

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, 87020-900, Maringá-Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. e-mail: oswaldo@deq.uem.br

RESUMO. Neste trabalho, é analisado o comportamento da cinética de secagem de papel reciclado, processado de forma artesanal com ar ambiente em convecção forçada. O módulo experimental utilizado consiste em uma caixa metálica por onde o ar aquecido é canalizado por ambos os lados da amostra, suspensa verticalmente sobre a corrente. A partir das curvas de secagem obtidas para diferentes temperaturas e velocidades do ar, foram construídas as curvas de taxa de secagem e utilizada a abordagem clássica de dois períodos para a secagem na análise do seu comportamento. Assim, para o período de taxa constante, procurou-se ajustar os valores encontrados tendo em vista o balanço térmico dessa fase, ou seja, pela equivalência entre o calor transferido e o envolvido no processo de evaporação. Para o período de taxa decrescente, foi verificada a validade de uma proposta do tipo escoamento capilar (redução linear da taxa constante).

Palavras-chave: papel artesanal, taxas de secagem, secagem de papel artesanal.

ABSTRACT. *Drying rates in the convective drying of craft paper.* The drying of craft paper at forced air conditions is provided. The aim of this research is to analyze the influence of the drying air operating conditions on the process behaviour. The experimental apparatus consists of a metallic box where hot air was canalized over both surfaces of the paper sample. Drying rate curves were built for different drying air temperatures and velocities and the classical methodology of the two drying periods was used in the curves analysis. Thus, for the constant rate period, a thermal balance was adjusted according to the equivalence between the heat transferred and the heat involved in the evaporation process. For the falling rate period, a proposal of a capillary flow type (lineal reduction of the constant rate) was verified.

Key words: craft paper, drying rates, craft paper drying.

Introdução

Atualmente, devido às preocupações ambientais e econômicas voltadas para o reaproveitamento de materiais, o mercado de papel reciclado tem se expandido, e, dentro desse contexto, o papel artesanal vem reconquistando seu valor, principalmente no meio artístico.

A fabricação artesanal não deixa de estar inserida no contexto dos processos que trabalham com a reciclagem de papel. Assim, e com intuito de se conhecer um pouco mais desse processo, foi implantada uma pequena “oficina-piloto” de reciclagem de papel no DEQ - Departamento de Engenharia Química da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Estado do Paraná, sendo composta por: tanques, um liqüidificador industrial de

pequeno porte, cortador de papel e uma prensa manual (Forte Gil *et al.*, 1996).

A matéria-prima utilizada consistiu de papéis usados (aparas), recolhidos a partir de coleta seletiva realizada no próprio DEQ, e submetidos ao procedimento descrito por Forte Gil *et al.* (1996).

Secagem de papel artesanal

Tradicionalmente, a secagem de papel artesanal é feita submetendo-se o material às condições do ambiente onde ele se encontra (secagem “natural”), seja pendurando-o em varais, seja espalhando as folhas sobre mesas (Forte Gil *et al.*, 1996).

Como a secagem “natural” é um processo lento (2 a 3,5 h - Motta Lima *et al.*, 2001), uma alternativa para a redução do tempo de secagem seria a utilização de estufas ou secadores convectivos. Dessa forma, objetivando reduzir o tempo de secagem, mas

procurando não causar danos na forma final do papel produzido, esses autores realizaram um estudo comparativo entre a secagem “natural” e uma alternativa de secagem convectiva utilizando ar aquecido em diferentes condições de temperatura e de velocidade.

Em função da viabilidade demonstrada, os autores verificaram alguns aspectos da cinética de secagem em regime de convecção forçada, analisando a influência da temperatura e da velocidade do ar de secagem, bem como a espessura das amostras de papel artesanal. Também foram propostas correlações para o ajuste do comportamento das curvas de secagem obtidas em relação às variáveis estudadas.

Assim sendo, este trabalho procura dar continuidade ao estudo da cinética de secagem de papel reciclado obtido de forma artesanal, analisando o comportamento das curvas de taxa de secagem obtidas na operação com ar ambiente aquecido e convecção forçada, para as condições de temperatura e de velocidade do ar de secagem estudadas no trabalho de Motta Lima *et al.* (2001).

