

CINÉTICA DE SECAGEM DE SÓLIDOS DE DIFERENTES NATUREZAS EM PROCESSO CONTÍNUO

Dênis Corrêa Meyer¹, Prof. Rodrigo Condotta²

^{1,2} Centro Universitário FEI, Departamento de Engenharia Química

deniscorreameyer@gmail.com¹; rcondotta@fei.edu.br²

Resumo: No intuito de se estudar a influência da natureza do sólido na operação unitária de secagem, foram realizados experimentos em diferentes condições (vazão e temperatura do ar) para observar a cinética de secagem e como se dá o fenômeno de transferência de massa (difusão) no interior do sólido. Por fim, foi realizado ajustes dos dados experimentais aos modelos matemáticos existentes, com o objetivo de encontrar o melhor modelo capaz de representar a operação.

1. Introdução

A secagem é uma operação unitária que tem como principal objetivo retirar a umidade presente nos sólidos, preservando as qualidades do material, facilitando o transporte e armazenamento, podendo ainda aumentar a vida-útil de certos produtos.

Para retirar a umidade contida no material poroso, por vaporização desta, é necessário submetê-lo à energia térmica, transmitida por um meio secante (normalmente o ar). A troca de calor pode ocorrer através das 3 formas conhecidas, condução, convecção ou radiação, dependendo do tipo de secador utilizado na operação [1].

O teor de umidade de materiais porosos é majoritariamente mensurado em base seca, através da relação entre as massas do sólido e da umidade nele contida, conforme a expressão 1:

$$X_{bs} = \frac{m_u}{m_s} \quad (1)$$

onde m_u é a massa de umidade contida no sólido e m_s é a massa de sólido contida na matriz.

A redução do teor de umidade com o tempo, denominada taxa de secagem (R) é calculada através da expressão 2 [3].

$$R = -\frac{\Delta m}{A \Delta t} = -\frac{m_s}{A} \frac{dX}{dt} \quad (2)$$

onde Δm é a massa de umidade removida, A é a área superficial do material a ser seco, X é a umidade absoluta em base seca do material em cada instante t de tempo.

No período denominado taxa constante de secagem este valor de R é constante e máximo. Quando este começa a reduzir, inicia-se o período de taxa de secagem decrescente, sendo muitas vezes o período mais longo do processo, marcado pelas condições internas do sólido.

Para o fenômeno de difusão, a taxa de secagem decrescente é comumente expressa pela integração da segunda lei de Fick, resultando numa série infinita, cuja simplificação é representada pela equação 3.

$$t = \frac{4L^2}{\pi^2 D_L} \ln \left[\frac{8}{\pi^2} \left(\frac{X}{X_c} \right) \right] \quad (3)$$

onde D_L é o coeficiente de difusão do transporte de massa e L a meia espessura do material.

Dependendo das condições do ar empregado no processo de secagem, a quantidade de umidade removida pode variar (umidade livre). A introdução do conceito de umidade normalizada (MR), equação 4, facilita a interpretação e ajuste dos dados experimentais aos modelos semi-teóricos e empíricos existentes na literatura.

$$MR = \frac{X - X_E}{X_i - X_E} \quad (4)$$

onde X é a umidade no instante t , X_i é a umidade inicial e X_E é a umidade de equilíbrio, que depende da condição do ar.

2. Parte Experimental

Foram realizados experimentos de secagem num secador contínuo para avaliar a cinética de secagem com diferentes materiais: fibra de celulose, gergelim com e sem casca, linhaça e sementes de mostarda. Os experimentos consistiram na coleta de dados da variação da massa dos materiais (umidade) em função do tempo. Para a celulose foi estudado ainda o efeito da área de secagem (com uma ou duas superfícies expostas ao ar).

De posse dos dados experimentais, construiu-se um diagrama da taxa de secagem em função da umidade em base seca, o qual permitiu observar os períodos que constituem o processo de secagem, como o período de aquecimento inicial, período de taxa de secagem constante e o período de taxa decrescente, além da determinação da umidade crítica (X_c).

Já os parâmetros cinéticos do processo de secagem sob taxa decrescente foram estimados através do gráfico da umidade normalizada pelo tempo deste período (não deve ser considerado nem o tempo nem a umidade do processo de secagem à taxa constante).

Os modelos semi-empíricos permitem os tratamentos dos dados experimentais de secagem, de maneira a comparar diferentes materiais e/ou diferentes secadores, avaliando a cinética de secagem sem o conhecimento e/ou identificação dos fenômenos exatos de remoção da umidade, fornecendo respostas rápidas para otimização energética e/ou extrapolação de longos períodos de secagem [4].

Tabela 1: Modelos matemáticos.

Nome do modelo	Equação
Lewis	$MR = \exp(-kt)$
Page	$MR = \exp(-kt^n)$
Henderson and Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt)$
Midilli	$MR = a \cdot \exp(-kt^n) + b \cdot t$
Diffusion Approximation	$MR = a \cdot \exp(-kt) + (1-a) \exp(-kbt)$

3. Resultados e Discussões

Os modelos matemáticos que obtiveram os melhores ajustes foram os modelos de Midilli e de Page. A figura 1 apresenta o ajuste do modelo de Midilli aos dados de dois experimentos realizados com a celulose e outro realizado com o gergelim com casca, ambos na mesma velocidade de agente secante (3,2 m/s).

