

# Aspectos da secagem convectiva de papel artesanal

Oswaldo Curty da Motta Lima\*, Marcos Antônio Forte Gil, 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, são estudados alguns aspectos da secagem de papel reciclado obtido de forma artesanal, tendo como objetivo principal a análise da cinética de secagem para diferentes condições operacionais em regime de convecção natural ou forçada. Deste modo, pretendeu-se verificar a possibilidade de redução do tempo de secagem das folhas produzidas artesanalmente, pela utilização de ar aquecido em convecção forçada, como alternativa para a secagem convencional com ar ambiente, sem que com isso houvesse perda na qualidade final do papel produzido. Dentro deste contexto, foram levantadas as curvas de secagem para diferentes condições operacionais, de modo a se verificar a influência de variáveis importantes, tais como: temperatura e velocidade do ar de secagem e espessura das amostras de papel artesanal, no comportamento do processo. Também foi analisada a possibilidade de utilização de correlações disponíveis na literatura, na simulação do comportamento das curvas de secagem obtidas.

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

**ABSTRACT. Convective drying of handmade paper.** The drying of handmade paper at natural and forced air conditions is provided. Research aims at verifying the possibility of reducing the paper's drying time by the use of convective hot air alongside the traditional way (ambient air conditions) and without any losses in paper quality. In this context, paper drying curves were built for different operational conditions to analyze the influence of important variables, such as temperature and air velocity of the drying air, and handmade paper thickness, in process behavior. The applicability of literature correlations to fit the drying curves and their behavior due to the above variables have also been analyzed.

**Key words:** handmade paper, drying, handmade paper drying.

## O papel artesanal

A história da utilização do papel, como forma de comunicação entre os homens, inicia-se com o papel fabricado artesanalmente, o qual surgiu após o pergaminho e o papiro, dando origem posteriormente à sua fabricação industrial.

Atualmente, devido às 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, principalmente junto ao meio artístico.

Esta reciclagem consiste basicamente no reaproveitamento das fibras celulósicas de papéis usados e de aparas (resíduos ou produtos de papel coletados antes e/ou após sua utilização), na produção de novos papéis. Qualquer tipo de papel usado pode ser aproveitado.

A fabricação artesanal de papel não deixa de estar inserida no contexto da reciclagem de papel.

Assim, e com intuito de se conhecer um pouco mais deste processo, foi implantada uma pequena “oficina-piloto” de reciclagem de papel no Departamento de Engenharia Química (DEQ) da Universidade Estadual de Maringá (UEM), Estado do Paraná, sendo composta por tanques, liqüidificador industrial de pequeno porte, cortador de papel e prensa (Forte Gil *et al.*, 1996).

A matéria-prima utilizada consistiu em papéis usados (aparas) recolhidos, a partir de coleta seletiva realizada no próprio departamento, submetidos ao procedimento representado esquematicamente na Figura 1 e descrito em maiores detalhes por Forte Gil *et al.* (1996).

## FLUXOGRAMA DO PROCESSO



Figura 1. Fluxograma da fabricação de papel artesanal

### Secagem de papel artesanal

A secagem de papel do tipo artesanal é feita, tradicionalmente, submetendo o material às condições do ambiente onde se encontra (secagem “natural”), seja pendurando-o em varais, ou retirando-o semi-úmido do tecido e espalhando as folhas sobre mesas.

Forte Gil *et al.* (1996) verificaram que este procedimento normalmente levava o papel produzido a sofrer deformações, ficando ondulado. Este fato é devido a contração irregular das fibras durante o processo de secagem, provavelmente causada por transferência e calor e massa em regiões preferenciais.

Com base nestes resultados, Forte Gil *et al.* (1996) constataram que uma forma eficaz de se evitar este problema seria realizar a secagem do papel juntamente com o tecido no qual foi prensado. Todavia, este procedimento se mostrou demorado, resultando em tempos de secagem muito longos, de cerca de, no mínimo, 12 h.

Entretanto, pode-se considerar o processo de secagem de papel artesanal satisfatório, se for possível

obter uma superfície uniforme para o produto final através de uma prensagem posterior das folhas de papel seco.

Como a secagem “natural” é um processo lento, uma alternativa para a redução do tempo de secagem seria a utilização de estufas ou secadores convectivos.