Em função do comportamento das curvas obtidas, foi utilizada a abordagem clássica de períodos de taxa constante e decrescente para a secagem, aplicada, respectivamente, a partir de um balanço térmico dessa fase (ou seja, pela equivalência entre o calor transferido e aquele envolvido no processo de evaporação) e de uma proposta do tipo escoamento capilar (redução linear/proporcional da taxa constante).

Material e métodos

Matéria-prima

Papel reciclado de formulário contínuo para computador, obtido a partir de coleta seletiva no próprio DEQ e preparado conforme o descrito em Forte Gil *et al.* (1996).

A espessura (E) e a área superficial (A_s) das amostras foram determinadas com micrômetro (10 medidas) e paquímetro (comprimento “ x ” largura), respectivamente, nas condições ambientes da oficina de reciclagem. A gramatura das amostras (M , massa/área) também foi calculada nessas 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 controladas por um “variac”, 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 as temperaturas do ar de secagem foram medidas, respectivamente, com um anemômetro digital (no local da amostra) e através de um termopar posicionado na corrente de ar no interior do secador, acoplado a um indicador digital de temperatura.

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

Para a determinação das condições ambientes da oficina de reciclagem (temperatura e umidade do ar), 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 de massa por convecção em ambos os lados.

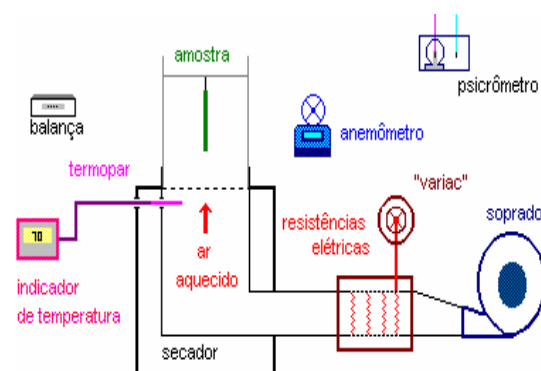


Figura 1. Esquema do módulo experimental de secagem

Resultados e discussões

Curvas de taxa de secagem

As características das amostras utilizadas e as condições operacionais em que foram realizados os experimentos estão listados na Tabela 1 (Motta Lima *et al.*, 2001). As curvas de taxa de secagem foram obtidas a partir da derivação das curvas de secagem conseguidas por Motta Lima *et al.* (2001), pelo método de diferenças ($\Delta X/\Delta t$), ajustado para se atingir o valor da taxa nos pontos originalmente utilizados na construção das curvas de secagem, i. e.:

- 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 : $(\Delta X / \Delta t)_{\theta+}$ ou $(\Delta X / \Delta t)_{I-}$

- em X_c : $(\Delta X / \Delta t)_{X_c-}$

Tabela 1. Condições operacionais para a secagem convectiva de papel artesanal - Motta Lima *et al.* (2001)

Experimento	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	12
A (cm ²)	904	795	870	878	873	905	835	832	797	800	848
M (g/m ²)	161	123	168	205	156	113	158	197	157	170	172
E (mm)	0,27	0,21	0,28	0,36	0,27	0,18	0,28	0,34	0,28	0,27	0,30
σ_E (mm)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02
T_{ba} (°C)	25,5	21,0	22,0	27,5	27,0	24,0	24,0	28,0	27,0	24,0	28,5
T_{bu} (°C)	19,0	18,0	19,0	20,0	20,0	19,0	19,0	20,0	19,5	19,0	20,0
T_s (°C)	50	50	50	50	60	60	60	60	70	70	70
v_{ar} (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 (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 (b.s.)	0,044	0,065	0,068	0,060	0,040	0,021	0,016	0,039	0,017	0,016	0,015

Os resultados da secagem convectiva das folhas de papel artesanal foram divididos conforme o tipo de influência que se desejava estudar, ou seja, temperatura e velocidade do ar de secagem e espessura das amostras. Esses resultados são apresentados nas Figuras 2 a 7.

