eq. 6) e no modelo menos complexo, quatro parâmetros (eq. 5). O comparativo entre os critérios de informação de Akaike corrigidos (AICc) mostram que a probabilidade de verossimilhança dos modelos avaliados encontram-se próximos de 0,9 para a maioria das forragens avaliadas. O que significa que a natureza dos dados avaliados é sensível a utilização de um modelo mais complexo. A estimativa de mais de uma taxa de digestão da fração potencialmente degradável da FDN é adequada. O que justifica a existência de mais de um “pool” durante o processo, em que o aumento na ordem de dependência do modelo amenize a superestimação da taxa de digestão do resíduo insolúvel em detergente neutro.

A Figura 06 ilustra os valores de probabilidade de verossimilhança dos modelos avaliados, em que a maioria dos pontos encontram-se distantes de 1, significa que a natureza dos dados avaliados é pouco sensível a utilização de um modelo mais complexo.

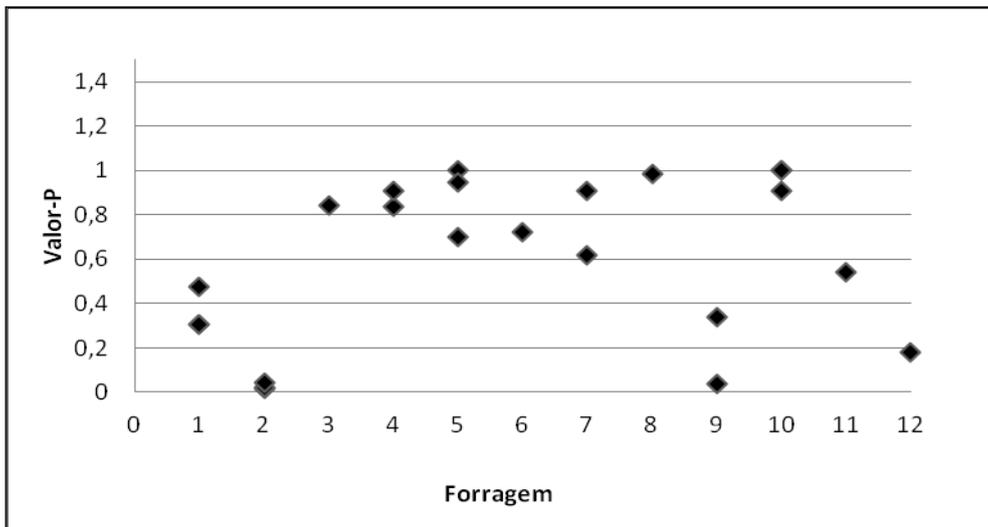


Figura 06 – Probabilidade de verossimilhança entre os modelos bicompartimental e unicompartmental

Considerando a complexidade do processo dinâmico de digestão da fibra pelo ruminante, a modelagem matemática é uma ferramenta que carece aperfeiçoamento para permitir melhor compreensão dos fenômenos biológicos.

Entre as fontes de variação da técnica “in situ” o tipo de material do saco e o tamanho de partícula da amostra a serem incubados influenciam diretamente a estimativa dos parâmetros de degradação ruminal, em especial a extensão e a taxa de degradação. Pois tais fontes de variação estão intimamente ligadas com o fluxo de partículas que entram e saem do saco.

Nas Tabelas 8, 9, 10 e 11 estão descritos os valores-P os quais expressam o grau de significância sobre as estimativas das frações cinéticas (B, Kd, I e L) de acordo com a forragem avaliada, o tamanho de partícula (2mm ou 5mm), o tipo de tecido, e as respectivas interações. E ainda, o desdobramento destas interações e os comparativos entre os genótipos de capim-elefante e as cultivares napier e cameroon.

O tamanho de partícula mostrou exercer influência sobre a estimativa do parâmetro “I”, houve interação de forragem avaliada com o tamanho de partícula. ( $p < 0,01$ ). Apenas no tamanho de partícula de 5mm a estimativa da fração “I” diferiu significativamente entre os genótipos e os cultivares (Tabela 8).

Tabela 08 – Teste dos efeitos fixos para tamanho de partícula e tipo de tecido na estimativa da fração não-degradável (I) da FDN das forragens avaliadas

Efeitos fixos	Valor F	Pr>F
Forragem	29,82	<0,0001
Partícula	66,87	<0,0001
Interação Forragem x Partícula	13,63	<0,0001
Interações	Estimativa	Valor-P
Partícula	5,8194	<0,0001
C. elefante vs genótipos/Particula 2mm	1,3900	0,6921
C. elefante vs genótipos /Particula 5mm	-7,6200	0,0342
Cameroon vs genótipos /Particula 5mm	-8,3667	0,0564
Napier vs genótipos /Particula 5mm	-6,8733	0,1146
Genótipos vs genótipos /Particula 5mm	-2,8400	0,2555
Forragem	12,57	<0,0001
Saco	44,55	<0,0001
Interação Forragem x Saco	2,86	0,0071
Interações	Estimativa	Valor-P
Saco	-9,1986	<0,0001
C. elefante vs genótipos /saco náilon	-7,6200	0,2472
C. elefante vs genótipos /saco TNT	-17,7999	0,0123
Cameroon vs genótipos /saco TNT	-20,9200	0,0119
Napier vs genótipos /saco TNT	-14,6799	0,1075
Genótipos vs genótipos /saco TNT	2,7067	0,5587

Em termos de magnitude da fração não-degradável pode-se inferir que os genótipos possuem maior percentual do que as cultivares napier e cameroon, pois as estimativas negativas representam superioridade dos valores obtidos pelos genótipos CNPGL 92-79-02 e CNPGL 94-07-02 em relação às testemunhas (cultivares). Independentemente do tamanho de partícula ou tipo de saco pode-se verificar tal tendência.

O tipo de saco ou forragem isoladamente influenciou a estimativa do parâmetro “I” ( $p > 0,01$ ). Mas a interação (Forragem vs Saco) mostrou fraca evidência ( $p < 0,07$ ) em influenciar a referida fração. No desdobramento da interação Forragem x Saco os resultados não foram consistentes.

Na Tabela 09 foram identificadas as diferenças na fração potencialmente degradável da FDN entre as forragens avaliadas ( $p < 0,01$ ). A interação do tipo de forragem com o tamanho de partícula foi significativa ( $p < 0,01$ ). No tamanho de partícula de 5mm houve moderada evidência de diferença entre as cultivares e os genótipos, especialmente entre o capim-elefante cameroon e os genótipos ( $p < 0,05$ ). Os demais comparativos entre as cultivares e os genótipos incubados não foram significativos ( $p > 0,01$ ).

Tabela 09 - Teste dos efeitos fixos para tamanho de partícula e tipo de tecido na estimativa da fração potencialmente degradável (B) da FDN das forragens avaliadas

Efeitos fixos	Valor F	Pr>F
Forragem	11,59	<0,0001
Partícula	1,16	0,2843
Interação Forragem x Partícula	3,06	0,0019
Interações		
	Estimativa	Valor-P
Partícula	-1,5540	0,2843
C. elefante vs genótipos/Particula 2mm	-1,3900	0,8626
C.elefante vs genótipos /Particula 5mm	12,6228	0,0320
Cameroon vs genótipos /Particula 5mm	14,6433	0,0383
Napier vs genótipos /Particula 5mm	10,6022	0,1499
Genótipos vs genótipos /Particula 5mm	0,0666	0,9868
Forragem	12,61	<0,0001
Saco	45,49	<0,0001
Interação Forragem x Saco	2,95	0,0069

As estimativas positivas 12,62 e 14,64, respectivamente, são indicativas de que as cultivares comerciais apresentam maiores teores da fração “B” em relação aos novos genótipos. Houve efeito significativo do tipo de saco na estimativa do parâmetro “B” ( $P < 0,01$ ), porém a interação de forragem e tipo de saco não foi significativa ( $p > 0,01$ ).