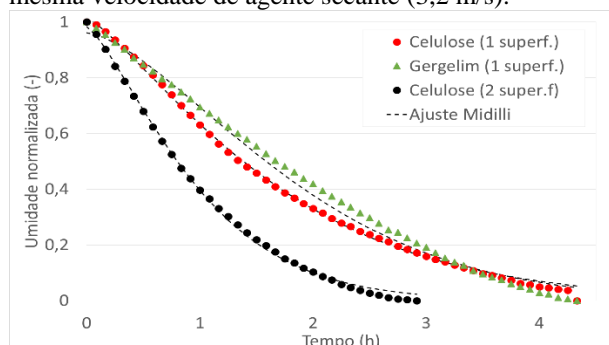


Figura 1 – Ajustes do modelo de Midilli aos dados exp.

Na figura 2, é demonstrada a taxa de secagem em função da umidade, para experimentos realizados com duas superfícies expostas para a celulose, em diferentes condições de agente secante (velocidade e temperatura). Detalha-se ainda a estimativa gráfica da umidade crítica.

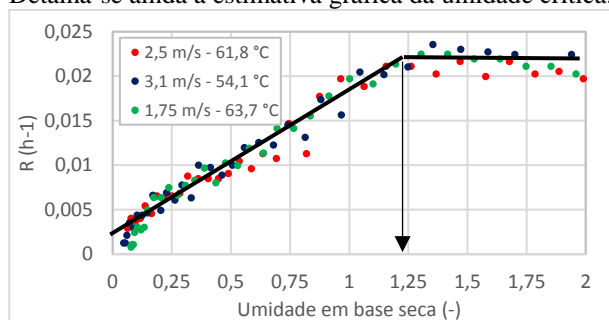


Figura 2 – Taxa de secagem em função da umidade.

Analisando os dados obtidos através de diferentes condições de preparo do sólido antes da secagem e de condições psicrométricas do ar, chegou-se à conclusão que a umidade crítica é uma função única da estrutura do sólido utilizado, não variando conforme as condições do agente secante e a umidade inicial do sólido.

Para os experimentos realizados com o gergelim com casca e gergelim sem casca observou-se que a presença da casca forneceu menor resistência ao transporte de massa somente no período de taxa constante de secagem e, curiosamente, nenhuma diferença durante o período de taxa de secagem decrescente.

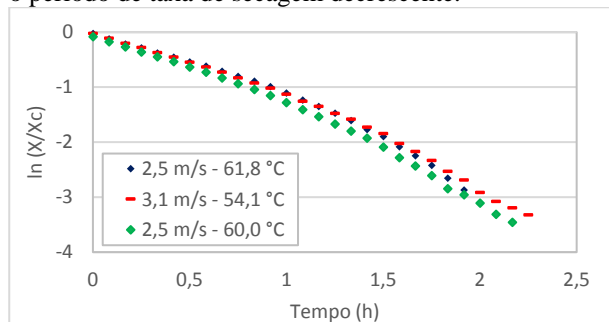


Figura 3 – Perfil de secagem adimensional p/ a celulose seca em diferentes condições por apenas 1 superfície.

O coeficiente de difusão pode ser estimado através do gráfico do logaritmo natural da umidade livre adimensional (MR) em função tempo, através da equação 3. A figura 3 apresenta o gráfico anteriormente descrito para a celulose.

Este tipo de análise permitiu observar que para sólidos fibrosos, como a celulose, o material sofreu uma variação do coeficiente difusivo ao longo do tempo decrescente de secagem, devido ao reduzido tamanho de poros deste material.

Para sólidos menos porosos, como os grãos, a variação do coeficiente difusivo foi praticamente imperceptível, indicando que não houve redução significativa de tamanho (contração durante a secagem). Além disso, os valores dos coeficientes difusivos dos gergelins com e sem casca apresentaram valores similares, indicando que a casca não afeta a taxa de secagem no período decrescente.

Na tabela 2 estão agrupados as médias dos valores dos coeficientes de difusão obtidos para cada material.

Tabela 2: Coeficientes difusivos dos materiais estudados.

Material	Def (m ² /h)
Celulose	1,34E-06
Linhaça	8,29E-06
Gergelim com casca	1,25E-05
Gergelim sem casca	1,15E-05
Mostarda	3,51E-05

4. Conclusões

Com o método experimental proposto e a análise matemática abordada, foi verificado que o aumento da velocidade e de temperatura do agente secante acarreta em períodos menores de secagem durante o processo à taxa constante. A natureza do sólido é preponderante durante o período de taxa decrescente e a área de exposição é essencial em ambas as condições. Observou-se ainda que a umidade crítica é inerente às condições do agente secante, dependente somente dos aspectos físicos do sólido.

5. Referências

- [1] PARIKH, D. M. Solids Drying: Basics and Applications Disponível. em: < <http://www.chemengonline.com/solids-drying-basics-and-applications/?printmode=1>>. Acesso em: 27 jan. 2018.
- [2] PACHECO, C. R. Processos de Secagem Industrial. Química e Derivados - Parte 2. 2011.
- [3] TSOTSAS, E.; GNIELINSKI, V.; SCHLÜNDER, E.-U. Drying of Solid Materials. In: Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry. [s.l.] Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2000.
- [4] KUCUK, H. *et al.* A Review on Thin-Layer Drying-Curve Equations. Drying Technology, v.32, n. 7. 2014.

Agradecimentos

À FEI pelos equipamentos fornecidos. À CNPq pelo apoio financeiro durante o período de trabalho. Ao orientador pelo total apoio durante o projeto.

¹ Aluno de IC do Centro Universitário FEI (CNPq). Projeto com vigência de 08/17 a 07/18.