

# Parâmetros da cinética de produção de gases in vitro do resíduo de casca de arroz obtidos com diferentes modelos matemáticos

Jaíne Alves Azevedo<sup>1</sup>, Ícaro dos Santos Cabral<sup>2</sup>, José Augusto Gomes Azevêdo<sup>3</sup>, Ronaldo Francisco de Lima<sup>4</sup>, Terezinha Teixeira de Souza<sup>5</sup>, Valéria dos Santos de Medeiros<sup>6</sup>, Thaisa Brasil Carvalho<sup>7</sup>, João Paulo Fonseca Tavares<sup>8</sup>

1 - Universidade Federal do Amazonas – UFAM/ICSEZ

2 - Universidade Federal do Amazonas – UFAM/ICSEZ

3 - Universidade Estadual de Santa Catarina- UESC

4 - Universidade Federal do Amazonas – UFAM/ICSEZ

5 - Universidade Federal do Amazonas – UFAM/ICSEZ

6 - Universidade Federal do Amazonas – UFAM/ICSEZ

7 - Universidade Federal do Amazonas – UFAM/ICSEZ

8 - Universidade Federal do Amazonas – UFAM/ICSEZ

RESUMO - O presente trabalho tem como objetivo avaliar a adequação de sete modelos não lineares (France, Orskov & McDonald, Gompertz, exponenciais simples e bicompartimental e logísticos simples e bicompartimental), no ajuste das curvas de produção de gases e para determinação dos parâmetros de degradação ruminal sobre o resíduo de casca de arroz. Assim, realizou-se a incubação in vitro, em triplicata, em seringas de vidro graduadas junto com solução tamponada de inoculante. Os dados gerados foram utilizados para geração dos parâmetros de cada modelo com auxílio do pacote estatístico SAS e para comparação testou-se os parâmetros de regressão pelo teste de Mayer. Os modelos de France, Logístico e Gompertz não foram adequados na geração dos parâmetros e o modelo que apresentou melhor ajuste foi o Logístico Bicompartimental.

Palavras-chave: degradação, modelos não-lineares, resíduo alimentar

## Parameters of kinetics of in vitro gas production of rice husk residue obtained with different mathematical models

ABSTRACT - The present work aims to evaluate the adequacy of seven nonlinear models (France, Orskov & McDonald, Gompertz, simple and bicompartimental exponents and simple and bicompartimental logistic), in the adjustment of the gas production curves and for the determination of ruminal degradation parameters on the residue of rice hulls. Thus, in vitro incubation, in triplicate, in graduated glass syringes along with buffered inoculant solution. The generated data were used to generate the parameters of each model with the help of the SAS statistical package and for comparison the regression parameters were tested by the Mayer test. The models of France, Logistic and Gompertz were not adequate in the generation of parameters and the model that presented the best fit was the Bicompartimental Logistic.

Keywords: degradation, non-linear models, food residue

---

## Introdução

A técnica de produção de gases *in vitro* consiste em determinar as variações do volume dos gases provenientes do metabolismo microbiano. Dessa forma, diversos modelos não-lineares (France, Orskov & McDonald, Gompertz, exponenciais simples e bicompartimental e logísticos simples e bicompartimental) com pressuposições e tratamentos distintos, estão disponíveis para o ajuste da curva e na geração de parâmetros de produção cumulativa de gases, tendo como principal objetivo descrever alterações no sistema em função do tempo de incubação.

Com isso, o presente trabalho teve como finalidade avaliar a adaptação de diferentes modelos matemáticos para ajustar os perfis de produção de gases *in vitro* para a casca de arroz.

