

PARÂMETROS CINÉTICOS DA FERMENTAÇÃO RUMINAL DO  
PSEUDOFRUTO DE CINCO CLONES DE CAJUEIRO PELA TÉCNICA *IN*  
*VITRO* SEMI-AUTOMÁTICA DE PRODUÇÃO DE GASES

MARCIA MOURÃO RAMOS AZEVEDO

TERESINA, PIAUÍ  
2007

PARÂMETROS CINÉTICOS DA FERMENTAÇÃO RUMINAL DO  
PSEUDOFRUTO DE CINCO CLONES DE CAJUEIRO PELA TÉCNICA *IN*  
*VITRO* SEMI-AUTOMÁTICA DE PRODUÇÃO DE GASES

MARCIA MOURÃO RAMOS AZEVEDO  
Bióloga

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. VÂNIA RODRIGUES VASCONCELOS  
Co-orientador: Prof. Dr. ADIBE LUIZ ABDALLA

Dissertação apresentada ao Centro de Ciências  
Agrárias da Universidade Federal do Piauí,  
para a obtenção do título de mestre em Ciência  
Animal, Área de Concentração em Produção  
de Animais de Interesse Econômico.

TERESINA, PIAUÍ  
2007

PARÂMETROS CINÉTICOS DA FERMENTAÇÃO RUMINAL DO  
PSEUDOFRUTO DE CINCO CLONES DE CAJUEIRO PELA TÉCNICA *IN*  
*VITRO* SEMI-AUTOMÁTICA DE PRODUÇÃO DE GASES

MARCIA MOURÃO RAMOS AZEVEDO

Aprovada em 27/02/2007

Banca Examinadora:

---

Dra. Vânia Rodrigues Vasconcelos – UFPI  
Orientadora

---

Dr. Ives Cláudio da Silva Bueno – CENA/USP

---

Dr. José Carlos Machado Pimentel – CNPAT/EMBRAPA

**DEDICO,**

Ao Carlos, meu marido, pela companhia, amor, respeito e cumplicidade durante todos estes anos. Com você sinto que tudo é possível.

Aos meus filhos, Jéssica Tayanne e Júlio Fernandes, pelo amor que sinto por vocês e que nos une cada vez mais.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço, em primeiro lugar, a Deus por ter me proporcionado tudo que tenho e com os quais sou muito feliz.

Ao meu esposo, Antonio Carlos Oliveira Azevedo, por quem tenho um carinho muito especial e por estar ao meu lado em todos os momentos, sempre acreditando em meu potencial, torcendo e incentivando-me para a realização dos meus sonhos.

Aos meus filhos, Jéssica Tayanne e Júlio Fernandes, essências da minha vida e razões da minha energia, pela compreensão, carinho, orgulho e vibração com que sempre reagiram aos resultados das nossas conquistas. Espero que minha dedicação, seriedade e compromisso ao trabalho lhes sirvam de estímulo para fazerem sempre mais e melhor.

Aos meus pais, Raimundo Nonato Barbosa Ramos e Francisca Mourão Pessoa, pessoas importantes no conjunto que cerca minha vida.

Aos meus irmãos, pela união nos momentos importantes.

À minha orientadora, Prof<sup>a</sup> Dr<sup>a</sup> Vânia Rodrigues Vasconcelos, por quem tenho profunda admiração e pelo constante incentivo e contribuição, sempre indicando a direção a ser tomada nos momentos mais difíceis.

Ao meu co-orientador, Prof. Dr. Adibe Luiz Abdalla, que gentilmente aceitou participar e colaborar com este trabalho.

Ao Prof. José Lindenberg Rocha Sarmiento, pela amizade e ajuda nas análises estatísticas.

Ao Prof. Dr. Arnaud Azevedo Alves, um professor no sentido profundo da palavra, cuja disponibilidade e ajuda resultou em meu amadurecimento profissional.

Ao pesquisador Dr. José Carlos Machado Pimentel, pelo apoio, amizade e colaboração neste trabalho.

Ao Dr. Ives Cláudio Bueno, pela disponibilidade e colaboração.

À minha grande amiga Marlúcia Lacerda, pelo ombro amigo, apoio, companheirismo, em fim por todos os momentos passados juntas.

À Regina Peçanha do Centro de Energia Nuclear na Agricultura – CENA/USP pela amizade e análises laboratoriais.

À equipe de trabalho, Adeline de Andrade Carvalho, Alessandra Lima Barbosa, Bruno Ítalo Sousa Pinto, José Cardoso de Araújo Neto e Maurílio Souza dos Santos.

Ao Prof. Dr. Darcet Costa Souza, pela colaboração na execução da pesquisa.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de estudos e pelo apoio financeiro necessário à condução deste trabalho.

## SUMÁRIO

	Página
LISTA DE FIGURAS .....	viii
LISTA DE TABELAS .....	ix
LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS .....	x
RESUMO .....	11
ABSTRACT .....	12
1. INTRODUÇÃO .....	13
2. CAPÍTULO I .....	16
Estimativa do volume de gases por meio de equação de regressão para implantação da técnica <i>in vitro</i> semi-automática de produção de gases .....	17
Resumo .....	17
Abstract .....	17
Introdução .....	18
Material e métodos .....	19
Resultados e discussão .....	21
Conclusões .....	22
Agradecimentos .....	22
Literatura citada .....	23
3. CAPÍTULO II .....	25
Modelos matemáticos para estimativa da cinética de fermentação ruminal do pseudofruto de cajueiro pela técnica <i>in vitro</i> semi-automática de produção de gases .....	26
Resumo .....	26
Abstract .....	27
Introdução .....	27
Material e métodos .....	29
Resultados e discussão .....	32
Conclusões .....	41
Agradecimentos .....	41
Literatura citada .....	41

4. CAPÍTULO III .....	44
Parâmetros cinéticos da fermentação ruminal do pseudofruto de cinco clones de cajueiro pela técnica <i>in vitro</i> semi-automática de produção de gases .....	45
Resumo .....	45
Abstract .....	45
Introdução .....	46
Material e métodos .....	47
Resultados e discussão .....	50
Conclusões .....	57
Agradecimentos .....	58
Literatura citada .....	58
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	61
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	62



## LISTA DE FIGURAS

	Página
<b>CAPÍTULO I</b>	
Figura 1 – Dados de pressão e volume obtidos durante o ensaio de produção de gases usando como substrato pseudofrutos do cajueiro ( <i>Anacardium occidentales</i> L.). (* libra por polegada ao quadrado).....	21
<b>CAPÍTULO II</b>	
Figura 1 – Dispersões temporais dos resíduos obtidos dos dados médios de produção de gases (ml de gases/g de MS) pelos modelos logístico, Gompertz, exponencial e France. ....	34
Figura 2 – Curvas de produção cumulativa de gases da matéria seca do pseudofruto de cinco clones de cajueiro ( <i>Anacardium occidentale</i> L.) a partir da média dos dados observados e dos ajustados por quatro modelos para o clone CP-76. ....	36
Figura 3 – Dispersões temporais dos resíduos obtidos depois dos ajustes dos dados médios de produção de gases da fração FDN (mL de gases/g de FDN) pelos modelos logístico, Gompertz, exponencial e France. ....	39
Figura 4 – Curvas de produção cumulativa de gases da fração FDN do pseudofruto de cinco clones de cajueiro ( <i>Anacardium occidentale</i> L.) a partir da média dos dados observados e dos ajustados por quatro modelos para o BRS 189.. ....	40
<b>CAPÍTULO III</b>	
Figura 1 – Taxa de fermentação ( $\mu$ ) da matéria seca do pseudofruto de cinco clones de cajueiro ( <i>Anacardium occidentale</i> L.) determinada segundo o modelo de France et al. (1993). ....	53
Figura 2 – Produção de gases da matéria seca do pseudofruto de cinco clones de cajueiro ( <i>Anacardium occidentale</i> L.). ....	54
Figura 3 – Curvas de produção cumulativa de gases da matéria seca do pseudofruto de cinco clones de cajueiro ( <i>Anacardium occidentale</i> L.). ....	55
Figura 4 – Curvas de produção cumulativa de gases da fração FDN do pseudofruto de cinco clones de cajueiro ( <i>Anacardium occidentale</i> L.). ....	57

## LISTA DE TABELAS

	Página
<b>CAPÍTULO II</b>	
Tabela 1 – Descrição matemática dos modelos avaliados .....	32
Tabela 2 – Médias do quadrado médio do erro (QME), do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do desvio médio absoluto (DMA) obtidas a partir dos ajustes dos dados de produção de gases da matéria seca com os modelos logístico, Gompertz, exponencial e France .....	33
Tabela 3 – Médias do quadrado médio do erro (QME), do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e do desvio médio absoluto (DMA) obtidas a partir dos ajustes dos dados de produção de gases da fração FDN com os modelos Logístico, Gompertz, Exponencial e France .....	38
<b>CAPÍTULO III</b>	
Tabela 1 – Composição bromatológica (com base na MS) do pseudofruto de cinco clones de cajueiro ( <i>Anacardium occidentale</i> L.) .....	50
Tabela 2 – Parâmetros cinéticos da fermentação ruminal da matéria seca do pseudofruto de cinco clones do cajueiro estimados pelo modelo de France et al. (1993) e degradação da matéria seca (DMS) em 72 h .....	51
Tabela 3 – Parâmetros cinéticos de fermentação ruminal da fração FDN do pseudofruto de cinco clones de cajueiro ( <i>Anacardium occidentale</i> L.) estimados pelo modelo Gompertz e degradação da fração FDN (DFDN) em 72 h .....	56

## LISTA DE ABREVEATURAS E SÍMBOLOS

- CP = Clone de Cajueiro de Pacajus.  
DFDN = Degradação da parede celular.  
DMA = Desvio médio absoluto dos resíduos.  
FDA = Fibra em detergente ácido.  
FDN = Fibra em detergente neutro.  
FT = Fenóis totais.  
MM = Matéria mineral.  
MS = Matéria seca.  
NIDN = Nitrogênio insolúvel em detergente neutro.  
PB = Proteína bruta.  
psi = Libra por polegada ao quadrado.  
QME = Quadrado médio do erro.  
 $R^2$  = Coeficiente de determinação.  
SAS = Statistical Analysis System.  
SNK = Student-New-Keuls.  
SQT = Soma de quadrado total.  
TC = Taninos condensados.  
TT = Taninos totais.

## RESUMO

Diversas técnicas vêm sendo utilizadas para avaliar aspectos ligados à utilização dos nutrientes pelos ruminantes, sendo os sistemas *in vitro*, que incluem a técnica de produção de gases, cada vez mais utilizados por descreverem a cinética de fermentação ruminal. Estruturalmente, este trabalho foi dividido em três capítulos. O primeiro objetivou determinar uma equação de regressão para ser aplicada na avaliação de alimentos usando a técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases a partir dos valores de pressão e volume. O segundo capítulo objetivou determinar a capacidade de ajuste de quatro modelos matemáticos em estimar a cinética de fermentação ruminal da matéria seca e da fração fibra em detergente neutro do pseudofruto de cinco clones do cajueiro. O terceiro capítulo objetivou estimar a cinética de fermentação ruminal da matéria seca e da fração fibra em detergente neutro do pseudofruto de cinco clones do cajueiro. O desenvolvimento de uma equação de regressão relacionando os dados de pressão e volume propiciou maior rapidez e precisão na determinação da cinética de fermentação ruminal. Houve variação na adequação dos modelos usados para descrever a cinética de fermentação ruminal. A técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases estimou adequadamente o perfil de fermentação ruminal de pseudofrutos do cajueiro, constituindo em uma importante ferramenta na determinação do valor nutritivo de alimentos para ruminantes. Os capítulos foram apresentados na forma de artigo e serão submetidos para publicação à Revista Brasileira de Zootecnia.

**KINETIC PARAMETERS FROM RUMEN FERMENTATION OF THE PSEUDO  
FRUIT FROM FIVE CASHEW CLONED TREES THROUGH THE SEMI-  
AUTOMATIC *IN VITRO* GAS PRODUCTION TECHNIQUE.**

**ABSTRACT**

Several techniques have been used with the purpose of evaluating the aspects related to the use of nutrients by ruminants, the *in vitro* systems, which include the gas production technique have been increasingly used due to describe the rumen fermentation kinetic. Because of structural reasons, this essay was divided in three chapters. The first one aimed to determinate a regression equation so that it could be applied in feed evaluation through the semi-automatic *in vitro* gas production technique according to the pressure and volume values. The second chapter aimed to determinate four mathematical models adjustment capacity to predict dry matter and the fiber fraction fermentation kinetic in ruminants for the pseudo fruit of five cashew cloned trees. The third chapter aimed to predict the dry matter and the fiber fraction in fermentation kinetic in ruminants the pseudo fruit of five cashew cloned trees. The development of a regression equation relating pressure and volume data resulted in greater speed and accuracy in the determination of the ruminant fermentation kinetic. There were variations in the used models adequacy to better describe the rumen fermentation kinetic. The semi-automatic *in vitro* gas production technique adequately predicted the profile of the ruminant fermentation in cashew tree pseudo fruits, constituting in an important tool to determinate the dietary value of foods for ruminants. The chapters were presented such as papers and will be submitted to the Brazilian Journal of Animal Science for publishing.

## INTRODUÇÃO

Os métodos de avaliação de alimentos para ruminantes têm se desenvolvido consideravelmente nos últimos anos, contribuindo para o aperfeiçoamento de técnicas laboratoriais já existentes, bem como a produção de técnicas mais precisas (MORON et al., 2001). Até o início da década de 1980, os métodos existentes forneciam apenas uma estimativa da digestibilidade potencial dos alimentos, com poucas referências quanto à dinâmica de fermentação ruminal (VALENTIN et al., 1999). Atualmente, diversas técnicas vêm sendo utilizadas para avaliar aspectos ligados à utilização dos nutrientes pelos ruminantes, sendo os sistemas *in vitro*, que incluem a técnica de produção de gases, cada vez mais utilizados na análise desses alimentos, em virtude do baixo custo, da rápida execução, da confiabilidade, da capacidade de avaliar grande quantidade de alimentos por ensaio e da utilização de poucos animais fistulados (BARCELOS et al., 2001; GETACHEW et al., 1998).

A técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases apresenta grande potencial em descrever a cinética de fermentação ruminal dos alimentos, além de estimar a taxa e a extensão da degradação de suas frações solúveis e insolúveis, por meio da quantificação dos resíduos obtidos em diferentes tempos (GETACHEW et al., 1998; PELL e SCHOFIELD, 1993). Esta técnica se baseia na medida, em tempos variados, do volume de gases produzidos durante a fermentação de um substrato incubado a 39°C em frascos de vidro contendo soluções nutritivas, tamponantes e inóculo microbiano proveniente do rúmen (BUENO et al., 2005). O volume de gases pode ser determinado diretamente, por meio de uma seringa plástica graduada, com o auxílio de um transdutor de pressão acoplado a uma válvula de três saídas, ou pode ser estimado indiretamente através de uma equação que o relacione aos dados de pressão. A medida direta do volume restringe o número de amostras analisadas por experimento, o número de leituras e, às vezes, sua acurácia, podendo comprometer a descrição da curva de fermentação (MAURÍCIO et al., 2003). Em função disso, o desenvolvimento de uma equação de regressão estabelecendo a relação entre pressão e volume vem sendo praticado em muitos laboratórios.

Vários pesquisadores têm utilizado modelos matemáticos no estudo da cinética de produção cumulativa dos gases (MAURICIO et al., 2003; CABRAL et al., 2004; BUENO et al., 2005; NOGUERA et al., 2005; NOZELLA et al., 2006), sobretudo os modelos France et al.

(1993); Gompertz, proposto por Lavrencic et al. (1997); o logístico bicompartimental, proposto por Schofield et al. (1994); e o exponencial, proposto por Ørskov e McDonald (1979). O modelo logístico bicompartimental, assume que a taxa de produção de gases é proporcional à população microbiana e à concentração do substrato potencialmente degradável. A população microbiana no início do processo fermentativo constitui um fator limitante à taxa de produção de gases e, no final, seria a disponibilidade de substrato.

