

Evangelista, Z.R., Modesto, A.A., Melo, P.C. Devilla, I.A., 2015. Modelagem matemática das curvas de secagem da polpa de murici (*Byrsonima crassifolia*) pelo método de secagem em camada de espuma. In: **Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças**, 001. Anais... Aracaju-SE.

1 **Modelagem matemática das curvas de secagem da polpa de murici**  
2 **(*Byrsonima Crassifolia*) pelo método de secagem em camada de**  
3 **espuma. Zeuxis R. Evangelista<sup>1</sup>; Arlindo A. Modesto<sup>1</sup>; Pâmella C. Melo<sup>1</sup>; Ivano**  
4 **A. Devilla<sup>1</sup>**

5 <sup>1</sup>UEG – Universidade Estadual de Goiás- Br 153, Nº 3105, 75132-400 – Anápolis - GO.  
6 zeuxis\_zre@hotmail.com, arlindo.modesto1@hotmail.com, pamellamelo91@hotmail.com,  
7 ivano.devilla@gmail.com

## 8 **RESUMO**

9 O murici é um fruto do cerrado brasileiro, com aroma marcante e com grande valor  
10 nutricional. Sabe-se que o processo de secagem dos frutos para a obtenção do murici  
11 seco contribui para a preservação do produto, concentra o conteúdo de nutrientes e  
12 possibilita sua adição em formulações, ressaltando na qualidade sensorial e nutricional  
13 de alimentos. Um método de secagem que vem se expandindo no Brasil é o método de  
14 secagem em camada de espuma, onde promove uma mais rápida secagem, sendo  
15 utilizado em sucos, purês e polpas. O objetivo deste trabalho é de realizar a secagem de  
16 polpa de murici por camada de espuma (foam mat drying), visando estabelecer um  
17 modelo matemático para sua secagem. Com o estudo da secagem de murici em camada  
18 de espuma nas condições em que o experimento foi desenvolvido, verificou-se que a  
19 temperatura de secagem exerce influência sobre a velocidade de secagem do produto e o  
20 modelo matemático que se adaptou as condições de secagem do murici foi o  
21 Logarítmico.

22 **PALAVRAS-CHAVE:** cinética de secagem, temperatura, umidade.

## 23 **ABSTRACT**

24 **Mathematical modeling of the drying curves murici pulp (*Byrsonima***  
25 ***crassifolia*) by the drying method on the foam mat drying**

26 The murici is a fruit of the Brazilian cerrado, with outstanding flavor and high  
27 nutritional value. It is known that drying process the fruit of the to obtainment of the  
28 dry murici contributes to the preservation of the product, concentrates the nutrient  
29 content and enables its addition in formulations, emphasizing the sensory and nutritional  
30 quality of food. A drying method that has been expanding in Brazil is the drying method  
31 in foam layer, which promotes faster drying and is used in juices, purees and pulps. The  
32 objective of this work is to perform the murici pulp drying of the foam layer (foam mat  
33 drying), to establish a mathematical model for drying. By studying the murici drying in  
Anais 1º Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores  
e hortaliças (CD ROM), Maio de 2015.

Evangelista, Z.R., Modesto, A.A., Melo, P.C. Devilla, I.A., 2015. Modelagem matemática das curvas de secagem da polpa de murici (*Byrsonima crassifolia*) pelo método de secagem em camada de espuma. In: **Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças**, 001. Anais... Aracaju-SE.

34 foam layer under conditions in which the experiment was conducted, it was found that  
35 the drying temperature influences the drying rate of the product and the mathematical  
36 model is adapted to the drying conditions murici was the Logarithmic.

37 **Keywords:** drying kinetics, temperature, humidity.