O tipo de saco influenciou o parâmetro cinético de degradação  $k_d$  ( $p < 0,05$ ), porém na interação os resultados foram inconsistentes (Tabela 10). A utilização de sacos com malhas diferentes geram estimativas de parâmetros que não devem ser comparados entre si. Deve-se também considerar as

particularidades da espécie forrageira avaliada. O tamanho de partícula da amostra não influenciou a estimativa do parâmetro  $k_d$  ( $p > 0,05$ ). Tal resultado é coerente sob o ponto de vista biológico, pois na dieta de bovinos usualmente são consumidos alimentos em tamanhos de partícula superiores a 5mm.

Tabela 10 - Teste dos efeitos fixos para tamanho de partícula e tipo de tecido na estimativa da taxa de degradação ( $k_d$ ) da fração potencialmente degradável da FDN das forragens avaliadas

Efeitos fixos	Valor F	Pr>F
FORAGEM	0,96	0,4925
Partícula	0,35	0,5551
Interação Forragem x Partícula	1,47	0,1789
FORAGEM	1,44	0,1889
Saco	9,89	0,0030
Interação Forragem x Saco	1,52	0,1576
Interações	Estimativa	Valor-P
Saco	0,0359	0,0030
C. elefante vs genótipos /saco náilon	-0,0163	0,7716
C. elefante vs genótipos /saco TNT	-0,00003	0,9995
Cameroon vs genótipos /saco TNT	-0,0086	0,9003
Napier vs genótipos /saco TNT	0,0085	0,9010
Genótipos vs genótipos /saco TNT	0,0035	0,9286

O tamanho de partícula influenciou significativamente a estimativa do período de latência discreta ( $p < 0,01$ ). O comparativo entre os genótipos e cultivares não foram significativos ( $p > 0,01$ ) (Tabela 11).

Tabela 11 - Teste dos efeitos fixos para tamanho de partícula e tipo de tecido na estimativa da latência discreta (L) das forragens avaliadas

Efeitos fixos	Valor F	Pr>F
Forragem	2,54	0,0141
Partícula	8,31	0,0061
Interação Forragem x Partícula	2,50	0,0154
Interações		
	Estimativa	Valor-P
Partícula	0,9853	0,0061
C. elefante vs genótipos /Particula 2mm	1,3200	0,4347
C.elefante vs genótipos /Particula 5mm	-0,3233	0,8478
Cameroon vs genótipos /Particula 5mm	0,3700	0,8576
Napier vs genótipos /Particula 5mm	-1,0167	0,6225
Genótipos vs genótipos /Particula 5mm	0,2700	0,8207
Forragem	1,33	0,2580
Saco	8,50	0,0068
Interação Forragem x Saco	0,95	0,5074

Para o parâmetro latência ilustrado, o tipo de saco influenciou as estimativas. Porém entre as forrageiras o efeito do tipo de saco não foi conclusivo.

O efeito do tipo de tecido pode ser verificado através dos ensaios físicos dos tecidos dos sacos após a incubação (Figura 7). O tempo zero foi representando por amostras de tecido virgem e representam o estado da fibra do tecido no grau máximo de integridade.

Pode-se inferir que com o passar das horas, a permeabilidade é reduzida em decorrência da impregnação de partículas na superfície dos sacos. O que provavelmente dificulta o escape de partículas já digeridas.

Na amostra de tecido intacta, existe uma maior permeabilidade do tecido de náilon em relação ao TNT. O Náilon teve redução de cerca de 20% da sua permeabilidade em 144 horas de incubação, enquanto que para o TNT está diferença foi superior a 30%. Aparentemente, há uma estabilidade maior do tecido de náilon nos longos tempos de incubação, e para fins de comparação, os tecidos não se comportam de maneira similar em estudos de degradação “in situ”.

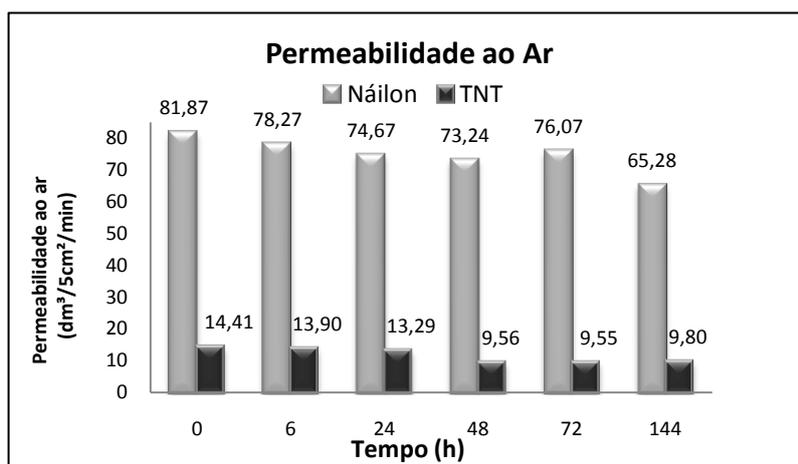


Figura 7 – Permeabilidade ao ar dos sacos de tecidos náilon e TNT ao longo dos tempos de incubação

Casali et al. (2006) avaliaram o efeito de diferentes tipos de tecidos (náilon, Ankon® e TNT) nos sacos empregados na incubação “in situ” sob os teores de fibra em detergente neutro indigestível (FDNi) e a perda de partículas de alguns alimentos. Tais autores constataram que os sacos confeccionados de TNT (100g/cm<sup>2</sup>) e Ankon® (F57) apresentaram estimativas de FDNi semelhantes e verossímeis, enquanto que os sacos de náilon superestimaram a fração FDNi dentre os alimentos avaliados, provavelmente decorrente da perda de partículas excessiva durante o processo.

Em resumo, a técnica “in situ” apresenta como erros sistemáticos, referentes a perda física de partícula, nos tempos iniciais de incubação e nos longos tempos de incubação as limitações referentes ao saco, tais como a redução da integridade física do tecido e a contaminação do mesmo.

A contaminação dos tecidos submetidos a longos tempos de incubação foi observada no presente estudo. A Figura 8 mostra o comportamento da curva de desaparecimento do resíduo insolúvel em detergente neutro, na qual a contaminação provocou acúmulo de massa no saco ao final de 60 dias de incubação, e gera, conseqüentemente, uma estimativa viesada da massa não-digerível no interior do saco. Van Milgen et al. (1992) constaram que sacos de náilon sofreram excessiva contaminação ao serem incubados no rúmen por 42 dias, e o tratamento em detergente ácido não é capaz de eliminar totalmente a contaminação por minerais.

