

UTILIZAÇÃO DE REDES NEURAIS PARA PREDIZER A CINÉTICA DE SECAGEM DE CAGAITA

I.H.M.L.VICENTE¹, L.T. SILVA¹, A.C.B. SILVA², B.S. NASCIMENTO¹

¹ Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciência dos Alimentos

² Universidade Federal de Lavras, Departamento de Engenharia

E-mail para contato: ianamatos@yahoo.com.br

RESUMO – A cagaita é um fruto característico do Cerrado muito consumido in natura pela população, mas também em preparos culinários, como em geléias e sorvetes. Considerando sua alta perecibilidade, a secagem é uma operação unitária que a retirada da água do produto, tornando-o menos perecível, facilitando uso da polpa como matéria-prima. Objetivou-se neste trabalho determinar a cinética de secagem da polpa de cagaita utilizando modelos matemáticos e redes neurais. O experimento foi realizado em estufa de convecção forçada com temperaturas de secagem de 40, 50, 60, 70 e 80 °C. Os dados obtidos foram manipulados no software Statistica 7.0 e MATLAB. A taxa de secagem foi diretamente proporcional à temperatura, obtendo maiores taxas de secagem com temperaturas mais elevadas. O modelo que apresentou os melhores resultados foi o de Page, com coeficiente de determinação e variância explicada maiores que 99% e soma dos quadrados dos resíduos (SQR) menor que 2%. A modelagem baseada na rede neural forneceu bons resultados, podendo ser usada para simular os dados de cinética de secagem de cagaita de forma satisfatória.

1. INTRODUÇÃO

A cagaita (*Eugenia dysenterica* DC) é um fruto pertencente a região do cerrado brasileiro sendo encontrado com maior facilidade nos Estados de Goiás, Minas Gerais e Bahia. É um fruto de sabor agridoce, ligeiramente ácido de coloração amarelo-laranja. (Cardoso et al., 2011). Em sua composição estão presentes proteínas, lipídios, hidratos de carbono e fibra dietética, além de vitaminas A e C e compostos fenólicos (Roesler et al., 2007).

As características desse fruto permitem que o seu consumo seja realizado na forma *in natura*, bem como em preparos culinários, na fabricação de geléias, licores, refrigerantes, sucos e sorvetes (Martinotto et al., 2008). Entretanto, devido a sua alta perecibilidade e indisponibilidade no período entre safras, surge a necessidade de conhecimento a cerca do prolongamento da vida útil. Baseado nisto, a secagem mostra-se como uma boa opção na conservação, pois reduz a atividade de água, responsável pelas principais causas de deterioração dos alimentos.

Em linhas gerais a secagem é um fenômeno complexo que envolve simultaneamente transferência de calor e massa. O estudo desse processo fornece informações relativas ao comportamento dos fenômenos via cinética de secagem que são fundamentais para o projeto, operação e simulação de secadores (Corrêa et al., 2003).

Muitos trabalhos que avaliam a cinética de secagem de frutos do cerrado são encontrados na literatura, dentre eles tem-se o buriti (Anjos e Silva, 2015), o pequi e o araticum (Couto 2015), cajá (Gouveia et al. 2013). Nestes estudos a avaliação da cinética de secagem objetivava obter descrições matemáticas do fenômeno a partir de modelos matemáticos empíricos, semi-empíricos e/ou teóricos.

Outra ferramenta que vem sendo muito utilizada para a previsão da cinética de secagem são as Redes Neurais Artificiais (RNA). RNAs são modelos computacionais que simulam a redes compostas por neurônios, que a partir do aprendizado (treinamento) podem correlacionar bancos de dados entre si. Este recurso é capaz de representar o comportamento da cinética de secagem para uma ampla faixa de operação e não apenas para uma condição única, como ocorre nas equações empíricas e semi-empíricas (Costa, 2013).

Diante do exposto, o objetivo deste trabalho foi avaliar a cinética de secagem da cagaita (*Eugenia dysenterica* DC) em um secador de convecção forçada em diferentes condições operacionais. Aliado a isto obter a representação das curvas de secagem utilizando modelos matemáticos encontrados na literatura e via Redes Neurais Artificiais.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos experimentos foi utilizado polpa de cagaita sem qualquer adição de água ou outro aditivo, adquirida pela empresa Sítio do Bello. O experimento foi iniciado com a polpa na temperatura ambiente de 25°C. Como suporte para as amostras foram utilizadas placas de Petri de 9,3 cm de diâmetro contendo 15g de polpa. Os experimentos foram conduzidos em secador de convecção forçada em cinco diferentes temperaturas, sendo: 40, 50, 60, 70 e 80°C. As medidas de massa foram realizadas em balança semi-analítica nos intervalos de tempo pré-determinados até massa constante. Sendo o último ponto considerado para a medida da umidade de equilíbrio do produto a qual foi obtida pelo método gravimétrico em estufa a 105±3°C.