Cabe ressaltar que a temperatura de secagem é de grande importância, pois a aplicação muito rápida de calor à folha pode produzir endurecimento superficial e tensão nas fibras, prejudicando o processo de secagem e, naturalmente, a qualidade final do papel produzido.

Dessa forma, com o intuito de reduzir o tempo de secagem, e sem causar danos na forma final do papel produzido, este trabalho pretende realizar, em uma primeira etapa, um estudo comparativo entre a secagem “natural” e uma alternativa de secagem convectiva, a partir da utilização de ar aquecido em diferentes condições de temperatura e velocidade.

Posteriormente, em uma segunda etapa dentro do contexto da secagem convectiva, será analisada, a partir das curvas de secagem obtidas em diferentes condições operacionais, a influência de variáveis importantes, tais como: temperatura e velocidade do ar de secagem e espessura das amostras de papel artesanal, no comportamento do processo.

Nesta segunda etapa, também será analisada a possibilidade de utilização de modelos e correlações empíricas e/ou semi-empíricas disponíveis na literatura (Motta Lima e Massarani, 1996), no ajuste das curvas de secagem obtidas e na verificação do seu comportamento em relação às variáveis estudadas.

### Material e métodos

#### Matéria-prima

Papel reciclado de formulário contínuo para computador coletado seletivamente no próprio DEQ/UEM e preparado conforme descrito na Figura 1 e 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 e largura), respectivamente, nas condições ambientes da oficina de reciclagem. A gramatura das amostras ( $M$ , massa/área) também foi calculada nestas condições.

#### Secagem “natural”

A secagem “natural” (ou “tradicional”) das folhas de papel artesanal foi feita sem a presença do tecido, deixando-se as folhas penduradas livremente em um varal e sujeitas às condições ambientes da oficina de reciclagem do DEQ/UEM.

O acompanhamento da massa das amostras foi feito à cada 15 minutos (balança, precisão: 0,01 g) e seu teor de umidade (b.s.), calculado a partir do método do peso seco constante em estufa a  $\sim 105^{\circ}\text{C}$ .

### Secagem convectiva

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

O secador consiste em um soprador que fornece um fluxo contínuo de ar, regulado por um “dumper”, para o interior de uma câmara fechada que possui uma abertura superior para exaustão do ar aquecido a ser usado na secagem das amostras, cuja temperatura é ajustada através de 4 (quatro) resistências elétricas acionadas separadamente e de um “variac” (Figura 2).

As condições ambientes (temperatura e umidade do ar) da oficina de reciclagem e do LAB II foram determinadas com um psicrômetro do tipo bulbo seco-bulbo úmido. A massa das amostras foi determinada a cada 3 min (balança, precisão: 0,01 g) e seu teor de umidade (b.s.) calculado a partir do método do peso seco constante em estufa a  $\sim 105^{\circ}\text{C}$ .

As velocidades e temperaturas do ar de secagem foram medidas com um anemômetro digital (no local da amostra) e com um termopar inserido no interior do secador, ligado a um indicador digital de temperatura, respectivamente.

A área de transferência das amostra (A) foi tomada como duas vezes a área das folhas utilizadas, uma vez que o processo de transferências de calor e massa por convecção ocorre em ambos os lados da folha.

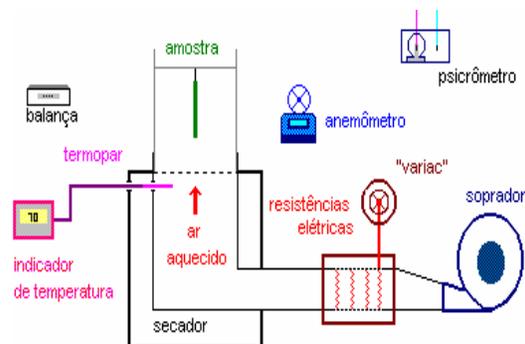


Figura 2. Esquema do módulo experimental de secagem

## Resultados e discussão

### Secagem “natural”

Os resultados da secagem “natural” das folhas de papel, sem a presença do tecido, são apresentados na Tabela 1 e Figura 3.