## 38 **INTRODUÇÃO**

39 O muricizeiro é uma planta arbustiva, de porte médio, nativa do Cerrado, que  
40 pode chegar a cinco metros de altura. Possui tronco cilíndrico, casca escura, áspera e  
41 copa estreita, com folhas rígidas e brilhantes. As flores são amareladas, formando  
42 cachos de 10 a 15 centímetros, e as sementes germinam em substrato argiloso,  
43 necessitando de local sombreado, com desenvolvimento lento. Sua floração começa no  
44 final de agosto, e a frutificação, no final de setembro. A colheita é feita de forma manual  
45 por causa da facilidade de queda dos frutos maduros, sendo que seu amadurecimento  
46 ocorre na planta e são colhidos quando apresentam coloração amarelada, com aroma e  
47 sabor característicos (EMATER, 2010).

48 O murici é um fruto com cheiro forte, similar ao de queijo rançoso, típico do  
49 cerrado, sendo encontrado de setembro a março, nas regiões serranas do Sudeste, nos  
50 cerrados de Mato Grosso, Goiás e no litoral do Norte e Nordeste do Brasil (REGO,  
51 2006). Quando maduro, apresenta-se amarelado, com diâmetro de 1,5 a 2 cm, cada  
52 planta produz em média 15 kg de frutos ao ano (EMATER, 2010). A polpa é carnosa e  
53 macia, podendo ser consumida in natura ou sob a forma de sucos, geléias, sorvetes,  
54 licores e o produto seco podendo ser utilizado em barras de cereais (ALVES e  
55 FRANCO, 2003).

56 A secagem dos frutos para a obtenção do murici seco contribui para a  
57 preservação do produto, concentra o conteúdo de nutrientes e possibilita sua adição em  
58 formulações, ressaltando na qualidade sensorial e nutricional de alimentos. O  
59 mecanismo de conservação pela secagem baseia-se no fato de que todo o mecanismo  
60 metabólico necessita de certa quantidade de água para suas atividades. Com a redução  
61 da água disponível, conseqüentemente serão reduzidas a atividade de água e a  
62 velocidade das reações químicas no produto, bem como o desenvolvimento de  
63 microorganismos (CHRISTENSEN e KAUFMANN, 1974).

64 Nas últimas décadas, muitos estudos foram realizados em relação à  
65 desidratação de frutas e polpas de frutas (PEREIRA et al., 2009; MOSQUERA et al.,

Anais 1º Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças (CD ROM), Maio de 2015.

Evangelista, Z.R., Modesto, A.A., Melo, P.C. Devilla, I.A., 2015. Modelagem matemática das curvas de secagem da polpa de murici (*Byrsonima crassifolia*) pelo método de secagem em camada de espuma. In: **Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças**, 001. Anais... Aracaju-SE.

66 2010; OSÓRIO et al., 2011), voltados principalmente no sentido de aumentar a retenção  
67 das propriedades nutritivas e sensoriais do produto mediante alterações dos processos já  
68 existentes ou aplicação de novas técnicas.

69 Este método é muito utilizado para secagem de alimentos sensíveis ao calor.  
70 Embora tenha sido desenvolvido para promover rápida secagem de alimentos líquidos,  
71 tais como sucos, vem sendo muito utilizado para alimentos pastosos como purês e  
72 polpas de frutas (BAG et al., 2011). Seu processo consiste, basicamente, de três etapas:  
73 transformação do suco ou da polpa em espuma estável através da utilização de aditivos  
74 (emulsificantes, estabilizantes, espessantes); desidratação do material em camada fina  
75 até massa constante e desintegração da massa seca em escamas e, posteriormente, em pó  
76 (FURTADO et al., 2010).

77 O objetivo deste trabalho é de realizar a secagem de polpa de murici por  
78 camada de espuma (foam mat drying), visando estabelecer um modelo matemático para  
79 sua secagem.

## 80 **MATERIAL E MÉTODOS**

81 Os frutos foram colhidos em propriedades produtora de murici na cidade de  
82 Britânia – Goiás. Os experimentos foram realizados no Laboratório de Secagem e  
83 Armazenamento de Produtos Vegetais da Universidade Estadual de Goiás - UEG, na  
84 cidade de Anápolis, GO.