---

## Revisão Bibliográfica

Em estudo com incubação de silagens de girassol e milho, Melo et al. (2008) testaram diferentes modelos não lineares e notaram que o modelo de France produzia volumes negativos nas primeiras três horas de incubação, achado biologicamente impossível, e atribuíram este fato ao valor do parâmetro *b*, que não apresenta interpretação biológica. Além disso, observaram que os modelos de Gompertz e Logístico simples superestimaram o segundo ponto de inflexão da curva e subestimaram a fase assintótica após 144 horas. Estes autores concluíram então, que o modelo Logístico Bicompartimental foi o mais eficiente por apresentar curva adequada em todas as fases de incubação e apresentar características mais relevantes do ponto de vista nutricional, por exemplo, a geração de parâmetros oriundos de carboidratos fibrosos e não fibroso. Esta observação é confirmada pelo trabalho de Krueger et al. (2010) que observou redução da taxa e do volume gás oriunda dos carboidratos fibrosos quando se fez a inclusão de glicerol em amostras de alfafa incubadas *in vitro*. Esta informação só foi possível devido à utilização de um modelo bicompartimental, neste caso, o Logístico.

---

## Materiais e Métodos

Este experimento foi conduzido no Laboratório de Nutrição Animal da Universidade Estadual de Santa Cruz (UESC), Ilhéus, Bahia.

Foram obtidas amostras de casca de arroz e esta submetida à pré-secagem a 55 °C durante 72 horas e moída em moinho de facas com peneira de porosidade de 2 mm de diâmetro, para posteriores análises do conteúdo de matéria seca (MS), proteína bruta (PB), matéria mineral (MMB), extrato etéreo (EE) e fibra em detergente ácido (FDA), de acordo os métodos da AOAC (1990).

Os valores da composição químico-bromatológica da casca de arroz são apresentados na tabela 1.

**Tabela 1.** Composição química da casca de arroz avaliada.

Alimento	MS <sup>a</sup>	MO <sup>b</sup>	PB <sup>b</sup>	NIDN <sup>c</sup>	EE <sup>b</sup>	FDN <sub>cp</sub> <sup>b</sup>	CNF <sup>b</sup>	FDA <sub>p</sub> <sup>b</sup>	LIG <sup>b</sup>
<b>Casca arroz</b>	919	839	21	917	7	691	120	751	199

<sup>a</sup> g/kg; <sup>b</sup> g/kg na MS; <sup>c</sup> g/kg na PB; <sup>d</sup> %b

Para a produção de gases, foram utilizadas seringas de vidro graduadas junto com solução tamponada de inoculante, onde o volume inicial foi anotado e a seringa foi aquecida a 39°C. A partir disso, a leitura da produção de gás foi realizada nos tempos 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 26, 28, 30, 32, 36, 48, 52, 54, 56, 60 e 72 horas, onde foram estimadas para a casca de arroz a taxa e extensão da produção de gases, ajustando os dados de produção de gases aos modelos unicompartmental: France et al. (1993), exponencial, logístico, Gompertz, Orskov e McDonald (1979), além dos modelos bicompartimental: logístico e exponencial.

A avaliação dos modelos foi realizada através do ajustamento do modelo de regressão linear simples dos valores observados nas seringas graduadas sobre os valores preditos pelas equações nas horas pré-determinadas, sendo as estimativas dos parâmetros de regressão testadas pela hipótese de nulidade conjunta segundo Mayer et al. (1994).

Ainda avaliou-se o viés médio (VM), que foi calculado conforme (Cochran e Cox, 1957).

O coeficiente de concordância da correlação (CCC) foi calculado conforme Lin (1989). E por último a avaliação do quadrado médio dos erros de predição (QMEP) foi de acordo com Bibby e Toutenburg (1977).

Para avaliação dos parâmetros de regressão, VM, CCC e QMEP utilizou-se o programa Model Evaluation System (MES), versão 3.0.11. (<http://nutritionmodels.tamu.edu/mes.htm>, College Station, TX, USA; Tedeschi, 2006).