Tabela 1. Resultados da secagem “natural”

Amostras	A1	A2	A3
A (cm <sup>2</sup> )	1672	1698	1735
M (g/m <sup>2</sup> )	145	110	175
E (cm)	0,024	0,020	0,037
D.P.(E) (cm)	0,001	0,001	0,002
T <sub>bs</sub> (°C)	28	21	22
T <sub>bu</sub> (°C)	21	18	13
T <sub>amb</sub> (°C)	28	21	22
X <sub>0</sub> (b.s.)	2,266	2,716	2,958
X <sub>c</sub> (b.s.)	0,071	0,051	0,056

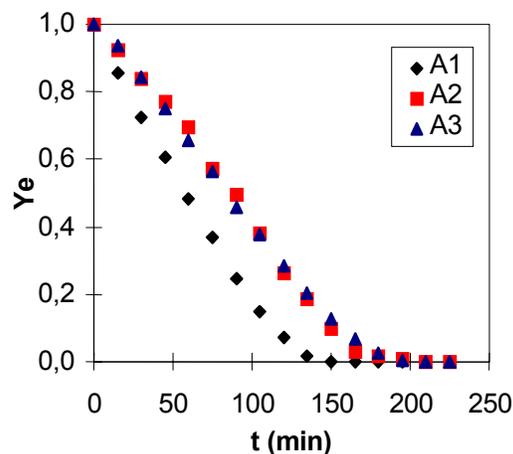


Figura 3. Curvas de secagem - Secagem “natural”

Como se pode notar, a retirada do tecido permitiu uma redução do tempo de secagem das folhas de papel das mais de 12 h originais para valores, dependendo das condições ambientes de, no máximo, 3,5 h e sem apresentar problemas quanto à qualidade final (forma) das folhas obtidas.

Na Figura, 3 também se pode observar o efeito da temperatura ambiente de secagem, ficando evidente sua importância como variável do processo junto com a umidade e a espessura do material, (Forte Gil *et al.*, 1996).

### Secagem convectiva - Etapa 1

Os resultados da secagem convectiva das folhas de papel para esta primeira etapa são apresentados na Tabela 2 e Figura 4.

Tabela 2. Resultados da secagem convectiva (Ensaio 1)

Amostras	A4	A5	A6
A (cm <sup>2</sup> )	789	928	863
M (g/m <sup>2</sup> )	---	---	---
E (cm)	0,027	0,031	0,026
DP(E) (cm)	0,003	0,002	0,001
T <sub>bs</sub> (°C)	22,0	22,0	22,0
T <sub>bu</sub> (°C)	13,0	13,0	13,0
T <sub>s</sub> (°C)	89	80	70
v <sub>ar</sub> (m/s)	2-2,4	2-2,4	2-2,4
X <sub>0</sub> (b.s.)	2,831	2,652	2,982
X <sub>c</sub> (b.s.)	0,003	0,008	0,005

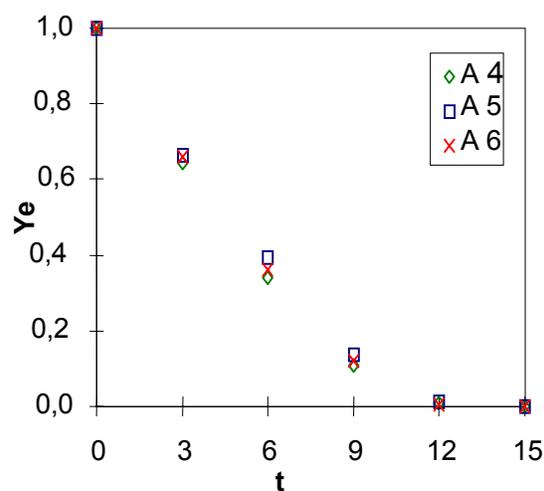


Figura 4. Curvas de secagem - Secagem convectiva (Ensaio 1)

Apesar de o tempo de secagem ter sido reduzido consideravelmente para em torno de doze a quinze minutos, os resultados não foram satisfatórios, pois o teste se mostrou destrutivo quanto à qualidade final (forma) do papel produzido, causando deformações que não puderam ser corrigidas pela prensagem posterior das folhas de papel seco.

É interessante notar que a variação nas temperaturas não alterou significativamente o processo de secagem, provavelmente devido à faixa de velocidade do ar de secagem utilizada. Desta forma, procurou-se trabalhar com uma redução desta velocidade, mantendo-se a temperatura das folhas em 70°C. Estes resultados são apresentados na Tabela 3 e Figura 5.