O modelo Gompertz, assume que a taxa de produção de gases é proporcional à atividade microbiana, mas a proporcionalidade diminui com o tempo de incubação, que pode ser atribuída à perda de eficiência na taxa de fermentação com o tempo. O modelo exponencial, assume que a taxa de produção de gases depende apenas do substrato disponível para fermentação depois de atingido o tempo de colonização (*Lag time*). O modelo France, assume que a taxa de produção de gases é diretamente proporcional à taxa de degradação do alimento, a qual varia em função do tempo de incubação e de colonização do alimento pelos microrganismos. Segundo Noguera et al. (2004), os modelos matemáticos apresentam vantagens e desvantagens um em relação ao outro. Existindo variações de estimativa entre eles dependendo das condições experimentais e do alimento avaliado. Portanto, é essencial, uma avaliação prévia do modelo a ser usado para que possa ser utilizado o modelo mais adequado.

Estruturalmente este trabalho foi dividido em três capítulos. O primeiro, denominado “Estimativa do volume de gases por meio de equação de regressão para implantação da técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases”, foi realizado com o objetivo de determinar uma equação de regressão que correlacione os valores de pressão e volume para ser aplicada na avaliação de alimentos através da técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases no Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Federal do Piauí. O segundo capítulo, intitulado “Modelos matemáticos para a estimativa da cinética de fermentação ruminal do pseudofruto do cajueiro através da técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases”, objetivou comparar a capacidade de ajuste de quatro modelos matemáticos em estimar a cinética de fermentação ruminal da matéria seca e da fração fibra em detergente neutro do pseudofruto de cinco clones do cajueiro. Por fim, o terceiro capítulo “Parâmetros cinéticos da fermentação ruminal do pseudofruto de cinco clones do cajueiro através da técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases” objetivou estimar a cinética de fermentação ruminal da matéria seca e da fração fibra em detergente neutro do pseudofruto de cinco clones do cajueiro.

Os capítulos I, II e III foram apresentados na forma de artigo científico, obedecendo às normas da Revista Brasileira de Zootecnia, os quais serão submetidos à publicação.



## CAPÍTULO I\*

---

\* Apresentado segundo as normas da Revista Brasileira de Zootecnia

1 **Estimativa do volume de gases por meio de equação de regressão para implantação**  
2 **da técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases**

3  
4 RESUMO: A técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases vem sendo  
5 utilizada eficientemente na determinação do valor nutritivo de alimentos para  
6 ruminantes. Baseia-se no volume de gases produzidos da fermentação de substratos  
7 incubados com um meio nutritivo e inóculo ruminal. O volume pode ser estimado  
8 indiretamente através de uma equação de regressão a partir das leituras de pressão  
9 gerada dentro dos frascos. Este trabalho objetivou determinar uma equação de regressão  
10 para o Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Federal do Piauí relacionando  
11 os valores de pressão e volume e utilizando pedúnculos de *Anacardium occidentales*  
12 como substrato. Para o ensaio de produção de gases incubou-se em frascos de  
13 fermentação 1 g de amostra, 90 mL do meio nutritivo, 10 mL do inóculo ruminal e CO<sub>2</sub>,  
14 os quais foram mantidos a 39°C. As leituras de pressão e as medidas de volume foram  
15 realizadas às 3, 6, 9, 12, 15, 21, 27, 33, 39, 48, 60 e 72 h, utilizando-se um transdutor de  
16 pressão conectado a uma válvula de duas saídas. A equação de regressão predita foi:  $V$   
17  $= 0,1178 P^2$  (s.e. 0,003) + 4,7295 P (s.e. 0,009) e coeficiente de correlação ( $R^2 = 0,99$ ).  
18 A equação de regressão obtida estimou satisfatoriamente o volume de gases.

19

20 Palavras-chave: pressão, volume, *Anacardium occidentales*

21

22 **Gas volume estimate through the regression equation to the implantation of the**  
23 **semi-automatic *in vitro* gas production technique**

24

25 ABSTRACT: The semi-automatic technique of gas production has been  
26 efficiently used in the determination of the nutritional value of feedstuffs for ruminants.  
27 It is based on the volume of gases produced in the fermentation of the substrate  
28 incubated with medium nutritive and ruminal inoculum. The volume can be estimated  
29 indirectly through a regression equation that relates it with the pressure values generated  
30 inside of the bottles. The objective of the present research was to determine a regression  
31 equation that relates pressure and volume values, for the Laboratory of Animal  
32 Nutrition of the Federal University of Piauí, by using *Anacardium occidentales* as

1 substratum. One gram of sample, 90 mL of the medium nutritive, 10 mL of ruminal  
2 inoculum and CO<sub>2</sub> were placed in each fermentation bottle and kept at 39°C. Gas  
3 pressure and volume were recorded at 3, 6, 9, 12, 15, 21, 27, 33, 39, 48, 60 and 72 h  
4 post-inoculation using a pressure transducer and syringes. Regression equation  
5 predicted was:  $V = 0,1178 P^2$  (s.e. 0,003) + 4,7295 P (s.e. 0,009) and correlation  
6 coefficients ( $R^2 = 0,99$ ). The regression equation predicted the volume of produced gas  
7 with accuracy.

8

9 Key Words: pressure, volume, *Anacardium occidentales*

10

11

### Introdução

12 Os métodos de avaliação de alimentos para ruminantes têm-se desenvolvido  
13 consideravelmente nos últimos anos, contribuindo para o aperfeiçoamento de técnicas  
14 laboratoriais já existentes, bem como a produção de técnicas mais precisas (Moron et  
15 al., 2001).

16 Até o início da década de 1980, os métodos existentes forneciam apenas uma  
17 estimativa da digestibilidade potencial dos alimentos, com pouca referência à dinâmica  
18 de fermentação ruminal (Valentin et al., 1999). Atualmente, diversas técnicas vêm  
19 sendo utilizadas para avaliar aspectos ligados à utilização dos nutrientes pelos  
20 ruminantes, sendo os sistemas *in vitro*, que incluem a técnica de produção de gases,  
21 cada vez mais utilizados na análise desses alimentos, em virtude do baixo custo, da  
22 rápida execução, da confiabilidade, da possibilidade de avaliação de grande quantidade  
23 de alimentos por ensaio e da utilização de poucos animais fistulados (Barcelos et al.,  
24 2001; Getachew et al., 1998).

25 A técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases apresenta grande  
26 potencial em descrever a cinética de fermentação ruminal de alimentos, além de estimar  
27 a taxa e a extensão de degradação de suas frações solúveis e insolúveis, por meio da  
28 quantificação dos resíduos em diferentes tempos (Getachew et al., 1998; Pell &

1 Schofield, 1993). O volume de gases pode ser determinado diretamente, por meio de  
2 uma seringa plástica graduada, com o auxílio de um transdutor de pressão acoplado a  
3 uma válvula de duas ou três saídas, ou pode ser estimado indiretamente através de uma  
4 equação que relacione os dados de pressão e volume. A medida direta do volume  
5 restringe o número de amostras analisadas por experimento, o número e, às vezes, a  
6 acurácia das leituras, podendo comprometer a descrição da curva de fermentação  
7 (Maurício et al., 2003a). Em função disso, o desenvolvimento de uma equação de  
8 regressão estabelecendo a relação entre pressão e volume vem sendo praticado em  
9 muitos laboratórios.

10 O objetivo deste trabalho foi determinar uma equação de regressão que  
11 correlacione os valores de pressão e volume para ser aplicada no Laboratório de  
12 Nutrição Animal da Universidade Federal do Piauí, na avaliação de alimentos através da  
13 técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases.

#### 14 **Material e Métodos**

15 Foram realizados dois ensaios: um para estimar a cinética de fermentação  
16 ruminal da matéria seca e o outro da fração fibra em detergente neutro (FDN) do  
17 pseudofruto de cinco clones de cajueiro (CP 06, CP 09, CP 76, CP 1001 e BRS 189). Os  
18 pseudofrutos foram obtidos dos jardins clonais da Embrapa Agroindústria Tropical,  
19 Estação Experimental de Pacajús, CE. Inicialmente foram submetidos a uma pré-  
20 secagem ao sol por 20 dias, para retirada de parte da umidade. Posteriormente, foram  
21 levados a uma estufa de ventilação forçada de ar a 55°C durante 72 h. Após a pré-  
22 secagem, as amostras foram submetidas a uma trituração grosseira e, posteriormente,  
23 encaminhadas ao moinho dotado de peneira de porosidade 1 mm e armazenadas em  
24 recipientes hermeticamente fechados.

1           Para a extração da fração FDN colocou-se em um reboiler 2,5 g da amostra e 250  
2 mL de uma solução detergente neutro, preparada segundo Silva & Queiroz (2002), e  
3 aqueceu-se a 125°C por 1 h. Após este tempo, o conteúdo foi transferido para um  
4 cadinho filtrante revestido com um tecido de náilon. O material retido foi lavado  
5 exaustivamente com água destilada quente e 200 mL de acetona, visando remover todo  
6 o detergente da amostra (Noguera et al., 2005). Em seguida o material foi seco em  
7 estufa de ventilação forçada a 55°C por 72 h. Este procedimento foi repetido várias  
8 vezes até a obtenção de quantidade suficiente desta fração para a condução dos ensaios.

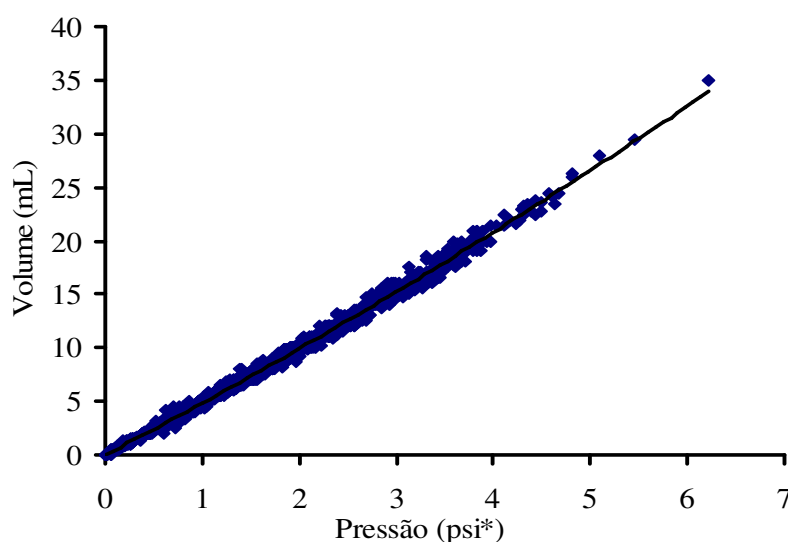
9           O meio nutritivo foi preparado a partir de uma solução de micro e macrominerais,  
10 de uma solução tampão, de uma solução redutora e de uma solução indicadora  
11 (Maurício et al., 2001). O inóculo ruminal foi obtido a partir das frações sólida e líquida  
12 do conteúdo ruminal, coletadas às 7:30 h de um bovino fistulado no rúmen. Essas  
13 frações foram homogeneizadas na proporção 1:1 durante 5 s, utilizando-se um  
14 liquidificador, e o material resultante foi filtrado em 4 camadas de tecido de algodão.  
15 Até o momento de sua utilização, o inóculo obtido foi saturado com CO<sub>2</sub>, para  
16 manutenção da anaerobiose, e mantido a 39°C.

17           As amostras foram incubadas segundo Maurício et al. (2001). Em frascos de  
18 vidro com capacidade de 160 mL adicionou-se 1 g da amostra, 90 mL do meio nutritivo  
19 e CO<sub>2</sub>. Em seguida, foram levados à estufa de circulação forçada de ar a 39°C por,  
20 aproximadamente, 1 h. Após este período, foram retirados para a adição de 10 mL do  
21 inóculo ruminal, vedados com rolhas de borracha e lacrados com anilhas de alumínio.  
22 Após a colocação do último lacre os gases presentes no interior de cada frasco foram  
23 eliminados e levados novamente à estufa para manutenção da temperatura. Como  
24 controles foram utilizados frascos contendo apenas inóculo ruminal e o meio nutritivo.

1 As leituras de pressão (psi - libra por polegada ao quadrado) e as medidas de  
2 volume (mL) foram realizadas às 3, 6, 9, 12, 15, 21, 27, 33, 39, 48, 60 e 72 h, com o  
3 auxílio de um transdutor de pressão conectado a uma válvula de duas saídas. Para a  
4 estimativa da equação de regressão utilizou-se o procedimento “Proc Reg” (SAS, 1999).

### 5 Resultados e Discussão

6 As leituras de pressão e volume oriundos da fermentação do pedúnculo de cinco  
7 clones de cajueiro resultaram na obtenção individual de 2.108 dados. A relação entre  
8 pressão e volume obtida a partir destes dados encontra-se na Figura 1.



9

10 Figura 1 – Dados de pressão e volume obtidos durante o ensaio de produção de  
11 gases usando como substrato pseudofrutos do cajueiro (*Anacardium*  
12 *occidentales* L.). (\* libra por polegada quadrada)

13 *Figure 1 - Data of pressure and volume during the assay of gas production using as substrate*  
14 *pseudofruits of cashew tree (*Anacardium occidentale* L.). (\* pounds for square*  
15 *shaped count)*

16

17 Os dados de pressão variaram de 0 a 6,2 psi e os de volume ficaram entre 0 e 35,0  
18 mL. Os tempos de leitura permitiram a obtenção de valores de pressão abaixo de 7,0  
19 psi, estando de acordo com as recomendações de Theodorou et al. (1994). Segundo  
20 esses autores, valores de pressão acima de 7,0 psi causam instabilidade na correlação

1 entre as variáveis e alterações no crescimento microbiano. Giraldo et al. (2006) ao  
2 trabalharem com forrageira para estabelecer uma equação de regressão entre pressão e  
3 volume também encontraram valores de pressão abaixo de 7 psi e volume de gases  
4 entre 1 e 27 mL.

5 A equação de regressão predita foi:  $V = 0,1178 P^2$  (s.e. 0,003) + 4,7295 P (s.e.  
6 0,009), ( $R^2 = 0,99$ ), em que V = volume em mL e P = pressão em psi. Esta equação foi  
7 semelhante à utilizada por Nozella et al. (2006) na caracterização de forrageiras do  
8 Nordeste ( $V=0,1171 P^2+ 4,7659 P$ ).

9 A equação estimada no presente trabalho apresentou um comportamento  
10 quadrático, diferente do linear encontrado por Araújo Neto et al. (2006) trabalhando  
11 com casca de coco, mas o volume predito de 4,96 mL para cada psi foi próximo. A alta  
12 correlação ( $R^2 = 0,99$ ) observada refletiu a acurácia na estimativa do volume de gases  
13 produzidos a partir dos valores de pressão gerados durante o processo fermentativo.  
14 Maurício et al. (2003b) também obtiveram elevados coeficientes de correlação ao  
15 trabalharem com forrageiras tropicais. O volume de gases produzidos durante a  
16 fermentação de substratos utilizando-se a técnica *in vitro* semi-automática de produção  
17 de gases foi estimado satisfatoriamente a partir dos dados de pressão, potencializando o  
18 uso desta técnica na avaliação de alimentos para ruminantes

### 19 **Conclusões**

20 A equação de regressão obtida neste trabalho poderá se usada na estimativa do  
21 volume de gases produzidos pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases  
22 no Laboratório de Nutrição Animal da UFPI.

### 23 **Agradecimentos**

24 Ao CNPq/FINEP pela bolsa de estudo concedida ao primeiro autor e pelo apoio  
25 financeiro necessários à condução da pesquisa.

1 À Embrapa Agroindústria Tropical pelo fornecimento das amostras.