Influência da temperatura do ar. A influência da temperatura do ar de secagem pode ser observada nas Figuras 2 e 3, experimentos 1, 5 e 10 ; 3, 7 e 11, para espessuras de 0,27-0,28 mm e velocidades do ar de secagem de 0,6 e 1,0 m/s, respectivamente.

Conforme esperado, para maiores temperaturas do ar, foram obtidas maiores taxas de secagem, podendo-se observar a presença de um período inicial, seguido dos períodos de taxa constante e de taxa decrescente de secagem.

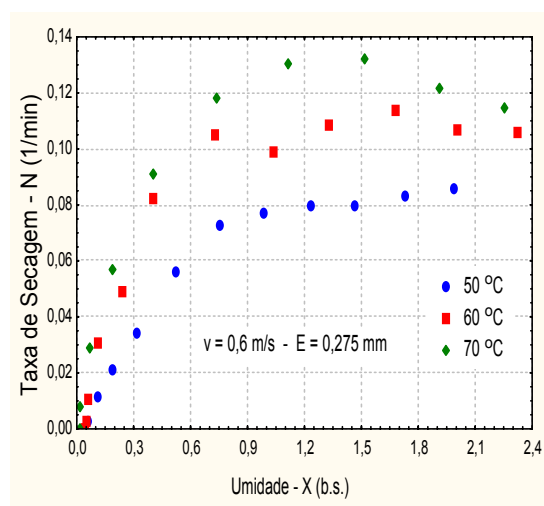


Figura 2. Taxas de secagem. Efeito da temperatura - $v = 0,6$ m/s

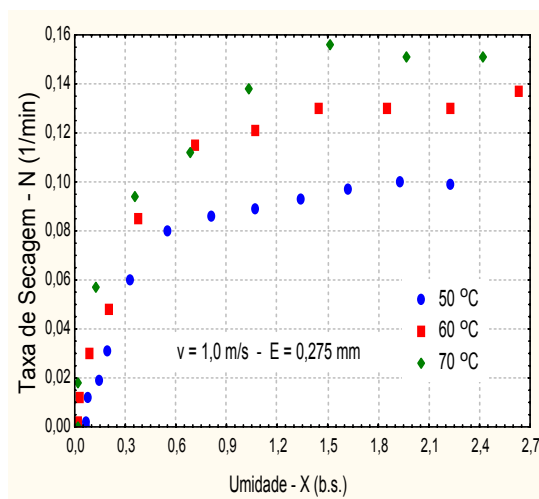


Figura 3. Taxas de Secagem. Efeito da temperatura - $v = 1,0$ m/s

Influência da velocidade do ar. A influência da velocidade do ar de secagem pode ser observada na Figura 4, experimentos 1 e 3; 5 e 7; 10 e 11, para espessuras de 0,27-0,28 mm e temperaturas do ar de secagem de 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

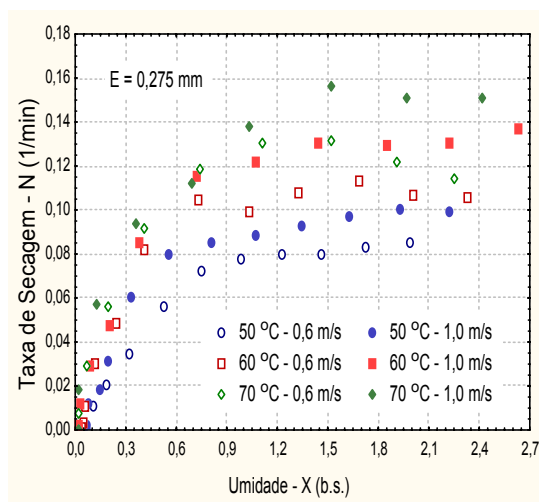


Figura 4. Taxas de secagem. Efeito da velocidade do ar

Pode-se notar que a variação na velocidade do ar, de 0,6 para 1,0 m/s, levou a um aumento das taxas de secagem, basicamente na região do período de taxa constante, onde a influência das condições externas (i.e., do ar de secagem) é predominante. Já para o período de taxa decrescente, no qual predominam as resistências internas à migração de umidade para a superfície do material, esse efeito se mostrou bastante reduzido.

