

ANÁLISE DA CINÉTICA DE SECAGEM DA FIBRA DO SISAL

Fellipe Farias Crispiniano ¹
Cynthia Sany França Xavier ²
Marcelo Maia de Almeida ³
Fernando Fernandes Viera ⁴

INTRODUÇÃO

A família Agavaceae possui distribuição predominantemente pantropical com cerca de 25 gêneros e 637 espécies, reunindo planta herbáceas, árvores e arbustos rizomatosos, com folhas alternas, espiraladas e dispostas em rosetas. Várias espécies dessa família se destacam pela importância econômica, dentre elas *Agave sisalana* Perrine ex Engelm, que é conhecida popularmente por sisal, que é de extrema importância para a produção de fibras (NETO *et al.*, 2012).

A secagem de matérias biodegradáveis, diminui a disponibilidade de água, no material, para evitar as reações de decomposição, aumentando assim a estabilidade, reduzindo o volume e a massa do produto (ARAÚJO *et al.*, 2017). A diminuição da quantidade de água do material, por meio da secagem, reduz a atividade biológica. Todos os microrganismos e enzimas como também os mecanismos metabólicos necessitam de água para suas atividades. Essa redução na umidade, reduz a velocidade das reações químicas e, conseqüentemente o desenvolvimento de microrganismos, o que faz com que o produto dure mais tempo (OLIVEIRA *et al.*, 2015).

Segundo Carvalho (2018), a secagem de produtos agrícolas pode ser considerada como um processo simultâneo de transferência de energia e massa entre o produto e o ar de secagem. Que consiste na remoção da água, em excesso, que está contida no interior do material por meio de evaporação, geralmente causada por convecção forçada de ar aquecido, de for a manter a qualidade do produto durante o armazenamento.

De acordo com Menezes (2013), a análise econômica do processo, visa determinar a melhor condição de secagem onde a amostra possa apresentar a menor umidade de equilíbrio em curto período de tempo para que possa ser armazenada. Os estudos relacionados aos sistemas de secagem têm como finalidade dimensionar, otimizar e viabilizar a sua aplicação comercial, podendo ser feita através de simulações matemáticas, em que para isso faz-se uso de modelos matemáticos que possam apresentar satisfatoriamente a perda de água durante o processo de secagem (ARAÚJO *et al.*, 2017).

A cinética de secagem relaciona a influência da temperatura, na mudança da quantidade, média, da umidade ao longo do tempo de secagem (NETO, 2013). Várias teorias foram desenvolvidas para descrever a evolução do processo de secagem de produtos agrícolas, na sua maioria, as relações empíricas e semi-empíricas têm-se mostrado como sendo a melhor opção para se prever esse processo. Os teoremas estão restritos as condições em que os dados experimentais foram obtidos (GRAEBIN, 2014).

¹ Mestrando do Curso de Ciências e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - PB, fellipetecinfo@gmail.com;

² Mestranda do Curso de Ciências e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - PB, cynthiasany@gmail.com;

³ Doutor pelo Curso de Eng. de Processos da Universidade Federal de Campina Grande - PB, marcello_maia2000@yahoo.com;

⁴ Professor orientador: Doutor, Universidade Federal da Paraíba - PB, fernando@uepb.edu.br.

Existem três tipos de modelos de secagem, esses são usados na modelagem dos dados experimentais de cinética de secagem de produtos agrícolas. Os modelos teóricos consideram apenas a resistência interna à transferência de calor e água entre o produto e o ar quente, os modelos semi-empíricos e empíricos, que consideram apenas a resistência externa à temperatura e umidade relativa do ar de secagem (GONELI, 2014).

Diante do exposto, objetivou-se no presente trabalho, analisar a cinética de secagem da fibra do sisal e ajustar os dados experimentais a modelos cinéticos de secagem nas temperaturas de 60 e 80°C.

METODOLOGIA

As análises foram desenvolvidas no Laboratório de Pesquisa em Ciências Ambientais (LAPECA), que pertence ao Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (DESA) localizado no Centro de Ciências e Tecnologia (CCT) da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Preparo do material

As fibras do sisal foram obtidas em uma cooperativa de sisal, localizado no município de Pocinhos – PB. As fibras do sisal foram cortadas em pequenos pedaços, entre 1 e 2 cm aproximadamente. Após o corte o material foi lavado, para que fossem removidas as impurezas, e deixado para secar em temperatura ambiente por 24 horas, para remover o excesso de água.

Determinação da umidade inicial

Primeiramente determinou-se a umidade inicial do sisal em estufa (Modelo TE – 393/2) a 105 ± 5 °C por um período de 24 horas.

Ensaio de secagem

Para se obter as constantes cinéticas de secagem, foram realizados experimentos de secagem em duas temperaturas (60 e 80 ± 2 °C), com o auxílio de uma estufa com recirculação de ar (modelo 400/ND) com fluxo de ar de $1,0 \text{ m.s}^{-1}$. Foram utilizadas bandejas de alumínio (dimensões: 42x27 cm), para a obtenção dos dados da cinética de secagem. A massa de sisal foi pesada em balança semianalítica (modelo BK 2000), onde, se utilizou 200 g sisal em cada bandeja. Os experimentos foram realizados em triplicata.