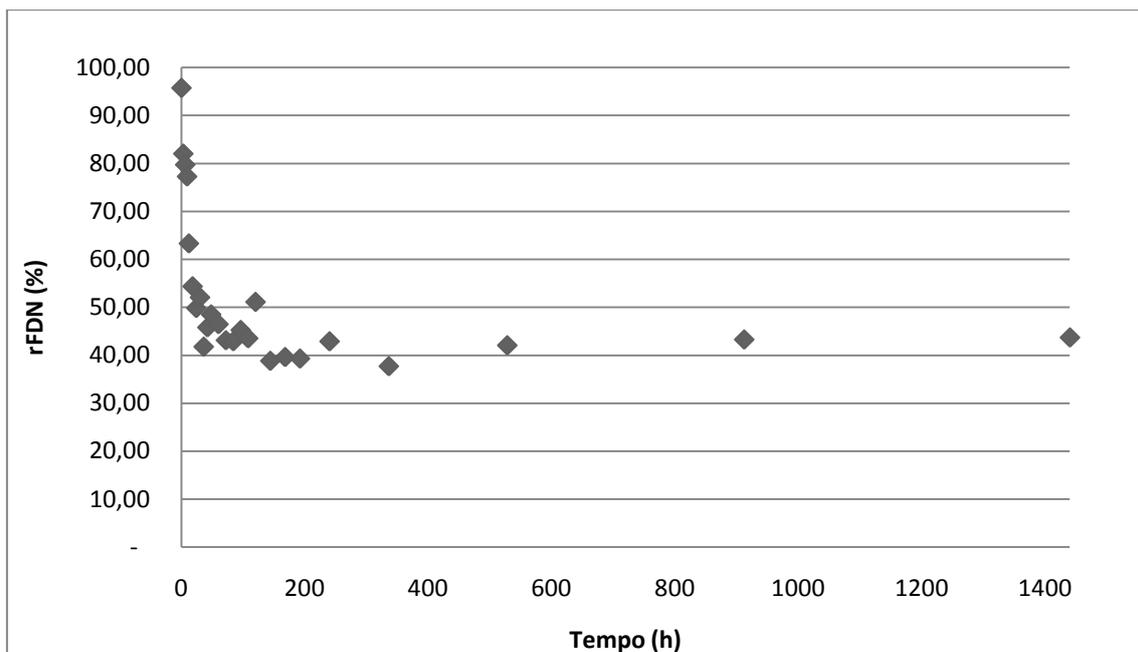


Figura 8 – Perfil de desaparecimento do resíduo de fibra em detergente neutro (rFDN) da cana-de-açúcar incubado no rúmen por 1440 horas em sacos de náilon

Pond et al. (1988) enfatizaram que a lenta e “imperfeita” mistura das partículas da digesta no retículo-rúmen é inconsistente com a representação de modelos mistos que consideram homogeneidade da digesta – em distribuições tempo-dependentes de tempos de retenção. O uso de distribuições tempo-dependentes podem se consistentes no caso de haver um processo discriminatório envolvendo o fluxo de partícula do retículo-rúmen.

#### 4.2. Experimento II

Os valores das frações de carboidratos calculados conforme Sniffen et al. (1992) estão descritos na Tabela 12. Os teores de carboidratos totais das forragens acroceres, angola, hemarthria e setária foram inferiores aos teores apresentados no estudo realizado por Campos et al. (prelo), à idade de corte de 56 dias cujos foram valores 72,98%; 79,70%; 83,63% e 82,16%, respectivamente.

A fração A+B<sub>1</sub> mostrou ser semelhante entre o capim-elefante napier e o genótipo CNPGL 94-07-02 (p>0,05), sendo estes superiores aos demais exemplares de capim-elefante avaliados. Assim como no estudo conduzido por

Lima et al. (2008) o capim-elefante cameroon apresentou os menores teores da A+B<sub>1</sub> em relação aos demais genótipos e cultivares de capim-elefante.

Os teores das frações B<sub>2</sub> não diferiram entre os exemplares de capim-elefante (p>0,05), e apresentaram valores inferiores aos descritos por Lima et al. (2008) os quais encontraram teores iguais a 82%; 73%; 74,3% e 79% para os respectivos capins-elefante cameroon, CNPGL 92-79-02, CNPGL 94-07-02, napier à idade de corte de 56 dias.

Considerando que as amostras de capim-elefante foram colhidas na mesma idade de corte, nota-se que o teor da fração C não diferiu entre os genótipos e o capim-elefante cv. cameroon, sendo portanto significativamente distintos (P>0,05) da cultivar Napier.

Tabela 12 - Frações de carboidratos em porcentagem dos carboidratos totais e teores e teores de carboidratos totais (CHT,% na MS), das forragens avaliadas

Forragem	Frações de carboidratos <sup>1</sup>			
	A+B <sub>1</sub>	B <sub>2</sub>	C	CHT
Acroceres	17,10	69,70	13,20	69,40
Angola	18,69	55,81	25,50	67,27
Cameroon	14,11b	71,08a	14,81a	68,82a
Cana	50,79	34,87	14,34	46,48
CNPGL 92-79-02	16,29b	68,94a	14,76a	67,61a
CNPGL 94-07-02	21,43a	65,13a	13,44a	64,97b
Hemarthria	14,31	70,73	14,96	72,15
Mombaça	16,15	73,63	10,22	60,76
Napier	20,75a	69,90a	9,35b	61,71c
Setária	18,00	62,04	19,96	66,95
Silagem de milho	29,95	56,83	13,22	59,47
Feno de Alfafa	41,81	25,78	32,41	43,86

<sup>1</sup>- Médias seguidas por letras iguais, na mesma coluna, não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Student-Newman-Keuls.

O teor da fração C, calculado a partir dos teores de lignina por 2,4 (Sniffen et al., 1992) permite detectar que aparentemente os genótipos de capim-elefantes (RENACE) possuem arranjo anatômico dos tecidos e padrão de lignificação semelhantes, os quais são fatores que interferem diretamente na digestão da fibra pelos ruminantes (Akin & Burdick, 1975).

As frações cinéticas dos carboidratos estimadas por intermédio da técnica da produção de gases expressos na Tabela 13 permitem identificar a contribuição das frações A e B<sub>1</sub> (isoladamente) no teor dos carboidratos não estruturais - considerada igual a somatória de A e B<sub>1</sub>. A cana-de-açúcar possui elevada fração A (45,74%) em relação as demais forragens em virtude da elevada presença de açúcares de rápida degradação. Os genótipos de capim-elefante apresentaram maiores teores da fração A comparativamente as cultivares comerciais.

Morenz (2000) avaliou as gramíneas acroceres e hemarthria aos 14, 28 e 56 dias de idade e verificou que a degradabilidade potencial da MS e da FDN aumentaram em função do tempo de incubação e diminuíram com a maturidade da planta. Esta redução da degradabilidade em função da idade de corte deve-se, principalmente, ao aumento do conteúdo de parede celular, e ao acúmulo de lignina na célula vegetal, segundo o autor. Para as gramíneas apresentadas acima, ocorreu também aumento da MS e FDN em função do tempo de incubação.

Tabela 13 – Estimativas das frações cinéticas dos carboidratos obtidos pela técnica da produção cumulativa de gases

Forragem	Frações %CT		
	A'	B' <sub>1</sub>	B' <sub>2</sub>
Acroceres	3,6887	9,5813	58,8677
Angola	5,8377	8,0323	59,0460
Cameroon	0,1008	11,0192	64,6668
Cana	45,7489	5,3111	26,5656
CNPGL 92-79-02	8,2096	13,6204	60,8142
CNPGL 94-04-02	9,6946	13,2154	56,6372
Hemarthria	4,9084	5,8416	62,2325
Mombaça	1,3723	19,1377	67,3807
Napier	6,8599	17,7501	59,9046
Setária	4,7014	17,1486	62,6382
Silagem de milho	0,7125	29,6575	50,4406
Feno de Alfafa	3,2291	23,0209	46,2403

A Figura 9 ilustra os perfis de produção de gases das forrageiras em estudo, o volume de gás acumulado ao longo do tempo mostra a

particularidade do processo de fermentação dos carboidratos pelos microorganismos. Pois o volume de gás produzido nos tempos iniciais é um indicativo da velocidade de digestão do substrato, a estimativa da fração solúvel auxilia na estimativa das taxas de degradação da fibra.

