

Curvas generalizadas na análise da cinética de secagem de papel artesanal com ar ambiente em convecção forçada

Oswaldo Curty da Motta Lima*, Nehemias Curvelo Pereira e Elisabete Scolin Mendes

Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, Bloco D90, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. tel.: 55 44 261 4759, e-mail: oswaldo@deq.uem.br

RESUMO. Neste trabalho foi utilizada a metodologia de curvas generalizadas de secagem no estudo da cinética de secagem de papel reciclado obtido de forma artesanal com ar ambiente em convecção forçada, de forma a reunir, em curvas únicas, os dados de cinética de secagem obtidos em diferentes condições operacionais, reduzindo a quantidade de informação a ser manuseada. O módulo experimental utilizado consiste em uma caixa metálica por onde ar aquecido, com temperatura e velocidade pré-ajustadas, é canalizado por ambos os lados da amostra de papel artesanal, suspensa verticalmente sobre a corrente. O comportamento das curvas de secagem e de taxa de secagem obtidas para diferentes espessuras do material e diferentes temperaturas e velocidades do ar de secagem foi analisado a partir das abordagens de curvas de secagem generalizadas e taxas normalizadas de secagem, respectivamente. Em seguida, discutiu-se a possibilidade de ajuste de correlações da literatura às curvas generalizadas resultantes.

Palavras-chave: curvas generalizadas, secagem convectiva, papel artesanal.

ABSTRACT. Generalized drying curves in analysis of drying kinetic of kraft paper with environmental air in forced convection. The drying of kraft paper at forced air conditions is provided and the influence of the drying air operational conditions on the process behavior is analyzed through the generalized drying curves proposal. The experimental apparatus consists of a metallic box where hot air was canalized over both surfaces of the paper sample. The influence of the samples thickness and the drying air temperatures and velocities in the drying curves and drying rate curves behavior is studied through the methodology of generalized drying curves and normalized drying rate curves, respectively. Finally, the possibility of fitting these curves is discussed.

Key words: generalized drying curves, convective drying, kraft paper.

Introdução

Atualmente, em virtude de preocupações ambientais e econômicas voltadas para o reaproveitamento de materiais, o mercado de papel reciclado tem se expandido e, dentro deste contexto, o papel artesanal vem reconquistando seu valor.

Sendo assim, o Laboratório de Processos de Separação (LPS), do Departamento de Engenharia Química - DEQ/UEM, Estado do Paraná, desenvolveu um estudo comparativo entre a secagem convencional ("natural") e uma alternativa de secagem utilizando ar aquecido em convecção forçada, com intuito de reduzir o tempo de secagem, sem prejuízos para a qualidade final do papel produzido (Motta Lima *et al.*, 2001).

Naquele estudo, os autores verificaram a influência da temperatura e velocidade do ar de

secagem e da espessura das amostras de papel artesanal na cinética do processo, sendo propostas correlações para o ajuste do comportamento das curvas de secagem.

Em função da viabilidade demonstrada, Motta Lima *et al.* (2002) procuraram analisar o comportamento das curvas de taxa de secagem obtidas na operação com ar aquecido e convecção forçada estudada por Motta Lima *et al.* (2001).

Dentro deste contexto, este trabalho teve como objetivo analisar a possibilidade de aplicação da abordagem de curvas generalizadas na análise dos dados da cinética de secagem do papel reciclado obtido de forma artesanal dos trabalhos de Motta Lima *et al.* (2001 e 2002). O uso deste tipo de metodologia se faz interessante por reunir, em um único tipo de curva, um conjunto de dados obtidos em diferentes condições operacionais, reduzindo, desta forma, a

quantidade de informação a ser manuseada quando da análise de processos de secagem.

A abordagem de curvas de secagem generalizadas procura relacionar a umidade das amostras adimensionalizada através da umidade inicial e uma variável adimensional de tempo, definida a partir da taxa constante de secagem e da umidade inicial, sendo discutida e utilizada na análise de diferentes processos de secagem (Krasnikov, 1980; Günther *et al.*, 1984; Brunelo, 1992; Brunello *et al.*, 1992; Ciesielczyk, 1996).

Para a generalização das curvas de taxa de secagem, a taxa de secagem normalizada (TSN), definida como a razão entre a taxa instantânea e a taxa de secagem máxima, é relacionada com a umidade (b.s.) do material (Hodges, 1982 - para papel; Bueno *et al.*, 1993 - para carvão; Iglesias *et al.*, 1993 - para gel agar-agar).