2 **Literatura Citada**

- 3 ARAÚJO NETO, J.C.A.; VASCONCELOS, V.R.; PIMENTEL, J.C.M. et al. Produção  
4 de gases durante a fermentação da casca do coco por meio da técnica. In:  
5 REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43.,  
6 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006. 1 CD-ROM.
- 7 BARCELOS, A.F.; PAIVA, P.C.A.; PERÉZ, J.R.O. et al. Avaliação da casca e da  
8 polpa desidratada de café (*Coffea arábica* L.) pela técnica de degradação *in vitro* de  
9 produção de gases. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.6, p.1829-1836, 2001.
- 10 GETACHEW, G.; BLÜMMEL, M.; MAKKAR, H.P.S. et al. *In vitro* gas measuring  
11 techniques for assessment of nutritional quality of feeds: a review. **Animal Feed  
12 Science and Technology**, v.72, p.261-281, 1998.
- 13 GIRALDO, L.A.; GUTIÉRREZ, L.A.; SÁNCHEZ, J. et al. Relación entre presión y  
14 volumen para el montaje de la técnica *in vitro* de producción de gas en Colombia.  
15 **Livestock Research for Rural Development**, v.18, n.6, 2006.
- 16 MAURÍCIO, R.M.; OWEN, E.; MOULD, F.L. et al. Comparison of bovine rumen  
17 liquor and bovine faeces as inoculum for an *in vitro* gas production technique for  
18 evaluating forages. **Animal Feed Science and Technology**, v.89, p.33-48, 2001.
- 19 MAURÍCIO, R.M.; PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L. C. et al. Potencial da técnica  
20 *in vitro* semi-automática de produção de gases para avaliação de silagens de sorgo  
21 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.4, p.1013-  
22 1020, 2003a.
- 23 MAURÍCIO, R.M.; PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L. C. et al. Relação entre  
24 pressão e volume para implantação da técnica *in vitro* semi-automática de produção  
25 de gases na avaliação de forrageiras tropicais. **Arquivo Brasileiro de Medicina  
26 Veterinária e Zootecnia**, v.55, n.2, p.216-219, 2003b.
- 27 MORON, I.R.; TEIXEIRA, J.C.; BUENO FILHO, J.S.S. et al. Cinética de degradação  
28 ruminal da matéria seca de alimentos concentrados e volumosos através das técnicas  
29 *in vitro* e *in situ*. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.5, p.1185-1194, 2001.
- 30 NOGUERA, R.R.; SALIBA, E.O.; GONÇALVES, L.C. et al. Utilização da técnica de  
31 produção de gás para determinar a cinética de fermentação dos carboidratos  
32 estruturais e não estruturais em sorgo para forragem. **Livestock Research for Rural  
33 Development**, v.17, n.5, 2005.
- 34 NOZELLA, E.F.; CABRAL FILHO, S.L.S.; BUENO, I.C.S. et al. Caracterização de  
35 forrageiras do Nordeste utilizando a técnica de produção de gases, composição  
36 química e quantificação de taninos. 1. plantas do estado da Bahia. In: REUNIÃO  
37 ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João  
38 Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006. 1 CD-ROM.
- 39 PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure  
40 forage digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.9, p.1063-1073, 1993.
- 41 SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos.**  
42 3.ed. Viçosa: UFV, 2002.
- 43 STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS. **User's guide: statistics.** Version 8.0.  
44 Cary: 1999.



- 1 THEODOROU, M.K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA, M.S. A simple gas production  
2 method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of  
3 ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.48, p.185-197, 1994.
- 4 VALENTIN, S.F.; WILLIAMS, P.E.V.; FORBES, J.M. et al. Comparison of the in  
5 vitro gas production technique and the nylon bag degradability technique to measure  
6 short-an long-term processes of degradation of maize silage in dairy cows. **Animal**  
7 **Feed Science and Technology**, v.78, p.81-99, 1999.

## **CAPÍTULO II\***

---

\* Apresentado segundo as normas da Revista Brasileira de Zootecnia

1 **Modelos matemáticos para estimativa da cinética de fermentação ruminal do**  
2 **pseudofruto de cajueiro pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases**  
3

4 RESUMO: O desenvolvimento de novas técnicas de avaliação de alimentos e a  
5 automatização das mesmas conduziu à necessidade de utilização de modelos  
6 matemáticos capazes de agrupar várias informações em poucos parâmetros  
7 biologicamente interpretáveis. A escolha de um modelo na avaliação de alimentos para  
8 ruminantes através da técnica *in vitro* de produção de gases deve considerar os  
9 parâmetros de validação e a convergência dos dados. O objetivo deste trabalho foi  
10 comparar a capacidade de ajuste de quatro modelos matemáticos em estimar a cinética  
11 de fermentação ruminal da matéria seca e da fração fibra em detergente neutro do  
12 pseudofruto do cajueiro. Os modelos utilizados foram o exponencial, France, Gompertz  
13 e logístico e os parâmetros de validação usados foram o quadrado médio do erro  
14 (QME), o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o desvio médio absoluto dos resíduos  
15 (DMA) e a análise gráfica dos resíduos. Para os dados de matéria seca, o valor do QME  
16 foi menor para o modelo logístico. O  $R^2$  foi alto para todos os modelos com maior valor  
17 observado também para o logístico. Quanto ao DMA, os valores foram muito próximos  
18 entre os modelos logístico, France e exponencial, que foram inferiores ao Gompertz. Os  
19 gráficos de dispersão mostraram melhor ajuste da taxa de produção de gases para o  
20 modelo logístico. Na análise gráfica das cinéticas de fermentação, os modelos logístico,  
21 exponencial e France apresentaram uma boa estimativa da curva na parte inicial e ao  
22 longo do tempo, o mesmo não observado para o Gompertz, demonstrando, portanto,  
23 serem mais adequados para descrever a cinética de produção de gases da matéria seca.  
24 Para os dados da fração FDN, o modelo Gompertz, apesar de ter apresentado maior  
25 dispersão dos resíduos e valores mais elevados do QME e do DMA, foi o que melhor  
26 estimou a curva de produção de gases, possivelmente devido a 100% de convergência  
27 dos dados.

28

29 Palavras-chave: *Anacardium occidentale*, exponencial, France, Gompertz,  
30 logístico

31

32 **Mathematical models to estimate the cashew tree false fruit ruminal fermentation**  
33 **kinetic through the semi-automatic *in vitro* gas production technique**  
34

1           ABSTRACT: All models have presented adjustment advantages and  
2 disadvantages. The choice of a model to evaluate feed for ruminants through the *in vitro*  
3 gas production technique must consider the validation parameters and data convergence.  
4 This present study aims to compare four mathematical models adjustment capacity to  
5 predict kinetic parameters of ruminal fermentation of dry matter and neutral detergent  
6 fiber fraction of the false fruit of five cashew clones. The models which were used were  
7 the exponential, France, Gompertz and the logistic. The validation parameters were the  
8 error mean square (EMS), the coefficient of determination ( $R^2$ ), the absolute average  
9 error (AAE) and the graphical analysis of the residues. The EMS value was lower for  
10 the logistic model for dry matter. The  $R^2$  was high for all models, with a higher value  
11 also observed for the logistic model. About the AAE the numbers were very similar  
12 among the logistic, exponential and France models, which were lower than the  
13 Gompertz model. The dispersion graphics showed better gas production adjustment for  
14 the logistic model. In the kinetic fermentation graphical analysis, the logistic,  
15 exponential and France models presented, in the initial part and throughout the time, a  
16 good estimate, which was not observed for the Gompertz model, which demonstrates  
17 that they are more adequate to describe the kinetic of the dry matter gas production. For  
18 the NDF fraction data, the Gompertz model, despite having presented a more significant  
19 residues dispersion and higher EMS and AAE values, was the one which better  
20 predicted the gas production, that possibly happened due to the percentage of 100% data  
21 convergence.

22

23           Key Words: *Anacardium occidentale*, exponential, France, Gompertz, logistic

24

25

### **Introdução**

26

27

28

29

30

Diversas técnicas estão disponíveis na determinação do valor nutritivo de alimentos fornecidos aos ruminantes. A técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases vem sendo cada vez mais utilizada por descrever a cinética de fermentação ruminal, permitir a determinação da concentração de ácidos graxos voláteis, a produção de metano e o efeito da presença de fatores antinutricionais.

1           Essa técnica se baseia na medida, em tempos variados, do volume de gases  
2 produzidos durante a fermentação de um substrato incubado a 39°C em frascos de vidro  
3 contendo meio nutritivo e inóculo microbiano proveniente do rúmen (Bueno et al.,  
4 2005).

5           O desenvolvimento de novas técnicas de avaliação de alimentos e a  
6 automatização das mesmas conduziu à necessidade de utilização de modelos  
7 matemáticos capazes de agrupar várias informações em poucos parâmetros  
8 biologicamente interpretáveis (Theodorou et al., 1994; Beuvink et al., 1992; France et  
9 al., 2000). Os parâmetros matemáticos obtidos por meio da curva de produção de gases  
10 permitem descrever e interpretar os perfis cumulativos da produção de gases, avaliar  
11 diferentes ambientes de fermentação, além de possibilitar a comparação de diferentes  
12 substratos (Noguera et al., 2004).

13           Vários pesquisadores têm utilizado modelos matemáticos no estudo da cinética de  
14 produção cumulativa dos gases (Mauricio et al., 2003; Cabral et al., 2004; Bueno et al.,  
15 2005; Noguera et al., 2005; Nozella et al., 2006), sobretudo os modelos de France et al.  
16 (1993); Gompertz, proposto por Lavrencic et al. (1997); o logístico bicompartimental,  
17 proposto por Schofield et al. (1994); e o exponencial, proposto por Ørskov & McDonald  
18 (1979).

19           O modelo logístico bicompartimental assume que a taxa de produção de gases é  
20 proporcional à população microbiana e à concentração do substrato potencialmente  
21 degradável. A população microbiana no início do processo fermentativo constitui um  
22 fator limitante à taxa de produção de gases e, no final, seria a disponibilidade de  
23 substrato. O modelo Gompertz assume que a taxa de produção de gases é proporcional à  
24 atividade microbiana, mas a proporcionalidade diminui com o tempo de incubação, que  
25 pode ser atribuída à perda de eficiência na taxa de fermentação com o tempo. O modelo

1 exponencial assume que a taxa de produção de gases depende apenas do substrato  
2 disponível para fermentação depois de atingido o tempo de colonização (*Lag time*). O  
3 modelo France assume que a taxa de produção de gases é diretamente proporcional à  
4 taxa de degradação do alimento, a qual varia em função do tempo de incubação e de  
5 colonização do alimento pelos microrganismos.

6 Segundo Noguera et al. (2004), os modelos matemáticos apresentam vantagens e  
7 desvantagens existindo variações de estimativa entre eles dependendo das condições  
8 experimentais e do alimento avaliado, sendo essencial, portanto, uma avaliação prévia  
9 para que possa ser utilizado o modelo mais adequado.

10 O objetivo deste trabalho foi o de comparar a capacidade de ajuste de quatro  
11 modelos matemáticos em estimar a cinética de fermentação ruminal da matéria seca e  
12 da fração fibra em detergente neutro do pseudofruto do cajueiro (*Anacardium*  
13 *occidentale* L.), pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases.

#### 14 **Material e Métodos**

15 Foram realizados dois ensaios: um para avaliar a capacidade de ajuste dos  
16 modelos à estimativa da cinética de fermentação ruminal da matéria seca e, o outro, da  
17 fração fibra em detergente neutro (FDN), do pseudofruto de cinco clones de cajueiro  
18 (CP 06, CP 09, CP 76, CP 1001 e BRS 189).

#### 19 *Obtenção e preparação das amostras*

20 Os pseudofrutos foram obtidos dos jardins clonais da Embrapa Agroindústria  
21 Tropical, Estação Experimental de Pacajús, CE. Inicialmente foram submetidos a uma  
22 pré-secagem ao sol por 20 dias, para retirada de parte da umidade. Posteriormente,  
23 foram levados a uma estufa de ventilação forçada de ar a 55°C durante 72 h. Após a pré-  
24 secagem, as amostras foram submetidas a uma trituração grosseira e, posteriormente,

1 encaminhadas ao moinho dotado de peneira de porosidade 1 mm e armazenadas em  
2 recipientes hermeticamente fechados.

3        Para a extração da fração FDN colocou-se em um reboiler 2,5 g da amostra e 250  
4 mL de uma solução detergente neutro, preparada segundo Silva & Queiroz (2002), e  
5 aqueceu-se a 125°C por uma hora (Van Soest et al., 1991; Pell & Schofield, 1993). Em  
6 seguida, o conteúdo foi transferido para cadinho filtrante revestido com tecido de  
7 náilon. O material retido foi lavado exaustivamente com água destilada quente e 200  
8 mL de acetona, visando remover todo o detergente da amostra. Em seguida, ele foi seco  
9 em estufa de ventilação forçada de ar a 55°C por 72 h. Este procedimento foi repetido  
10 várias vezes até a obtenção de quantidade suficiente desta fração para a condução dos  
11 ensaios, conforme Noguera et al. (2005).

#### 12 *Preparo do meio nutritivo*

13        O meio nutritivo foi preparado 24 h antes da incubação das amostras, de acordo  
14 com as metodologias descritas por Maurício et al. (2001). Era composto por soluções de  
15 microminerais, macrominerais, tampão, redutora e, por fim, uma solução indicadora de  
16 pH.

#### 17 *Coleta do conteúdo ruminal e preparo do inóculo*

18        O conteúdo ruminal foi coletado de um bovino fistulado no rúmen, com o auxílio  
19 de uma pinça e de uma sonda para retirada das frações sólida e líquida, respectivamente,  
20 às 7:30 h. Logo após, foi colocado em garrafa térmica pré-aquecida a 39°C.

21        A preparação do inóculo consistiu da homogeneização das frações sólida e líquida  
22 do conteúdo ruminal, em proporções iguais, durante 5 s, utilizando-se um liquidificador,  
23 e da posterior filtragem em quatro camadas de tecido de algodão. Até o momento de sua  
24 utilização sofreu um processo de saturação com CO<sub>2</sub> para manutenção da anaerobiose,  
25 sendo mantido a 39°C (Maurício et al., 1999).

### 1 *Incubação das amostras e medidas da pressão e do volume de gases*

2 Utilizou-se a metodologia descrita por Maurício et al. (2001), com algumas  
3 adaptações. Em frascos de vidro com capacidade de 160 mL, adicionou-se 1 g da  
4 amostra, 90 mL do meio nutritivo e CO<sub>2</sub>. Em seguida, eles foram levados à estufa de  
5 circulação forçada de ar a 39°C por, aproximadamente, 1 h. Após este período, foram  
6 retirados para a adição de 10 mL do inóculo ruminal e, em seguida, vedados com rolhas  
7 de borracha e lacres de alumínio. Após a colocação do último lacre, os gases gerados no  
8 interior de cada frasco foram eliminados e levados novamente à estufa para manutenção  
9 da temperatura. Como controles foram utilizados frascos contendo apenas o inóculo  
10 ruminal e o meio nutritivo. Durante todo o período de incubação os frascos  
11 permaneceram em uma estufa de circulação forçada de ar a 39°C, sendo retirados  
12 apenas nos momentos de leitura.

13 As leituras de pressão e as medidas de volume foram realizadas em tempos pré-  
14 determinados (3, 6, 9, 12, 15, 21, 27, 33, 39, 48, 60 e 72 h), com auxílio de um  
15 transdutor de pressão conectado a uma válvula de três saídas.

### 16 *Modelos Matemáticos*

17 Na Tabela 1 encontram-se os modelos matemáticos utilizados no estudo da  
18 cinética de fermentação ruminal da MS e da fração FDN do pseudofruto do cajueiro.

19 Para validação dos modelos utilizou-se o quadrado médio do erro (QME), o  
20 coeficiente de determinação ( $R^2$ ), o desvio médio absoluto dos resíduos (DMA) e a  
21 análise gráfica dos resíduos (Sarmiento et al., 2006).