85 Para as amostras dos frutos, os mesmos foram selecionados de forma manual,  
86 quanto à uniformidade do estágio de maturação e ausência de defeitos. No laboratório,  
87 os frutos do muricizeiro foram despulpados e armazenados em câmara fria a 10°C  
88 durante 24 horas, visando à diminuição do metabolismo dos mesmos.

89 O teor de água do produto foi determinado pelo método padrão da estufa, a 105  
90  $\pm 3$  °C, por 24 h, em três repetições (BRASIL, 2009). Para secagem em camada de  
91 espuma de polpa de murici, foi utilizado um produto com características espumantes, o  
92 Emustab (produto à base de monoglicerídeos destilados, monoestearato de sorbitana e  
93 polisorbato 60) Foi adicionada à massa da polpa de murici foram de porcentagens em  
94 peso de 5 %. Posterior a isso, todas as quantidades foram misturadas em batedeira em  
95 tempo de 15 minutos, formando assim uma espuma da polpa de murici.

96 As formulações da polpa + emulsificante foram dispostas em bandejas de inox  
97 de formato circular (raio 150 mm e altura 5 mm) e colocadas em estufa com convecção

Anais 1º Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças (CD ROM), Maio de 2015.

Evangelista, Z.R., Modesto, A.A., Melo, P.C. Devilla, I.A., 2015. Modelagem matemática das curvas de secagem da polpa de murici (*Byrsonima crassifolia*) pelo método de secagem em camada de espuma. In: **Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças**, 001. Anais... Aracaju-SE.

98 de ar forçada, nas temperaturas 60°C, 70°C e 80°C ± 1°C, e mantidas no equipamento  
99 até o momento em que a massa se tornou constante. A redução do conteúdo de água é  
100 determinada por pesagens do produto em balança digital (Homis, DS – 2000), com  
101 precisão de duas casas decimais, no início da secagem e, posteriormente, em intervalos  
102 de 1 hora até se atingir massa constante. O material seco foi removido das bandejas com  
103 auxílio de espátulas de plástico, apresentando granulometria fina, mas não homogênea.

104 Para o cálculo da razão de umidade (RU), durante as secagens nas diferentes  
105 temperaturas, utilizou-se a Equação 1:

$$RU = \frac{U - U_e}{U_i - U_e} \quad (1)$$

106 Em que: RU= razão de umidade, adimensional; U= teor de água médio no  
107 tempo t, % b.s.; Ue= teor de água de equilíbrio, % b.s.; e Ui= teor de água inicial, % b.s.

108 As magnitudes do coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>), do erro médio relativo (P)  
109 e do erro médio estimado (SE) foram utilizadas para verificar o grau de ajuste dos  
110 modelos, que foram calculados conforme as equações:

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|Y - \hat{Y}|}{Y} \quad (2)$$

$$SE = \sqrt{\left(\sum_{i=1}^n (Y - \hat{Y})^2\right) / GLM} \quad (3)$$

113 Em que: Y: valor observado experimentalmente;  $\hat{Y}$ : valor estimado pelo  
114 modelo; n: número de observações experimentais; GLM: graus de liberdade do modelo  
115 (número de observações menos o número de parâmetros do modelo).

116 Foram ajustados quatro modelos matemáticos (Tabela 1), aos dados  
117 experimentais de secagem da polpa de murici. Para o ajuste foi utilizada análise de  
118 regressão não linear, por meio do software STATISTICA 12.0.

## 119 **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

120 A umidade inicial do produto foi determinado pelo método padrão da estufa,  
121 onde foi de 22,9 %b.s. Na figura 1 demonstram o comportamento da curva de secagem  
122 em camada de espuma da polpa de murici com a adição de emulsificante nas  
123 concentrações de 5%, nas diferentes temperaturas. Observa-se a influência que a  
124 temperatura teve sobre os tempos das secagens.