Influência da espessura. A influência da espessura das amostras pode ser observada nas Figuras 5 a 7, experimentos 2, 3 e 4; 6, 7, e 8; 11 e 12, para uma velocidade do ar de secagem de 1,0 m/s e temperaturas de 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

Como era de se esperar, um aumento na espessura das amostras levou à redução das taxas de secagem (e, principalmente, das taxas constantes), pela maior dificuldade de migração da água face à maior espessura.

As curvas de taxa de secagem também sugerem, como em Motta Lima *et al.* (2001), que esse efeito parece acentuar-se com a redução da temperatura do ar de secagem, já que, nesse caso, têm-se uma menor “força motriz” interna para vencer a resistência ao transporte de água do interior do material até a sua superfície.

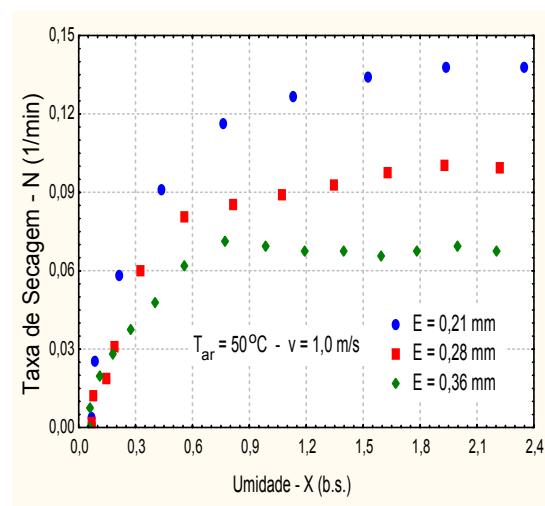


Figura 5. Taxas de secagem a 50°C - efeito da espessura

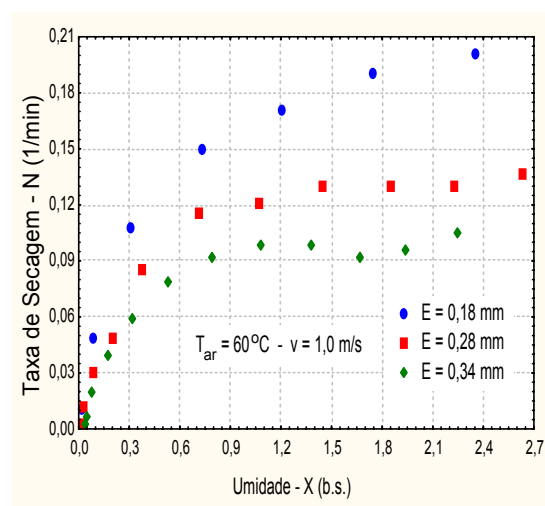


Figura 6. Taxas de secagem a 60°C - efeito da espessura

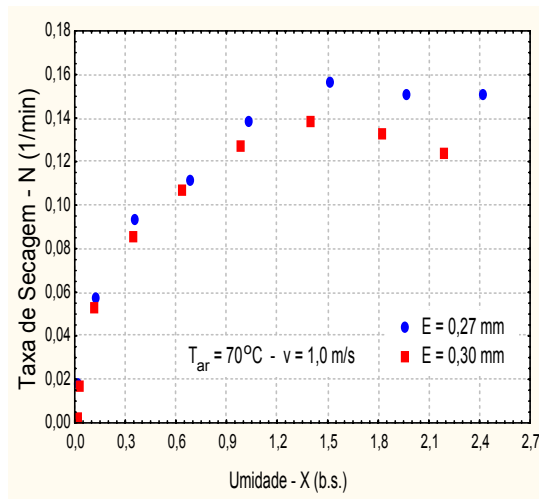


Figura 7. Taxas de secagem a 70°C - efeito da espessura

Ajuste das curvas de taxa de secagem

Como o comportamento observado para as curvas de taxa de secagem mostrou claramente a presença dos períodos de taxa constante e decrescente de secagem, foi desenvolvida a seguir uma análise, de acordo com a abordagem clássica desses dois períodos.