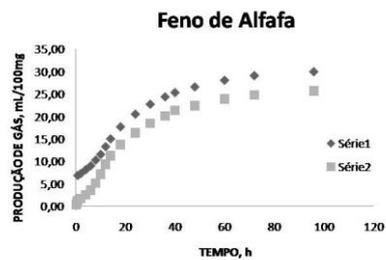
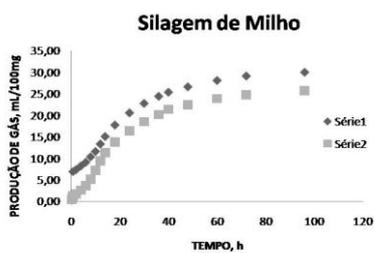
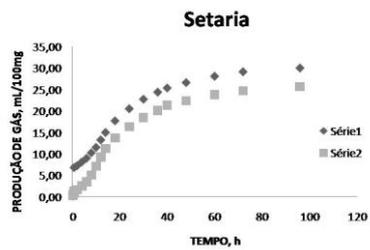
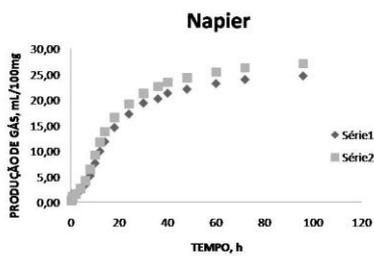
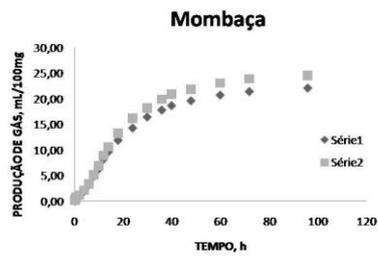
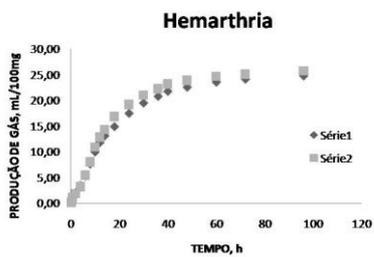
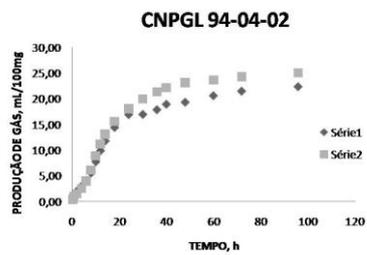
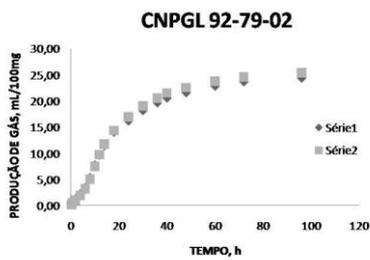
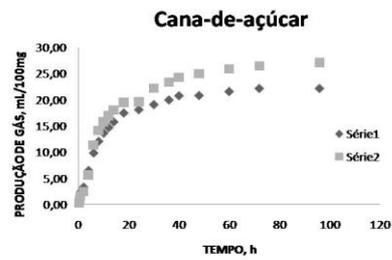
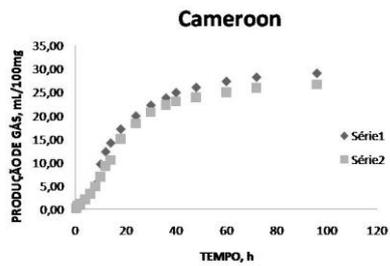
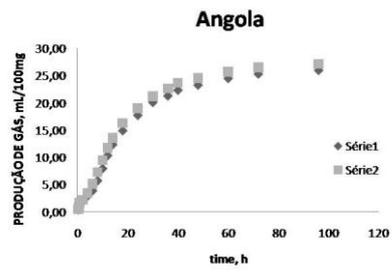
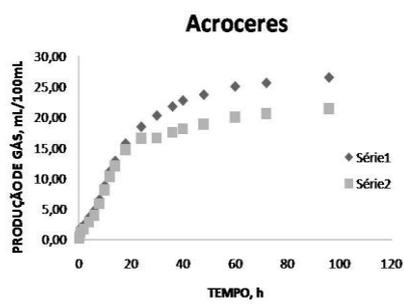


Figura 09 – Perfis de produções cumulativas de gases das diferentes forragens avaliadas

As Figuras 10 e 11 mostram a contribuição dos carboidratos fibrosos e dos carboidratos não-fibrosos na produção de gás oriunda da fermentação dos carboidratos totais.