A partir dos dados experimentais foram determinados os adimensionais de umidade (MR), conforme equação 1:

$$MR = \frac{M - M_{eq}}{M_o - M_{eq}} \quad (1)$$

onde M é a umidade em um determinado tempo de secagem, M_{eq} a umidade de equilíbrio e M_o a umidade inicial.

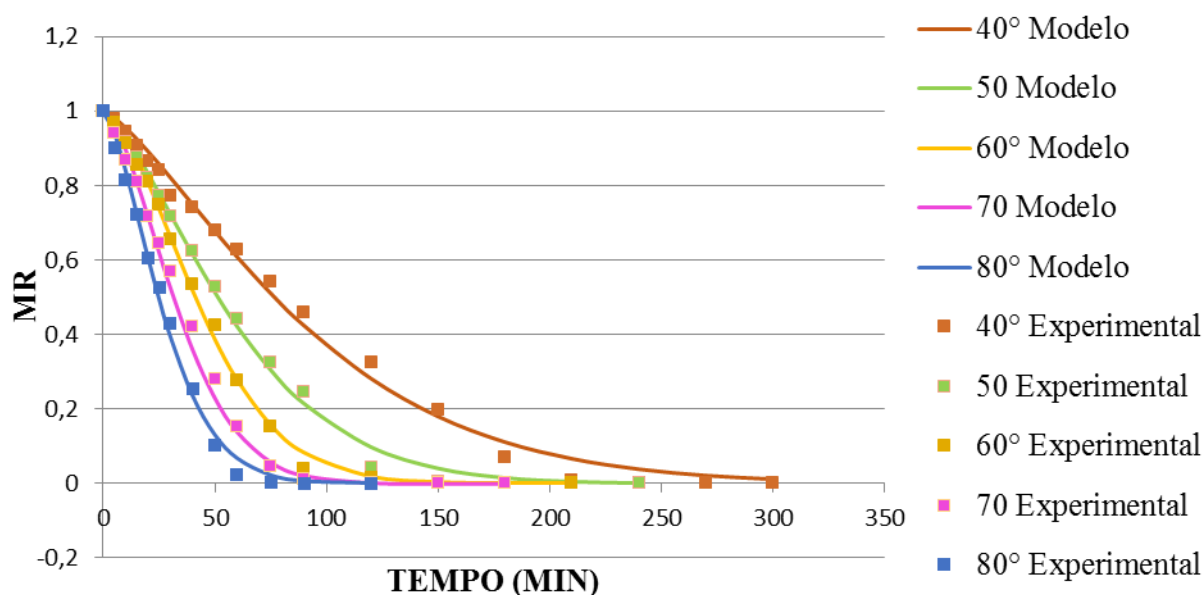
Para obter a representação da cinética secagem foram utilizadas equações propostas por Lewis (1921), Page (1949), Henderson e Pabis (1961) Chandra e Singh (1995). Os ajustes dos modelos aos dados experimentais foram realizados mediante a regressão não linear utilizando o programa Statistic 7 com os parâmetros estimados pelo método dos mínimos quadrados. O coeficiente de determinação (R^2), assim como a soma dos quadrados dos resíduos (SQR) e variância explicada (VE) foram utilizados como critério na avaliação do melhor ajuste.

Para a representação da cinética de secagem via RNAs foi construída uma rede neural através do *toolbox* existente no MatLab a qual foi do tipo *feed forward* contendo 2 neurônios na camada de entrada, 5 neurônios na camada intermediária. Como algoritmo de treinamento utilizou-se o *back propagation* o qual atualiza os pesos entre os neurônios adjacentes de acordo com o critério de convergência de Levenberg-Marquart. Para escolha do número de neurônios da camada intermediária utilizou-se o método de tentativa e erro, conforme recomendado por Himmelblau (2008). O ponto de partida para o treinamento foram dois neurônios e, para cada teste adicionava-se um neurônio a mais até que a rede apresentasse um desempenho satisfatório na estimativa do parâmetro de saída.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 1 encontra-se reunidos os dados experimentais para MR em função do tempo de secagem obtidos para as diferentes condições operacionais empregadas durante o processo de secagem.