Período de taxa constante. A dependência da taxa constante com as condições de secagem (temperatura e velocidade do ar) pode ser analisada considerando-se que a evaporação da água “livre”, durante esse período, dá-se como se fosse água pura evaporando sobre uma superfície plana, sendo ignorada a presença do sólido. Desse modo, o calor fornecido pelo ar é utilizado na evaporação da umidade, ficando o balanço de energia na superfície do sólido da forma:

$$h_c (T_{ar} - T_{SL}) = \lambda N'_C \quad (1)$$

Rearranjando, e explicitando para a taxa de secagem por massa de sólido seco (N_C):

$$N_C = \frac{2h_c}{M_{ss}\lambda} (T_{ar} - T_{SL}) \quad (2)$$

A utilização dessa equação fica sujeita ao conhecimento da temperatura do sólido (T_{SL}) durante esse período, a qual, em se tratando de secagem convectiva e desprezando-se efeitos de radiação, pode ser substituída pela temperatura de bulbo úmido do ar aquecido nas condições de secagem (T_{bu}), que corresponde à temperatura de equilíbrio para o período de taxa constante (T_{vap}).

Dessa forma, e rearranjando a Equação 2 para incorporar a dependência de N_C com a espessura do material (Perry e Chilton, 1980):

$$N_C = \frac{2h_c}{\rho_{ss}\lambda E} (T_{ar} - T_{vap}) \quad (3)$$

O coeficiente externo de transferência de calor (h_c) pode ser inferido da literatura, sendo calculado, normalmente, da seguinte forma:

$$Nu = (C1) (Re)^{C2} (Pr)^{1/3} \quad ; \quad (4)$$

ou, assumindo-se constantes as propriedades físicas do ar, face às pequenas variações de temperatura do ar e do sólido encontradas neste estudo:

$$h_c = (H1) (d_{SL} v_{ar})^{H2} \quad , \quad (5)$$

onde $d_{SL} = [A_s]^{1/2}$ é a dimensão característica das folhas de papel. Substituindo a Equação 5 na Equação 3:

$$N_C = \frac{2(H1)(d_{SL} v_{ar})^{H2}}{\rho_{ss}\lambda E} (T_{ar} - T_{vap}) \quad (6)$$

Na Tabela 2, são mostrados os dados da secagem obtidos a partir dos experimentos da tabela 1 e os resultados do ajuste de $N_{C,S}$ ($R^2 = 0,9860$; $F = 509,6$), com os valores médios (11 amostras) de d_{SL} ($0,206 \pm 0,005$ m) e ρ_{ss} ($0,56 \pm 0,03$ kg/m³).

Tabela 2. Resultados da secagem ([S.I.])

T_{ar} (°C)			
$v_{ar} = 0,6$ m/s	50	60	70
$E \times 10^3$ (m)	0,27	0,27	0,28
T_{vap} (°C)	25,8	28,5	30,3
$N_C \times 10^3$ (s ⁻¹)	1,368	1,785	2,120
$N_{C,S} \times 10^3$ (s ⁻¹)	1,356	1,765	2,145
T_{ar} (°C)			
$v_{ar} = 1$ m/s	50	60	70
$E \times 10^3$ (m)	0,21	0,18	
	0,28	0,28	0,27
	0,36	0,34	0,30
T_{vap} (°C)	26,2	28,5	30,6
	26,7	28,5	30,4
	26,1	28,3	
$N_C \times 10^3$ (s ⁻¹)	2,210	3,182	2,570
	1,610	2,172	2,243
	1,134	1,613	
$N_{C,S} \times 10^3$ (s ⁻¹)	2,055	3,172	2,645
	1,509	2,039	2,393
	1,204	1,690	

A equação resultante do ajuste, para $\lambda \approx 2400$ kJ/kg, fica então ([S.I.]):

$$N_C = \frac{(0,04244)(d_{SL} v_{ar})^{0,3545}}{(2.400.000) \rho_{ss} E} (T_{ar} - T_{vap}) \quad ,$$

ou

$$N_C = \frac{(1,813 \times 10^{-8})(v_{ar})^{0,3545}}{E} (T_{ar} - T_{vap}) \quad (7)$$

Os resultados apresentados na Tabela 2 ($N_{C,S}$ “x” N_C), com um desvio/erro médio da ordem de 4% (máximo: 7%), indicam que a abordagem proposta se mostrou adequada para a estimativa das taxas constantes. Os valores de h_c obtidos para $v_{ar} = 0,6$ e 1 m/s, foram, respectivamente, de 0,0101 e 0,0121 W/m²°C.