22 O QME foi calculado dividindo-se a soma de quadrados do erro, obtida pelo  
23 SAS, pelo número de observações, em virtude dos modelos possuírem números  
24 diferentes de parâmetros a serem estimados; quanto menor o valor do QME, melhor será  
25 o ajuste produzido pelo modelo.



1 Tabela 1 - Descrição matemática dos modelos avaliados

2 *Table 1 - Mathematical description of evaluated models*

Modelo <i>Model</i>	Nº. de parâmetros <i>No. of parameters</i>	Equação <sup>1</sup> <i>Equation<sup>1</sup></i>
logístico <i>logistic</i>	3	$V_T = \Sigma V_{F_n} \times (1 + \exp(2 - 4 \times S_n \times (t - L_n)))^{-1}$
Gompertz <i>Gompertz</i>	3	$V_T = V_F \times \exp(-C \times \exp(-A \times t))$
exponencial <i>exponential</i>	3	$V_T = \Sigma V_{F_n} \times (1 - \exp(-k_n \times (t - L_n)))$
France <i>France</i>	4	$V_T = V_F \times \{1 - \exp[-b \times (t - L) - c \times (\sqrt{t} - \sqrt{L})]\}$

3 <sup>1</sup> $V_T$  = Produção cumulativa de gases no tempo;  $\Sigma V_{F_n}$  e  $V_F$  = assíntota ou potencial  
 4 máximo de produção de gases;  $S_n$  = representa uma taxa específica semelhante a taxa  
 5 de degradação ( $h^{-1}$ );  $t$  = tempo de incubação;  $L$ ,  $L_n$  = tempo de colonização;  $k_n$ ,  $b$  e  $c$  =  
 6 taxas constantes;  $C$  = taxa constante de produção de gases do material potencialmente  
 7 degradável e  $A$  = fator constante de eficiência microbiana.  
 8 <sup>1</sup>  $V_T$  = Cumulative gas production in the time;  $\Sigma V_{F_n}$  e  $V_F$  = upper asymptote, representing potential gas  
 9 production;  $S_n$  = specific gas production rate;  $t$  = incubation time;  $L$ ,  $L_n$  = lag time;  $k_n$ ,  $b$  and  $c$  are  
 10 constants rate;  $C$  = constants gas production rate of the potentially degradável material;  $A$  = fractional  
 11 constants governing the decay.  
 12

13 O  $R^2$  foi calculado dividindo-se a soma de quadrados do modelo (SQM) pela  
 14 soma de quadrado total (SQT). Quando o  $R^2$  for alto, o modelo fará melhores  
 15 estimativas em relação aos valores observados, entretanto este coeficiente não deve ser  
 16 utilizado como único critério de avaliação dos modelos uma vez que altos valores de  $R^2$   
 17 podem ser observados em modelos com limitada capacidade de predição.

18 O DMA foi calculado a partir da diferença do somatório do valor observado pelo  
 19 estimado, dividido pelo tamanho da amostra; quanto menor o valor do DMA melhor o  
 20 ajuste.

21 O QME foi avaliado através da análise de variância com o auxílio do  
 22 procedimento NLIN do SAS (1999). O  $R^2$ , o DMA e a análise gráfica dos resíduos  
 23 foram analisados utilizando-se o procedimento CORR do SAS (1999).

## 24 **Resultados e Discussão**

25 Os valores para o QME, o  $R^2$  e o DMA fornecidos pelos modelos a partir da  
 26 fermentação ruminal da matéria encontram-se na Tabela 2. O modelo logístico

1 apresentou valor do QME ligeiramente inferior ao exponencial e ao France, que foram  
 2 iguais. O modelo Gompertz foi o que apresentou maior valor. Beuvink & Kogut (1993)  
 3 estudando cinco modelos para descrever a produção de gases de vários alimentos, entre  
 4 eles o exponencial, o logístico e o Gompertz, obtiveram menor valor do QME para o  
 5 Gompertz, seguido pelo logístico e o exponencial, e verificaram que nenhum deles  
 6 descreveu satisfatoriamente os dados. Noguera et al. (2004), trabalhando com cinco  
 7 genótipos de sorgo, obtiveram menores valores do QME para os modelos France e  
 8 Gompertz, seguido pelo logístico e exponencial. Já Calabrò et al. (2005) estudando  
 9 cinco alimentos comumente utilizados para ruminantes verificaram menor valor do  
 10 QME para o modelo logístico e maior para o exponencial, sendo o valor obtido para  
 11 France e Gompertz muito próximos. Estes resultados diferem do observado neste  
 12 trabalho, em que o modelo exponencial foi o que apresentou maior valor para o QME.

13 Tabela 2 - Médias do quadrado médio do erro (QME), do coeficiente de determinação  
 14 ( $R^2$ ) e do desvio médio absoluto (DMA) obtidas a partir dos ajustes dos  
 15 dados de produção de gases da matéria seca com os modelos logístico,  
 16 Gompertz, exponencial e France

17 *Table 2 - Averages of: error mean square (EMS), coefficient of determination ( $R^2$ ) the absolute average*  
 18 *error (AAE) deviation obtained from the data adjustments of gas production of dry matter*  
 19 *with the models logistic, Gompertz, exponential and France*

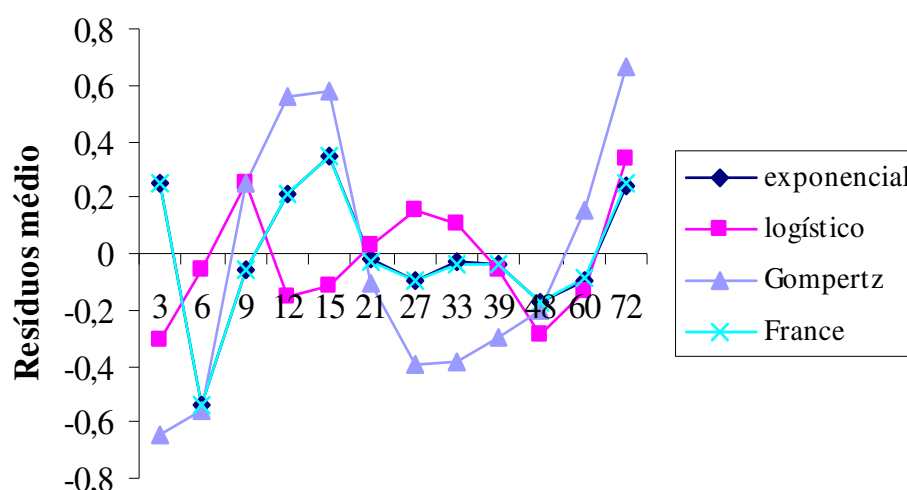
Modelo <i>Model</i>	QME <i>EMS</i>	$R^2$	DMA <i>AAE</i>
logístico <i>logistic</i>	148,29	0,95	9,43
Gompertz <i>Gompertz</i>	177,15	0,94	10,51
exponencial <i>exponential</i>	150,55	0,94	9,60
France <i>France</i>	150,55	0,94	9,59

20

21 Com base apenas no parâmetro QME pode-se perceber que mais de um modelo  
 22 poderia ser usado para descrever o perfil de produção de gases.

1 O  $R^2$  foi alto para todos os modelos com maior valor observado para o logístico.  
 2 Calabrò et al. (2005) obtiveram valores de  $R^2$  altos para os modelos exponencial,  
 3 France, Gompertz e logístico, mas afirmaram que este parâmetro não poderia ser  
 4 utilizado como único critério na avaliação dos modelos, pois verificaram que apenas um  
 5 deles mostrou-se adequado em descrever o perfil de produção de gases.

6 Os valores do DMA foram muito próximos para os modelos logístico,  
 7 exponencial, e France, sendo menor valor obtido com o logístico. O modelo Gompertz  
 8 foi o que apresentou maior DMA. Na Figura 1 estão apresentados os gráficos das  
 9 dispersões temporais médias dos resíduos para os quatro modelos.



10

11 Figura 1 – Dispersões temporais dos resíduos obtidos dos dados médios de produção de  
 12 gases (mL de gases/g de MS) pelos modelos logístico, Gompertz,  
 13 exponencial e France.

14 *Figure 1 - Temporary dispersions of the residues obtained after the adjustments of the average data of*  
 15 *gas production (mL of gas/g of DM) for the models logistic, Gompertz, exponential and*  
 16 *France.*

17

18 Houve alternância no ajuste da estimativa dos valores da taxa de produção de  
 19 gases ao longo do tempo quando se utilizou o modelo logístico. Nas primeiras 6 h de  
 20 incubação, entre 12 e 15 h e entre 39 e 60 h os valores foram superestimados. Uma

1 subestimativa da produção de gases foi verificada às 9 h, entre 21 e 33 h e às 72 h.  
2 Aproximadamente às 21 h, a taxa de produção de gases predita foi igual à observada.

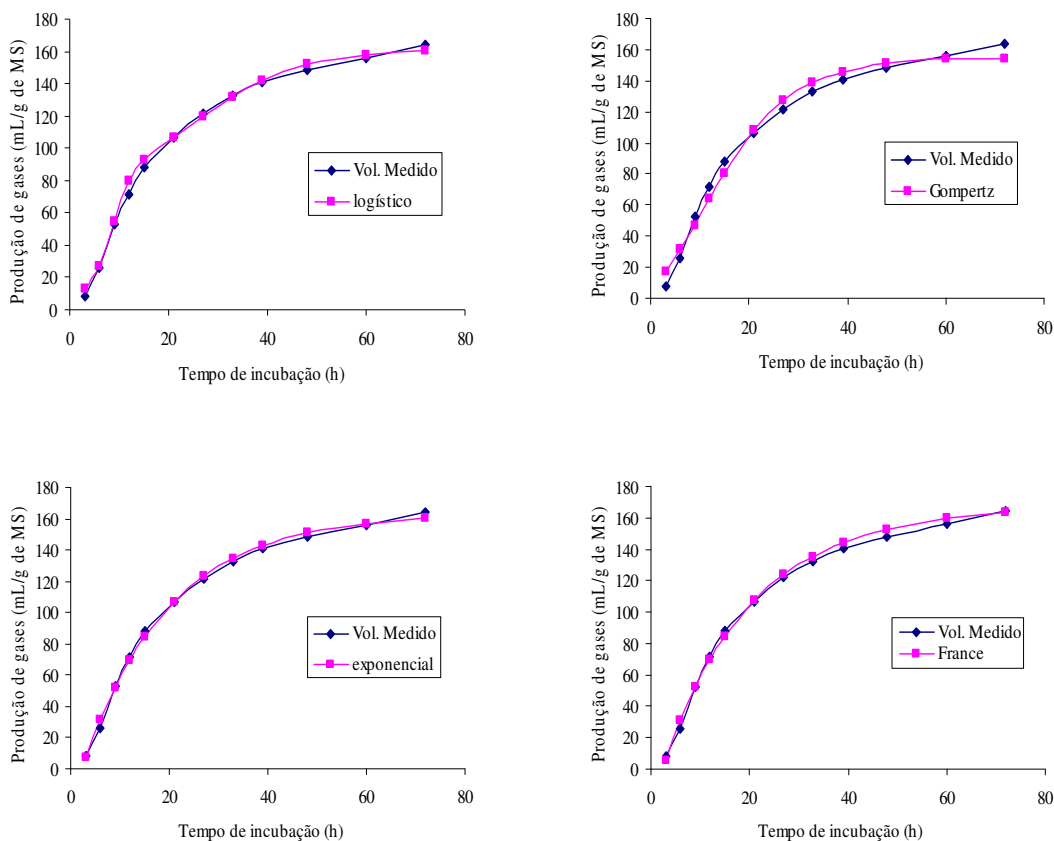
3 A mesma variação no ajuste foi verificado para o modelo Gompertz. Nas  
4 primeiras 6 h de incubação e entre 21 e 48 h observou-se uma superestimativa dos  
5 valores e entre 9 e 15 h e entre 60 e 72 h uma subestimativa. Este modelo foi o menos  
6 preciso em prever o volume de gases produzidos ao longo do tempo.

7 Os modelos exponencial e France apresentaram comportamentos semelhantes ao  
8 longo do tempo. Nas três primeiras horas de incubação houve uma subestimativa da  
9 produção de gases e às 6 h uma superestimativa. No período compreendido entre 9 e 48  
10 h constatou-se comportamento similar ao observado para o modelo Gompertz, com a  
11 vantagem de apresentarem menores valores de dispersões. Às 60 h os valores preditos  
12 pelos modelos superestimaram e às 72 h subestimaram a taxa de produção de gases.

13 Com base nos gráficos de dispersões, pode-se verificar que o modelo logístico foi  
14 o que melhor predisse as taxas de produção de gases e o modelo Gompertz foi o que  
15 obteve menor capacidade de ajuste em relação aos demais. Noguera et al. (2004)  
16 avaliando cinco genótipos de sorgo obtiveram menor capacidade de ajuste para o  
17 modelo exponencial. Atribuíram isto ao fato deste modelo considerar que, logo após o  
18 tempo de colonização, o alimento é fermentado rapidamente a uma taxa de fermentação  
19 elevada, o que não ocorre com as plantas forrageiras que apresentam diferentes tipos de  
20 tecidos com composição e taxas de degradações distintas.

21 Na Figura 2 encontram-se os gráficos da produção cumulativa de gases obtidos a  
22 partir dos dados observados e dos ajustados pelos quatro modelos para a matéria seca do  
23 clone CP 76. As curvas de produção de gases apresentaram forma sigmoideal ao longo  
24 do tempo, podendo ser divididas em uma fase inicial de baixa produção de gases, uma

- 1 fase exponencial de rápida produção de gases e uma fase assíntota de baixa ou nula
- 2 produção de gases.



- 3 Figura 2 – Curvas de produção cumulativa de gases da matéria seca do pseudofruto de
- 4 cinco clones de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) a partir da média dos
- 5 dados observados e dos ajustados por quatro modelos para o clone CP 76.

- 6 *Figure 2 - Accumulative gas production profiles of gas of the dry matter of the false fruit of five cashew*
- 7 *clones (*Anacardium occidentale* L.) from the average of the observed data and of the fittings*
- 8 *for four models for the CP 76.*

9

- 10 Os modelos logístico, exponencial e France ajustaram-se a todas as etapas do
- 11 processo fermentativo e mostraram-se adequados em descrever as características de
- 12 fermentação do material avaliado, tanto na fase inicial como na final. Já o modelo
- 13 Gompertz não apresentou um ajuste adequado na parte inicial da curva e ao longo do
- 14 tempo, superestimando a produção de gases nas primeiras horas de incubação e
- 15 subestimando a assíntota.

1 Nogueira et al. (2004), ao trabalhar com cinco genótipos de sorgo, obtiveram para  
2 o modelo Gompertz melhor ajuste dos dados de produção de gases em relação aos  
3 modelos logístico, exponencial e France. Segundo esses autores, o modelo exponencial  
4 não seria o mais apropriado para descrever a cinética de produção de gases de  
5 forrageiras por considerá-las como uma unidade uniforme com uma taxa de degradação  
6 constante ao longo do tempo. Como a parede celular das forrageiras apresenta uma  
7 fração solúvel de rápida fermentação, uma fração lentamente degradada e uma fração  
8 não fermentável, as interações e a proporção de cada uma destas frações nas plantas  
9 forrageiras determina a taxa e extensão de fermentação ruminal. Para Beuvink & Kogut  
10 (1993), o modelo exponencial não apresenta um bom ajuste aos dados de produção de  
11 gases quanto se avalia forrageiras por assumir que após o tempo de colonização o  
12 alimento é fermentado a uma taxa constante.

13 Existem grande variação entre os modelos no ajuste da curva de produção de  
14 gases. Os mais usados são o logístico uni ou bicompartimental (Mello et al., 2006;  
15 Mesquita et al., 2006), o France (Maurício et al., 2003; Bueno et al., 2005; Nogueira et  
16 al., 2006), e o Gompertz (Nogueira et al., 2005). A utilização de um ou outro modelo  
17 depende, em grande parte, do tipo de substrato em estudo e das condições  
18 experimentais. O bom ajuste dos dados deste trabalho com o modelo exponencial pode  
19 ser atribuído ao baixo percentual da parede celular, cujo valor médio foi de 37,7% e  
20 máximo de 43,7%, além da elevada proporção de carboidratos solúveis.