Tabela 3. Resultados da secagem convectiva (Ensaio 2)

Amostras	A7	A8	A9
A (cm <sup>2</sup> )	1681	786	848
M (g/m <sup>2</sup> )	---	173	172
E (cm)	0,023	0,031	0,030
DP(E) (cm)	0,002	0,002	0,002
T <sub>bs</sub> (°C)	22,0	28,5	28,5
T <sub>bu</sub> (°C)	13,0	20,0	20,0
T <sub>s</sub> (°C)	70	70	70
v <sub>ar</sub> (m/s)	0,2	0,6	1,0
X <sub>0</sub> (b.s.)	2,478	2,270	2,191
X <sub>c</sub> (b.s.)	0,010	0,032	0,015

Trabalhou-se inicialmente com uma redução da velocidade do ar para 0,2 m/s, sendo obtido um tempo de secagem em torno de 27 min.

Em função dos resultados satisfatórios quanto a qualidade final (forma) do papel, aumentou-se a velocidade para 0,6 e 1,0 m/s, com redução do tempo de secagem para em torno de 21 e 18 min, respectivamente. A qualidade (forma) das folhas obtidas não foi prejudicada. O comportamento inicial

da amostra 7 pode estar relacionado à sua maior área de transferência e menor espessura.

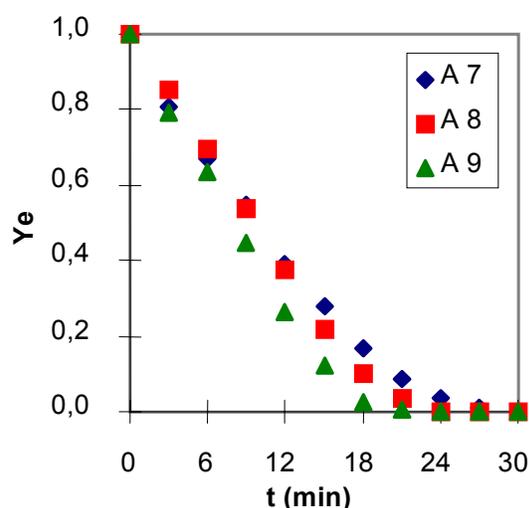


Figura 5. Curvas de secagem - Secagem convectiva (Ensaio 2)

### Secagem convectiva - Etapa 2

As características das amostras utilizadas e as condições operacionais em que foram realizados os experimentos desta segunda etapa da secagem convectiva estão listadas na Tabela 4.

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, sendo apresentados nas Figuras 6 a 12 e comentados a seguir.

Tabela 4. Condições operacionais para a secagem convectiva de papel artesanal - Etapa 2

Experimento	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
A (cm <sup>2</sup> )	904	795	870	878	873	905	835	832	1681	797	800	848	863
M (g/m <sup>2</sup> )	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	0,23	0,28	0,27	0,30	0,26
σ <sub>ii</sub> (mm)	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,02	0,03	0,02	0,02	0,02	0,02	0,01
T <sub>bs</sub> (°C)	25,5	21,0	22,0	27,5	27,0	24,0	24,0	28,0	22,0	27,0	24,0	28,5	22,0
T <sub>bu</sub> (°C)	19,0	18,0	19,0	20,0	20,0	19,0	19,0	20,0	13,0	19,5	19,0	20,0	13,0
T <sub>s</sub> (°C)	50	50	50	50	60	60	60	60	70	70	70	70	70
v <sub>ar</sub> (m/s)	0,6	1,0	1,0	1,0	0,6	1,0	1,0	1,0	0,2	0,6	1,0	1,0	2-2,4
X <sub>0</sub> (b.s.)	1,986	2,348	2,224	2,202	2,325	2,354	2,635	2,250	2,478	2,251	2,422	2,191	2,982
X <sub>c</sub> (b.s.)	0,044	0,065	0,068	0,060	0,040	0,021	0,016	0,039	0,010	0,017	0,016	0,015	0,005

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

Como era de se esperar, uma maior temperatura do ar levou a um aumento na taxa de evaporação e a uma redução do tempo de secagem.