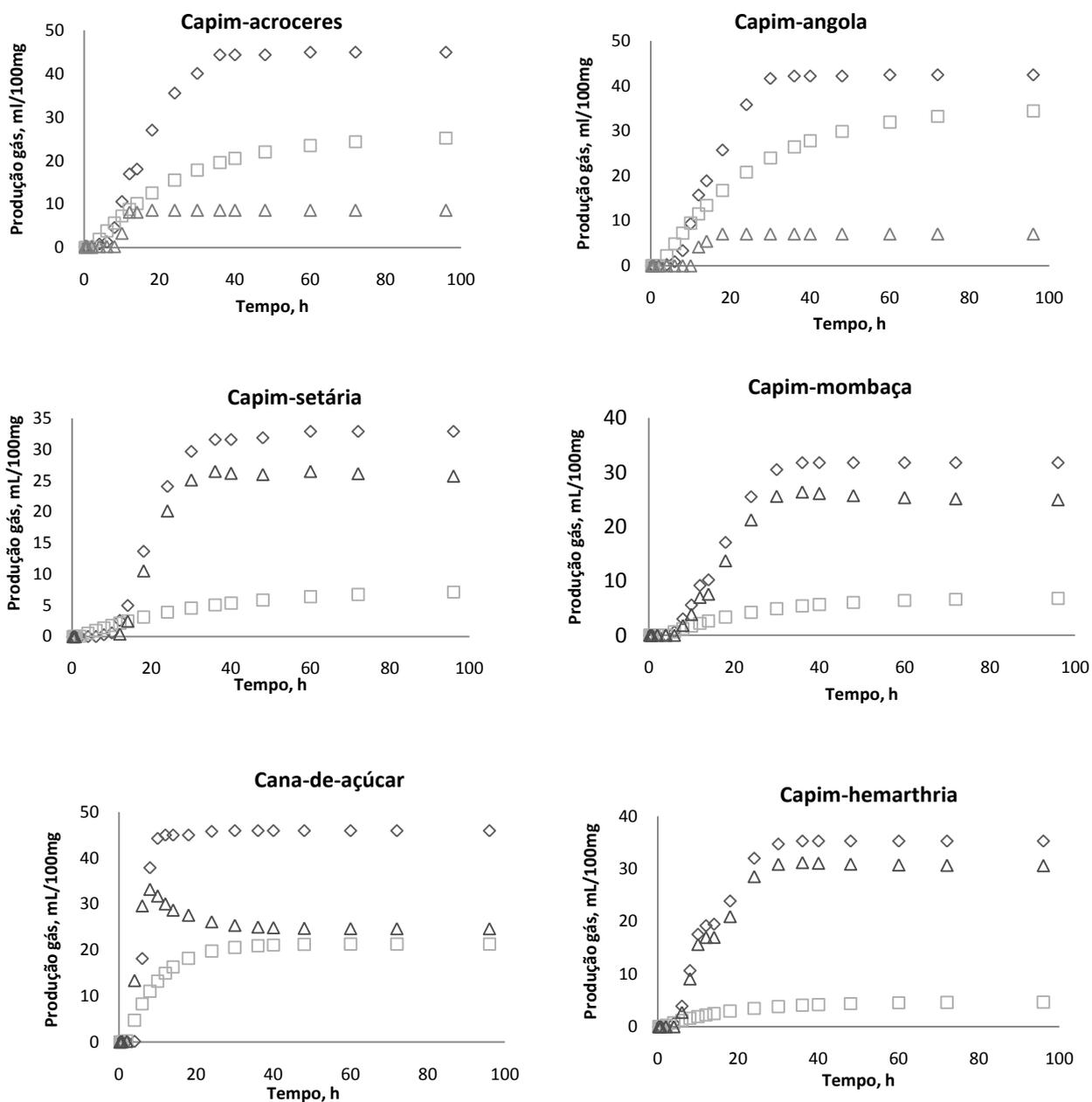


Figura 10 – Perfis de produção de gases dos carboidratos totais -  $V_{f_{CT}}$  ( $\diamond$ ), dos carboidratos não-fibroso –  $V_{f_{CNF}}$  ( $\square$ ) e dos carboidratos fibrosos  $V_{f_{CF}}$  ( $\Delta$ ) das forragens avaliadas

Há uma maior contribuição dos carboidratos fibrosos na fermentação dos capins setária, mombaça, hemarthria e cana-de-açúcar. Mas para os capins acroceres e angola ocorre o inverso (Figura 10). Aparentemente os perfis de produção de gases dos CNF e CF dos genótipos e cultivares de capim-elefante são semelhantes (Figura 11).

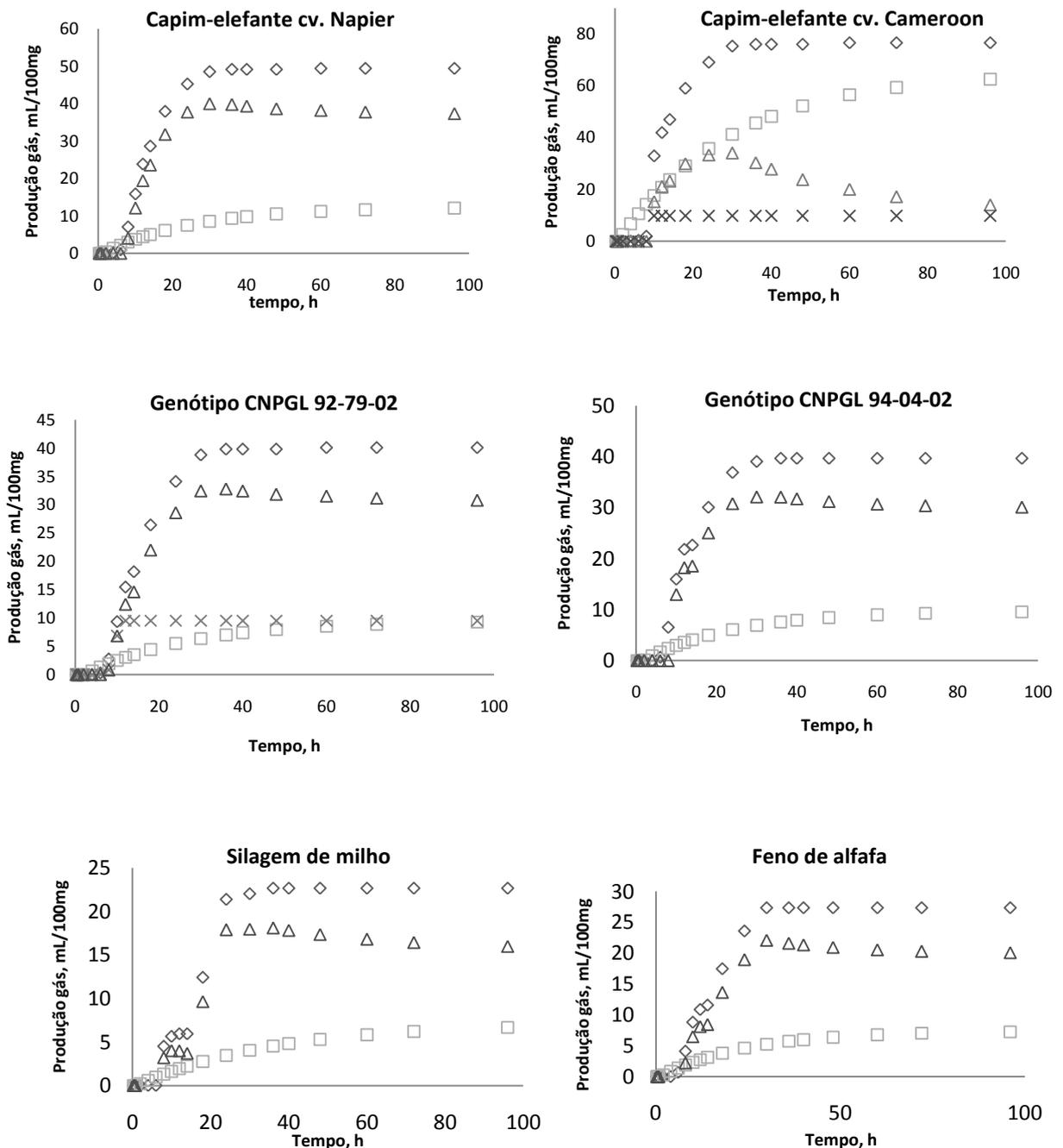


Figura 11 – Perfis de produção de gases dos carboidratos totais -  $V_{ICT}$  ( $\nabla$ ), dos carboidratos não-fibrosos -  $V_{f_{CNF}}$  ( $\square$ ), dos carboidratos não-fibrosos corrigidos -  $V_{f_{CNF}}$  ( $\times$ ) e dos carboidratos fibrosos  $V_{f_{CF}}$  ( $\Delta$ ) das forragens avaliadas

## **5. CONCLUSÕES**

O aumento na ordem de dependência dos modelos para descrever a cinética da fibra em ruminantes tende a amenizar a superestimação da taxa de digestão do resíduo insolúvel em detergente neutro.

O tipo de tecido do saco e o tamanho de partícula da amostra a serem incubados “in situ” influenciam diretamente a estimativa dos parâmetros de degradação ruminal da FDN.