Finalmente, tendo em vista os bons resultados obtidos por Motta Lima *et al.* (2000), para celulose do tipo fibra curta, e Stenzel *et al.* (2001), para celulose do tipo fibra longa, com este tipo de abordagem, sua aplicação às curvas de secagem obtidas para o papel artesanal surge como uma alternativa interessante que merece ser avaliada.

Material e métodos

Matéria-prima

A matéria-prima utilizada consistiu de papel reciclado (aparas) de formulário contínuo para computador, recolhidos a partir de coleta seletiva no próprio DEQ/UEM e preparado conforme descrito em Forte Gil *et al.* (1996).

A espessura (E) e a área superficial (A_s) das amostras de papel foram determinadas, respectivamente, com micrômetro (10 medidas) e paquímetro (comprimento e largura), nas condições ambientes da oficina de reciclagem. A gramatura das amostras (M, massa/área) também foi calculada nestas mesmas condições.

Secagem convectiva

A secagem convectiva das folhas de papel foi realizada no módulo de secagem do Laboratório de Engenharia Química II do DEQ/UEM.

O secador consiste de um soprador que fornece um fluxo de ar, com vazão ajustada por um "dumper", através de quatro resistências elétricas acionadas separadamente e reguladas por um variador de voltagem, para o interior de uma câmara fechada que possui uma abertura superior para exaustão do ar aquecido a ser utilizado na secagem das amostras (Figura 1).

As velocidades e temperaturas do ar de secagem foram medidas, respectivamente, com um anemômetro digital (precisão: 0,1m/s) e por meio de um termopar inserido dentro do fluxo de ar no interior do secador, acoplado a um indicador digital de temperatura (precisão: 0,5°C).

A massa das amostras foi determinada à cada 3 minutos (balança, precisão: 0,01g), e seu teor de umidade (b.s.), a partir do método do peso seco constante em estufa ($105 \pm 3^\circ\text{C}$, 24h).

Na determinação das condições ambientes (temperatura e umidade) do ar alimentado ao secador, foi utilizado um psicrômetro do tipo temperatura de bulbo seco/bulbo úmido.

A área de transferência das amostras (A) foi tomada como duas vezes a área das folhas utilizadas, devido às transferências de calor e massa por convecção em ambos os lados.

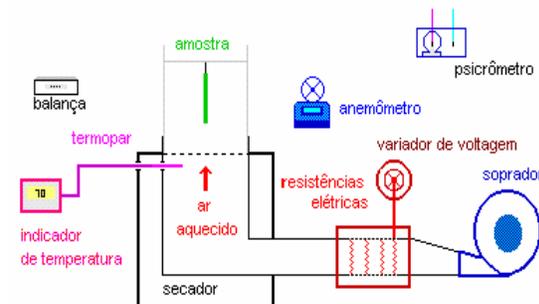


Figura 1. Modelo esquemático do secador.

Curvas de secagem e de taxa de secagem

As características das amostras de papel artesanal utilizadas e as condições operacionais em que foram realizados os experimentos, Motta Lima *et al.* (2001), e os valores obtidos para as taxas constantes de secagem, Motta Lima *et al.* (2002), estão listados na Tabela 1.

As curvas de taxa de secagem foram obtidas a partir da diferenciação numérica das respectivas curvas de secagem pelo método de diferenças ($\Delta X / \Delta t$), ajustado para os pontos originalmente utilizados na construção das curvas de secagem:

- taxa no ponto i ?
- calcular $(\Delta X / \Delta t)_{i-}$ entre $i-1$ e i
- calcular $(\Delta X / \Delta t)_{i+}$ entre i e $i+1$
- $\Rightarrow (\Delta X / \Delta t)_i = [(\Delta X / \Delta t)_{i-} + (\Delta X / \Delta t)_{i+}] / 2$
- em X_0 : $(\Delta X / \Delta t)_{0+}$ ou $(\Delta X / \Delta t)_{1-}$
- em X_c : $(\Delta X / \Delta t)_{Xc-}$

Tabela 1. Secagem convectiva de papel artesanal - Experimentos (Motta Lima *et al.*, 2001 e 2002)