21 O QME, o  $R^2$  e o DMA dos modelos estudados para descrever a produção de  
22 gases oriundos da fermentação ruminal da fração FDN encontram-se na Tabela 3.

23 Quanto ao QME, o modelo France foi o que apresentou menor valor, seguido pelo  
24 logístico, exponencial e Gompertz. Os valores de  $R^2$  foram baixos para todos os  
25 modelos, sendo menor valor observado para o Gompertz. Schofield et al. (1994),

1 comparando alguns modelos para descrever a cinética da digestão da fibra, obtiveram  
 2 valores elevados de  $R^2$  para o logístico e o Gompertz, com menor valor para o primeiro.  
 3 Os desvios médios absolutos diferiram entre os modelos, com o Gompertz apresentando  
 4 valor mais elevado.

5 Tabela 3 – Médias do quadrado médio do erro (QME), do coeficiente de determinação  
 6 ( $R^2$ ) e do desvio médio absoluto (DMA) obtidas a partir dos ajustes dos  
 7 dados de produção de gases da fração FDN com os modelos logístico,  
 8 Gompertz, exponencial e France

9 *Table 3 - Averages of: medium square error (QME), determination ( $R^2$ ) coefficient and absolute (DMA)*  
 10 *medium deviation obtained starting from the adjustments of the data of production of gas of*  
 11 *the FDN fraction with the models logistic, Gompertz, exponential and France*

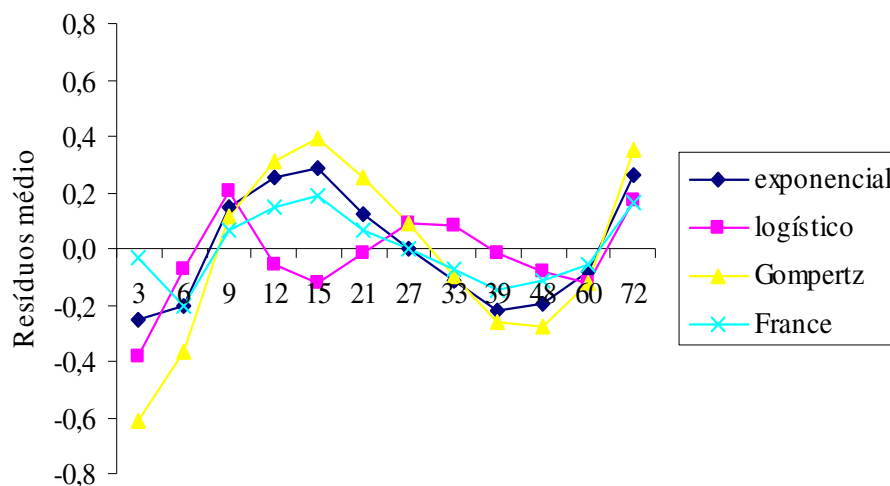
Modelo <i>Model</i>	QME <i>EMS</i>	$R^2$	DMA <i>AAE</i>
logístico <i>logistic</i>	110,66	0,78	8,13
Gompertz <i>Gompertz</i>	119,32	0,76	8,78
exponencial <i>exponential</i>	112,38	0,78	8,18
France <i>France</i>	109,66	0,78	7,89

12

13 Na Figura 3 estão apresentados os gráficos das dispersões temporais médias dos  
 14 resíduos para os quatro modelos em relação aos valores observados depois do ajuste dos  
 15 dados de produção de gases pelos modelos. Os modelos Gompertz, exponencial e  
 16 France superestimaram a produção de gases nas primeiras 6 h, sendo o modelo  
 17 Gompertz o menos preciso em prever o volume de gases na fase inicial. No período  
 18 compreendido entre 9 e 27 h observou-se uma subestimativa dos valores pelo modelo  
 19 Gompertz. Às 27 h os modelos exponencial e France apresentaram um bom ajuste, mas  
 20 às 33 e 60 h sobreestimaram a taxa de produção de gases e às 72 h subestimaram.

21 Nas primeiras 9 h de incubação o modelo logístico apresentou o mesmo  
 22 comportamento observado para os demais modelos. Entre 12 e 15 h e entre 48 e 60 h  
 23 houve uma superestimativa das taxas de produção de gases. Às 21 h e às 39 h

- 1 apresentou um bom ajuste dos dados e entre 27 e 33 h e às 72 h subestimou os valores.  
 2 O modelo France foi o que apresentou menores valores de dispersões na fase inicial e ao  
 3 longo do tempo.



4

- 5 Figura 3 – Dispersões temporais dos resíduos obtidos depois dos ajustes dos dados  
 6 médios de produção de gases da fração FDN (mL de gases/g de FDN) pelos  
 7 modelos logístico, Gompertz, exponencial e France.

8 *Figure 3 - Temporary dispersions of the residues obtained after the adjustments of the medium data of*  
 9 *gas production of the FDN fraction (ml of gas/g of DM) by the models logistic, Gompertz,*  
 10 *exponential and France.*

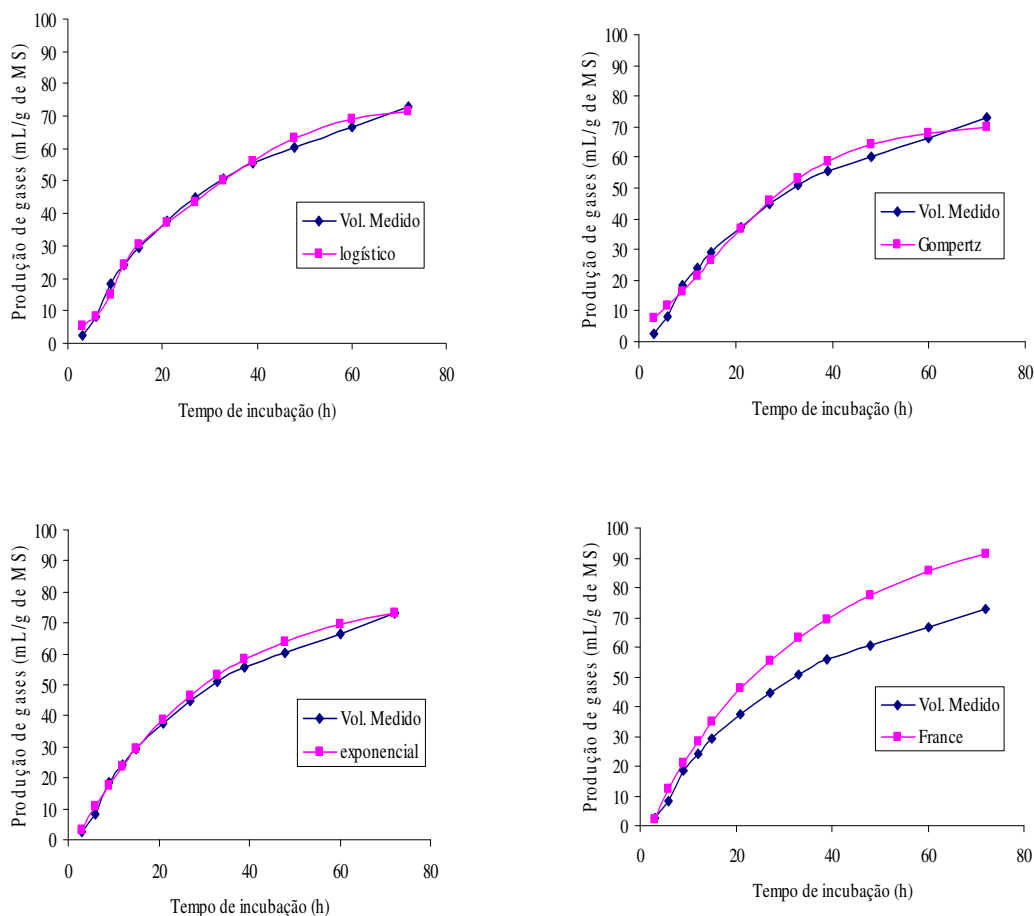
11

12 Na Figura 4 encontram-se os gráficos das produções cumulativas de gases obtidas  
 13 a partir dos dados observados e dos ajustados pelos quatro modelos para a fração FDN  
 14 do clone BRS 189. Os modelos que apresentaram melhor capacidade de ajuste ao longo  
 15 do tempo foram o logístico e o exponencial. O modelo Gompertz foi o que mais  
 16 superestimou a taxa de produção de gases no tempo inicial. O modelo France  
 17 apresentou menor capacidade de ajuste em relação aos demais, superestimando  
 18 amplamente a produção de gases ao longo do tempo e na assíntota.

19 Apesar do bom ajuste do modelo France apresentado na Tabela 3, a análise  
 20 gráfica não demonstrou isto, possivelmente devido a problemas quanto à convergência



- 1 para 40% dos dados. Os modelos logístico e exponencial também apresentaram  
 2 problemas quanto à convergência dos dados em 35% e 25%, respectivamente.



- 3 Figura 4 - Curvas de produção cumulativa de gases da fração FDN do pseudofruto de  
 4 cinco clones de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) a partir da média dos  
 5 dados observados e dos ajustados por quatro modelos para o BRS 189.

- 6 *Figure 4 - Cumulative production curves of gasses of the FDN fraction of the false fruit of five cashew*  
 7 *clones (*Anacardium occidentale* L.) starting from the average of the observed data and of the*  
 8  *fittings for four models the BRS 189.*

9

- 10 O modelo Gompertz, apesar de ter apresentado maior dispersão do resíduo, assim  
 11 como valores mais elevados para o QME e o DMA, foi o que melhor estimou a curva de  
 12 produção de gases, possivelmente devido a 100% de convergência dos dados,  
 13 corroborando com Sarmiento et al. (2006) ao afirmarem que a diferença em qualidade de  
 14 ajuste não supera a dificuldade em atingir a convergência. Noguera et al. (2005)

1 utilizaram este modelo para descrever a cinética de fermentação dos carboidratos  
2 estruturais e não estruturais em sorgo para forragem por apresentar melhor capacidade  
3 de ajuste na estimativa dos parâmetros da curva de produção de gases.

#### 4 **Conclusões**

5 Todos os modelos apresentam vantagens e desvantagens de ajuste. A escolha de  
6 um modelo na avaliação de alimentos para ruminantes através da técnica *in vitro* de  
7 produção de gases deve considerar os parâmetros de validação do modelo e a  
8 convergência dos dados.

9 Os modelos logístico, exponencial e France mostraram-se mais adequados em  
10 descrever a cinética de produção de gases da matéria seca do pseudofruto do caju em  
11 relação ao Gompertz. Entretanto, este descreveu melhor a cinética de fermentação  
12 ruminal da fração FDN.

#### 13 **Agradecimentos**

14 Ao CNPq/FINEP, pela bolsa de estudo concedida ao primeiro autor e pelo apoio  
15 financeiro necessários à condução da pesquisa.

16 À Embrapa Agroindústria Tropical pelo fornecimento das amostras.

#### 17 **Literatura Citada**

- 18 BEUVINK, J.M.W.; KOGUT, J. Modeling gas production kinetics of grass silages  
19 incubated with buffered ruminal fluid. **Journal of Animal Science**, v.71, p.1041 –  
20 1046, 1993.
- 21 BEUVINK, J.M.W.; SPOELSTRA, S.F.; HOGENDORP R.J. An automated method for  
22 measuring time-course of gas production of feedstuffs with buffered rumen fluid.  
23 **Netherlands Journal of Agricultural Science**, v.40, p.401-407, 1992.
- 24 BUENO, I.C.S.; CABRAL FILHO, S.L.S.; GOBBO, S.P. et al. Influence of inoculum  
25 source in a gas production method. **Animal Feed Science and Technology**, v.123-  
26 124, p.95-105, 2005.
- 27 CABRAL, L.S.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E. et al. Taxas de digestão  
28 das frações protéicas e de carboidratos para as silagens de milho e de capim-elefante,  
29 o feno de capim-tifton-85 e o farelo de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33,  
30 n.6, p.1573-1580, 2004.

- 1 CALABRÒ, S.; LÓPEZ, S.; PICCOLO, V. et al. Comparative analysis of gas  
2 production profiles obtained with buffalo and sheep ruminal fluid as the source of  
3 inoculum. **Animal Feed Science and Technology**, v.123-124, p.51-65, 2005.
- 4 FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; THEODOROU, M.K. et al. A model to interpret gas  
5 accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds.  
6 **Journal of Theoretical Biology**, v.163, p.99-111, 1993.
- 7 FRANCE, J.; DIJKSTRA, J.; DHANOA, M.S. et al. Estimating the extent of  
8 degradation of ruminant feeds from a description of their gas production profiles  
9 observed *in vitro*: derivation of models and other mathematical considerations.  
10 **British Journal of Nutrition**, v.83, p.143-150, 2000.
- 11 LAVRENCIC, A.; STEFANON, B.; SUSMEL, P. An evaluation of the Gompertz  
12 model in degradability studies of forage chemical components. **Animal Science**,  
13 v.64, p.423-431, 1997.
- 14 MAURICIO, R.M.; MOULD, F.L.; DHANOA, M.S. et al. A semi-automated *in vitro*  
15 gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. **Animal Feed Science  
16 and Technology**, v.79, p.321-330, 1999.
- 17 MAURICIO, R.M.; OWEN, E.; MOULD, F.L. et al. Comparison of bovine rumen  
18 liquor and bovine faeces as inoculum for an *in vitro* gas production technique for  
19 evaluating forages. **Animal Feed Science and Technology**, v.89, p.33-48, 2001.
- 20 MAURICIO, R.M.; PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L.C. et al. Potencial da Técnica  
21 *in Vitro* Semi-Automática de Produção de Gases para Avaliação de Silagens de  
22 Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.4,  
23 p.1013-1020, 2003.
- 24 MELLO, R.; NÖRNBERG, J.L.; QUEIROZ, A.C. et al. Composição química,  
25 digestibilidade e cinética de degradação ruminal das silagens de híbridos de girassol  
26 em diferentes épocas de semeadura. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.4,  
27 p.1523-1534, 2006.
- 28 MESQUITA, F.R.; ALVES, T.P.; PACHECO, G. et al. Avaliação do uso de diferentes  
29 relações inóculo/meio na técnica semi-automatizada de produção de gases *in vitro*.  
30 In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43.,  
31 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006. 1 CD-ROM.
- 32 NOGUEIRA, U.T.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C. Comparação de substratos  
33 com diferentes quantidades de carboidratos solúveis utilizando a técnica *in vitro*  
34 semi-automática de produção de gases. **Arquivo Brasileiro de Medicina  
35 Veterinária e Zootecnia**, v.58, n.4, p.633-641, 2006.
- 36 NOGUERA, R.R.; SALIBA, E.O.; GONÇALVES, L.C. et al. Utilização da técnica de  
37 produção de gás para determinar a cinética de fermentação dos carboidratos  
38 estruturais e não estruturais em sorgo para forragem. **Livestock Research for Rural  
39 Development**, v.17, n.5, 2005.
- 40 NOGUERA, R.R.; SALIBA, E.O.; MAURICIO, R.M. Comparación de modelos  
41 matemáticos para estimar los parámetros de degradación obtenidos a través de la  
42 técnica de producción de gas. **Research for Rural Development**, v.16, n 11, 2004.

