

# Modelos não lineares utilizados na produção de gases in vitro do resíduo do palmito de pupunha

Valéria dos Santos de Medeiros<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>, Jaíne Alves Azevêdo<sup>6</sup>, João Paulo Fonseca Tavares<sup>7</sup>, Gessica Neves dos Santos<sup>8</sup>

1 - Universidade Federal do Amazonas - UFAM

2 - Universidade Federal do Amazonas - UFAM

3 - Universidade Estadual de Santa Cruz - UESC

4 - Universidade Federal do Amazonas - UFAM

5 - Universidade Federal do Amazonas - UFAM

6 - Universidade Federal do Amazonas - UFAM

7 - Universidade Federal do Amazonas - UFAM

8 - Universidade Federal do Amazonas - UFAM

**RESUMO** - Sete modelos não lineares (France, Orskov & McDonald, Gompertz, exponenciais simples e bicompartimental e logísticos simples e bicompartimental) foram avaliados no ajuste da curva e na geração de parâmetros de produção cumulativa de gases do resíduo da pupunha (*Bactris gasipaes*) utilizado na nutrição de ruminantes, com o intuito de descrever alterações no sistema em função do tempo de incubação. 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. Os dados gerados foram utilizados para geração dos parâmetros de cada modelo com auxílio do pacote estatístico SAS. O modelo que mais se adequou ao ajuste da curva e produção cumulativa de gases da pupunha foi exponencial bicompartimental.

Palavras-chave: degradação, parâmetros cinéticos, subproduto

## Non-linear models used in the production of in vitro gases of the residue of the pupunha palm

**ABSTRACT** - Seven non linear models (France, Orskov & Mc Donald, Gompertz, simple and bicompartamental exponents and simple and bicompartamental logistic) were evaluated in the curve fitting and the generation of cumulative gas production parameters of the pupunha (*Bactris gasipaes*) residue used in nutrition of ruminants, in order to describe changes in the system as a function of the incubation time. The production of gas was carried out at the times 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 26, 28, 30, 32, 36, 48, 52, 54, 56, 60 and 72 hours. The generated data were used to generate the parameters of each model using SAS statistical package. The model that Best fits the curve fit and cumulative production of pupunha gases was bicompartamental exponential.

Keywords: degradation, kineticparameters, by-product

---

## Introdução

A técnica in vitro de produção de gases tem sido amplamente utilizada para avaliar a cinética dos processos de fermentação microbiana ruminal (Li et al., 2014). Em relação às técnicas in vivo, esta técnica é menos onerosa, exige menor tempo para obtenção dos resultados, permite maior controle das condições experimentais e é facilmente reproduzível (Getachew et al., 1998). Assim, sete modelos não lineares (France, Orskov & McDonald, Gompertz, exponenciais simples e bicompartimental e logísticos simples e bicompartimental) foram avaliados no ajuste da curva e na geração de parâmetros de produção cumulativa de gases do resíduo da pupunha (*Bactris gasipaes*) utilizado na nutrição de ruminantes. Para o ajuste das curvas de produção de gases e para determinação dos parâmetros de degradação ou perfil de fermentação existem vários modelos não-lineares disponíveis, destacando-se os de crescimento exponencial e sigmoidéide. O principal objetivo destes modelos é descrever alterações no sistema em função do tempo de incubação. Este trabalho tem como objetivo avaliar a adequação de diferentes modelos matemáticos para ajustar os perfis da cinética de produção de gases in vitro do resíduo da pupunha.

---

## Revisão Bibliográfica

O resíduo produzido pela pupunha (*Bactris gasipaes*) apresenta alta disponibilidade, sendo uma alternativa em potencial para suplementação volumosa para ruminantes e outros animais na época de baixa disponibilidade de pastagem. Em experimento avaliando a aceitabilidade e digestibilidade in vitro de um subproduto do palmito da pupunha na alimentação de ovinos, bovinos e bubalinos, Moraes (2011) verificou média de 100% de aceitação pelos ruminantes e teores de 12,96% de matéria seca, 9,31% de proteína bruta, 60% de FDN, 7,8% de matéria mineral e aproximadamente 65% de digestibilidade in vitro, o que são características desejáveis para um bom volumoso. Medeiros (1999), em experimento com bovinos cruzados com 392 Kg de PV aos 36 meses, recebendo 1,5, 3,0 e 4,5 Kg/dia de concentrado e subproduto da extração de palmito de pupunha verde picado, observou ganho médio diário de peso (GMDP) de 0,796, 0,920 e 0,858 Kg/dia, respectivamente. Já em relação aos modelos não lineares utilizados na produção de gases in vitro, em experimentos realizados por Mello et al (2008) com silagem de girassol e milho, utilizando-se os modelos de France, Gompertz, Logístico, Logístico Bicompartimental, concluiu-se que este último apresentou maior qualidade de ajuste à curva de produção cumulativa de gases. Díaz et al (2014), avaliando os mesmos modelos não lineares anteriores para descrever a cinética de fermentação ruminal do milho, farelo de soja e a silagem de milho, concluíram que o modelo Logístico Bicompartimental apresentou menor valor de QMEP e melhor descreveu a cinética de fermentação ruminal em relação aos outros modelos avaliados.