Na análise dos parâmetros cinéticos de degradação da FDN não foi possível detectar superioridade dos genótipos de capim-elefante em relação as cultivares comerciais.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADESOGAN, A.T. What are feeds worth?: A critical evaluation of selected nutritive values methods. In: Annual Florida Nutrition Symposium, 13., 2002, Florida. **Proceedings...** Florida, 2002. p.33-46.
- AGRICULTURAL AND FOOD RESEARCH COUNCIL – AFRC. **Energy and protein requirement of ruminantes**. Wallingford: Commonwealth Agricultural Bureaux International, 1993. 159p.
- AKAIKE, H. A new look at the statistical model identification. **IEEE Transaction on Automatic Control**, v.19, p.716-723, 1974.
- AKAIKE, H. Information theory and an extension of the maximum likelihood principle. In: Second International Symposium on Information Theory. Budapest: Akademiai Kiado, **Proceedings...**, 1973. p.267-281.
- AKIN, D.E. Histological and physical factors affecting digestibility of forages. *Agronomy Journal*. v.81, n.1, p.17-25, 1989.
- ALLEN, M.S. Relationship between fermentation acid production in the rumen and the requirement for physically effective fiber. **Journal of Dairy Science**, v. 80, n. p. 1447-1462, 1997.
- ANDRADE, I.F.; GOMIDE, J.A. Curva de crescimento e valor nutritivo de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) “A-146 Taiwan”. **Revista Ceres**, v.18, n.100, p.431-447, 1971.
- ANDRADE, I.F.; GOMIDE, J.A. Curva de crescimento e valor nutritivo do capim-elefante (*Pennisetum purpureum*, Schum) ‘A-146 Taiwan’. *Rev.Ceres*, v.18, n.100, 1971.
- ANUALPEC (2003). **Anuário da Pecuária Brasileira**. FNP Consultoria & Comércio. São Paulo, SP, 2003.
- AOAC, Association of Official Analytical Chemists. Official methods of analysis, 15.ed. Virginia, 1990. 1298p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Norma Brasileira - NBR 13706. Não-tecido – Determinação da permeabilidade ao ar**. Julho 1996. 6p.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). **Official Methods of Analysis**, 15ed. Washington,DC., 1990.
- BARBOSA, G.S.S.C.; SAMPAIO, I.B.M.; GONÇALVES, L.C. et al. Fatores que afetam os valores de degradabilidade “in situ” da matéria seca de forrageiras

tropicais: III. Tamanho de partícula da amostra. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.50, n.5, p.731-735, 1998.

BEEVER, D.E.; MOULD, F.L. Forage evaluation for efficient ruminant livestock production. In: Givens, D.I., Owen, E., Axford, R.F.E. and Omed, H.M. (eds). Forage Evaluation in Ruminant Nutrition. CAB International, Wallingford, UK, pp. 15–42, 2000.

BEUVINK, J M W.; SPOELSTRA, S.F. Interactions between substrate, fermentation end-products, buffering systems and gas production upon fermentation of different carbohydrates by mixed rumen microorganisms in vitro. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v.37, n., p.505-509, 1992.

BOGDAN, A. V. **Tropical pasture and fodder plants – Grasses and legumes**. London and New York, 475 p., 1977.

BOTREL, M.A. Algumas considerações sobre gramíneas e leguminosas forrageiras. Coronel Pachco, MG: EMBRAPA Gado de Leite, 1983. 59p. Documento 9.

BUXTON, D.R.; REDFEARN, D.D. Plant Limitations to Fiber Digestion and Utilization. **The Journal of Nutrition**, v.125, n.5, p.814-818, 1997.

CAMPOS, P.R.S.S. **Estimativas do valor energético e da taxa de degradação da fibra em detergente neutro de alguns volumosos em ovinos**. Viçosa, MG. UFV, 2004. 47p. Dissertação (Mestrado em Zootecnia) - Universidade Federal de Viçosa, 2004.

CASALI, A.O.; DETMANN, E.; COSTA, V.A.C. et al. Estimação “in situ” dos teores de fibra em detergente neutro indigestível em alimentos para ruminantes em sacos de diferentes tecidos. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43.,2006, João Pessoa. **Anais...João Pessoa: SBZ**, 2006. p.218-221.

CASALI, A.O.; DETMANN, E.; VALADARES FILHO, S.C. et al. Estimação de teores de componentes fibrosos em alimentos para ruminantes em sacos de diferentes tecidos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.38, n.1, p.130-138, 2009.

DAHER, R.F.; VÁSQUEZ, H.M.; PEREIRA, A.V. et al. Estimativas de parâmetros genéticos e de coeficientes de repetibilidade de caracteres forrageiros em clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.). **Acta Scientiarum Agronomy**. Maringá, v.26, n.4, p.483-490, 2004.

DAHER, R.F.; VÁSQUEZ, H.M.; PEREIRA, A.V. et al. Introdução e avaliação de clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) em Campos dos Goytacazes, RJ. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.29, n.5, p.1296-1301, 2000.

DERESZ, F.; OLIVEIRA, J.F.; CAMPOS, O.F. Produção de leite e consumo de vacas mestiças holandês x zebu recebendo capim-elefante picado, com ou

sem concentrado. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34.,1997, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: SBZ, 1997. p.208-211.

DIJKSTRA, J.; KEBREAB, E.; BANNINK, A. et al. Application of the gas production technique to feed evaluation systems for ruminants. *Anim. Feed Sci. and Technology*, v.123-124, n.1, p.561-578, 2005.

ELLIS, W.C.; MAHLOOJI, M.; LASCANO, C.E. et al. Effects of size of ingestively masticated fragments of plant tissues on kinetics of digestion of NDF. **Journal of Animal Science**, v.83, p.1602-1615, 2005.

EUCLIDES, V.P.B. **Alternativas para intensificação da produção de carne bovina em pastagem**. Campo Grande: Embrapa Gado de Corte, 2000, 65p.

FAVORETTO, M.G.; DERESZ, F.; FERNANDES, A.M. et al. Avaliação nutricional da grama-estrela cv. Africana para vacas leiteiras em condições de pastejo. **Revista Brasileira de Zootecnia**. v.37, n.2, p.319-327, 2008.

FERNANDES, F.D.; PEREIRA, A.V.; LÉDO, F.J.S. et al. Avaliação agrônômica de clones de capim-elefante no Distrito Federal. **Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento**, 41, EMBRAPA, Planaltina, DF, 2002. 15p.

FRANCE, J.; LOPEZ, S.; DIJKSTRA, J. et al. Particulate matter loss and the polyester-bag method. Nutrition Discussion Forum. **British Journal of Nutrition**. v.78, p.1031-1044, 1997.

FREITAS, E.V.; LIRA, M.A.; DUBEUX JÚNIOR, J.C.B. et al. Características produtivas e qualitativas de clones de capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum.) avaliados sob pastejo na zona da mata de Pernambuco. **Acta Scientiarum Animal Science**. Maringá, v.26, n.2, p.251-257, 2004.

GOERING, H.K.; VAN SOEST, P.J. Forage Fiber Analyses (Apparatus, reagents, procedures, and some applications). **Agriculture Handbook**. n. 379. ARS - USDA, Washington, DC. 1970.

GOHL, B. Tropical feeds. Feed information summaries and nutritive values. FAO – Animal Production and Health Series. v.12. FAO. Roma, 1981.

GOLDBARG, M.C.; LURRA, H.P. Otimização combinatória e Programação Linear: Modelos e Algoritmos. Elsevier – Rio de Janeiro, 2000, 649p. Capítulo 1: Modelagem de Problemas

HADDADE, I.R. **Morfofisiologia, rendimento forrageiro e custos de produção do capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) sob influência dos manejos não irrigado, irrigado e fertirrigado**. Campos dos Goytacazes, RJ. UENF, 2004. 99p. Tese (Doutorado em Produção Animal) - Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, 2004.

