



X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica

“Influência da pesquisa em Engenharia Química no desenvolvimento tecnológico e industrial brasileiro”

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Universidade Severino Sombra
Vassouras – RJ – Brasil

SECAGEM E EXTRAÇÃO DE PECTINA DO ALBEDO DA CASCA DE LARANJA

STHEL^{*1}, M. S.; MUNIZ², E. P.; PROVETI³, J. R. C.; PORTO⁴, P. S. S.

¹ Aluna de Iniciação Científica/UFES ^{2,3} Professor do DCN/UFES ⁴ Professor do DETEC/UFES
Departamento de Ciências Naturais e Departamento de Engenharias e Tecnologia -
Universidade Federal do Espírito Santo *campus* São Mateus
Endereço – CEUNES, BR 101 Norte, km 60, São Mateus, CEP. 29.932-540, ES,
email: pssporto@gmail.com

RESUMO – A pectina, que é interesse para diversas áreas e aplicações, é um polissacarídeo presente no albedo da casca de laranja. O albedo é um dos constituintes do resíduo sólido das indústrias processadoras de suco. Visando agregar valor e minimizar impacto ambiental, neste trabalho foram investigados os efeitos da temperatura e da velocidade do ar na cinética de secagem do albedo da casca de laranja. A finalidade era obter um produto desidratado para ser utilizado na extração de pectina. Para tanto, utilizou-se um secador convectivo, com circulação de ar forçada, empregando-se três temperaturas (50, 60 e 70°C) e três velocidades do ar (1, 2 e 3 m/s). Foram ajustados aos dados experimentais modelos de secagem da literatura mediante regressão não linear. Os resultados mostraram que o efeito da velocidade do ar na secagem foi consideravelmente menor em relação à temperatura. Dentre os modelos, o de Page foi o que melhor predisse o comportamento dos dados. Para extrair a pectina, utilizou-se uma solução ácida aquecida a 90±1°C sob agitação. Dentre as condições investigadas, a pectina extraída do albedo seco a 70°C e 2 m/s apresentou rendimento satisfatório. Evidenciou-se, portanto, a possibilidade do aproveitamento de resíduos das indústrias de suco desidratados para obtenção de pectina.

Palavras chave: Processos de separação; resíduos cítricos; ajuste de modelos.

INTRODUÇÃO

O Brasil se destaca como um dos maiores produtores mundiais de laranja, sendo esta consumida tanto *in natura* quanto na forma de sucos e doces. Segundo Fiorentin *et al.* (2010), o processamento industrial da laranja se destaca por ser economicamente importante. Porém, as indústrias apresentam certa dificuldade no que se refere ao reaproveitamento do bagaço desta fruta, que é

um dos principais componentes do resíduo sólido gerado. Entende-se por bagaço o conjunto que envolve a casca, o albedo, os caroços e filamentos de membranas, e sua composição química contém açúcares, fibras, carboidratos solúveis e pectina (Liu *et al.*, 2006). Salienta-se também que o bagaço, por apresentar um elevado conteúdo de umidade e carboidratos, favorece a proliferação de microrganismos, que juntamente com a fermentação, representa um problema

econômico e ambiental quanto à necessidade de tratamento.

Para reduzir a atividade biológica de microrganismos indesejáveis e preservar o resíduo das indústrias de sucos, um modo simples é minimizar o conteúdo de umidade através da secagem convectiva do material (Fiorentin *et al.*, 2010). Este processo não é simples, devido à transferência simultânea de calor e massa e, também, por apresentar um custo elevado, tornando-se muitas vezes economicamente inviável (Ítavo *et al.*, 2000). Por isso, a grande motivação deste trabalho é investigar a secagem e obter uma condição operacional favorável. Ademais, a pectina presente no bagaço é um produto de interesse no setor alimentício por ser muito utilizada como espessante, texturizante, emulsificante ou estabilizante (Bowers, 1992).

Os objetivos do presente trabalho são: analisar a cinética de secagem do albedo da casca de laranja, em camada delgada, utilizando um secador convectivo sob diferentes condições de ar de secagem (temperatura e velocidade); ajustar modelos aos dados experimentais visando encontrar o que melhor represente a razão de umidade em função do tempo e extrair a pectina presente no bagaço seco.