Período de taxa decrescente. Pode-se observar, a partir das Figuras 3 a 8, que, de um modo geral, esse período se apresenta dividido em duas fases, com um segundo período bastante curto, que tem seu início na faixa de 8 a 12 % de umidade (b.s.), sendo assumido um valor de 0,10 (b.s) para X_{C2} .

Primeiro período de taxa decrescente. Nesse período, foi utilizada uma abordagem baseada no escoamento capilar, Perry e Chilton (1980), que propõe uma redução proporcional/linear da taxa de secagem. Dessa forma:

$$N_D = N_C + \frac{(N_C - N_D[X_{C2}])}{(X_C - X_{C2})} (X - X_C) \quad (8)$$

Essa abordagem está de acordo com o proposto nos trabalhos de Nissan e Kaye (1955) e Motta Lima *et al.* (2000) (papel) e Ratna Prabhu *et al.* (1980) (tecido), nos quais os autores também propõem uma redução linear da taxa constante para esse período.

Segundo período de taxa decrescente. Nesse período, em função da sua curta duração, que levou a uma insuficiência de dados, fez-se apenas um ajuste puramente linear entre a umidade crítica X_{C2} e a umidade de equilíbrio ao final da secagem (X_e). Dessa forma:

$$N_D = N_D[X_{C2}] \frac{(X - X_e)}{(X_{C2} - X_e)} \quad (9)$$

Os dados necessários de X_C , X_{C2} e X_e para utilização nas Equações 8 e 9 estão listados na Tabela 3, sendo os primeiros obtidos a partir da interseção das retas de ajuste dos dados do primeiro período de taxa decrescente com os valores das taxas constantes de secagem.

Tabela 3. Dados de X_C , X_{C2} e X_e

T_{ar} (°C)			
$v_{ar} = 0,6$ m/s	50	60	70
$E \times 10^3$ (m)	0,27	0,27	0,28
X_C (b.s.)	0,76	0,55	0,59
X_{C2} (b.s.)	0,10	0,10	0,10
X_e (b.s.)	0,044	0,040	0,017
T_{ar} (°C)			
$v_{ar} = 1$ m/s	50	60	70
$E \times 10^3$ (m)	0,21	0,18	0,27
	0,28	0,28	0,30
	0,36	0,34	
X_C (b.s.)	0,65	0,97	1,09
	0,52	0,60	0,88
	0,63	0,54	
X_{C2} (b.s.)	0,10	0,10	0,10
X_e (b.s.)	0,065	0,021	0,016
	0,068	0,016	
	0,060	0,039	0,015

Curvas de taxa de secagem ajustadas

As Figuras 9 a 11 trazem os resultados do ajuste das curvas de taxa de secagem, obtidos a partir dos procedimentos descritos anteriormente (Equações 7, 8 e 9). Pode-se observar um desempenho satisfatório para o período de taxa constante (pior para as duas menores espessuras face ao comportamento mais acentuado das curvas neste período – menos pontos “x” secagem mais rápida) e um bom ajuste no que diz respeito aos dois períodos de taxa decrescente.