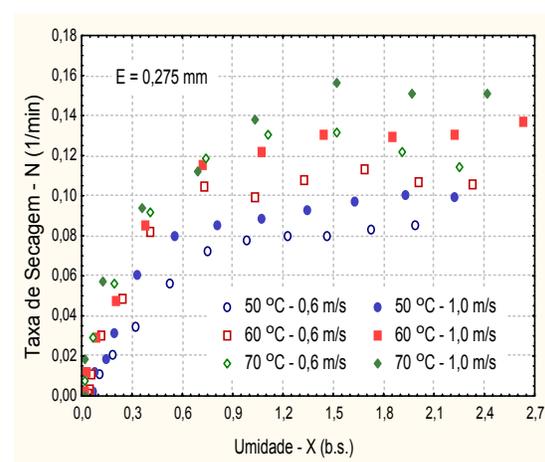
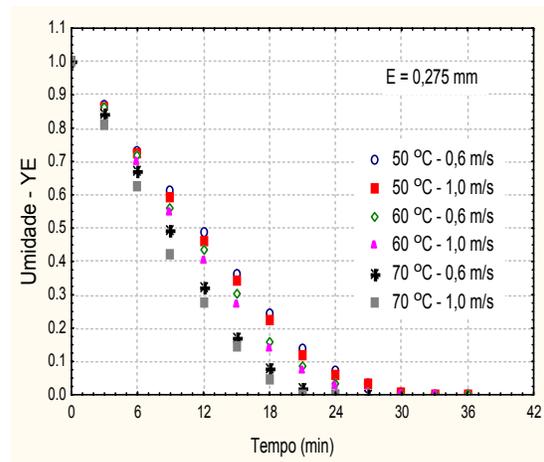
Experimento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$A \times 10^4 \text{ (m}^2\text{)}$	904	795	870	878	873	905	835	832	797	800	848
$M \text{ (g/m}^2\text{)}$	161	123	179	205	156	113	158	197	157	170	172
$E \text{ (mm)}$	0,27	0,21	0,28	0,36	0,27	0,18	0,28	0,34	0,28	0,27	0,30
$\sigma_E \text{ (mm)}$	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
$T_{\text{ba}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	25,5	21,0	22,0	27,5	27,0	24,0	24,0	28,0	27,0	24,0	28,5
$T_{\text{bu}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	19,0	18,0	19,0	20,0	20,0	19,0	19,0	20,0	19,5	19,0	20,0
$T_{\text{ar}} \text{ (}^\circ\text{C)}$	50	50	50	50	60	60	60	60	70	70	70
$v_{\text{ar}} \text{ (m/s)}$	0,6	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0
$X_0 \text{ (b.s.)}$	1,986	2,348	2,224	2,202	2,325	2,354	2,635	2,250	2,251	2,422	2,191
$X_c \text{ (b.s.)}$	0,044	0,065	0,068	0,060	0,040	0,021	0,016	0,039	0,017	0,016	0,015
$N_c \times 10^3 \text{ (s}^{-1}\text{)}$	1,368	2,258	1,635	1,127	1,785	3,182	2,188	1,613	2,120	2,570	2,243

Resultados e discussão

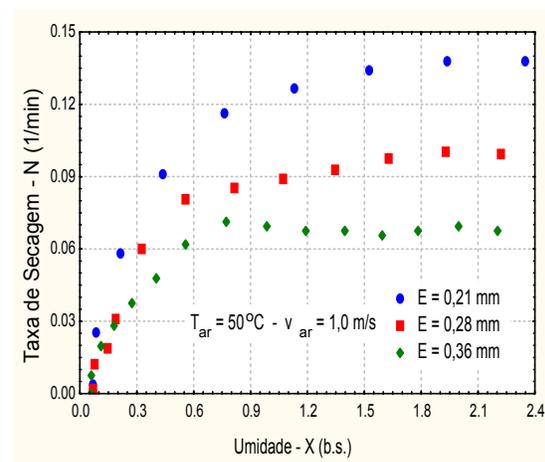
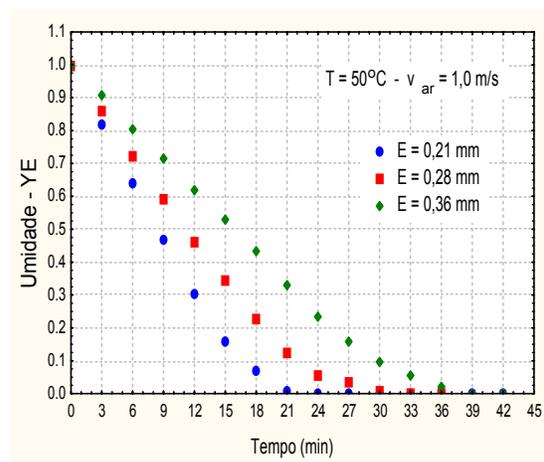
Curvas de secagem e de taxa de secagem

Os resultados da secagem convectiva das folhas de papel artesanal podem ser encontrados nos trabalhos de Motta Lima *et al.* (2001) – para as curvas de secagem, e Motta Lima *et al.* (2002) – para as curvas de taxa de secagem.

Estes resultados foram divididos conforme o tipo de influência que se desejava estudar, ou seja, temperatura e velocidade do ar de secagem, e espessura das amostras de papel artesanal. Alguns destes resultados típicos são apresentados nas Figuras 2 a 5, para uma melhor visualização da influência destas variáveis no processo de secagem.