MATERIAIS E MÉTODOS

Matéria-Prima

Albedo extraído de cascas de laranjas adquiridas no comércio de São Mateus/ES.

Metodologia Experimental

Secagem: Inicialmente, as laranjas foram lavadas e descascadas, cuidadosamente, separando o albedo (parte branca) da casca. Este material foi transferido para um *blander* e triturado. Na sequência, as variáveis velocidade e temperatura do ar foram ajustadas e estabilizadas antes de iniciar a operação. Como o sistema é manual, houve necessidade de medir, com frequência, a velocidade do ar de secagem mediante auxílio de um anemômetro digital com precisão de 0,1m/s. As temperaturas de bulbo seco próxima da bandeja e da saída do secador foram, também, medidas utilizando-se dois termômetros de mercúrio com precisão de 0,05°C.

As amostras foram colocadas em bandejas e inseridas no secador sobre uma placa de madeira. Os valores das massas das amostras foram mantidos constantes, equivalentes à carga de 0,67 kg/m². A cinética de secagem foi acompanhada através dos registros da variação da perda de massa em função do tempo. Estes registros ocorreram através de medidas periódicas de 15 em 15 minutos durante as duas primeiras horas de exposição e, a partir daí, intervalos de uma hora até serem completadas oito horas de secagem.

Os experimentos foram realizados nas seguintes temperaturas: 50, 60 e 70°C. Para cada temperatura foram realizados experimentos com velocidades do ar de secagem de 1, 2 e 3 m/s.

Em paralelo, foram realizadas análises para determinar a umidade de equilíbrio. Para isto, amostras foram inseridas em estufa a 105°C, durante 24 horas, de acordo com as normas AOAC (2000).

Os dados experimentais foram estimados como razão de umidade (MR), conforme mostra a Equação 1. MR é definida, teoricamente, como a diferença entre a umidade ao longo tempo e a umidade de equilíbrio em relação à diferença entre a umidade inicial e a umidade de equilíbrio (Geankoplis, 2003).

$$MR = \frac{X_t - X_e}{X_0 - X_e} \quad (1)$$

Entretanto, de acordo com Kouchakzadeh e Shafeei (2010), a Equação 1 pode ser simplificada. Como o valor da umidade de equilíbrio dinâmica (X_e) é muito pequeno se comparado com a umidade em determinado tempo (X_t) e a umidade inicial (X_0), torna-se possível utilizar a Equação 2:

$$MR = \frac{X_t}{X_0} \quad (2)$$

A Tabela 1 mostra os modelos matemáticos selecionados na literatura para serem ajustados aos dados experimentais. Os ajustes foram realizados através de regressões

não lineares utilizando-se o software computacional *Statistica* versão *trial*.

Tabela 1 - Modelos matemáticos.

Modelo	Equação
Lewis	$\frac{X_t}{X_0} = \exp(-k t)$ (3)
Page	$\frac{X_t}{X_0} = \exp(-k t^n)$ (4)
Henderson e Pabis	$\frac{X_t}{X_0} = a \exp(-k t)$ (5)

O coeficiente de regressão (R^2) foi o critério primário para seleção do melhor modelo. Além disso, o desvio relativo médio percentual (EMD - Equação 6), a raiz quadrática do erro (RSME - Equação 7) e o qui-quadrado reduzido (χ^2 - Equação 8) foram empregados para identificar o modelo que apresentasse o melhor ajuste. As equações citadas encontram-se listadas abaixo:

$$EMD = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|MR_{pre,i} - MR_{exp,i}|}{MR_{exp,i}} \quad (6)$$

$$RMSE = \left[\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (|MR_{pre,i} - MR_{exp,i}|)^2 \right]^{1/2} \quad (7)$$

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^N \frac{(MR_{pre,i} - MR_{exp,i})^2}{N - z} \quad (8)$$