125 Verificou-se que o tempo necessário para a secagem da polpa do murici em  
126 camada de espuma foi de 2,5 horas, 2,7 horas e 1,7 horas, para as temperaturas de 60°C,

Anais 1º Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças (CD ROM), Maio de 2015.

Evangelista, Z.R., Modesto, A.A., Melo, P.C. Devilla, I.A., 2015. Modelagem matemática das curvas de secagem da polpa de murici (*Byrsonima crassifolia*) pelo método de secagem em camada de espuma. In: **Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças**, 001. Anais... Aracaju-SE.

127 70°C e 80°C respectivamente. A temperatura de 80 °C influenciou diretamente no tempo  
128 de secagem do produto à 5% de emustab.

129 Nas Tabelas 2, 3 e 4, são mostrados os coeficientes de cada modelo matemático  
130 na modelagem das curvas de secagem da polpa de murici nas temperaturas de 60, 70 e  
131 80 °C.

132 Na Tabela 5, são apresentados os valores dos coeficientes de determinação, erros  
133 médios, relativo e estimado, para os quatro modelos ajustados. Dentre os modelos  
134 estudados os que apresentaram melhores coeficientes de determinação foram os de  
135 Logarítmico e Page, concordando com Pontes et al (2009) na secagem de pimenta de  
136 cheiro. Visto que, o modelo logarítmico apresentou para temperatura de 60 °C,  $R^2$   
137 =99,91, P=12,06, SE=0,01, para temperatura de 70 °C,  $R^2$ =99,97, P=13,41, SE=0,01 e  
138 para 80 °C,  $R^2$ =99,98, P=10,02, SE=0,01.

139 Verificou-se que os modelos de Page, Logarítmico e Tompsom podem satisfazer  
140 as necessidades e serem utilizados para representar o processo de secagem da  
141 formulação com excelente precisão, por apresentarem coeficientes de determinação ( $R^2$ )  
142 superiores a 0,98 e SE estimado inferiores a 0,04, acentuando o que Midilli et al. (2002)  
143 mostrou. Na Figura 2 são mostradas as curvas de secagem de polpa de murici  
144 experimentais e estimadas pelo modelo matemático Logarítmico em função do tempo  
145 para as temperaturas em estudo.

## 146 **CONCLUSÕES**

147 O modelo matemático que melhor se adaptou as condições de secagem foi o  
148 modelo logarítmico, apresentando valores de  $R^2$ = 99,91, 99,97 e 99,98, para as  
149 temperaturas de 60, 70 e 80°C respectivamente.

## 150 **AGRADECIMENTO**

151 Agradecemos ao apoio financeiro da Universidade Estadual de Goiás (UEG),  
152 pelo apoio através do programa de auxílio Eventos, e á Coordenação de  
153 Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro a  
154 pesquisa.

## 155 **REFERÊNCIAS**

156 ALVES, G. L.; FRANCO, M. R. B. Headspace gas chromatography–mass spectrometry  
157 of volatile compounds in murici (*Byrsonima crassifolia* L. Rich). **Journal of**  
158 **Chromatography A**, v. 985, n. 4, p. 297-301, 2003.

159

Evangelista, Z.R., Modesto, A.A., Melo, P.C. Devilla, I.A., 2015. Modelagem matemática das curvas de secagem da polpa de murici (*Byrsonima crassifolia*) pelo método de secagem em camada de espuma. In: **Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças**, 001. Anais... Aracaju-SE.

160 BRASIL, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento. Equipe Técnica de  
161 Sementes e Mudanças. **Regras para análises de sementes**. Brasília, DF, 398p.2009.

162  
163 BAG, S. K.; SRIVASTAV, P. P.; MISHRA, H. N. Optimization of process parameters  
164 for foaming of bael (*Aegle marmelos* L.) fruit pulp. **Food Bioprocess Technology**. v. 4,  
165 p.1450–1458, 2011.