Figuras 2 e 3. Efeito da temperatura e velocidade do ar – Curvas de secagem e taxa de secagem.



Figuras 4 e 5. Efeito da espessura, 50°C – Curvas de secagem e taxa de secagem.

Verifica-se que maiores temperaturas do ar de secagem levam a maiores taxas, em função da maior quantidade de calor transferido para o material, aumentando a velocidade de migração da água presente no seu interior para a superfície e, conseqüentemente, sua evaporação.

Motta Lima *et al.* (2001, 2002) verificaram que o aumento da velocidade do ar de 0,6 para 1,0m/s levou a maiores taxas de secagem basicamente na região do período de taxa constante, onde as condições externas são predominantes no processo. Para o período de taxa decrescente, onde as resistências internas à migração de umidade para a superfície do material predominam, este efeito se mostrou pouco significativo.

O aumento na espessura das amostras levou a uma redução das taxas de secagem (ϵ , principalmente, das taxas constantes), pela maior dificuldade de migração da água face a maior espessura. Motta Lima *et al.* (2001) e Motta Lima *et al.* (2002) observaram que este efeito tende a ser mais acentuado quanto menor for a temperatura do ar de secagem, já que, neste caso, haveria uma menor “força motriz” interna para vencer a resistência ao transporte de água até a superfície do material.

Curvas de secagem generalizadas

Face aos resultados obtidos na generalização das curvas de secagem para celulose do tipo fibra curta (Motta Lima *et al.*, 2000) e fibra longa (Stenzel *et al.*, 2001), procurou-se aplicar esta metodologia também no ajuste dos resultados da cinética de secagem do papel artesanal.

A curva de secagem generalizada, construída a partir dos resultados obtidos para as diferentes condições operacionais da Tabela 1, é mostrada na Figura 6. Os resultados do ajuste pela equação de Page (1949), Equação 1, são apresentados na Tabela 2, na Equação 2 e nas Figuras 7 e 8 (gráfico de resíduos).

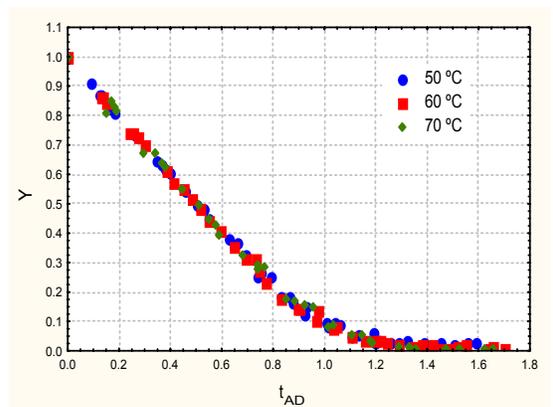


Figura 6. Curva de secagem generalizada.

$$Y = \exp(-k_{AD} t_{AD}^n),$$

sendo $Y = X/X_0$ e $t_{AD} = N_C t/X_0$ (1)

Tabela 2. Ajuste da curva generalizada de secagem para o papel artesanal - Page (1949).

Equação 2	st	t_{st}	R^2	F
k_{AD}	2,14	0,03	84,3	0,9977
n	1,53	0,02	77,4	418,0

$$Y = \exp[-(2,14)t_{AD}^{(1,53)}]$$
 (2)

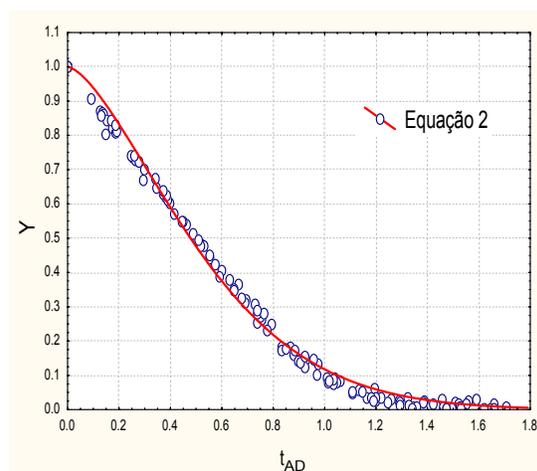


Figura 7. Ajuste da curva de secagem generalizada - Equação 2.