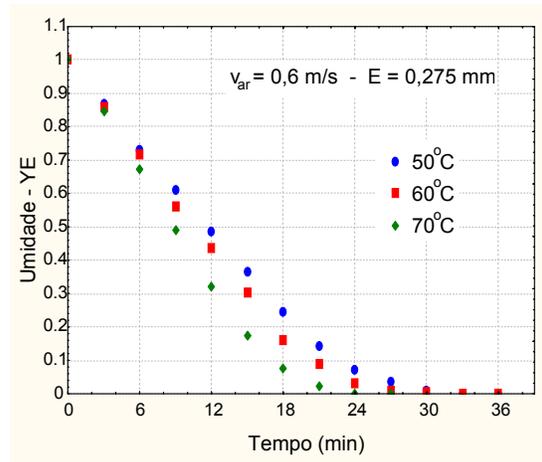


Figura 6. Efeito da temperatura -  $v = 0,6$  m/s

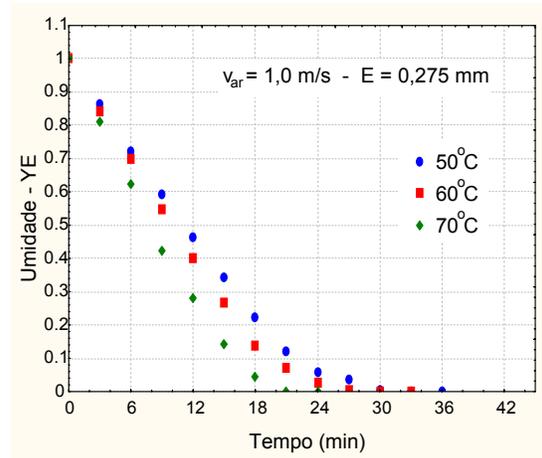


Figura 7. Efeito da temperatura -  $v = 1,0$  m/s

**Influência da velocidade do ar.** A influência da velocidade do ar de secagem pode ser observada na Figura 8, que relaciona os experimentos 1-3, 5-7 e 10-11, com espessuras de 0,27/0,28 mm e temperaturas do ar de secagem de 50, 60 e 70 °C, respectivamente.

Como se pode observar, para esta região de operação, a variação na velocidade do ar entre 0,6 e 1,0 m/s não modificou substancialmente o processo de secagem, havendo um efeito um pouco mais acentuado com o aumento da temperatura.

Neste caso, diferente dos resultados dos ensaios de secagem convectiva, com velocidade do ar na faixa de 2 a 2,4 m/s, esta faixa de velocidades não inibiu o efeito da temperatura no processo de secagem.

Com o intuito de melhor analisar o efeito desta variável sobre a secagem, construiu-se a Figura 9, a partir dos experimentos 9, 10, 11 e 13. Pode-se notar a redução no tempo de secagem à medida que se aumenta a velocidade do ar de 0,2 m/s para a região de 0,6 a 1,0 m/s e, principalmente, na passagem desta região para a de 2-2,4 m/s, já que estas mudanças são proporcionalmente maiores que a originalmente proposta neste trabalho.