---

## Materiais e Métodos

Amostras de resíduo da pupunha foram submetidas à pré-secagem a 55 °C durante 72 horas e moídas 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 (MM) e extrato etéreo (EE), conforme os métodos da AOAC (1990). Utilizou-se a metodologia de Mertens (2002) para as análises de fibra em detergente neutro (FDN). O conteúdo de carboidratos não fibrosos (CNF) foi calculado de acordo com Hall (2000) e a digestibilidade in vitro da FDN (DIVFDN) avaliada de acordo com Schofield et al. (1994). Para a produção de gases utilizaram-se seringas calibradas, segundo a metodologia de Getachew et al. (2004). Em triplicata, cada seringa recebeu 200 mg de MS de resíduo de pupunha e 30 mL de líquido ruminal tamponado, armazenado em garrafas térmicas previamente aquecidas a 39 °C e imediatamente levado ao laboratório, onde foi filtrado com gazes. Foi adicionada ao líquido ruminal a solução tampão (1:1 v/v), sob injeção contínua de CO<sub>2</sub>. O volume inicial foi anotado e a seringa foi aquecida a 39°C. Os tempos de leitura utilizados foram: 0, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24, 26, 28, 30, 32, 36, 48, 52, 54, 56, 60 e 72 horas. A cada tempo foi feita a leitura, anotado o volume dos gases e a seringa foi suavemente agitada. A taxa e extensão da produção de gases foram estimadas por ajustamento dos dados de produção de gases aos modelos unicompartmentais e bicompartimentais testados. Para obtenção da taxa fracional de degradação ( $\mu$ ) do Modelo de France et al. (1993) utilizou-se a equação:  $\mu = b + c/2$ ,  $t \geq \lambda$  O viés médio (VM) foi calculado conforme Cochran e Cox (1957), o coeficiente de concordância da correlação (CCC), calculado conforme Lin (1989) e o quadrado médio dos erros de predição (QMEP), descrito por 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.

---

# Resultados e Discussão

Entre os modelos unicompartimentais, o Modelo de Gompertz parece superestimar a taxa de degradação para o resíduo da pupunha, 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 bicompartmentais, os valores da assíntota provenientes dos CNF foram maiores em todas as amostras. Os parâmetros de avaliação estatística são apresentados na tabela 1. A hipótese de nulidade pelo teste de Mayer et al. (1994) foi aceita para todos os modelos, demonstrando adequação de todos eles. Quando o CCC foi analisado, todos os modelos apresentaram valores próximos a 1, indicando bom ajuste aos valores observados. Dentre os índices de avaliação dos modelos, o QMEP foi o que mais contribuiu para demonstrar o ajustamento dos modelos. Dentre estes, os modelos bicompartmentais se destacaram, sendo que para o resíduo de pupunha o modelo exponencial bicompartimental foi o que apresentou o menor QMEP, sendo também o modelo que mais se adequou, gerando curvas exponenciais. Como indicadores do melhor modelo, utilizou-se também o CCC, que avalia simultaneamente precisão e acurácia dos dados e o QMEP, que foi o mais sensível para detectar as diferenças entre os modelos testados. Os menores QMEP foram observados no modelo exponencial bicompartimental. Este modelo gera curvas dos carboidratos rapidamente fermentáveis e lentamente fermentáveis. Estas curvas de produção de gases possibilitam análise dos dados e comparação dos alimentos ou características do ambiente de fermentação e podem fornecer informações úteis relativas à composição do alimento e fermentabilidade das frações solúveis e lentamente fermentáveis dos alimentos.

## Conclusões

Para as amostras de resíduo de pupunha testadas, o modelo Exponencial Bicompartimental foi o mais adequado, pois foi o que melhor descreveu a cinética de produção de gases in vitro. Além disso, este modelo gera parâmetros de fácil interpretação biológica e de grande valor nutricional para a avaliação de alimentos utilizados na Nutrição de Ruminantes.