## Resultados e Discussão

Os parâmetros cinéticos de degradação estimados pelos diferentes modelos encontram-se na Tabela 2. Dentre os modelos unicompartimentais, o Modelo de Gompertz parece superestimar a taxa de degradação para a casca de arroz, com valor biologicamente difícil de ocorrer. O modelo logístico unicompartimental foi o que apresentou menor valor de A e  $\mu$ , parecendo subestimá-los. Nos modelos bicompartimentais, os valores da assíntota provenientes dos CNF foram maiores em tal alimento. Onde o modelo de Modelo de Orskov e McDonald (1979), sem tempo de latência, foi o que teve maior assíntota.

**Tabela 2.** Assíntotas (mL) total, dos CNF e dos CF (A,  $A_{CNF}$  e  $A_{CF}$ ), taxas fracionais de degradação ( $h^{-1}$ ) total, dos CNF e dos CF ( $\mu$ ,  $\mu_{CNF}$  e  $\mu_{CF}$ ) e tempo de latência ( $\lambda$ , em horas) da casca de arroz utilizando diferentes modelos matemáticos.

Parâmetro	Modelos <sup>a</sup>						
	1	2	3	4	5	6	7
Casca de arroz							
A	--	4,424	4,431	--	4,151	4,169	4,447
$A_{CNF}$	2,522	--	--	4,292	--	--	--
$A_{CF}$	1,916	--	--	1,361	--	--	--
$\mu$	--	0,055	0,054	--	0,035	0,105	0,053
$\mu_{CNF}$	0,058	--	--	0,055	--	--	--
$\mu_{CF}$	0,018	--	--	0,002	--	--	--
$\lambda$	0,523	0,014	0,018	0,018	0,002	0,002	--

<sup>a</sup> 1 = Logístico bicompartimental; 2 = France (1993); 3 = Exponencial; 4 = Exponencial bicompartimental; 5 = Logístico; 6 = Gompertz; 7 = Orskov e McDonald (1979)

Já os parâmetros de regressão, o valor de P para o teste de Mayer et al. (1994), o VM, o CCC e o QMEP dentre os valores observados e os estimados pelos diferentes modelos matemáticos para a casca de arroz são apresentados na tabela 3.

**Tabela 3.** Parâmetros de regressão, valor de P, viés médio (VM), coeficiente de correlação e concordância (CCC) e quadrado médio do erro de predição (QMEP) dentre os valores observados para volume acumulativo de gases e os estimados pelos diferentes modelos matemáticos

Parâmetro	Modelos <sup>a</sup>						
	1	2	3	4	5	6	7
Casca de arroz							
Intercepto	-0,005	0,086	0,017	0,030	0,226	0,220	0,035
Inclinação	1,002	0,976	0,993	0,991	0,937	0,939	0,990
$r^2$	0,999	0,998	0,998	0,998	0,985	0,991	0,998
$P^b$	0,937	0,064	0,784	0,690	0,087	0,028	0,603

VM	0,000	0,001	0,000	0,000	0,002	0,002	0,000
CCC	1,000	0,999	0,999	0,999	0,990	0,993	0,999
QMEP	0,001	0,004	0,003	0,003	0,033	0,022	0,003

<sup>a</sup> 1 = Logístico bicompartimental; 2 = France (1993); 3 = Exponencial; 4 = Exponencial bicompartimental; 5 = Logístico; 6 = Gompertz; 7 = Orskov e McDonald (1979)

<sup>b</sup>  $P > 0,1 = H_0 : \beta_0 = 0 \text{ e } \beta_1 = 1$ ;  $P < 0,1 = H_a : \text{não } H_0$ .

Em relação aos parâmetros de regressão avaliados pelo teste Mayer et al. (1994) observou-se falta de ajuste ( $P < 0,10$ ) para os modelos France, logístico simples e Gompertz para a casca de arroz, indicando que o modelo não serve para representar a cinética de degradação. Dentre os que tiveram ajuste adequado, o menor quadrado médio de predição (QMEP), o coeficiente de correlação e concordância (CCC) mais próximo de 1 e menor viés médio (VM), os modelos bicompartimentais se destacaram, com maior destaque para o modelo logístico bicompartimental.