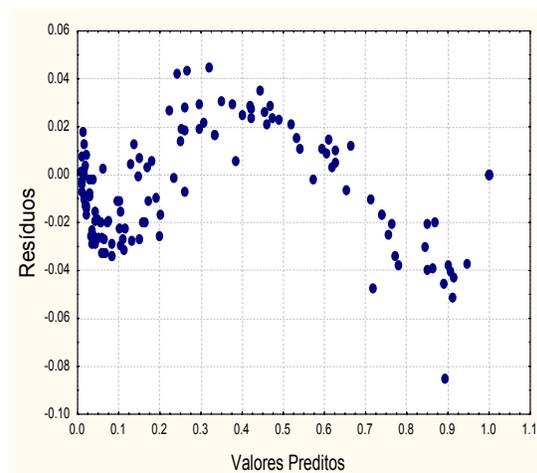


Figura 8. Resíduos do ajuste da curva de secagem generalizada - Equação 2.

A equação de Page (1949) proporcionou um ajuste satisfatório da curva generalizada (Tabela 2 e Figura 7), mas com distribuição dos resíduos (Figura 8) mostrando uma tendência de comportamento que é função da própria forma da equação.

Procurando melhorar a qualidade do ajuste, resolveu-se testar se um expoente variável para o tempo adimensional (t_{AD}) na equação de Page (1949) poderia corrigir o formato em “S” da curva ajustada. Assim, foi proposta uma correção linear desse expoente, conforme mostrado na Equação 3:

$$Y = \exp(-k_{AD} t_{AD}^{(n_1 t_{AD} + n_2)}) \quad (3)$$

Os resultados do ajuste da curva de secagem generalizada, a partir da utilização da Equação 3, são mostrados na Equação 4 (equação ajustada), na Tabela 3 e nas Figuras 9 e 10 (gráfico de resíduos).

$$Y = \exp[-(2,28)t_{AD}^{(0,89 t_{AD} + 1,26)}] \quad (4)$$

Tabela 3. Ajuste da curva generalizada de secagem - Equação 3.

	Equação 3	st	t_{st}	R ²	F
k_{AD}	2,28	0,02	101		
n_1	0,89	0,05	16,2	0,9993	1569
n_2	1,26	0,02	76,5		

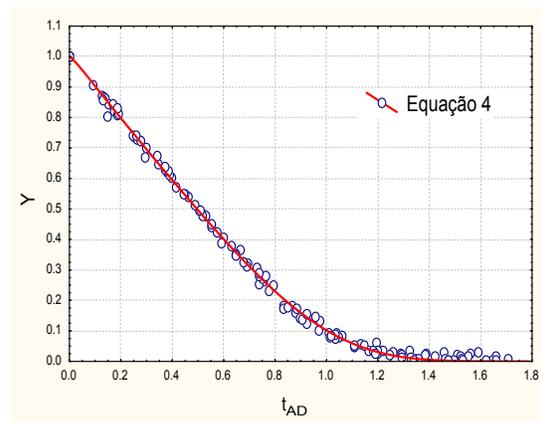


Figura 9. Ajuste da curva de secagem generalizada - Equação 4.

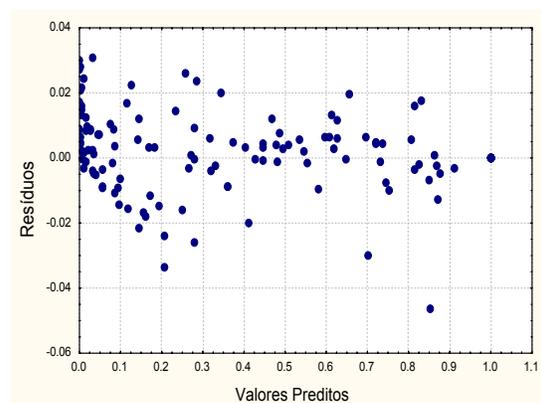


Figura 10. Resíduos do ajuste da curva de secagem generalizada - Equação 4.

Os resultados da Tabela 3 e das Figuras 9 e 10 mostram um desempenho superior da correlação estatística proposta, Equação 3, com melhores parâmetros estatísticos e uma distribuição mais uniforme dos resíduos.

Entretanto, observando-se a distribuição dos dados experimentais na região de maiores valores para os tempos adimensionais, pode-se notar que estes tendem a um patamar constante, com valores de Y próximos de 0,01.

Sendo assim, a Equação 3 foi modificada para incorporar este valor, conforme pode ser visto na Equação 5:

$$Y = \exp(-k_{AD} t_{AD}^{(n_1 t_{AD} + n_2)}) + (0,01) \quad (5)$$

Os resultados do ajuste da curva de secagem generalizada a partir da utilização da Equação 5, são mostrados na Equação 6 (equação ajustada), na Tabela 4 e nas Figuras 11 e 12 (gráfico de resíduos).

$$Y = \exp[-(2,42)t_{AD}^{(1,07 t_{AD} + 1,22)}] + (0,01) \quad (6)$$

Tabela 4. Ajuste da curva generalizada de secagem - Equação 5.