## Gráficos e Tabelas

**Tabela 1.** 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) das amostras de resíduo de pupunha testadas utilizando diferentes modelos matemáticos.

Parâmetro	Modelos <sup>a</sup>						
	1	2	3	4	5	6	7
Pupunha							
$A$	--	104.000	96.581	--	94.197	94.427	96.582
$A_{CNF}$	54.356	--	--	47.915	--	--	--
$A_{CF}$	45.764	--	--	55.020	--	--	--
$\mu$	--	0.094	0.119	--	0.080	0.229	0.119
$\mu_{CNF}$	0.181	--	--	0.412	--	--	--
$\mu_{CF}$	0.029	--	--	0.051	--	--	--
$\lambda$	0.767	0.891	0.001	1.039	0.001	0.001	--

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

(<http://cdn5.abz.org.br/wp-content/uploads/2017/04/Captura-de-Tela-100.png>)

**Tabela 2.** 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 nas amostras de resíduo da pupunha.

Parâmetro	Modelos <sup>a</sup>						
	1	2	3	4	5	6	7
Pupunha							
Intercepto	-0,324	-0,001	2,242	0,000	6,060	5,552	2,234
Inclinação	1,004	1,000	0,974	1,000	0,930	0,936	0,974
R <sup>2</sup>	0,999	0,997	0,977	1,000	0,934	0,946	0,977
P <sup>b</sup>	0,919	0,999	0,776	1,000	0,517	0,506	0,778
VM	-0,031	0,135	0,006	0,004	-0,129	-0,185	0,171
CCC	0,999	0,999	0,988	1,000	0,965	0,972	0,988
QMEP	0,752	1,407	12,497	0,179	37,832	30,725	12,494

<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>0,05 = Ho: β0 = 0 e β1 = 1; P<0,05 = Ha: não Ho.

(<http://cdn5.abz.org.br/wp-content/uploads/2017/04/Captura-de-Tela-101.png>)

## 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. Wileyand Sons, 1977. COCHRAN, W. G.; COX, G. M. Experimental Design. John Wiley & Sons, New York. 1957. DÍAZ, T.A.; BRANCO, A.F.; MATOS, L.F.; OSMARI, M.P.; GIOTTO, F.M.; SALAB, B.L.; ITAVO, L.C.V. Comparação do ajuste de modelos matemáticos que descrevem a cinética de degradação ruminal in vitro. VI Congresso Latino-Americano de Nutrição Animal, Estância de São Pedro, SP - Brasil, 2014.
- 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.
- GETACHEW, G.; ROBINSON, P. H.; DEPETERS, E. J.; TAYLOR, S. J. Relationships between chemical composition, dry matter degradation and in vitro gas production of several ruminant feeds. Animal Feed Science and Technology, v. 111, p. 57-71, 2004.
- GETACHEW, G.; BLÜMMEL, M.; MAKKAR, H.P.S.; BECKER, K. 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. HALL, M. B. Neutral Detergent-soluble carbohydrates.Nutritional relevance and analysis.University of Florida, Gainesville, 2000. LI, M.; ZI, X.; ZHOU, H.; HOU, G.; CAI, Y. Effects of sucrose, glucose, molasses and cellulase on fermentation quality and in vitro gas production of king grass silage. Animal Feed Science and Technology, v. 197, p. 206-2012, 2014. LIN, L. A. Concordance correlation coefficient to evaluate reproducibility. Biometrics, v. 45, p. 255-268, 1989. MEDEIROS, L. M. Subproduto da extração do palmito pupunha (*Bactris gasipaes*) na alimentação de bovinos confinados. In: CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 11, 1999, Botucatu. Anais... Botucatu: UNESP/FCA, p. 264, 1999. 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. MERTENS, D. R. Gravimetric determination of amylase-treated neutral detergent fiber in feeds with refluxing in beakers or crucibles: collaborative study. Journal of AOAC International, v. 85, p. 1217-1240, 2002. MORAES, J. E. Valor nutritivo de palmito de pupunha (*Bactris gasipaes*) para ruminantes / José Evandro de Moraes – Nova Odessa – SP, 2011. SCHOFIELD, P.; PITTS, R. E.; PELL, A. N. Kinetics of fiber digestion from in vitro gas production. Journal of Animal Science, v. 72, p. 2980-2991, 1994.