- HALL, M.B.; PELL, A.N.; CHASE, L.E. Characteristics of neutral detergent-soluble fiber fermentation by mixed ruminal microbes. **Animal Feed Science and Technology**, v.70, p.23-39, 1998.
- HUNTINGTON, J.A.; GIVENS, D.I. The "in situ" technique for studying the rumen degradation of feeds: A review of the procedure. **Nutrition Abstracts Reviews (Series B)**. v.65, n.2, p.63-93, 1995.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Indicadores IBGE. Estatística da Produção Pecuária**. Junho de 2009. Capturado em: <http://www.ibge.gov.br/home/>, em 01 de julho de 2009.
- KILLINGER, G.B. Limpograss (*Hemarthria altissima* (Poir.) Stapf et. C. E. Hubb. ) a promising forage and beverage grass for the South. **Agronomy Abstracts**, v. 63, p. 56, 1971.
- LACERDA, P.D.; MALAFAIA, P.A.M.; VIEIRA, R.A.M. et al. Variação anual da composição bromatológica de duas forrageiras cultivadas nas baixadas litorâneas do Estado do Rio de Janeiro, Brasil. **Ciência Rural**, v.34, n.2, p. 523-529, 2004.
- LIMA, E.S., COELHO DA SILVA, J.F., VÁSQUEZ, H.M. et al. Fracionamento de carboidratos e compostos nitrogenados de genótipos de capim-elefante aos 56 dias de rebrota. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.37, n.11, 2008.
- LOPES, F.C., AROEIRA, L.J.M. Consumo, digestibilidade, degradabilidade e parâmetros ruminais em vacas Holandês Zebu alimentadas com capim-elefante (*Pennisetum purpureum* Schum) picado. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v.50, p., 1998.
- LOPEZ, S.; FRANCE, J.; DHANOA, M.S. A correction for particulate matter loss when applying the polyester-bag method. **British Journal of Nutrition** v.71, p.135-137, 1994.
- MADSEN, J.; HVELPLUND, T. Prediction of "in situ" protein degradability in the rumen. Results of a European ring test. **Livestock Production Science**, v.39, n.2, p.201-212, 1994.
- MALAFAIA, P.A.M.; PEREIRA, J.C.; VIEIRA, R.A.M. Kinetic parameters of ruminal degradation estimated with a non automated system to measure gas production. **Livestock Production Science**, v. 58, n. 1, p. 65-73, 1999.
- MALAFAIA, P.A.M.; VALADARES FILHO, S.C.; VIEIRA, R.A.M. et al. Determinação e cinética ruminal das frações protéicas de alguns alimentos para ruminantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.26, p.1243-1251, 1998a.
- MALAFAIA; P.A.M.; FILHO, S.C.V.; VIEIRA, R.A.M. et al. Cinética ruminal de alguns alimentos investigada por técnicas gravimétricas e metabólicas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.27, n.2, p.370-380, 1998b.

- 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 of Animal Science**, v.70, p.296-307, 1992.
- MARINUCCI, M.T.; FRANCE, S.; LOPEZ, S. et al. Correcting the calculation of degradation to account for particulate matter loss at zero time when applying the polyester bag method. **Journal of Animal Science**, v.77, p.3385-3391, 1999.
- MCALLISTER, T.A.; BAE, H.D.; JONES, G.A. et al. Microbial attachment and feed digestion in the rumen. **Journal of Animal Science**, v.72, p.3004-3012, 1994.
- MCDONALD, I. A revised model for the estimation of protein degradability in the rumen. **Journal of Agricultural Science**, v.96, p.251-252, 1981.
- MEHREZ, A.Z., ØRSKOV, E.R. A study of the artificial fibre bag technique for determining the digestibility of feeds in the rumen. *Journal of Agricultural Science, Cambridge*, v.88, p. 645-650, 1977.
- MENKE, K.H.; RAAB, L.; SALEWSKI, A.; et al. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedstuffs from the gas production when they are incubated with rumen liquor "in vitro". **Journal of Agriculture Science Cambridge**, v.93, p.217-222, 1979.
- MERTENS, D. R. Measuring fiber and its effectiveness in ruminant diets. In: Plains nutrition conference, **Proceedings...** San Antonio, TX, 2002.
- MERTENS, D.R. Kinetics of cell wall digestion and passage in ruminants. In: JUNG, H.G., BUXTON, D.R.; HATFIELD, R.D. et al. (Eds.) **Forage cell wall structure and digestibility**. Madison: American Society of Agronomy, Inc., Science Society of America, Inc., 1993a, p.535-570.
- MERTENS, D.R. Rate and extent of digestion. In: FORBES, J.M.; FRANCE, J. (Eds.) **Quantitative aspects of ruminant digestion and metabolism**. Cambridge, England: CAB International, 1993b, p.13-51.
- MERTENS, D.R. Regulation of forage intake. In: FAHEY Jr., G.C. (Ed.) **Forage Quality, Evaluation and Utilization**. Am. Soc. Agron., Crop Sci. Soc. Amer., Soil Sci. Amer. Madison, WI. 1994, p.450-493.
- MESSMAN, M.A.; WEISS, W.P.; ERICKSON, D.O. Effects of nitrogen fertilization and maturity of bromegrass on "in situ" ruminal digestion kinetics of fiber. **Journal of Animal Science**, v.69, p.1151-1161, 1991.
- MITIDIERI, J. Manual de gramíneas e leguminosas para pastos tropicais. 2. ed. São Paulo: Nobel, 1988, 162p.
- MORA, P.J.G.; VALADARES FILHO, S.C.; LEÃO, M.I. et al. Digestibilidade aparente dos nutrientes e energia líquida da silagem de milho (*Zea mays* L.) para vacas lactantes. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v. 25, n.2, p.357-368, 1996.

- MULLER, M; PRATES, E.R. Avaliação da degradabilidade ruminal "in situ" da matéria seca e fibra em detergente neutro de feno de Tifton-85 comparando dois tipos de tecido de náilon. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 40.,2003, Santa Maria. **Anais...**Santa Maria: SBZ, 2003. p.
- NATIONAL RESEARCH COUNCIL - NRC. **Nutrient requirements of dairy cattle**. 7.ed. Washington, D.C.: 2001. 381p.
- NOCEK, J.E. "in situ" and other methods to estimate ruminal protein and energy digestibility: a review. **Journal of Dairy Science**. v.41, n.8, p.2051-2069, 1988.
- NOCEK, J.E.; HALL, M.B. Characterization of soyhull fiber digestion by "in situ" and "in vitro" enzymatic procedures. **Journal of Dairy Science**, v. 67, p.2599, 1984.
- OMETTO. J.C. **Bioclimatologia vegetal**. Agronômica Ceres Ed., São Paulo, 1981. 440p.
- ØRSKOV, E.R.; McDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen from incubation measurements weighted according to rate of passage. **Journal of Agricultural Science**, v.92, p.499-503, 1979.
- OTERO, J.R. Informações sobre algumas plantas forrageiras. p.48-55. **SIA**. Rio de Janeiro, RJ.
- OWENS, F.N.; GOETSCH, A.L. Ruminal Fermentation. In: CHURCH, D. C. (Ed.) **The Ruminant Animal - Digestive Physiology and Nutrition**. 5 ed. New Jersey: Englewood, Cliffs. 1993, p.145-171.
- PEDREIRA, J.V.S.; BOIN, C. Estudo do crescimento do Capim-elefante, variedade Napier (*Pennisetum purpureum*, Schum). **Boletim da Indústria Animal**, Nova Odessa, SP. v.26, p.263-273, 1969.
- PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion "in vitro". **Journal of Dairy Science**, v.76, p.1063-1073, 1993.
- PELL, A.N.; SCHOFIELD, P.; STONE, W.C. Rates of feeds measured *in vitro* computers. In: Cornell Nutrition Conference, Cornell. **Proceedings...** Ct.13-15,1994. p.74-81.
- PEREIRA, A. V. MARTINS, C.E.; CRUZ FILHO, A.B. et al. Pioneiro - nova cultivar de capim-elefante para pastejo. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 34.,1997, Juiz de Fora. **Anais...** Juiz de Fora: SBZ, 1997. p.102-104.
- PEREIRA, E.S.; QUEIROZ, A.C.; PAULINO, M.F. et al. Fontes nitrogenadas e uso de *Sacharomyces cerevisiae* em dietas à base de cana-de-açúcar para novilhos: Consumo, digestibilidade, balanço nitrogenado e parâmetros ruminais. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.2, p.563-572, 2001