Extração da Pectina: Para extrair a pectina, 1g de albedo desidratado foi transferido para um béquer. Adicionou-se à amostra uma solução contendo 1,5 mL de ácido sulfúrico e 20 mL de água destilada. Em seguida, a suspensão (partículas secas de albedo e solução ácida) foi aquecida a $90 \pm 1^\circ\text{C}$ por um período de 15 minutos sob agitação lenta e contínua. Após este tempo, deixou-se decantar lentamente à temperatura de sala. Em seguida, a suspensão foi filtrada ainda morna utilizando-se um tecido fino de malhas duplas. O volume do filtrado foi medido em uma proveta e adicionou-se álcool 70° GL o dobro de seu volume. Observou-se imediatamente a formação de um precipitado gelatinoso. Este foi deixado em repouso por 120 minutos para que houvesse a floculação. Então, a pectina em gel foi seca em estufa a $50\text{-}55^\circ\text{C}$, até massa

constante, obtendo-se assim, a massa seca. O rendimento foi calculado de acordo com a Equação 9.

$$\eta = \frac{\text{massa de pectina seca}}{\text{massa de albedo desidratado}} \quad (9)$$

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As Figuras 1, 2 e 3 mostram os adimensionais de umidade em função do tempo sob diferentes condições do ar de secagem.

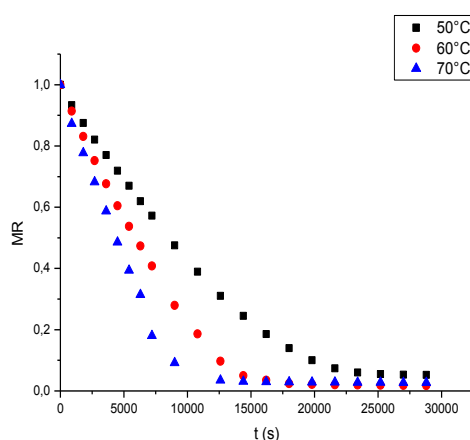


Figura 1 - MR versus tempo ($v = 1 \text{ m/s}$ a $T = 50, 60 \text{ e } 70^\circ\text{C}$).

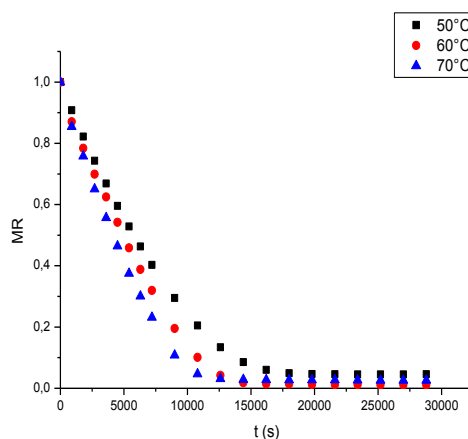


Figura 2 - MR versus tempo ($v = 2 \text{ m/s}$ a $T = 50, 60 \text{ e } 70^\circ\text{C}$).

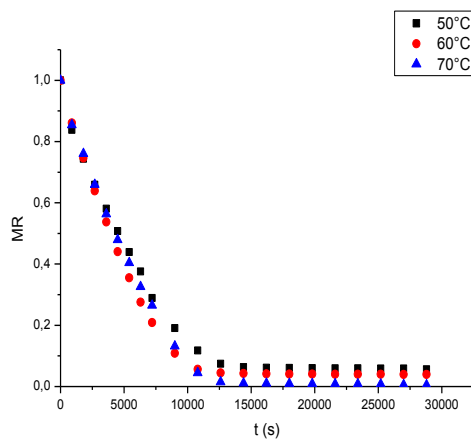


Figura 3 - MR versus tempo ($v = 3$ m/s a $T = 50, 60$ e 70°C).

Verifica-se comportamento constante na operação a partir de três horas e meia de exposição – para velocidade de 3 m/s. A temperatura do ar de secagem apresenta forte efeito no aumento da velocidade de secagem, corroborando com as observações de Fiorentin *et al* (2010). O aumento da velocidade do ar diminui o efeito da temperatura na fase inicial da secagem, além de proporcionar um ligeiro aumento no adimensional de umidade, o que é evidenciado pela aproximação das curvas a diferentes temperaturas.