- 1 NOZELLA, E.F.; CABRAL FILHO, S.L.S.; BUENO, I.C.S. et al. Caracterização de  
2 forrageiras do Nordeste utilizando a técnica de produção de gases, composição  
3 química e quantificação de taninos. 1. plantas do estado da Bahia. In: REUNIÃO  
4 ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João  
5 Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006. 1 CD-ROM.
- 6 ØRSKOV, E. R.; MCDONALD, I. The estimation of protein degradability in the rumen  
7 from incubation measurements weighted according to rate of passage. **Journal of**  
8 **Agricultural Science**, v.92, p.499-503, 1979.
- 9 PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure  
10 forage digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.9, p.1063-1073, 1993.
- 11 SARMENTO, J. L. R.; REGAZZI, A. J.; SOUSA, W. H. et al. Estudo da curva de  
12 crescimento de ovinos Santa Inês. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.35, n.2,  
13 p.435-442, 2006.
- 14 SCHOFIELD, P.; PITT, R.E.; PELL, A.N. Kinetics of fiber digestion from in vitro gas  
15 production. **Journal of Animal Science**, v.72, p.2980-2991, 1994.
- 16 SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos.**  
17 3.ed. Viçosa: UFV, 2002.
- 18 STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM - SAS. **User's guide: statistics.** Version 8.0.  
19 Cary: 1999.
- 20 THEODOROU, M.K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA, M.S. A simple gas production  
21 method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of  
22 ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v.48, p.185-197, 1994.
- 23 VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber,  
24 neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition.  
25 **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.

### **CAPÍTULO III\***

---

\* Apresentado segundo as normas da Revista Brasileira de Zootecnia

1       **Parâmetros cinéticos da fermentação ruminal do pseudofruto de cinco clones de**  
2               **cajeeiro pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases**

3  
4       RESUMO: Avaliou-se a cinética de fermentação ruminal da matéria seca (MS) e  
5 da fração fibra em detergente neutro (FDN) do pseudofruto de cinco clones de cajueiro:  
6 CP 06, CP 09, CP 76, CP 1001 e BRS 189, pela técnica *in vitro* semi-automática de  
7 produção de gases. As leituras de pressão foram realizadas às 3, 6, 9, 12, 15, 21, 27, 33,  
8 39, 48, 60 e 72 h. Para a determinação da degradação da MS e da fração FDN  
9 quantificou-se o resíduo após 72 h de incubação. As curvas de produção cumulativa de  
10 gases foram ajustadas utilizando-se os modelos France e Gompertz para a MS e a FDN,  
11 respectivamente. Para a MS foi encontrada diferença ( $P<0,05$ ) entre o CP 09 e BRS 189  
12 para o potencial máximo de produção de gases (Vf). O CP 1001 foi o que apresentou  
13 menor ( $P<0,05$ ) tempo de colonização. O CP 09, CP 1001 e o CP 06 apresentaram taxas  
14 de fermentação ligeiramente superiores em relação ao CP 76 e BRS 189. Observou-se a  
15 existência de dois picos na taxa de produção de gases, às 6 h e às 21 h. O BRS 189 foi o  
16 que apresentou menor degradação às 72 h. Quanto à fração FDN, o CP 09 resultou em  
17 maior Vf e o CP 06 a maior taxa de produção de gases. O CP 1001, BRS 189 e CP 06  
18 tiveram maior eficiência microbiana. A produção cumulativa de gases foi maior para o  
19 CP 1001. Os pseudofrutos dos clones de cajueiro avaliados apresentaram potencial para  
20 uso na alimentação de ruminantes por serem de boa qualidade do ponto de vista  
21 fermentativo.

22       Palavras-chave: matéria seca, fibra em detergente neutro

23

24       **Kinetic parameters of ruminal fermentation of false fruit from five cashew clones**  
25               **trees through the semi-automatic *in vitro* gas production technique**

26

27       ABSTRACT: The kinetics of ruminal fermentation of dry matter (DM) and  
28 neutral detergent fiber fraction (NDF) of false fruit from five clones of cashew tree: CP  
29 06, CP 09, CP 76, CP 1001, BRS-189, was evaluated through the semi-automated *in*  
30 *vitro* gas production technique. The pressure readings and the volume measurements  
31 were accomplished after 3, 6, 9, 12, 15, 21, 27, 33, 39, 48, 60 and 72 h. For the  
32 determination of the degradation of dry matter and of NDF fraction, the residue was

1 quantified after 72 h of incubation. The curves of cumulative gas production were  
2 adjusted by the models of France and Gompertz for DM and NDF fraction, respectively.  
3 For MS it was found difference ( $P < 0,05$ ) between CP 09 and BRS 189 for potential gas  
4 production (Vf). The CP 1001 were the substrate that presented sharte ( $P < 0,05$ ) time of  
5 colonization. The CP 09, CP 1001 and the CP 06 presented fermentation rates lightly  
6 higher in relation to CP 76 and BRS 189. The existence of two picks was observed in  
7 the rate of gas production, to 6 and 21 h. The BRS 189 presented lower degradation at  
8 72 h. For the NDF fraction, CP 09 resulted in higher Vf and CP 06 presented the highest  
9 rate of gas production. CP 1001, BRS 189 and CP 06 had higher microbial efficiency.  
10 The cumulative gas production was higher for the CP 1001. The false fruit of the  
11 evaluated clones of cashew trees presented potential for use in the feeding of ruminant  
12 for they good quality, in the fermentative point of view.

13

14 Key Words: dry matter, neutral detergent fiber

15

16

### Introdução

17 Diversas técnicas são utilizadas na estimativa do valor nutritivo dos alimentos  
18 fornecidos aos ruminantes. A procura por métodos simples, rápidos e acurados tem sido  
19 objetivo de estudos na nutrição de ruminantes (Pell & Schofield, 1993). A técnica *in*  
20 *vitro* semi-automática de produção de gases vem sendo cada vez mais utilizada, em  
21 função do uso de poucos animais fistulados, da utilização de pequena quantidade de  
22 amostra, da possibilidade de avaliação de grande número de amostras ao mesmo tempo  
23 e de apresentar alta correlação com a digestibilidade *in vivo* (Maurício et al., 1999),  
24 desde que cada etapa do processo represente fielmente o ambiente ruminal (Oliveira et  
25 al., 1993).

26 Esta técnica se baseia na estimativa do volume de gases produzidos durante a  
27 fermentação de amostras incubadas a 39°C em frascos de vidro com inóculo microbiano  
28 proveniente do rúmen e um meio de cultura (Theodorou et al., 1994; Bueno et al.,  
29 2005). A mensuração do volume de gases pode ser feita diretamente com o auxílio de

1 um transdutor de pressão ou predita a partir de uma equação de regressão (Maurício et  
2 al., 2003b). A quantificação do resíduo não degradado é feita após filtragem do  
3 conteúdo dos frascos em cadinho poroso e pesagem do material retido. Ela permite  
4 estimar a cinética de degradação ruminal de carboidratos fibrosos e não fibrosos, da  
5 fração protéica, da digestibilidade aparente *in vivo* e o efeito de fatores antinutricionais  
6 presentes no alimento (Azevêdo et al. 2003; Cabral et al., 2004; Maurício et al., 2003a;  
7 Noguera et al., 2005; Rubanza et al., 2005).

8 Este trabalho teve como objetivo estimar a cinética de fermentação ruminal da  
9 matéria seca e da fração fibra em detergente neutro do pseudofruto de cinco clones do  
10 cajueiro (*Anacardium occidentale* L.), pela técnica *in vitro* semi-automática de  
11 produção de gases.

## 12 **Material e Métodos**

13 Avaliou-se a cinética de fermentação ruminal da matéria seca e da fração fibra  
14 em detergente neutro (FDN) do pseudofruto de cinco clones do cajueiro: CP 06, CP 09,  
15 CP 76, CP 1001 e BRS 189.

16 Os pseudofrutos foram obtidos dos jardins clonais da Embrapa Agroindústria  
17 Tropical, Estação Experimental de Pacajús, CE. Inicialmente foram submetidos a uma  
18 pré-secagem ao sol por 20 dias, para retirada de parte da umidade. Posteriormente,  
19 foram levados a uma estufa de ventilação forçada de ar a 55°C durante 72 h. Após a pré-  
20 secagem, as amostras foram submetidas a uma trituração grosseira e, posteriormente,  
21 moídas em moinho com peneira de porosidade 1 mm e armazenadas em recipientes  
22 hermeticamente fechados.

23 Para a extração da fração FDN colocou-se em um reboiler 2,5 g da amostra e 250  
24 mL de uma solução detergente neutro, preparada segundo Silva & Queiroz (2002), e  
25 aqueceu-se a 125°C por uma hora (Van Soest et al., 1991; Pell & Schofield, 1993). Em



1 seguida, o conteúdo foi transferido para um cadinho filtrante revestido com um tecido  
2 de náilon. O material retido foi lavado exaustivamente com água destilada quente e 200  
3 mL de acetona, visando remover todo o detergente da amostra. Em seguida, ele foi seco  
4 em estufa de ventilação forçada de ar a 55°C por 72 h. Este procedimento foi repetido  
5 várias vezes até a obtenção de quantidade suficiente desta fração para a condução dos  
6 ensaios, conforme Noguera et al. (2005).

7 A composição bromatológica foi determinada segundo as metodologias descritas  
8 por Silva & Queiroz (2002) para matéria seca (MS), matéria mineral (MM), proteína  
9 bruta (PB), fibra em detergente neutro (FDN), fibra em detergente ácido (FDA) e  
10 nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN). Os conteúdos de fenóis totais (FT) e  
11 taninos totais (TT) foram analisados pelo método Folin-Ciocalteu e taninos  
12 condensados (TC) pelo método butanol-HCl (Makkar, 2000).

13 Para determinação da cinética de fermentação ruminal preparou-se o meio de  
14 cultura a partir de uma solução de micro e macrominerais, de uma solução tampão, de  
15 uma solução redutora e de uma solução indicadora, conforme Maurício et al. (2001). O  
16 inóculo ruminal foi obtido a partir das frações sólida e líquida do conteúdo ruminal,  
17 coletadas às 7:30 h de um bovino fistulado no rúmen. Essas frações foram  
18 homogeneizadas na proporção 1:1 durante 5 s, utilizando-se um liquidificador, e o  
19 material resultante foi filtrado em quatro camadas de tecido de algodão. Até o momento  
20 de sua utilização, o inóculo obtido foi saturado com CO<sub>2</sub>, para manutenção da  
21 anaerobiose, e mantido a 39°C.

22 As amostras foram incubadas segundo Maurício et al. (2001). Em frascos de vidro  
23 com capacidade de 160 mL, adicionou-se 1 g da amostra, 90 mL do meio nutritivo e  
24 CO<sub>2</sub>. Em seguida, eles foram levados à estufa de circulação forçada de ar a 39°C por,  
25 aproximadamente, 1 h. Após este período, foram retirados para a adição de 10 mL do

1 inóculo ruminal e, em seguida, vedados com rolhas de borracha e lacres de alumínio.  
2 Após a colocação do último lacre os gases gerados no interior de cada frasco foram  
3 eliminados e levados novamente à estufa para manutenção da temperatura. Como  
4 controles foram utilizados frascos contendo apenas o inóculo ruminal e o meio nutritivo.

5 As leituras de pressão foram realizadas em tempos pré-determinados (3, 6, 9, 12,  
6 15, 21, 27, 33, 39, 48, 60 e 72 h), com auxílio de um transdutor de pressão conectado a  
7 uma válvula de duas saídas. Para determinação da degradação da MS e da fração FDN,  
8 após a última leitura, transferiu-se o conteúdo de cada frasco para um cadinho filtrante e  
9 determinou-se a quantidade de resíduo.

10 As curvas de produção cumulativa de gases da matéria seca foram ajustadas  
11 utilizando-se se o modelo de France et al. (1993):  $V_T = V_F \times \{1 - \exp[-b \times (t - L) - c \times$   
12  $(\sqrt{t} - \sqrt{L})]\}$ .

13 Em que:

14  $V_T$  é a produção cumulativa de gases (mL) no tempo t;

15  $V_F$  é o potencial máximo de produção de gases (assíntota);

16 L é o tempo de colonização;

17 t é o tempo de incubação;

18 b ( $h^{-1}$ ) e c ( $h^{-0,5}$ ) representam taxas fracionais constantes.

19 Para a fração FDN, as curvas de produção cumulativa de gases foram ajustadas  
20 empregando-se o modelo Gompertz, proposto por Lavrencic et al. (1997):  $V_T = V_F \times$   
21  $\exp(-C \times \exp(-A \times t))$ .

22 Em que:

23  $V_T$  corresponde a produção cumulativa de gases no tempo t;

24  $V_F$  é o potencial máximo de produção de gases;

25 C é a taxa constante de produção de gases do material potencialmente degradável;

1 A é o fator constante de eficiência microbiana;  
2 t é o tempo de incubação.

3 As curvas de ajuste e as estimativas dos parâmetros de interesse biológico foram  
4 realizadas através do processo interativo de Marquardt, com auxílio do procedimento  
5 para modelos não lineares (PROC NLIN) do SAS (1999). Os parâmetros estimados  
6 pelos modelos foram comparados segundo um delineamento em blocos casualizados  
7 com cinco tratamentos e quatro repetições utilizando-se o *Generalized Linear Model*  
8 *Procedures* (PROC GLM) do SAS (1999) e as médias dos tratamentos e suas  
9 respectivas interações pelo teste de Student-Newman-Keuls (SNK), através do  
10 procedimento PROC GLM (OPTION LSMEANS) do SAS (1999).

### 11 Resultados e Discussão

12 Os dados de composição bromatológica das amostras encontram-se na Tabela 1.  
13 O clone CP 06 foi o que apresentou, quantitativamente, maior teor de MS.

14 Tabela 1 - Composição bromatológica (com base na MS) do pseudofruto de cinco  
15 clones de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.)

16 Table 1 – Chemical composition (with base in DM) of the false fruit of five cashew clones trees  
17 (*Anacardium occidentale* L.)

AMOSTRA <i>Sample</i>	MS <i>DM</i>	PB <i>CP</i>	FDN <i>NDF</i>	FDA <i>ADF</i>	MM <i>Ash</i>	NIDN <i>NDIN</i>	CT <sup>1</sup> <i>TC</i>	FT <sup>2</sup> <i>TP</i>	TT <sup>3</sup> <i>TT</i>	TC <sup>4</sup> <i>CT</i>
	(%)	(% na MS (%) <i>DM</i> )				(% do N total)				
CP 06	92,8	8,66	37,47	31,69	3,70	68,15	609,15	26,44	16,03	1,10
CP 76	88,2	11,04	35,50	26,04	4,47	66,00	525,67	19,03	11,88	1,10
CP 09	86,9	8,86	34,80	26,87	3,74	80,14	521,36	16,34	10,23	1,50
CP 1001	88,9	14,84	39,86	25,04	4,36	38,13	331,70	15,92	8,72	0,80
BRS 189	88,0	10,80	43,74	24,06	2,56	58,68	308,46	21,78	12,24	2,20

18 <sup>1</sup> Carboidratos totais - Valores expressos em mg/100 mL, em 100% MS.

19 <sup>2</sup> Fenóis totais - valores expressos em equivalente grama de ácido tânico/kg de matéria seca.

20 <sup>3</sup> Taninos totais - valores expressos em equivalente grama de ácido tânico/kg de matéria seca.

21 <sup>4</sup> Taninos condensados - valores expressos em equivalente grama de leucocianidina/kg de matéria seca.

22 <sup>1</sup> Total carbohydrates - Express values in mg/100 ml, 100% DM.

23 <sup>2</sup> Total phenolics - express values in equivalent acid gram of tânico/kg of dry matter.

24 <sup>3</sup> Total tannins - express values in equivalent acid gram of tânico/kg of dry matter.

25 <sup>4</sup> Condensed tannins - express values in equivalent gram of leucocianidina/kg of dry matter.

1 Os percentuais de PB apresentaram uma variação entre os clones de até 41,8% e  
 2 estão acima do intervalo de 6% a 8% de PB recomendado por Van Soest (1994) para  
 3 uma efetiva fermentação microbiana ruminal. Os valores de FDN e FDA também  
 4 apresentaram uma variação elevada. Os teores de fenóis totais e taninos totais foram  
 5 maiores para o clone CP 06 e de taninos condensados para o clone BRS 189.