Figura 1 – MR em função do tempo para diferentes condições de secagem



Observa-se através da Figura 1, que com o aumento da temperatura maiores taxas de secagem foram alcançadas e menores tempos para atingir o equilíbrio. A partir desses dados experimentais buscou-se a melhor representação da cinética de secagem através dos modelos matemáticos mencionados nos materiais e métodos e descritos na Tabela 1, sendo k , n , a e C os coeficientes dos modelos utilizados.

Tabela 1 – Parâmetros dos modelos matemáticos de secagem

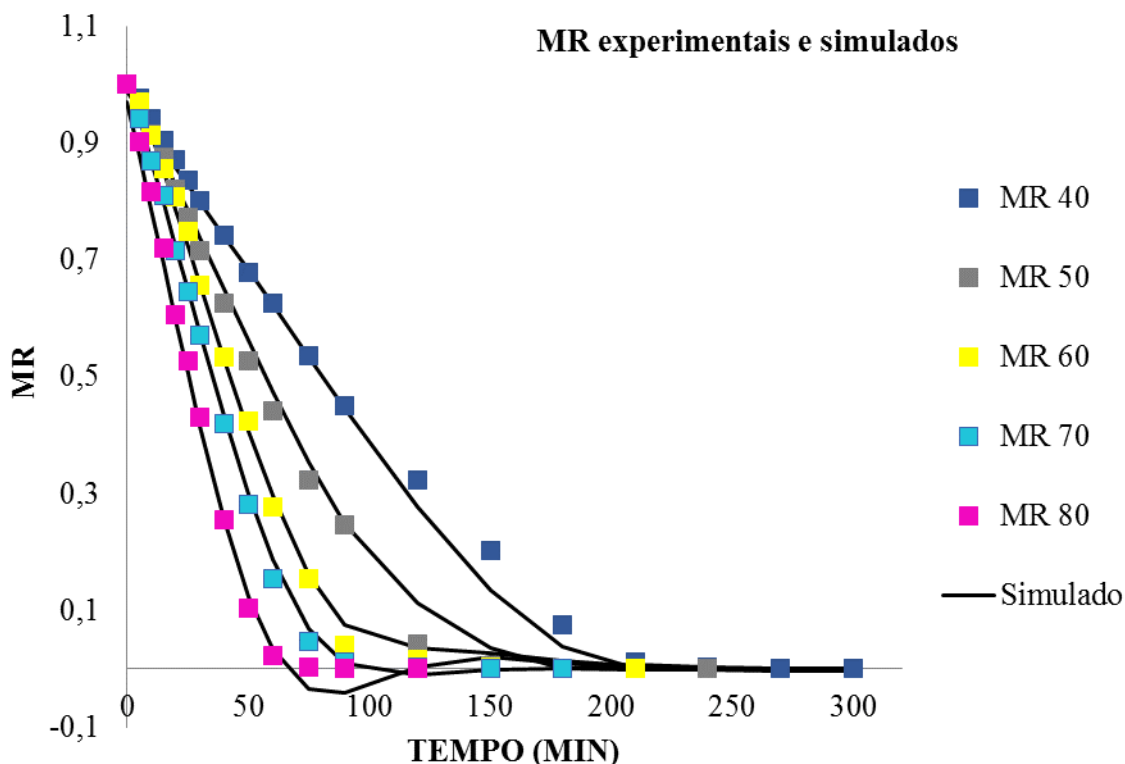
Modelo	T	R ² (%)	VE (%)	SQR (%)	k	n	a	C
Lewis $MR = \exp(-kt)$	40	97	97	6,97	0,0096	-	-	-
	50	97	97	6,95	0,0143	-	-	-
	60	95	95	10,6	0,0182	-	-	-
	70	95	95	9,77	0,0244	-	-	-
	80	96	96	7,15	0,0313	-	-	-
Page $MR = \exp(-kt^n)$	40	99	99	1,27	0,0019	1,354	-	-
	50	99	99	0,76	0,0025	1,429	-	-
	60	99	99	0,45	0,0015	1,655	-	-
	70	99	99	0,76	0,0024	1,637	-	-
	80	99	99	0,79	0,0047	1,550	-	-
Henderson & Pabis $MR = a.\exp(-kt)$	40	98	98	5,04	0,0105	-	1,067	-
	50	98	98	4,7	0,0160	-	1,083	-
	60	97	97	7,00	0,0208	-	1,114	-
	70	96	96	7,15	0,0274	-	1,105	-
	80	97	97	5,56	0,0344	-	1,088	-
Chandra & Singh $MR = a.\exp(-kt) + C$	50	98	98	2,61	0,0128	-	1,173	0,113
	60	98	98	5,21	0,0175	-	1,187	0,091
	70	97	97	5,50	0,0234	-	1,171	0,082
	80	98	98	3,43	0,0272	-	1,187	0,122

Conforme mostra a Tabela 1 para a representação da cinética de secagem bons ajustes foram obtidos. Este fato é constatado através dos valores cálculos de R² e SQR, sendo estes variando entre 96 e 99%, e 0,32 e 10,6 %, respectivamente.