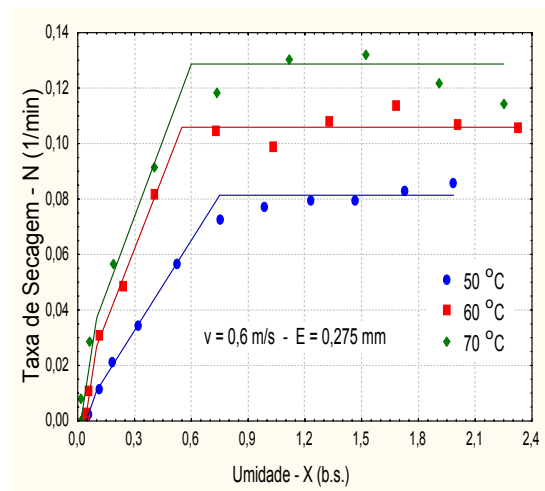
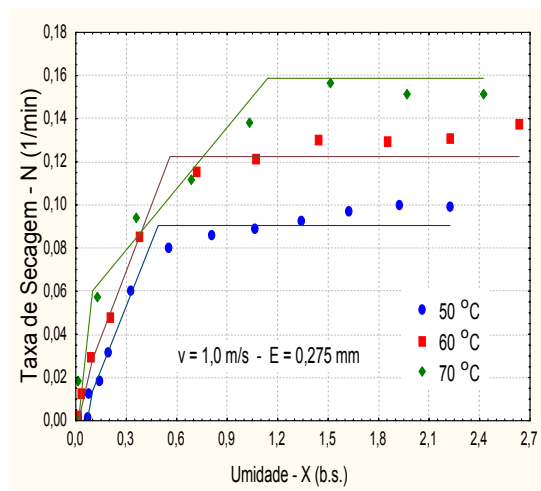
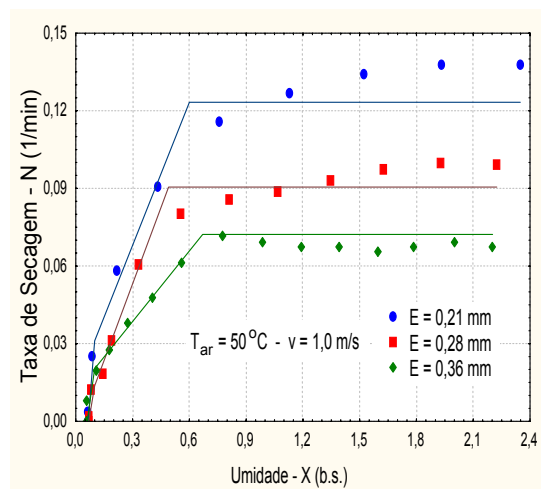
Figura 8. Taxas de secagem ajustadas: $v = 0,6$ m/s ; $E = 0,275$ mmFigura 9. Taxas de secagem ajustadas: $v = 1,0$ m/s ; $E = 0,275$ mm

Figura 10. Taxas de secagem ajustadas - 50°C. Efeito da espessura

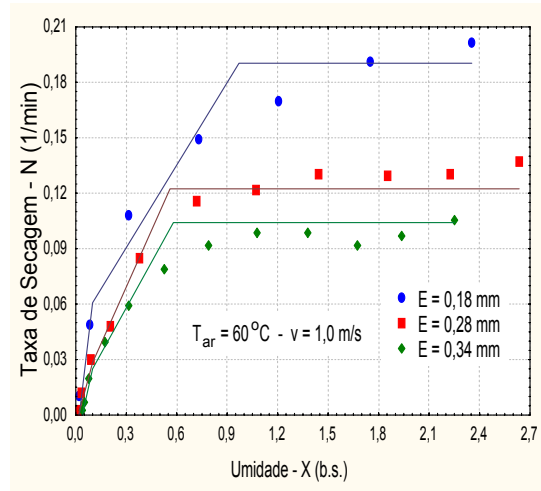


Figura 11. Taxas de secagem ajustadas - 60°C. Efeito da espessura

As principais conclusões deste trabalho, no contexto da região estudada (T_{ar} : 50 a 70 °C; v_{ar} : 0,6 a 1,0 m/s; E : 0,18 a 0,36 mm) são relacionadas a seguir.

O efeito da variação da velocidade do ar se mostrou mais importante durante o período de taxa constante de secagem (controlado pelas resistências externas), interferindo muito pouco no período de taxa decrescente (controlado pelas resistências internas). Sendo assim, optou-se pela abordagem clássica de dois períodos de secagem na análise das curvas de taxa de secagem.