6 Os valores dos parâmetros de produção de gases da matéria seca que descrevem  
 7 a cinética de fermentação ruminal encontram-se na Tabela 2. Foi verificada diferença  
 8 ( $P < 0,05$ ) entre os clones CP 09 e BRS 189 para o potencial máximo de produção de  
 9 gases (Vf). O BRS 189 foi o que apresentou maior teor de FDN e tanino condensado, o  
 10 que pode ter interferido na disponibilidade de nutrientes para a fermentação.

11 Tabela 2 - Parâmetros cinéticos da fermentação ruminal da matéria seca do pseudofruto  
 12 de cinco clones do cajueiro estimados pelo modelo de France et al. (1993) e  
 13 degradação da matéria seca (DMS) em 72 h

14 *Table 2 – Kinetic parameters of ruminal fermentation of false fruit dry matter of five cashew clones*  
 15 *according to of France et al. (1993) model of degradation of the matter (DMS) after 72 h*

Parâmetros*	Tratamento				
	CP 06	CP 76	CP 1001	CP 09	BRS 189
Vf (ml.g <sup>-1</sup> MS)	162,787 <sup>ab</sup>	167,662 <sup>ab</sup>	169,935 <sup>ab</sup>	183,724 <sup>a</sup>	148,869 <sup>b</sup>
b (h <sup>-1</sup> )	0,05622 <sup>a</sup>	0,04733 <sup>a</sup>	0,05979 <sup>a</sup>	0,06555 <sup>a</sup>	0,04345 <sup>a</sup>
c (h <sup>-1/2</sup> )	-0,06428 <sup>a</sup>	0,04857 <sup>a</sup>	-0,06817 <sup>a</sup>	-0,02128 <sup>a</sup>	0,05721 <sup>a</sup>
L (h)	2,2072 <sup>a</sup>	2,4787 <sup>a</sup>	1,6664 <sup>b</sup>	2,5371 <sup>a</sup>	2,2641 <sup>a</sup>
REL 1	0,920 <sup>a</sup>	0,933 <sup>a</sup>	0,930 <sup>a</sup>	0,950 <sup>a</sup>	0,930 <sup>a</sup>
REL 2	0,964 <sup>a</sup>	0,961 <sup>a</sup>	0,970 <sup>a</sup>	0,980 <sup>a</sup>	0,962 <sup>a</sup>
T <sup>1/2</sup> (h)	8,621 <sup>a</sup>	8,362 <sup>a</sup>	8,257 <sup>a</sup>	7,702 <sup>a</sup>	8,072 <sup>a</sup>
μ (/h)	0,064 <sup>a</sup>	0,053 <sup>a</sup>	0,068 <sup>a</sup>	0,068 <sup>a</sup>	0,051 <sup>a</sup>
DMS (g/kg)	613,90 <sup>a</sup>	563,53 <sup>a</sup>	519,00 <sup>a</sup>	600,78 <sup>a</sup>	379,80 <sup>b</sup>

16 \* Vf: potencial máximo de produção de gases; b e c: são taxas fracionais constantes; L: "lag phase"; REL1: relação  
 17 entre as produções de gases após 48 e 72 h; REL2: relação entre as produções de gases após 72 h e A.

18 Médias seguidas de letras iguais, na mesma linha não diferem entre si, pelo teste SNK ( $P > 0,05$ ).

19 \* Vf: Potential gas production; b and c: are constants fractional rate; L: "lag phase"; REL1: ratio between gas production at 48  
 20 and 72 h post-inoculatio; REL2 : ratio between gas production after 72 h and Vf.

21 Means followed by equal letters, in the same row they had not differed between itself by SNK test ( $P > 0,05$ ).

22

23 O CP 1001 foi o que apresentou menor ( $P < 0,05$ ) tempo de colonização, o que  
 24 pode estar associado ao maior teor de PB e menor de tanino condensado. Segundo  
 25 Nogueira et al. (2005) os processos de adesão e colonização do substrato pelos

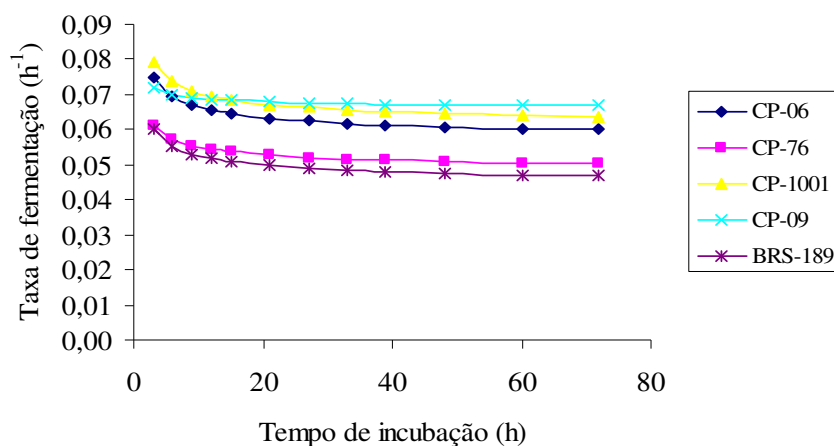
1 microrganismos são facilitados quando há disponibilidade de substrato de rápida  
2 fermentação. Preconizando-se que a retenção média do alimento no rúmen é de 48h,  
3 seria desejável que a maior parte dos nutrientes digestíveis fosse fermentados dentro  
4 deste intervalo.

5 REL1 é um parâmetro que ajuda na comparação dos alimentos, pois representa  
6 proporcionalmente quanto da produção total de gases no período avaliado ocorreu até  
7 48 h de incubação. Quando o valor de REL1 for o mais próximo possível de 1 melhor  
8 será a qualidade fermentativa do alimento. REL2 estima se o ensaio de produção de  
9 gases foi longo o suficiente para exprimir o potencial fermentativo do alimento e/ou se  
10 o modelo France conseguiu ajustar os dados (Bueno et al., 2005). Os valores obtidos  
11 para REL1 e REL2 foram elevados, não havendo diferença ( $P>0,05$ ) entre os  
12 tratamentos, indicando que eles apresentam boa qualidade do ponto de vista  
13 fermentativo e que o potencial de produção de gases foi atingido durante o ensaio.  
14 Bueno et al. (2005) avaliando nove alimentos comumente utilizados na alimentação de  
15 ruminantes obtiveram valores inferiores aos do presente trabalho para REL1 e REL2.  
16 Nozella et al. (2006), estudando cinco forrageiras do Nordeste, também obtiveram  
17 valores inferiores para estes parâmetros.

18 Em relação ao  $T_{1/2}$ , que indica o tempo necessário para se atingir a metade do  
19 potencial de produção de gases, não houve diferença ( $P>0,05$ ) entre os tratamentos.  
20 Estes valores foram bem inferiores aos estimados por Maurício et al. (1999), entre 14,9  
21 e 16,0 h e Nozella et al. (2006), entre 19,4 e 35,2 h, avaliando outros alimentos.

22 A taxa de fermentação ( $\mu$ ) é um parâmetro que depende do tempo de incubação,  
23 ou seja, assume que a degradação do alimento no decorrer do tempo ocorre a diferentes  
24 taxas. Não houve diferença ( $P>0,05$ ) neste parâmetro entre os tratamentos. Na análise  
25 gráfica (Figura 1) o CP 09, CP 1001 e o CP 06 apresentaram taxas de fermentação

1 ligeiramente superiores em relação ao CP 76 e BRS 189. As maiores taxas ocorreram no  
 2 tempo inicial de fermentação, corroborando com Bueno (2002) ao afirmar que a maior  
 3 concentração de conteúdo celular resulta em maior  $\mu$  e que com o transcorrer do tempo  
 4 estes componentes tornam-se escassos e as fontes de energia para fermentação restante  
 5 são fermentescíveis com menor velocidade.



6

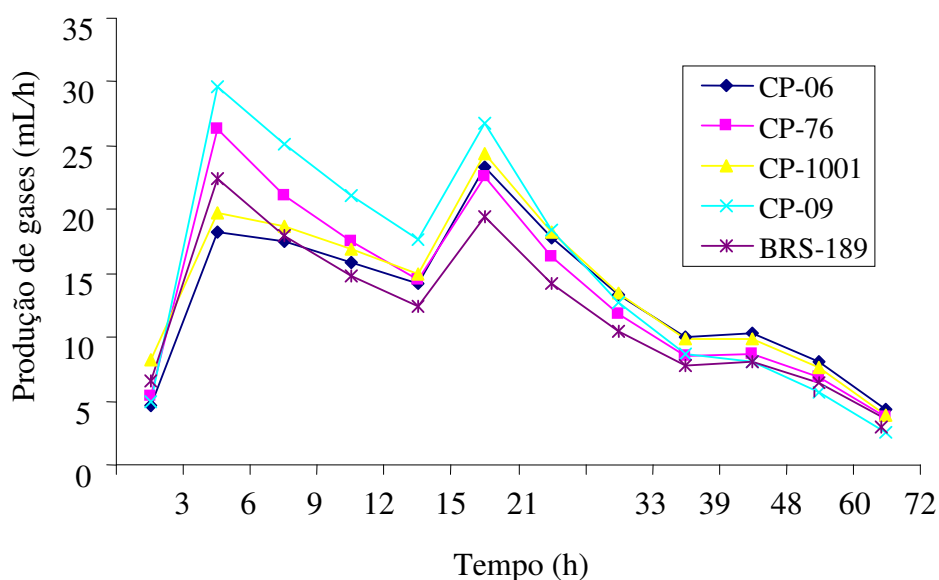
7 Figura 1 - Taxa de fermentação ( $\mu$ ) da matéria seca do pseudofruto de cinco clones de  
 8 cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) determinada segundo o modelo de  
 9 France et al. (1993).

10 Figure 1 – Fermentation rate ( $\mu$ ) of dry matter of the false fruit of five cashew tree clones (*Anacardium*  
 11 *occidentale* L.) fitted by model of France et al. (1993) of the treatments.

12

13 Segundo Blümmel & Ørskov (1993) e Maurício et al. (2003a), os parâmetros  
 14 obtidos pelo modelo de France et al. (1993), principalmente a taxa de fermentação ( $\mu$ )  
 15 proporciona coeficientes de correlação de consumo superiores aos obtidos a partir de  
 16 experimentos de digestibilidade aparente. Dessa forma, o CP 09, CP 1001 e o CP 06  
 17 obtidos neste experimento poderiam levar a um maior consumo em relação ao CP 76 e  
 18 BRS 189, por apresentarem maior potencial nutritivo.

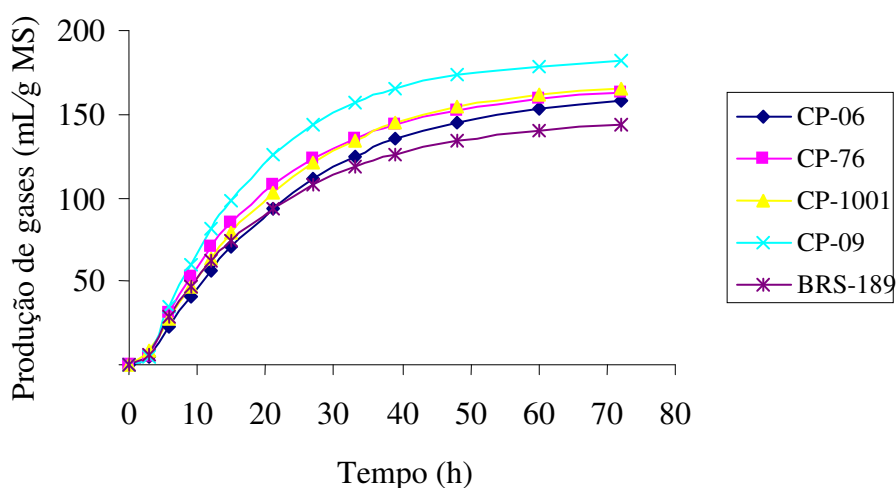
1 Na Figura 2, encontram-se as curvas das taxas de produção de gases dos  
 2 tratamentos nos diferentes tempos de fermentação. Observou-se a existência de três  
 3 picos na taxa de produção de gases, às 6 h, às 21 h e às 48 h. Para o CP 09, CP 76 e  
 4 BRS 189, a maior taxa de produção de gases foi obtida no primeiro pico e para o CP 06  
 5 e CP 1001 no segundo. Este comportamento assemelhou-se ao observado por Maurício  
 6 et al. (2003a) para silagens de quatro híbridos de sorgo, cujos picos nas taxas de  
 7 produção de gases ocorreram às 8 h e entre 16 e 24 h. Estes fatos foram atribuídos à  
 8 fermentação dos carboidratos solúveis numa fase inicial e à fermentação dos  
 9 carboidratos fibrosos posteriormente. Já o terceiro pico ocorrido às 48 h estão  
 10 relacionados provavelmente à reciclagem microbiana. Entretanto, Váradyová et al.  
 11 (2005) observaram apenas um pico na taxa de produção de gases ocorrida às 3 h  
 12 aproximadamente.



13  
 14 Figura 2 - Produção de gases da matéria seca do pseudofruto de cinco clones de cajueiro  
 15 (*Anacardium occidentale* L.).

16 Figure 2 - Gas production of dry matter from false fruits of five cashew clones (*Anacardium occidentale*  
 17 L.).

1 Na Figura 3, encontram-se as curvas de produção cumulativa de gases da matéria  
 2 seca para cada tratamento. O CP 09 apresentou maior produção cumulativa de gases ao  
 3 longo do tempo, seguido pelo CP 76, CP 1001, CP 06 e BRS 189, que apresentou maior  
 4 teor de FDN e de tanino condensado.



5

6 Figura 3 - Curvas de produção cumulativa de gases da matéria seca do pseudofruto de  
 7 cinco clones de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.).

8 *Figure 3 - Cumulative gas production profiles of dry matter from false fruits of five cashew clones*  
 9 *(Anacardium occidentale L.).*

10

11 A energia utilizada pelos microrganismos nas primeiras horas de incubação é  
 12 proveniente, quase que totalmente, da fermentação dos carboidratos não estruturais  
 13 (Azevêdo et al., 2003), o que condiz com a maior velocidade de produção de gases nos  
 14 tempos iniciais. Quanto à utilização da parede celular pelos microrganismos, Van Soest  
 15 (1994) cita que ela é feita de modo diferente pelos microrganismos ruminais, resultando  
 16 em produção de gases distintas. O BRS 189 foi o que apresentou menor volume após 30  
 17 h em relação aos demais tratamentos.

18 Quanto à degradabilidade *in vitro* da matéria seca, obtida após 72 h de  
 19 incubação, o BRS 189 foi menor ( $P>0,05$ ) em relação ao CP 06, CP 76, CP 1001 e CP



09. As curvas de produção cumulativas de gases refletiram a degradação do material, corroborando com Cruz et al. (2006). Entretanto, Nogueira et al. (2006), comparando substratos com diferentes teores de carboidratos solúveis obtiveram maior degradação para aqueles que apresentaram menor produção de gases.

Os parâmetros de produção de gases da fração FDN foram estimados pelo modelo Gompertz, proposto por Lavrencic et al. (1997), e encontram-se na Tabela 3. Verificou-se diferença ( $P < 0,05$ ) entre os clones para todos os parâmetros que indicam qualidade de cinética de fermentação ruminal pelo modelo Gompertz. O CP 09 apresentou maior potencial máximo de produção de gases (Vf), enquanto que o CP 06 apresentou o menor potencial, possivelmente devido ao maior teor de celulose e lignina.