Todos os modelos apresentaram baixa assíntota que indicam pequena produção de gás com a casca de arroz, provavelmente devido à baixa quantidade de proteína no alimento, aliado a maior parte dessa proteína estar na forma de nitrogênio insolúvel em detergente neutro (NIDN). Com isso, bactérias presentes nesta incubação não tiveram acesso aos compostos nitrogenados para produção de proteína microbiana e com isso provavelmente ocorreu um menor crescimento microbiano o que resultou em menor degradação e conseqüentemente menor produção de gás.

## Conclusões

Dentre os distintos modelos não-lineares utilizados para avaliar e determinar os parâmetros de degradação ou perfil de fermentação para a casca de arroz, os modelos bicompartimentais foram os mais adequados, sendo o Logístico Bicompartimental o de maior destaque devido ao menor quadrado médio do erro de predição, menor viés médio e coeficiente de correlação e concordância mais próximo de 1, tornando este modelo o mais adequado.

## Referências

AOAC. **Official methods of analysis**. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists, Arlington, Virginia, 1990.

BIBBY, J.; TOUTENBURG, H. **Prediction and improved estimation in linear models**. New York: J. Wiley and Sons, 1977.

COCHRAN, W. G.; COX, G. M. **Experimental Design**. John Wiley & Sons, New York. 1957.

DIJKSTRA, J.; KEBREAB, E.; BANNINK, A.; FRANCE, J.; LOPEZ, S. Application of the gas production technique in feed evaluation systems for ruminants. **Animal Feed Science and Technology**, v. 123-124, p. 561-578, 2005

FRANCE, J.; DHANOA, M. S.; THEODOROU, M. K.; LISTER, S. J.; DAVIES, D.R.; ISAC, D. 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.

KRUEGER, N. A.; ANDERSON, R. C.; TEDESCHI, L. O.; CALLAWAY, T. R.; EDRINGTON, T. S.; NISBET, D. J. Evaluation of feeding glycerol on free-fatty acid production and fermentation kinetics of mixed ruminal microbes in vitro. **Bioresource Technology**, v. 101, p. 8469-8472, 2010.

LIN, L. A. Concordance correlation coefficient to evaluate reproductibility. **Biometrics**, v. 45, p. 255-268, 1989.

LÓPEZ, S.; D. S.; DIJKSTRA, J.; BANNINK, A.; KEBREAB, E.; FRANCE, J. Some methodological and analytical considerations regarding application of the gas production technique. **Animal Feed Science and Technology**, v. 135, p. 139-156, 2007.

MAURÍCIO, R. M.; PEREIRA, L. G. R.; GONÇALVE, L. C.; RODRIGUEZ, N. M. Relação entre pressão e volume para implantação da técnica in vitro semi-automática de produção de gases na avaliação de forrageiras tropicais. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, v. 55, p. 216-219, 2003.

MAYER, D. G.; STUART, M. A.; SWAIN, A. J. Regression of real-world data on model output: An appropriate overall test of validity. **Agricultural Systems**, v. 45, p. 93-104, 1994.

MELLO, R.; MAGALHÃES, A. L. R.; BREDA, F. C.; REGAZZI, A. J. Modelos para ajuste da produção de gases em silagens de girassol e milho. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 43, p. 261-269, 2008.

MENKE, K. H.; RAAB, L.; SALEWSKI, A.; STEINGASS, H.; FRITZ, D.; SCHNEIDER, W. The estimation of the digestibility and metabolizable energy content of ruminant feedingstuffs from the gas production when they incubated with liquor in vitro. *Journal of Agricultural Science*, v. 93, p. 217-222, 1979.

ORSKOV, 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.

TEDESCHI, L. O. Assessment of the adequacy of mathematical models. **Agricultural Systems**, v. 89, p. 225-247, 2006.