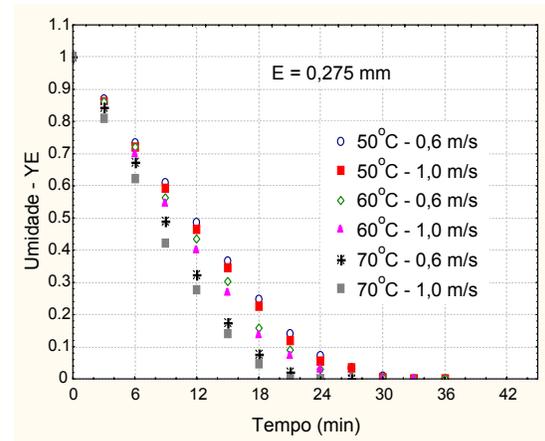


Figura 8. Curvas de secagem - Efeito da velocidade do ar

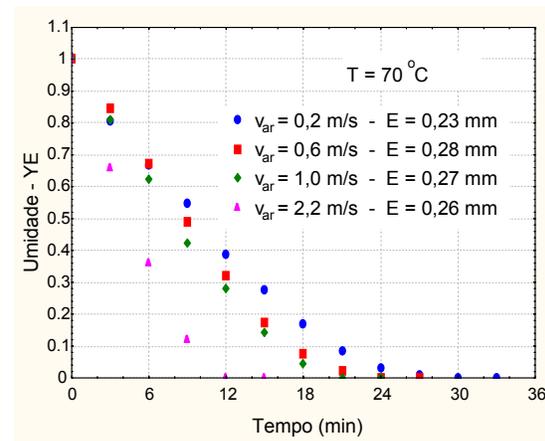


Figura 9. Curvas de secagem a 70°C - Efeito da velocidade do ar

**Influência da espessura.** A influência da espessura das amostras pode ser observada nas Figuras 10 a 12, que relacionam os experimentos 2-3-4, 6-7-8 e 11-12, 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, neste caso, um aumento na espessura das amostras levou a um aumento do tempo de secagem, devido à redução da taxa de secagem pela maior dificuldade de migração da água, em função da maior espessura.

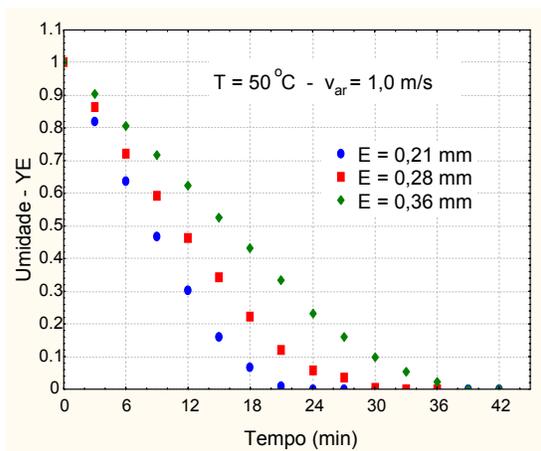


Figura 10. Curvas de secagem a 50°C - Efeito da espessura

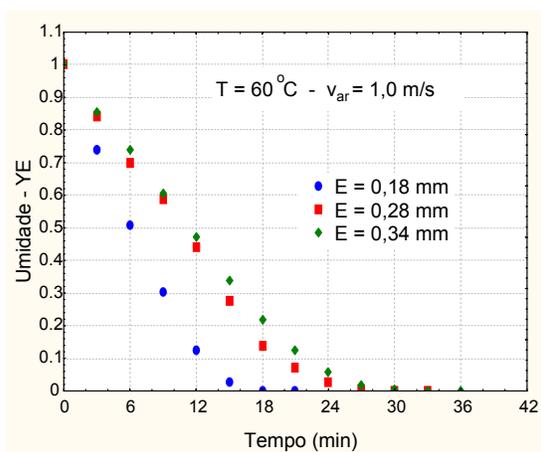


Figura 11. Curvas de secagem a 60°C - Efeito da espessura

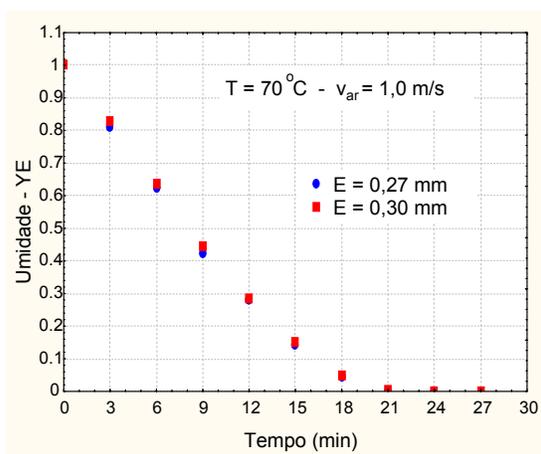


Figura 12. Curvas de secagem a 70°C - Efeito da espessura

Pode-se observar também que este efeito parece ser mais acentuado quanto menor for a temperatura,

já que, neste caso, tem-se uma menor “força motriz” interna para vencer a resistência à migração de água para a superfície do material.