Tabela 3 - Parâmetros cinéticos de fermentação ruminal da fração FDN do pseudofruto de cinco clones de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.) estimados pelo modelo Gompertz e degradação da fração FDN (DFDN) em 72 h

Table 3 – Kinetic parameters of ruminal fermentation of the fraction FDN of false fruit of five cashew clones as esteemed by the model of Gompertz and degradation of FDN (DFDN) after 72 h

Parâmetros*	Tratamento				
	CP 06	CP 76	CP 1001	CP 09	BRS 189
Vf (ml.g <sup>-1</sup> MS)	64,854 <sup>c</sup>	93,276 <sup>b</sup>	79,690 <sup>bc</sup>	113,435 <sup>a</sup>	71,310 <sup>bc</sup>
c (h <sup>-1</sup> )	2,5450 <sup>b</sup>	2,5237 <sup>b</sup>	2,7325 <sup>b</sup>	3,6269 <sup>a</sup>	2,7316 <sup>b</sup>
A	0,061678 <sub>a</sub>	0,030642 <sub>b</sub>	0,076610 <sup>a</sup>	0,024087 <sup>b</sup>	0,067567 <sup>a</sup>
DFDN (g/kg)	138,19 <sup>b</sup>	164,79 <sup>ab</sup>	202,45 <sup>a</sup>	108,67 <sup>b</sup>	159,75 <sup>ab</sup>

\* Parâmetros estimados pelo modelo Gompertz, Vf: potencial máximo de produção de gases; c: taxa constante de produção de gases do material potencialmente degradável; A: fator constante de eficiência microbiana.

Médias seguidas por letras iguais, na mesma linha não diferiram significativamente ( $P > 0,05$ ) pelo teste SNK.

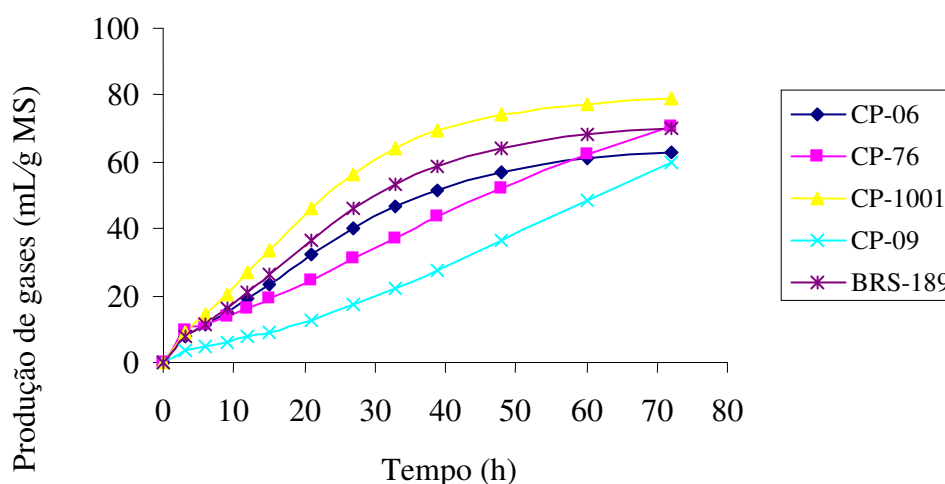
\* Parameters esteem for the model of Gompertz, Vf: maximum potential of production of gases; c: constant tax of production of gases of the potentially degradável material; A: constant factor of microbiana efficiency.

Means followed by equal letters, in the same row did not differ significant by SNK test ( $P > 0,05$ ).

O CP 09 apresentou a maior taxa de produção de gases, diferindo ( $P < 0,05$ ) dos demais. Quanto à eficiência microbiana, houve diferença ( $P < 0,05$ ) entre os tratamentos, com maiores valores para o CP 1001, BRS 189 e CP 06. Noguera et al (2005) também encontraram diferenças nesse parâmetro ao estudar a fração fibrosa de diferentes

1 alimentos. Houve diferença ( $P < 0,05$ ) na degradabilidade *in vitro* da fração FDN obtida  
 2 após 72 h de incubação do CP 1001, CP 76 e BRS 189 para o CP 06 e CP 09.

3 As curvas de produção cumulativa de gases da fração FDN encontram-se na  
 4 Figura 4. Observou-se maior produção cumulativa de gases para o CP 1001, seguido  
 5 pelo BRS 189, CP 06, CP 76 e CP 09. O volume de gases produzido até as 72 h foi  
 6 baixo para todos os tratamentos, variando entre 59 e 80 mL. Noguera et al. (2005)  
 7 também obtiveram menores volumes de produção de gases para a fração FDN quando  
 8 comparados aos da MS e atribuiu ao fato de que durante a degradação da FDN não  
 9 ocorre o efeito associativo e aditivo das frações solúveis e insolúveis.  
 10



11

12 Figura 4 - Curvas de produção cumulativa de gases da fração FDN do pseudofruto de  
 13 cinco clones de cajueiro (*Anacardium occidentale* L.).

14 *Figure 3 - Cumulative gas production profiles of NDF fraction from false fruits of five cashew*  
 15 *clones (Anacardium occidentale L.).*  
 16

17

### Conclusões

18 Os pseudofrutos dos clones de cajueiro apresentaram potencial para uso na  
 19 alimentação de ruminantes, por serem de boa qualidade do ponto de vista fermentativo.

1 Uma maior produção de gases durante a incubação *in vitro* da matéria seca e da  
2 fração FDN foi observada com aqueles clones que tiveram maior degradação às 72 h.

3 A técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases estimou adequadamente  
4 o perfil de fermentação ruminal de pseudofrutos do cajueiro, constituindo uma  
5 importante ferramenta na estimativa do valor nutritivo de alimentos para ruminantes.

#### 6 **Agradecimentos**

7 Ao CNPq/FINEP, pela bolsa de estudo concedida ao primeiro autor e pelo apoio  
8 financeiro necessários à condução da pesquisa.

9 À Embrapa Agroindústria Tropical pelo fornecimento das amostras.

#### 10 **Literatura citada**

11 AZEVÊDO, J.A.G.; PEREIRA, J.C.; QUEIROZ, A.C. et al. Composição químico-  
12 bromatológica, fracionamento de carboidratos e cinética da degradação *in vitro* da  
13 fibra de três variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.). **Revista Brasileira de**  
14 **Zootecnia**, v.32, n.6, p.1443-1453, 2003.

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

18 BUENO, I.C.S. **Cinética digestiva e síntese microbiana ruminal em ovinos**  
19 **alimentados com fenos de três qualidades distintas**. Piracicaba: Centro de Energia  
20 Nuclear na Agricultura, 2002. 97p. Tese (Doutorado em Ciência) – Centro de  
21 Energia Nuclear na Agricultura, 2002.

22 BUENO, I.C.S.; CABRAL FILHO, S.L.S.; GOBBO, S.P. et al. Influence of inoculum  
23 source in a gas production method. **Animal Feed Science and Technology**, v.123-  
24 124, p.95-105. 2005.

25 CABRAL, L.S.; VALADARES FILHO, S.C.; DETMANN, E. et al. Taxas de digestão  
26 das frações protéicas e de carboidratos para as silagens de milho e de capim-elefante,  
27 o feno de capim-tifton-85 e o farelo de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33,  
28 n.6, p.1573-1580, 2004.

29 CRUZ, P.G.; FIGUEIREDO, M.P.; COSTA, S.S. et al. Avaliação nutricional de cinco  
30 variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) pela técnica *in vitro* de semi-  
31 automática de produção de gases. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE  
32 BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa:  
33 SBZ, 2006. 1 CD-ROM.

34 FRANCE, J.; DHANOA, M.S.; THEODOROU, M.K. et al. A model to interpret gas  
35 accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds.  
36 **Journal of Theoretical Biology**, v.163, p.99-111, 1993.

- 1 LAVRENCIC, A.; STEFANON, B.; SUSMEL, P. An evaluation of the Gompertz  
2 model in degradability studies of forage chemical components. **Animal Science**,  
3 v.64, p.423-431, 1997.
- 4 MAKKAR, H.P.S. **Quantification of tannins in tree foliage**. Vienna: FAO; IAEA,  
5 2000. (Laboratory Manual).
- 6 MAURÍCIO, R.M.; MOULD, F.L.; DHANOA, M.S. et al. A semi-automated *in vitro*  
7 gas production technique for ruminant feedstuff evaluation. **Animal Feed Science**  
8 **and Technology**, v.79, p.321-330, 1999.
- 9 MAURÍCIO, R.M.; OWEN, E.; MOULD, F.L. et al. Comparison of bovine rumen  
10 liquor and bovine faeces as inoculum for an *in vitro* gas production technique for  
11 evaluating forages. **Animal Feed Science and Technology**, v.89, p.33-48, 2001.
- 12 MAURÍCIO, R.M.; PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L.C. et al. Potencial da técnica  
13 *in vitro* semi-automática de produção de gases para avaliação de silagens de sorgo  
14 (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.4, p.1013-  
15 1020, 2003a.
- 16 MAURÍCIO, R.M.; PEREIRA, L.G.R.; GONÇALVES, L.C. et al. Relação entre  
17 pressão e volume para implantação da técnica *in vitro* semi-automática de produção  
18 de gases na avaliação de forrageiras tropicais. **Arquivo Brasileiro de Medicina**  
19 **Veterinária e Zootecnia**, v.55, n.2, p.216-219, 2003b.
- 20 NOGUEIRA, U.T.; MAURÍCIO, R.M.; GONÇALVES, L.C. Comparação de substratos  
21 com diferentes quantidades de carboidratos solúveis utilizando a técnica *in vitro*  
22 semi-automática de produção de gases. **Arquivo Brasileiro de Medicina**  
23 **Veterinária e Zootecnia**, v.58, n.4, p.633-641, 2006.
- 24 NOGUERA, R.R.; SALIBA, E.O.; GONÇALVES, L.C. et al. Utilização da técnica de  
25 produção de gás para determinar a cinética de fermentação dos carboidratos  
26 estruturais e não estruturais em sorgo para forragem. **Livestock Research for Rural**  
27 **Development**, v.17, n.5, 2005.
- 28 NOZELLA, E.F.; CABRAL FILHO, S.L.S.; BUENO, I.C.S. et al. Caracterização de  
29 forrageiras do Nordeste utilizando a técnica de produção de gases, composição  
30 química e quantificação de taninos. 1. plantas do estado da Bahia. In: REUNIÃO  
31 ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João  
32 Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006. 1 CD-ROM.
- 33 OLIVEIRA, M.D.S.; VIEIRA, P.F; SOUZA, A. et al. Efeito de métodos de coleta de  
34 fluido ruminal sobre a digestibilidade "in vitro" de alguns nutrientes de ração para  
35 bovinos. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.22, p.794-800, 1993.
- 36 PELL, A.N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure  
37 forage digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.9, p.1063-1073, 1993.
- 38 RUBANZA, C.D.K.; SHEM, M.N.; OTSYINA, R. et al. Polyphenolics and tannins  
39 effect on *in vitro* digestibility of selected *Acacia* species leaves. **Animal Feed**  
40 **Science and Technology**, v.119, p.129-142, 2005.
- 41 SILVA, D.J.; QUEIROZ, A.C. **Análise de Alimentos: métodos químicos e biológicos**.  
42 3.ed. Viçosa: UFV, 2002.
- 43 STATISTICAL ANALYSIS SYSTEM – SAS. **User's guide: statistics**. Version 8.0.  
44 Cary: 1999.

- 1 THEODOROU, M.K.; WILLIAMS, B.A.; DHANOA, M.S. A simple gas production  
2 method using a pressure transducer to determine the fermentation kinetics of  
3 ruminant feeds. **Animal Feed Science and Technology**, v. 48, p. 185-197, 1994.
- 4 VAN SOEST, P.J. **Nutritional ecology of the ruminant**. 2.ed. Ithaca: Cornell  
5 University Press, 1994. 476p.
- 6 VAN SOEST, P.J.; ROBERTSON, J.B.; LEWIS, B.A. Methods for dietary fiber,  
7 neutral detergent fiber, and nonstarch polysaccharides in relation to animal nutrition.  
8 **Journal of Dairy Science**, v.74, n.10, p.3583-3597, 1991.
- 9 VÁRADYOVÁ, Z.; BARAN, M.; ZELENÁK, I. Comparison of two in vitro  
10 fermentation gas production methods using both rumen fluid and faecal inoculum  
11 from sheep. **Animal Feed Science and Technology**, v.123-124, p.81-94, 2005.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de uma equação de regressão relacionando os dados de pressão e volume propicia maior rapidez e precisão na determinação da cinética de fermentação ruminal de alimentos através da técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases.

Há necessidade da avaliação de modelos matemáticos usados para descrever a cinética de fermentação ruminal utilizando-se esta técnica, pois a adequação dos dados a um modelo depende do alimento avaliado e das condições experimentais.

A técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases estimou adequadamente o perfil de fermentação ruminal de pseudofrutos do cajueiro, constituindo-se em importante ferramenta na determinação do valor nutritivo de alimentos para ruminantes.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARCELOS, A. F. et al. Avaliação da casca e da polpa desidratada de café (*Coffea arabica* L.) pela técnica de degradação *in vitro* de produção de gases. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.30, n.6, p.1829-1836, 2001.

BUENO, I. C. S. et al. Influence of inoculum source in a gas production method. **Animal Feed Science and Technology**, v.123-124, p.95-105, 2005.

CABRAL, L. S. et al. Taxas de digestão das frações protéicas e de carboidratos para as silagens de milho e de capim-elefante, o feno de capim-tifton-85 e o farelo de soja. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.33, n.6, p.1573-1580, 2004.

FRANCE, J. et al. A model to interpret gas accumulation profiles associated with *in vitro* degradation of ruminant feeds. **Journal of Theoretical Biology**, v.163, p.99-111, 1993.

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

LAVRENCIC, A.; STEFANON, B.; SUSMEL, P. An evaluation of the Gompertz model in degradability studies of forage chemical components. **Animal Science**, v.64, p.423-431, 1997.

MAURICIO, R. M. et al. Potencial da Técnica *in Vitro* Semi-Automática de Produção de Gases para Avaliação de Silagens de Sorgo (*Sorghum bicolor* (L.) Moench). **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.32, n.4, p.1013-1020, 2003.

MORON, I. R. et al. Cinética de degradação ruminal da matéria seca de alimentos concentrados e volumosos através das técnicas *in vitro* e *in situ*. **Ciência e Agrotecnologia**, v.25, n.5, p.1185-1194, 2001.

NOGUERA, R. R. et al. Utilização da técnica de produção de gás para determinar a cinética de fermentação dos carboidratos estruturais e não estruturais em sorgo para forragem. **Livestock Research for Rural Development**, v.17, n.5, 2005.

NOGUERA, R. R.; SALIBA, E. O.; MAURICIO, R. M. Comparación de modelos matemáticos para estimar los parámetros de degradación obtenidos a través de la técnica de producción de gas. **Research for Rural Development**, v.16, n.11, 2004.

NOZELLA, E. F. et al. Caracterização de forrageiras do Nordeste utilizando a técnica de produção de gases, composição química e quantificação de taninos. 1. plantas do estado da Bahia. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43., 2006, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: SBZ, 2006. 1 CD-ROM.

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.

PELL, A. N.; SCHOFIELD, P. Computerized monitoring of gas production to measure forage digestion *in vitro*. **Journal of Dairy Science**, v.76, n.9, p.1063-1073, 1993.

SCHOFIELD, P.; PITT, R. E.; PELL, A. N. Kinetics of fiber digestion from *in vitro* gas production. **Journal of Animal Science**, v.72, p.2980-2991, 1994.

VALENTIN, S. F. et al. Comparison of the *in vitro* gas production technique and the nylon bag degradability technique to measure short-an long-term processes of degradation of maize silage in dairy cows. **Animal Feed Science and Technology**, v.78, p.81-99, 1999.



A994p

Azevedo, Márcia Mourão Ramos

Parâmetros cinéticos da fermentação ruminal do pseudofruto de cinco clones de cajueiro pela técnica *in vitro* semi-automática de produção de gases / Márcia Mourão Ramos Azevedo  
Teresina: 2007.

63f

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr.<sup>a</sup> Vânia Rodrigues Vasconcelos

Dissertação (Mestrado em Ciência Animal) – Universidade Federal do Piauí, 2007-06-08

1. Caju 2. Clones de cajueiro 3. Técnica *in vitro* 4. Equação de regressão 5. Modelos matemáticos 6. Produção de gases I.  
Título

CDD 634.573