166  
167 CHRISTENSEN, C.M.; KAUFMANN, H.H. Microflora. In: CHRISTENSEN, C.M.  
168 Storage of cereal grain and their products. St. Paul: American Association of Cereal  
169 Chemists, 1974. p.158-192.

170  
171 FURTADO, G. F.; SILVA, F. S.; PORTO, A. G.; SANTOS, P. Secagem de polpa de  
172 ceriguela pelo método de camada de espuma. **Revista Brasileira de Produtos**  
173 **Agroindustriais**, Campina Grande, v.12, n.1, p.9-14, 2010.

174  
175 EMATER. **Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural**. Rondônia, 2010.  
176 Disponível em: <<http://www.ematerrondonia.com.br/murici.htm>>. Acesso em: 01 de  
177 Dezembro de 2013.

178  
179 REGO, M. M. C.; ALBUQUERQUE, P. M. C.; RAMOS, M. C.; CARREIRA, L. M.  
180 Aspectos da Biologia de Nidificação de *Centris flavifrons* (Friese)(Hymenoptera:  
181 Apidae, Centridini), um dos Principais Polinizadores do Murici (*Byrsonima crassifolia*  
182 L. Kunth, Malpighiaceae), no Maranhão. **Revista Neotropical Entomology**, Londrina,  
183 v.10, n. 2. p. 579-587, 2006.

184  
185 PEREIRA, L. M.; CARMELLO-GUERREIRO, S. M.; HUBINGER, M. D.  
186 Microscopic features, mechanical and thermal properties of osmotically dehydrated  
187 guavas. **LWT-Food Science and Technology**. v.42, p.378-384, 2009.

188  
189 PONTES, S. F. O.; SANTOS, C. T.; BONOMO, R. C. F.; PONTES, L. V.; FONTAN,  
190 R. C. I. Determinação das curvas de secagem em camada delgada de pimenta de cheiro  
191 (*capsicum chinense*) a diferentes temperaturas. **Revista Brasileira de Produtos**  
192 **Agroindustriais**, Campina Grande, v.11, n.2, p.143-148, 2009.

193  
194 Midilli, A.; Kucuk, H.; Yapar, Z. A. New model for single-layer drying. *Drying*  
195 *Technology*, v.20, n.7, p.1503-1513, 2002.

196  
197 MOSQUERA, L. H.; MORAGA, G.; MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. Mechanical  
198 changes in freeze-dried strawberry powder as affected by water activity, glass transition  
199 and carbohydrate polymers addition. **Journal of Food Engineering**. v.97, 2010.

200  
201 OSÓRIO, C.; CARRIAZO, J. G.; BARBOSA, H. Thermal and structural study of guava  
202 (*Psidium guajava* L) powders obtained by two dehydration methods. **Química Nova**,  
203 v.34, n.4, p.636-40, 2011.

204  
205 **Tabela 1.** Modelos matemáticos utilizados para predizer o fenômeno de secagem de  
206 polpa de murici. (Mathematical models used to predict the pulp murici drying  
207 phenomenon.)