	Equação 5	st	t_{st}	R ²	F
k_{AD}	2,42	0,02	99,5		
n_1	1,07	0,05	20,6	0,9994	1832
n_2	1,22	0,01	83,6		

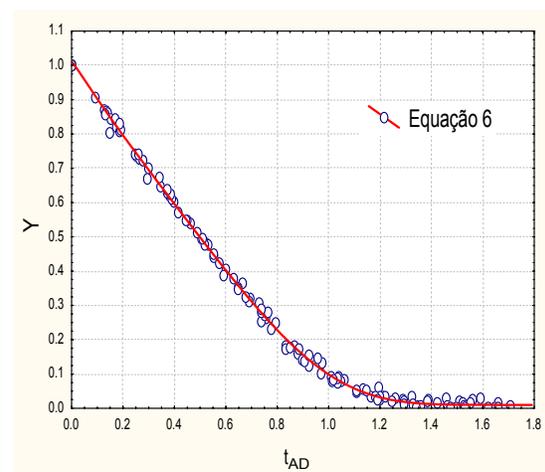


Figura 11. Ajuste da curva de secagem generalizada - Equação 6.

Os resultados da Tabela 4 e das Figuras 11 e 12 mostram um desempenho ainda melhor da modificação proposta, Equação 5, representando muito bem os dados experimentais (Figura 11), e com parâmetros estatísticos e uma distribuição de resíduos ainda melhores que os obtidos a partir da Equação 3.

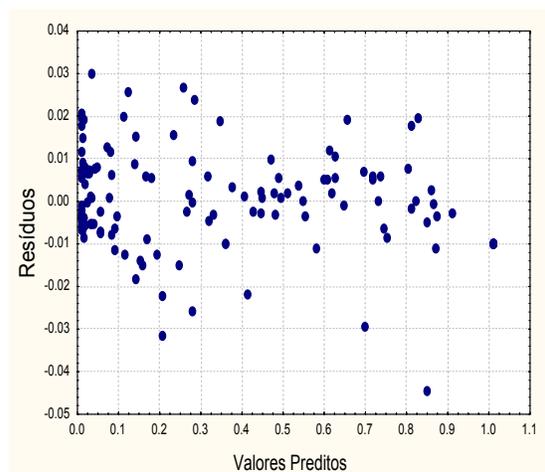


Figura 12. Resíduos do ajuste da curva de secagem generalizada - Equação 6.

Taxas normalizadas de secagem

Também neste caso, face aos resultados obtidos na generalização das curvas de taxa de secagem para ambos os tipos de celulose, Stenzel *et al.* (2001), procurou-se aplicar esta abordagem aos resultados obtidos para o papel artesanal.

Sendo assim, foi construída a curva de taxa normalizada (TSN), Figura 13, onde as taxas instantâneas são normalizadas pelo valor da taxa constante de secagem e relacionadas com a umidade (b.s.) do material.

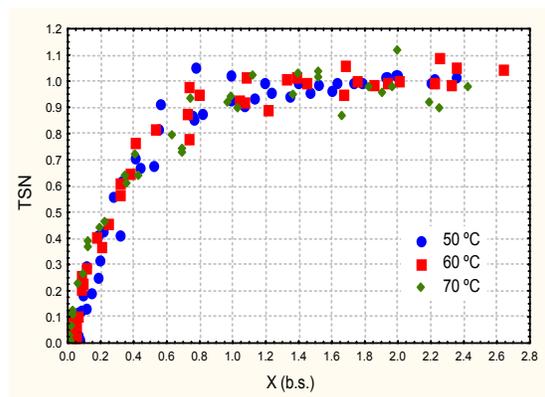


Figura 13. Curva de taxa de secagem normalizada (TSN).

Os resultados do ajuste da TSN a partir do modelo proposto por Hodges (1982), Equação 7, são apresentados na Tabela 5, Equação 8 e nas Figuras 14 e 15 (gráfico de resíduos).

$$TSN = (N/N_C) = 1 - \exp[-(X/A1)^{B1}] \quad (7)$$

Tabela 5. Ajuste da curva de taxa normalizada de secagem (TSN) para o papel artesanal.