As Tabelas 2, 3 e 4 mostram os parâmetros estatísticos para avaliação do ajuste de cada modelo aos dados experimentais obtidos para as diferentes condições operacionais. Verifica-se que conforme valores de EMD, RMSE e χ^2 , o modelo de Page foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais.

Tabela 2 - Análise da qualidade do ajuste do modelo de Lewis.

Modelo	T ($^\circ\text{C}$)	v (m/s)	R^2	EMD	RMSE	χ^2
Lewis	50	1	0,9859	17,6718	0,0509	0,0027
		2	0,9942	26,4172	0,0348	0,0013
		3	0,9960	24,5779	0,0270	0,0008
	60	1	0,9890	69,3213	0,0500	0,0026
		2	0,9908	182,5991	0,0638	0,0043
		3	0,9864	48,5825	0,0473	0,0024
	70	1	0,9900	46,2212	0,0458	0,0022
		2	0,9929	48,8289	0,0371	0,0015
		3	0,9928	123,3936	0,0412	0,0018

Tabela 3 - Análise da qualidade do ajuste do modelo de Page.

Modelo	T ($^\circ\text{C}$)	v (m/s)	R^2	EMD	RMSE	χ^2
Page	50	1	0,9979	17,06964	0,0323	0,0012
		2	0,9982	22,1164	0,0196	0,0004
		3	0,9960	29,8243	0,0325	0,0012
	60	1	0,9984	27,4169	0,0193	0,0004
		2	0,9977	41,4769	0,0224	0,0006
		3	0,9865	50,2254	0,0503	0,0028
	70	1	0,9966	43,4217	0,0267	0,0008
		2	0,9974	41,4468	0,0224	0,0006
		3	0,9975	60,1190	0,0232	0,0006

Tabela 4 - Análise da qualidade do ajuste do modelo de Henderson e Pabis.

Modelo	T (°C)	v (m/s)	R ²	EMD	RMSE	χ^2
Henderson e Pabis	50	1	0,9894	13,1714	0,0454	0,0023
		2	0,9955	24,2392	0,0305	0,0010
		3	0,9960	30,0909	0,0322	0,0012
	60	1	0,9917	55,0043	0,0434	0,0021
		2	0,9922	82,2821	0,0410	0,0019
		3	0,9865	47,9576	0,0464	0,0024
	70	1	0,9916	43,6817	0,0419	0,0020
		2	0,9939	46,3412	0,0344	0,0013
		3	0,9937	108,3154	0,0383	0,0016

Na Tabela 5 são apresentados os dados referentes ao ajuste do modelo de Page para as condições investigadas. Verifica-se que o parâmetro k da equação aumenta com a elevação da temperatura, conforme constatado por Sousa *et al.* (2008) e Silva *et al.* (2004).

Este modelo tem se ajustado satisfatoriamente aos dados de vários produtos agrícolas secos em camada delgada, como malte (Santos; Couto e Andrade, 2001), canola (Christ, 1996) e soja (Soares, 1986).

Tabela 5 - Constantes resultantes do ajuste ao modelo de Page.

T (°C)	v (m/s)	k	N
50	1	0,000004	1,3522
	2	0,000021	1,2075
	3	0,000184	0,9837
60	1	0,000006	1,3534
	2	0,000011	1,3119
	3	0,000240	0,9601
70	1	0,000008	1,3692
	2	0,000020	1,2633
	3	0,000019	1,2599

A Figura 4 mostra o comportamento similar entre os valores experimentais e preditos pelo modelo de Page para $v = 1\text{m/s}$ a $T = 60^\circ\text{C}$. Esta similaridade também foi observada para as demais condições investigadas (temperatura e velocidade), conforme dados estatísticos apresentado na Tabela 3.

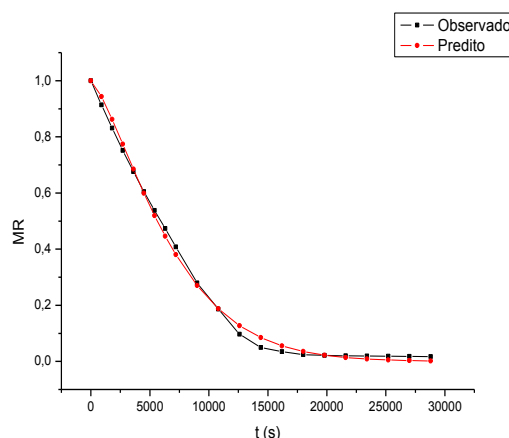


Figura 4 - Análise do ajuste do modelo de Page aos dados do MR versus tempo ($v = 1\text{m/s}$ a $T = 60^\circ\text{C}$).