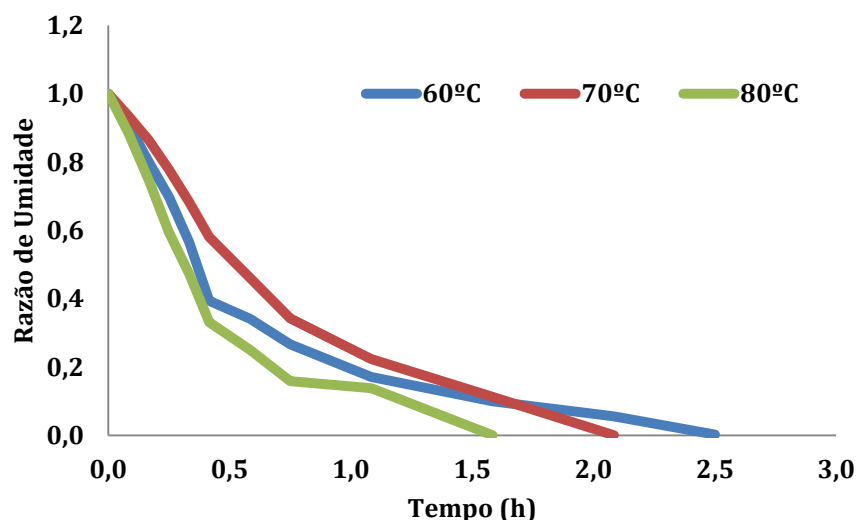
Anais 1º Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças (CD ROM), Maio de 2015.

Evangelista, Z.R., Modesto, A.A., Melo, P.C. Devilla, I.A., 2015. Modelagem matemática das curvas de secagem da polpa de murici (*Byrsonima crassifolia*) pelo método de secagem em camada de espuma. In: **Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças**, 001. Anais... Aracaju-SE.

Nome	Equação
Page	$RU = a \exp(-k t^n)$ (4)
Henderson e Pabis	$RU = a \exp(-k t)$ (5)
Logaritmo	$RU = a \exp(-k t) + c$ (6)
Thompson	$RU = \exp ( ( -a - (a^2 + 4 b t)^{0,5} ) / 2 b$ (7)

208  
209

Em que: RU – razão de umidade do produto, adimensional; t – tempo de secagem, h; k, k0, k1– coeficientes de secagem, h-1; a, b, c, n – constantes dos modelos.



210  
211  
212  
213  
214

**Figura 1.** Curvas experimentais da secagem em camada de espuma de polpa de murici para a temperatura de 60°C, 70°C e 80°C (Drying experimental curves murici pulp foam layer to a temperature of 60°C, 70°C and 80°C).

**Tabela 2.** Coeficiente dos modelos matemáticos ajustados da curva de secagem do murici (*Byrsonima crassifolia*), para a temperatura de 60 ° C (Coefficient set of mathematical models murici drying curve (*Byrsonima crassifolia*) to a temperature of 60 ° C).

Equação	Coeficientes				
	a	b	c	n	k
PAGE	-	-	-	1,48030	0,09680
HENDERSON E PABIS	1,51526	-	-	-	1,81226
LOGARÍTMICO	1,47539	-	-0,07214	-	0,17585
THOMPSON	1,71000	0,65200	-	-	-

Em que: RU – razão de umidade do produto, adimensional; t – tempo de secagem, h; k, k0, k1– coeficientes de secagem, h-1; a, b, c, n – constantes dos modelos.

**Tabela 3.** Coeficiente dos modelos matemáticos ajustados da curva de secagem do murici (*Byrsonima crassifolia*), para a temperatura de 70 ° C (Coefficient set of mathematical models murici drying curve (*Byrsonima crassifolia*) to a temperature of 70 ° C)

Equação	Coeficientes				
	a	b	c	n	k
PAGE	-	-	-	1,2921	0,09642
HENDERSON E PABIS	1,1122	-	-	-	0,1821
LOGARÍTMICO	1,3480	-	-0,861	-	0,8788

Anais 1º Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças (CD ROM), Maio de 2015.

Evangelista, Z.R., Modesto, A.A., Melo, P.C. Devilla, I.A., 2015. Modelagem matemática das curvas de secagem da polpa de murici (*Byrsonima crassifolia*) pelo método de secagem em camada de espuma. In: **Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças**, 001. Anais... Aracaju-SE.

THOMPSON 1,543 1,406 - - -

Em que: RU – razão de umidade do produto, adimensional; t – tempo de secagem, h; k, k0, k1– coeficientes de secagem, h-1; a, b, c, n – constantes dos modelos.