	Equação 8	st	t _{st}	R ²	F
A1	0,37	0,01	37,1	0,9874	134,0
B1	1,15	0,04	27,5		

$$TSN = 1 - \exp[-(X/0,37)^{(1,15)}] \quad (8)$$

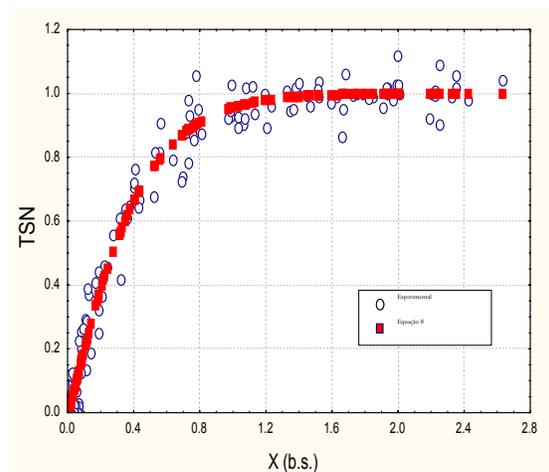


Figura 14. Ajuste da curva de taxa de secagem normalizada - Hodges (1982)

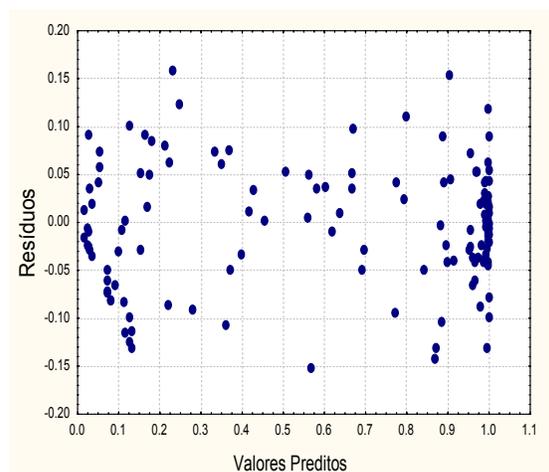


Figura 15. Resíduos do ajuste da curva de taxa de secagem normalizada - Hodges (1982)

Os resultados do ajuste para esta abordagem (Tabela 5, Figuras 14 e 15) mostram um bom desempenho: parâmetros estatísticos adequados e uma distribuição aleatória dos resíduos da estimação, representando de forma satisfatória os dados experimentais (Figura 14), haja vista sua maior dispersão.

Estimativa das taxas constantes de secagem

A estimativa da taxa constante de secagem para outras situações operacionais dentro da região estudada pode ser realizada, respectivamente, a partir de um balanço de energia no sólido para este período (Motta Lima *et al.*, 2002), Equação 9, e a partir de uma correlação empírica obtida neste trabalho a partir de um ajuste estatístico dos valores de N_C da Tabela 1, Equação 10.

$$N_C = \frac{(1,813 \times 10^{-8})(v_{ar})^{0,3545}}{E} (T_{ar} - T_{vap}) \quad (9)$$

com $R^2 = 0,9860$; $F = 509,6$ e um desvio/erro médio em torno de 4% (máximo: 7%).

$$N_C = (1,12 \times 10^{-6})T_{ar} + (1,48 \times 10^{-5})v_{ar}T_{ar} + \dots + \frac{(7,34 \times 10^{-9})(T_{ar})}{E} - (371,3)E^{1,663} \quad (10)$$

com $R^2 = 0,9966$; $F = 2058$ e um desvio/erro médio de aproximadamente 2% (máximo: 4,6%).

Os resultados do ajuste a partir do modelo estatístico – maiores valores para R^2 e F , e menores valores para os desvios/erros médio e máximo – mostram que este modelo pode ser uma alternativa interessante para a obtenção dos valores de N_C , respeitadas suas limitações quanto à validade fora da região estudada.

Conclusão

A análise da cinética de secagem do papel artesanal a partir da abordagem de curvas de secagem generalizadas se mostrou adequada para as condições estudadas, levando à obtenção de uma curva única com baixa dispersão dos pontos experimentais.

A correlação proposta neste trabalho, a partir de uma modificação do modelo de Page (1949), Equação 5, representou muito bem os pontos (dados) experimentais, apresentando parâmetros estatísticos (R^2 e F) e uma distribuição dos resíduos da estimação excelentes.

A abordagem a partir das curvas de taxa de secagem normalizada levou a resultados também satisfatórios, porém inferiores aos das curvas de secagem generalizadas (menores R^2 e F).

O ajuste a partir da equação proposta por Hodges (1982) apresentou parâmetros estatísticos adequados, com uma distribuição aleatória dos resíduos da estimação.