No entanto, a equação proposta por Page mostrou, em todas as temperaturas, coeficiente de determinação e variância explicada maiores que 99% e soma dos quadrados dos resíduos (SQR) menor que 2%. Sendo esta apontada como o melhor modelo para representar os dados experimentais, os quais podem ser visualizados na Figura 1.

Para a representação da cinética de secagem via redes neurais os dados são mostrados na Figura 2.

Figura 2 – MR experimentais e simulados pela rede neural



Pode-se observar a partir da Figura 2 que a rede neural simulada obteve bons ajustes comparados aos dados experimentais. Em comparação com os modelos empíricos, a rede mostra-se mais vantajosa, pois não simula apenas em uma condição particular e sim uma faixa de operação.

4. CONCLUSÃO

De acordo com os resultados aqui apresentados, pode-se concluir que a temperatura tem grande influência no processo de secagem, conforme era esperado. Para a representação da cinética de secagem todos os modelos testados apresentaram resultados satisfatórios, sendo a equação de Page apontada como a mais representativa.

A modelagem baseada na utilização de redes neurais forneceu bons resultados, utilizando 5 neurônios na camada intermediária, podendo, portanto, ser usada para simular os dados de cinética de secagem de forma satisfatória para cagaita e se melhor trabalhada prever a cinética de secagem de outros frutos do cerrado.

6. REFERÊNCIAS

ANJOS, E. V.; SILVA, J. A. Cinética de secagem e modelagem matemática do fruto de buriti (*Mauritia flexuosa*). XI Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Unicamp. Campinas. 2015

- CARDOSO, L. D. M.; MARTINO, H. S. D.; MOREIRA, A. V. B.; RIBEIRO, S. M. R.; PINHEIRO-SANT'ANA, H. M. Cagaita (*Eugenia dysenterica* DC.) of the Cerrado of Minas Gerais, Brazil: physical and chemical characterization, carotenoids and vitamins. *Food Research International*, Barking, v. 44, p. 2151-2154, 2011.
- CHANDRA, P. K.; SINGH, R. P. Applied numerical methods for food and agricultural engineers. Boca Raton, FL: CRC Press, 1995. p. 163-167.
- CORRÊA, P. C.; ARAÚJO, E. F.; AFONSO JÚNIOR, P. C. Determinação dos parâmetros de secagem em camada delgada de sementes de milho doce (*Zea mays* L.). *Revista Brasileira de Milho e Sorgo*, v.2, p.110-119, 2003.
- COSTA, A.B.S.; NASCIMENTO, B.S.; FREIRE, F.B.; FREIRE, J.T. Modelo híbrido neural aplicado para a modelagem do processo de secagem de pastas em leito vibrofluidizado. XXXVI Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, Maceió. 2013
- COUTO, M. L. B. G. Estudo do processo de secagem de frutos do cerrado em secador de badejas com circulação forçada de ar. Trabalho de Conclusão de Curso. UNB. Brasília. 67p. 2015
- GOUVEIA, J. P. G. ; ALMEIDA, F. A. C.; FARIAS, E. S.; SILVA, M.; CHAVES, M. C. V.; REIS, L. S. Determinação das curvas de secagem em frutos de cajá. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Especial, n. 1, p 65-68, 2013.
- HENDERSON, S. M.; PABIS, S. Grain drying theory I: temperature effect on drying coefficient. *Journal of Agricultural Engineering Research*, v. 6, n. 3, p. 169-174, 1961.
- LEWIS, W. K. The rate of drying solids materials. In: THE SIMPOSIUM ON DRYING, The *Journal of I. & . Eng. Chem.* v. 13, n. 5, p. 427-432, 1921.
- MARTINOTTO, C., PAIVA, R., SOARES, F. P., SANTOS, B. R., & NOGUEIRA, R. C. (2008). Cagaiteira (*Eugenia dysenterica* DC.), Vol. 78, Lavras: UFLA
- PAGE, C. Factors influencing the maximum rate of drying shelled corn in layers. M.S. Thesis, Purdue University, 1949.
- ROESLER, R.,MALTA, L.G., CARRASCO, L.C., HOLANDA, L.B., SOUZA, C.A.A.S., & PASTORE, G.M., (2007). Atividade antioxidante de frutas do cerrado. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*.

7. AGRADECIMENTO

À FAPEMIG pelo apoio financeiro.