O ajuste do período de taxa constante pelas equações oriundas do balanço de energia para o sólido se mostrou adequado, sendo também estimado o coeficiente de transferência de calor por convecção entre o papel e o ar.

Em ambas as regiões do período de taxa decrescente, a escolha de uma abordagem do tipo redução linear da taxa de secagem função das umidades críticas e de equilíbrio se mostrou acertada, levando a um ajuste satisfatório para este período.

Nomenclatura

A	- superfície de secagem ($= 2A_s$), [L^2]
A_s	- área/superfície da amostra, [L^2]
b.s.	- base seca
b.u.	- base úmida
C_1	- parâmetro da Equação 4, [-]
C_2	- parâmetro da Equação 4, [-]
d_{SL}	- dimensão característica, [L]
E	- espessura da amostra, [L]
σ_E	- desvio padrão de E , [L]
F	- estatística F , $\equiv$ razão entre o quadrado médio dos valores preditos e o quadrado médio dos resíduos da estimação (maior F , melhor a estimação e o ajuste da equação), [-]
h_C	- coeficiente de transferência externa de calor por convecção, [$M/\theta T^3$]
H_1	- parâmetro das Equações 5 e 6, [conforme Equações]
H_2	- parâmetro das Equações 5 e 6, [conforme Equações]
M	- gramatura da amostra, [M/L^2]
N_C'	- taxa constante de secagem, $\equiv$ (massa de água)/(tempo)(A), [M/TL^2]
N_C	- taxa constante de secagem, $\equiv$ (massa de água)/(massa de sólido seco)(tempo), [$1/T$]
$N_{C,S}$	- taxa constante de secagem simulada, $\equiv$ (massa

	de água)/(massa de sólido seco)(tempo), [$1/T$]
N_D	- taxa decrescente de secagem, $\equiv$ (massa de água)/(massa de sólido seco)(tempo), [$1/T$]
Pr	- número de Prandtl, [-]
Re	- número de Reynolds, [-]
R^2	- coeficiente de correlação, [-]
t	- tempo de secagem, [T]
T_{ar}	- temperatura do ar de secagem, [θ]
T_{bs}	- temperatura de bulbo seco, [θ]
T_{bu}	- temperatura de bulbo úmido, [θ]
T_{SL}	- temperatura do sólido, [θ]
T_{vap}	- temperatura de vaporização, [θ]
v_{ar}	- velocidade do ar de secagem, [θ]
X	- umidade (b.s.), [-]
X_0	- umidade inicial da amostra (b.s.), [-]
X_C	- umidade crítica (b.s.), [-]
X_{C2}	- umidade crítica (b.s.) para o segundo período de taxa decrescente, [-]
X_e	- umidade de equilíbrio (b.s.), [-]
ρ_{ss}	- massa específica, amostra seca, [M/L^3]
λ	- calor latente de vaporização da água, [$1/L^2T^2$]

Referências

- FORTE GIL, M.A. *et al.* Reciclagem de papel utilizando métodos artesanais. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 5., 1996, Londrina. *Anais...* londrina: CNPq/Uel/Uem/Uepg/Unioeste, 1996, p. 338.
- MOTTA LIMA, O.C. *et al.* Taxas de secagem na secagem condutiva/conectiva de papel com ar ambiente em convecção forçada". In: COBRASP (ENEMP'99), 27, 1999, Campos do Jordão-SP. *Anais...* Campos do Jordão: DEQ/EPUSP, 2000, p. 525-532.
- 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.
- NISSAN, A.H.; KAYE, W.G. (1955); citados em BELL, D.O. *et al.* Recent developments in paper drying. In: Mujundar, A. S. *Advances in Drying*, V. 5, Cap. 6, Washington D.C.: Hemisphere Publ. Corp., 1994, p. 203-261.
- PERRY, R.H.; CHILTON, C.H. *Manual de Engenharia Química*, 5. ed., Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1980.
- RATNA PRABHU, M. *et al.* Thermal characteristics of contact drying through computer simulation. *Drying'80*, New York: Hemisphere Publ. Corp., v. 1, p. 403-412, 1980.

Received on September 16, 2002.

Accepted on November 08, 2002.