- POND, K.R.; ELLIS, W.; MATIS, C. Compartment models for estimating attributes of digesta flow in cattle. **British journal of Nutrition**, v.60, n.2, p.571-595, 1988.
- POOS-FLOYD, M., KLOPFENSTEIN, T. BRITTON, R.A. Evaluation of laboratory techniques for predicting ruminal protein degradation. **Journal of Dairy Science**, v.68, p.829-834, 1985.
- QUIN, J.I.; Van Der WATCH, J.G.; MYBURGH, S. Studies on the alimentary tract of Merino sheep in South Africa. IV. Description of experimental technique. **Journal of Veterinary Science Animal**. Ind. v.11, 1938, p.341-370.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. R: **A language and environment for statistical computing**. R Foundation for Statistical Computing. 2007.
- SAEG - **Sistema para Análises Estatísticas**, Versão 9.1: Fundação Arthur Bernardes - UFV - Viçosa, 2007.
- SAS Institute Inc. User's Guide** (Version 9.0). SAS Publishing, Cary, 2002.
- SCHOFIELD, P. **Gas production methods**. In: D'Mello, J.P.F. (ed.) *Farm Animal Metabolism and Nutrition*. CAB International, Wallingford, UK, 2000. p. 209–232.
- 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, M.L.; LIRA, J.E.; FERREIRA, P.V. et al. Efeito da idade de corte sobre a produção de matéria verde do capim angola (*Brachiaria mutica* (fosk.), stapf.), em período de estiagem. In: I Congresso Brasileiro de Nutrição Animal, 1, 2008, Ceará . **Anais...CBNA**, 2008, CD-ROM..
- SNIFFEN, C.J.; O'CONNOR, J.D.; VAN SOEST, P.J. et al. A net carbohydrate and protein system for evaluating cattle diets: II. Carbohydrate and protein availability. **Journal of Animal Science**, v.70, n.11, p.3562 - 3577, 1992.
- SOARES, J.P.G. **Fatores limitantes do consumo de capim-elefante cv. Napier utilizando vacas leiteiras confinadas**. Jaboticabal, SP. UNESP, 2002. 110p. Tese (Doutorado em Zootecnia) -Universidade Estadual Paulista, 2002.
- SPANGHERO, M.; BOCCALON, S.; GRACCO, L. et. al. NDF degradability of hays measured "in situ" and *in vitro*. **Animal Feed Science and Technology**, v.104, n.4, p.201-208, 2003.
- THEODOROU, M.K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA, M.S. et al. A simple gas production method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.48, n.2, p.185-197, 1994.

- TILLEY, J.M.A.; TERRY, R.A. A two-stage technique for the "in vitro" digestion of forage crops. **Journal of British Grassland Society**. v.18, n.2, p.104-111, 1963.
- VALENTIM, S.F.; WILLIAMS, P.E.V.; FORBES, J.M. et al. Comparison of the "in vitro" gas production technique the nylon bag degradability technique to measure short- and long-term processes of degradation of maize silage in dairy cows. **Animal Feed Science and Technology**, v.78, p.81-99, 1999.
- VAN MILGEN, J., ROACH, M.L., BERGER, L.L. et al. MINERAL DEPOSITS ON DRACON BAGS DURING RUMINAL INCUBATION. Technical Note. *Journal of Animal Science*, v.70, n., p.2551-2555, 1992.
- Van Soest, P. J., M. E. Van Amburgh, and L. O. Tedeschi. 2000. Rumen balance and rates of fiber digestion. Proceedings of Cornell Nutrition Conference for Feed Manufacturers, Rochester, NY:150-166. Capturado em: <http://nutritionmodels.tamu.edu/papers/VanSoestetalCNC2000150.pdf>, acesso em: 04/12/2009.
- VAN SOEST, P.J. **Nutrition ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell University Press. 1994. 476p.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B. Analysis of forages and fibrous foods. **A Laboratory Manual for Animal Science**. 202p. 1985.
- VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition. **Journal of Dairy Science**, v.74, p.3583-3597, 1991.
- VANZANT, E.R.; COCHRAN, E.C. TITGEMEYER, S.D. et al. *In vivo* and "in situ" measurements of forage protein degradation in beef cattle. **Journal of Animal Science**, v.74, n.5, p.2773-2784, 1996.
- VANZANT, E.R.; COCHRAN, E.C. TITGEMEYER, S.D. et al. Standardization of "in situ" techniques for ruminant feedstuff evaluation. **Journal of Animal Science**, v.76, p.2717-2729, 1998.
- VIEIRA, R.A.M.; FERNANDES, A.M. A Importância de estudos quantitativos associados à fibra para a nutrição e a alimentação de ruminantes. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43, 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006. p.103-133.
- VIEIRA, R.A.M.; TEDESCHI, L.O.; CANNAS, A. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in ruminoreticulum: 1. Estimating paramaters of digestion. **Journal of Theoretical Biology**. v.255, n. , p.345-356, 2008.
- VIEIRA, R.A.M.; TEDESCHI, L.O.; CANNAS, A. A generalized compartmental model to estimate the fibre mass in ruminoreticulum: 2. Integrating digestion and passage. **Journal of Theoretical Biology**. v.255, n. , p.357-368, 2008.

- VILELA, D. Utilização do capim-elefante na forma de forragem conservada. In: SIMPÓSIO SOBRE CAPIM-ELEFANTE, 1990. Coronel Pacheco, **Anais...** Juiz de Fora: EMBRAPA – CNPGL, 1990. p. 89-131.
- VITTORI, A. Produção e determinação das frações de proteínas e de carboidratos de gramíneas tropicais. 1998. 79f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, RJ. SILVA, M.M.P. **Características produtivas, morfogênicas e composição químico-bromatológica de gramíneas forrageiras tropicais, submetidas a diferentes condições hídricas do solo.** 2003. 131p. Tese (Doutorado em Produção Animal) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes, 2003.
- WEISS, P.E. Estimation of digestibility of forages by laboratory methods. In: Fahey, G.C. Jr (ed.) Forage Quality, Evaluation, and Utilization. American Society of Agronomy, Crop Science Society of America and Soil Science Society of America, Madison, Wisconsin, p. 644–681, 1994.
- WILLIAMS, B.A. Cumulative gas-production techniques for forage evaluation. In: GIVENS, D.I.; OWEN, E.; AXFORD, R.F.E.; et al. (Eds.) **Forage Evaluation in Ruminant Nutrition.** CAB International. p.189-213, 2000.
- ZAGO, C.P. Silagem de sorgo. In: SIMPÓSIO SOBRE NUTRIÇÃO DE BOVINOS: ALIMENTAÇÃO SUPLEMENTAR, 7, 1999, Piracicaba, **Anais...** Piracicaba, FEALQ, 1999. p. 47-68.