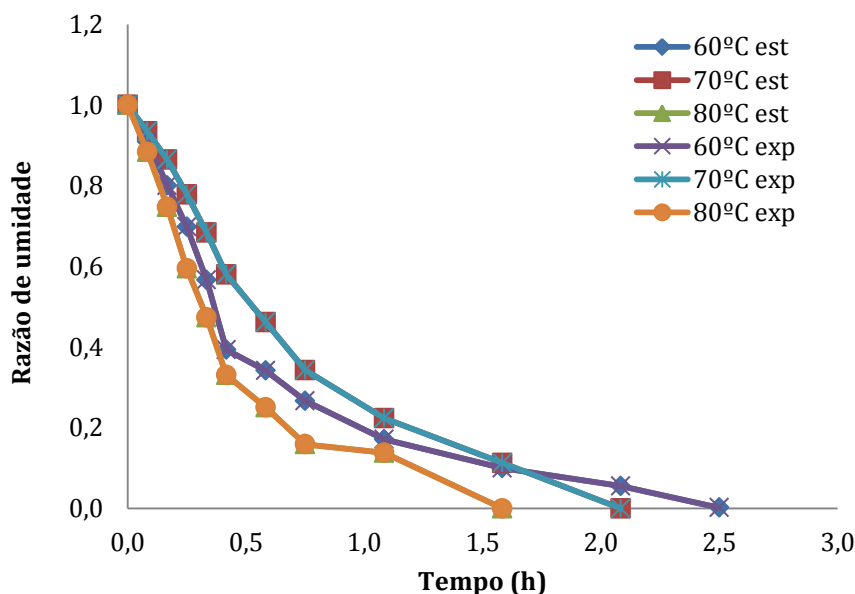
**Tabela 4.** Coeficiente dos modelos matemáticos ajustados da curva de secagem do murici (*Byrsonima crassifolia*), para a temperatura de 80 °C (Coefficient set of mathematical models murici drying curve (*Byrsonima crassifolia*) to a temperature of 80 ° C).

Equação	Coeficientes				
	a	b	c	n	k
PAGE	-	-	-	0,625	0,1609
HENDERSON E PABIS	1,544	-	-	-	3,8672
LOGARÍTMICO	0,7386	-	0,2235	-	0,1051
THOMPSON	-1,0363	0,4303	-	-	-

Em que: RU – razão de umidade do produto, adimensional; t – tempo de secagem, h; k, k0, k1– coeficientes de secagem, h-1; a, b, c, n – constantes dos modelos.

**Tabela 5.** Coeficientes de determinação (R<sup>2</sup>%), erros médio relativo (P%), estimado (SE, decimal) para os quatro modelos analisados, para a secagem da polpa de murici nas temperaturas de 60, 70 e 80 °C (The coefficients of determination (R<sup>2</sup>%), average relative error (P%), estimated (SE decimal) for the four models examined to murici pulp drying at temperatures of 60, 70 and 80 ° C).

Equação	60 °C			70 °C			80 °C		
	R <sup>2</sup>	P	SE	R <sup>2</sup>	P	SE	R <sup>2</sup>	P	SE
4	99,25	22,03	0,02	99,48	7,94	0,03	99,44	32,45	0,03
5	97,87	52,97	0,04	97,89	45,03	0,04	98,85	32,98	0,02
6	99,91	12,01	0,01	99,97	13,41	0,01	99,98	10,02	0,01
7	98,89	20,44	0,02	99,88	4,54	0,02	99,85	12,45	0,01



215 **Figura 2.** Curvas de secagem de polpa de murici experimentais e estimadas pelo  
 216 modelo matemático Logarítmico (Curves drying of the pulp murici of experimental and  
 217 estimated by the mathematical model according logarithmic).

Anais 1º Congresso Brasileiro de Processamento mínimo e Pós-colheita de frutas, flores e hortaliças (CD ROM), Maio de 2015.