Em relação à extração, o maior rendimento de pectina estimado foi de 25,2% para amostra desidratada a 70°C e 2 m/s. Este valor corrobora com os resultados de Liu *et al.* (2006), e é considerado um rendimento satisfatório.

CONCLUSÕES

A temperatura é o parâmetro que apresenta maior influência na cinética de secagem, enquanto que a velocidade do ar é menos influente; todavia não deve ser desprezada. Dentre os modelos ajustados, o de Page foi o que melhor predisse os valores dos dados experimentais. Quanto à extração da pectina, o rendimento obtido foi de 25,2% para o albedo seco a 70°C a 2 m/s.

NOMENCLATURA

a – parâmetro do modelo de Handerson e Pabis
EMD - desvio relativo médio percentual
n, k – parâmetros do modelo de Page
MR – Razão de Umidade
MR_{exp,i} – Razão de umidade observada no iésimo experimento
MR_{pre,i} – Razão de umidade predita no iésimo experimento
N - número de observações
R² - coeficiente de regressão
RMSE - raiz quadrática do erro
t - tempo [s]
 χ^2 - qui-quadrado reduzido
X_e - umidade de equilíbrio dinâmica
X₀ - umidade inicial
X_t - umidade em determinado tempo
z - número de constantes do modelo

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- A. O. A. C. 2000. Official Methods of Analysis. Association of Official Analytical Chemist. EUA.
- BOWERS, J. Food Theory and Applications. 2nd Edition. New York: Macmillan. Publishing Company, 11p, 1992.
- CHRIST, D. Curvas de equilíbrio higroscópico e de secagem da canola (*Bassica napus L. var. oleifera*) e efeito da temperatura e da umidade relativa do ar de secagem sobre a qualidade das sementes. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1996. 50p. (Dissertação de Mestrado).
- FIORENTIN, L. D.; MENON, B. T.; ALVES, J. A.; BARROS, S. T. D.; PEREIRA, N. C.; MÓDENES, A. N. Determinação da cinética e das isotermas de secagem do bagaço da laranja. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, v. 32, n. 2 p. 147-152, 2010.
- GEANKOPLIS, C. J. Transport Processes and Separation Process Principles (Includes Unit Operations). 4th ed., 2003.
- ÍTAVO, L. C. V.; SANTOS, G. T.; JOBIM, C. C.; VOLTOLINI, T. V.; BORTOLASSI, J. R.; FERREIRA, C. C. B. Aditivos na conservação do bagaço de laranja in natura na forma de silagem. Revista Brasileira de Zootecnia, v.29, n.5, p.1474-1484, 2000.
- LIU, Y.; SHI, J.; LANGRISH, T. A. G. Water-based extraction of pectin from flavedo and albedo of orange peels. Chemical Engineering Journal 120, p.203–209, 2006.
- SANTOS, I. J.; COUTO, S. M.; ANDRADE, T. Cinética de Secagem em Camada final do malte verde de cevada. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.3, n.1, p.53-59, 2001.
- SILVA, C. V.; BARBOSA, C. P. I.; PAULA, M. L.; COELHO, N. R. A. Obtenção e caracterização físico-química do pó de tomate. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimento, 19., 2004, Recife. Anais: Recife: SBCTA, 2004.
- SOARES, J. B. Curvas de secagem em camada fina e propriedades físicas de soja (Glicine max L.). Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1986. 70p. (Dissertação de Mestrado).
- SOUSA, M. B.; PEDROZA, J. P.; BELTRÃO, N. E. M.; SEVERINO, L. S. Cinética de Secagem da torta de Mamona. In: Congresso Brasileiro de Mamona, 3, 2008, Salvador. Energia e ricinoquímica: anais. Salvador: SEAGRI: Embrapa Algodão, 2008.