Durante o processo de secagem, as bandejas com as amostras foram pesadas periodicamente em intervalos consecutivos de tempo, durante as primeiras horas o material foi pesado a cada 5 minutos. Na segunda hora a pesagem passou a ser a cada 10 minutos. Quando completou 3 horas, o material passou a ser pesado a cada 15 minutos. Com 4 horas de experimento, as pesagens passaram a ser a cada 30 minutos até se obter massa constante. Após, a massa ter alcançado peso constante, a pesagem foi interrompida e a biomassa permaneceu na estufa por 24 horas.

Construção da curva de secagem

Com os dados de secagem, foi possível construir as curvas de secagem, que é obtida por meio da umidade em função do tempo. A razão de umidade é obtida pela Equação 1:

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

Onde: RU é a razão de umidade do sisal; U_t é o teor de água do produto no tempo; U_e é o teor de água do sisal no equilíbrio e U_i é o teor de água inicial do produto.

A taxa de secagem é obtida por meio das derivadas respectivas das curvas de secagem. Numericamente a taxa pode ser calculada pela diferença entre as umidades no intervalo considerado (PARK, 2014). A Taxa de secagem é representada pela Equação 2:

$$Taxa = \frac{dX_{(b.s)}}{dt} \cong \frac{\Delta X}{\Delta t} \quad (2)$$

Tratamento dos dados de secagem

Os dados foram modelados e aplicado teste estatístico para verificar à qualidade do ajuste do modelo de secagem. Os parâmetros dos modelos de secagem, foram obtidos por meio de regressão não-linear (Levenberg-Marquardt), com critério de convergência de 0,000001. Os critérios de escolha dos modelos terão como base os maiores valores do coeficiente de determinação (R^2) e o teste F, obtido na análise de variância (ANOVA). O *software* utilizado para a realização das análises estatísticas será o Statistica versão 10.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A umidade inicial, em base seca, do sisal foi obtida em estufa a 105 °C por um período de 24 horas. Nessa etapa foi possível determinar a quantidade de água contida inicialmente no sisal, que representa 68% b.u de sua massa total.

Por meio das curvas de secagem e da taxa de secagem, é possível analisar a influência da temperatura e tempo de secagem da fibra do sisal.

A cinética de secagem da fibra do sisal, secada na temperatura de 60°C, atingiu a umidade de equilíbrio após 300 min de secagem, enquanto que o material secado na temperatura de 80°C, levou 180 min até que fosse atingido a umidade de equilíbrio, mostrando que, nessa temperatura a velocidade de secagem é mais rápida. Isso é devido ao fato de que, a maior taxa de remoção de água do produto é influenciada pela maior transferência de energia na forma de calor (LEITE *et al.*, 2017).

Podemos observar que as curvas de secagem não apresentam os períodos inicial nem o período de taxa constante, as curvas apresentam apenas os períodos de taxa decrescente até chegar à umidade de equilíbrio. De acordo com Park (2007), neste período a resistência interna passam a predominar e a taxa de secagem diminui. Menezes (2013), relata que no período de taxa decrescente a difusão é o mecanismo físico dominante que rege o movimento da umidade no material. Geralmente esse comportamento é característico de materiais biológicos, onde, é possível identificar apenas o período de taxa decrescente. Esse comportamento é determinado pela migração interna de umidade (SANJINEZ-ARGANDOÑA *et al.*, 2011).

Os dados de secagem do sisal, foram ajustados conforme os modelos empíricos de Page e Henderson, e os semi-empíricos de Newton, Logarítmico e Midilli.

Para determinarmos qual o modelo que tem o melhor ajusta, utilizaremos o teste estatístico de análise de variância (ANOVA). A escolha do melhor modelo terá como base os maiores valores de R^2 e da relação F_{cal}/F_{tab} para um nível de significância de 5%.

Foram utilizados cinco modelos matemáticos para o ajuste dos dados de secagem nas temperaturas de 60 e 80°C, os modelos são: Page (1949), Henderson e Pabis (1961), Newton O'Callaghan (1971), Logarítmico e Midilli *et al.* (2002).

Entre os modelos analisados, o modelo de Midilli foi o que apresentou os maiores valores de coeficiente de determinação ($R^2 = 0,9997$, $R^2 = 0,9998$ na temperatura de 60 e 80°C, respectivamente). Isso pode ser observado pelo valor do coeficiente de determinação (R^2), que foi o maior dentre os outros modelos. O coeficiente de determinação (R^2), representa uma medida da quantidade de variância em uma variável que é explicada pela outra (FIELD, 2009). Os valores do teste F, para o modelo de Midilli, foram os maiores para o material seco na temperatura de 60°C ($F_{cal}/F_{tab} = 13466,95$) e na temperatura de 80°C ($F_{cal}/F_{tab} = 12044,46$). De acordo com Neto *et al.* (2001), uma regra prática que podemos empregar é considerar a regressão como sendo útil para fins preditivos se o valor da razão entre F_{cal}/F_{tab} for, pelo menos, cerca de dez vezes maior que o valor do F_{tab} , no nível de confiança escolhido. Podemos observar que, a relação entre o F_{cal}/F_{tab} , apresentam valores muito altos, maiores que dez vezes o valor do F_{tab} , mostrando que o modelo de Midilli pode ser utilizado para fins preditivos.