Nomenclatura

- A - superfície de secagem, [L²]
- A_S - área superficial das amostras, [L²]
- A1 - parâmetro da Equação 7, [conforme equação]
- B1 - parâmetro da Equação 7, [conforme equação]
- b.s. - base seca
- E - espessura da amostra, [L]
- F - estatística F, ≡ razão entre o quadrado médio dos valores preditos e o quadrado médio dos resíduos da estimação (quanto maior F, melhor a estimação e o ajuste da equação), [-]
- k_{AD} - parâmetro das Equações 1, 3 e 5, [conforme equação]
- n - parâmetro da Equação 1, [conforme equação]
- n1 - parâmetro das Equações 3 e 5, [conforme equação]
- n2 - parâmetro das Equações 3 e 5, [conforme equação]
- M - gramatura da amostra, [M/L²]
- N - taxa de secagem, [1/T]
- N_C - taxa constante de secagem, [1/T]
- R² - coeficiente de correlação, [-]
- st - desvio padrão, [conforme equação]
- t - tempo de secagem, [T]
- t_{AD} - tempo adimensional, = N_Ct/X₀, [-]
- t_{st} - parâmetro estatístico (quanto maior seu valor, melhor o ajuste do modelo)
- T_{ar} - temperatura do ar de secagem, [θ]
- T_{bs} - temperatura de bulbo seco, [θ]
- T_{bu} - temperatura de bulbo úmido, [θ]
- T_{vap} - temperatura de vaporização, [θ]
- TSN - taxa normalizada de secagem (= N/N_C), [-]
- v_{ar} - velocidade do ar de secagem, [L/T]
- X - umidade (b.s.), [-]
- X₀ - umidade inicial (b.s.), [-]
- X_e - umidade de equilíbrio (b.s.), [-]
- Y - umidade adimensional, X/X₀, [-]
- YE - umidade adimensional definida como: (X - X_e)/(X₀ - X_e), [-]
- σ_E - desvio padrão de E, [L]

Referências

- BRUNELLO, G. Secagem no DEQ-Epusp. *RBE - Caderno de Engenharia Química*, n. especial 4 (outubro), Rio de Janeiro, p. 25-38, 39-54, 81-92 e 115-126, 1992.

- BRUNELLO, G. *et al.* Estudo da cinética de secagem de pasta celulósica em leito fixo: modelo de capilaridade. *RBE - Caderno de Engenharia Química*, Rio de Janeiro, nº especial 4 (outubro), p. 147-162, 1992.
- BUENO, J.L. *et al.* Drying of particulated solids: determination of the characteristic curve of brown coal. *Drying Technology*, New York, v. 11, n. 3, p. 555-570, 1993.
- CIESIELCZYK, W. Universal Drying Curve. *Drying'96*, New York, v. A, p. 103-110, 1996.
- FORTE GIL, M.A. *et al.* Reciclagem de papel utilizando métodos artesanais. In: V Encontro Anual de Iniciação Científica - CNPq/UEL/UEM/UEPG/Unioeste, 1996, Londrina-PR.
- GÜNTHER, P. A. S. *et al.* Secagem de pasta celulósica em leito fixo. In: VI COBEQ, 1984, Campinas. *Anais ... Campinas: ABEQ*, 1984. p. 318-329.
- HODGES, C.R. Laboratory drying study and applications for paper machine drying. *Drying'82*, New York, p. 99-105, 1982.
- IGLESIAS, O. *et al.* Drying of water gels: determination of the characteristic curve of agar-agar. *Drying Technology*, New York, v. 11, n. 3, p. 555-570, 1993.
- KRASNIKOV, V.V. The methods of analysis and calculation of drying kinetics. *Drying'80*, New York, v. 1, p. 57-62, 1980.
- MOTTA LIMA, O.C. *et al.* Generalised drying curves in conductive/convective paper drying. *Braz. J. Chem. Eng.*, São Paulo, v. 17, n. 04-07, p. 539-548, 2000.
- MOTTA LIMA, O.C. *et al.* Aspectos da secagem convectiva de papel artesanal. *Acta Scientiarum - Sciences and Technology*, Maringá, v. 23, n. 6, p. 1381-1388, 2001.
- MOTTA LIMA, O.C. *et al.* Análise da cinética de secagem convectiva de papel artesanal com ar ambiente em convecção forçada. *Acta Scientiarum - Sciences and Technology*, Maringá, v. 24, n. 6, p. 1659-1664, 2002.
- PAGE, G.E. (1949), citado em MOTTA LIMA, O.C. *Estudo sobre a secagem de folhas de celulose*. 1999. Tese (Doutorado) - PEQ/COPPE, UFRJ, Rio de Janeiro, 1999.
- STENZEL, M. *et al.* Generalization of drying curves in conductive/convective drying of cellulose. *Braz. J. Chem. Eng.*, São Paulo, v. 20, n. 1, p. 81-86, 2003.

Received on February 10, 2003.

Accepted on June 02, 2003.