Goneli (2014), realizou um estudo sobre a modelagem matemática e difusividade efetiva da folha de aroeira durante a secagem nas temperaturas de 40, 50, 60 e 70, e obteve resultados semelhantes, tendo o modelo de Midilli como o modelo que melhor representou os dados experimentais da cinética de secagem.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Na modelagem dos dados de secagem do sisal, o menor tempo de umidade de equilíbrio foi atingido na temperatura de 80°C. A taxa de secagem do material apresentou apenas o período de taxa decrescente, que é comum em matérias biodegradáveis. O modelo de Midilli foi o modelo que apresentou o melhor ajustes estatístico aos dados de experimentais da cinética de secagem com um coeficiente de determinação de 99,97 % e 99,98 % para as temperaturas de 60 e 80°C, respectivamente. A relação F_{cal}/F_{tab} apresentou valores maiores que dez vezes o valor de F_{tab} , o que mostrou que o modelo também pode ser utilizado em previsões.

Palavras-chave: Sisal, cinética de secagem, modelos matemáticos.

REFERÊNCIAS

ARAÚJO, C. da S.; MACEDO, L. L.; VIMERCATI, W. C.; SARAIVA, S. H.; OLIVEIRA, A. do N.; TEIXEIRA, L. J. Q. Cinética de secagem de acerola em leito de espuma e ajuste de modelos matemáticos. **Brazilian Journal: Food Technology**. Campinas, p. 1-9. 28 jan. 2017.

CARVALHO, J. M. G.; BUENO, S. G. S.; OLIVEIRA, D. E. C. de; RESENDE, O. Modelagem matemática e propriedades termodinâmicas da secagem do grão de girassol. **Global Science And Technology**, Rio Verde, v. 11, n. 02, p.136-149, ago. 2018.

FIELD, A. Descobrimo a estatística usando o SPSS. 2 ed. Porto Alegre: Artmed, 2009.

GONELI, A. L. D.; VIEIRA, M. do C.; VILHASANTI, H. da C. B.; GONCALVES, A. A.. Modelagem matemática e difusividade efetiva de folhas de aroeira durante a secagem. **Redalyc. Trop.** [online]. vol.44, n.1, p.56-64, fev. 2014.

GRAEBIN, G. O. **Secagem do bagaço de Cana-De-Açúcar e Estudo da sua aplicação na remoção de metal pesado.** Dissertação (Mestre em Engenharia Química). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Paraná, 2014.

LEITE, D. D. de F.; SANTOS, F. S. dos; SANTOS, D. da C.; LISBÔA, J. F.; FERREIRA, J. P. de L.; QUEIROZ, A. J. de M. Modelagem matemática da cinética de secagem da casca do abacaxi. **Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável.** Pombal – PB, v. 12, N° 4, p. 769 – 774, 2017.

MENEZES, M. L. de; STRÖHER, A. P.; PEREIRA, N. C.; BARROS, S. T. D. de. Análise da cinética e ajustes de modelos matemáticos aos dados de secagem do bagaço do maracujá-amarelo. **Engvista,** Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p.176-186, 2013.

NETO, A. A. E. **Secagem de grãos de girassol em leito fixo e em leito de jarro.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia. Natal – RN, p. 100. 2013.

NETO, I. L. da C.; MARTINS, F. M. Anatomia dos órgãos vegetativos de *agave sisalana* perrine ex en-gelm (agavaceae). **Revista Caatinga,** Mossoró, v. 25, n. 2, p. 72 – 78, mar. - jun., 2012.

NETO, B. da B; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. Como fazer experimento: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2001.

OLIVEIRA, G. H. H. de; ARAGÃO, D. M. S.; OLIVEIRA, A. P. L. R. de; SILVA, M. G.; GUSMÃO, A. C. A. Modelagem e propriedades termodinâmicas na secagem de morangos. **Braz. J. Food Technol,** Campinas, v. 18, n. 4, p.314-321, dez. 2015.

PARK, K. J.; ANTONIO, G. C.; OLIVEIRA, R. A.; PARK, K. J. B. Conceitos de Processo Equipamentos de Secagem. Campinas, Mar. 2007.

SANJINEZ-ARGANDONA, E. J.; BRANCO, I. G.; BITTENCOURT, T. U.; MUNHOZ, C. L. Influência da geometria e da temperatura na cinética de secagem de tomate (*Lycopersicum esculentum*). **Cienc. Technol. Aliment.,** Campinas: 308-312, abr.-jun. 2011.