### Modelagem das curvas de secagem

Com o intuito de quantificar a influência das variáveis estudadas nas curvas de secagem obtidas, será verificada a possibilidade de utilização do modelo proposto por Page (1949) citado por (Motta Lima e Massarani, 1996), Equação 1, modificada de acordo com o efeito que se deseja analisar.

$$YE = \exp(-k t^n) \quad (1)$$

**Influência da temperatura.** Neste caso, a Equação 1 foi modificada a partir de uma correlação do tipo Arrhenius (Motta Lima e Massarani, 1996) para incorporar o efeito da temperatura, Equação 2:

$$YE = \exp \left[ -k_0 \exp \left( \frac{-H}{T_S} \right) t^n \right] \quad (2)$$

Inicialmente, as curvas de secagem relacionadas nas Figuras 6 e 7 foram ajustadas individualmente para as velocidades do ar de secagem de 0,6 e 1,0 m/s, com os seguintes resultados, respectivamente:

$$R = 0,9974, F = 395,6 ;$$

$$R = 0,9972, F = 362,9.$$

Em função da pouca influência da velocidade do ar nesta região estudada, foi feito um ajuste conjunto dos dados obtidos, com os seguintes resultados:  $R = 0,9968$ ,  $F = 316,9$  e, para os resíduos da estimação (Figura 13).

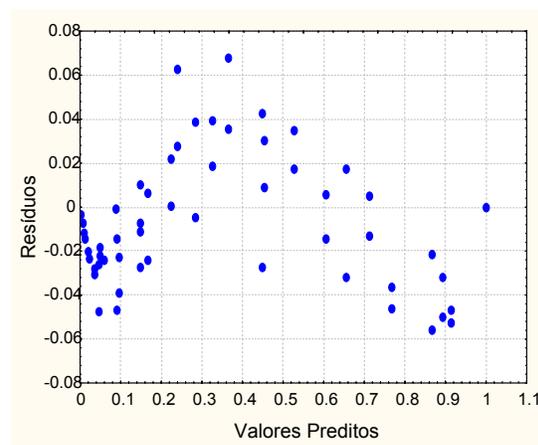


Figura 13. Resíduos: Efeito da temperatura

A Equação 2 torna-se então:

$$YE = \exp \left[ - (48,6) \exp \left( \frac{-2597}{T_S} \right) t^{1,576} \right] \quad (3)$$

A análise da Figura 13 mostra uma tendência que é comum quando da utilização do modelo de Page (1949), devido à presença da função  $t^n$  no argumento da exponencial, levando a um comportamento senoidal suave durante o período de taxa constante.

**Influência da espessura.** Neste caso, a Equação 1 foi modificada pela adição de diferentes correlações, tais como: polinomiais, exponenciais, logarítmicas, tipo potência, etc.

Inicialmente, as curvas de secagem relacionadas às Figuras 10 a 12 foram ajustadas individualmente para as temperaturas do ar de secagem de 50, 60 e 70 °C, e os melhores resultados foram conseguidos com uma correlação do tipo cúbica, Equação 4:

$$YE = \exp(-k t^n) + a E + b E^2 + c E^3 \quad (4)$$

com os seguintes resultados, respectivamente:

R = 0,9886 , F = 90,3 ;  
R = 0,9905 , F = 98,7 ;  
R = 0,9988 , F = 852,6 (a proximidade das curvas, neste caso, favoreceu fortemente o ajuste).

**Influência conjunta da temperatura do ar e da espessura das amostras.** Neste caso, tendo em vista os resultados obtidos nos itens anteriores, foi verificada a possibilidade de um ajuste conjunto destas variáveis sobre o processo de secagem na região estudada, a partir da incorporação da correlação para o efeito da temperatura na Equação 4, resultando a seguinte equação:

$$YE = \exp \left[ -k_o \exp \left( \frac{-H}{T_S} \right) t^n \right] \dots \quad (5)$$

$$\dots + a E + b E^2 + c E^3$$

com R = 0,9907 e F = 105,9, para o conjunto de dados obtidos com velocidade do ar de 1,0 m/s.

Novamente, face a pouca influência da velocidade do ar na região estudada, foi feito um ajuste com todos os dados obtidos para as velocidades de 0,6 e 1,0 m/s, chegando-se então aos seguintes resultados:

R = 0,9919 , F = 121,8 e com melhores resultados (melhor dispersão dos valores em torno do zero) para os resíduos da estimação, Figura 14.

A Equação 5 torna-se então:

$$YE = \exp \left[ - (198,9) \exp \left( \frac{-3065}{T_S} \right) t^{1,536} \right] \dots \quad (6)$$

$$\dots - (4,33) E + (24,8) E^2 - (34,6) E^3$$

É importante ressaltar que, em todos os experimentos realizados para este trabalho (Tabela 4), a qualidade (aspecto, forma, etc.) final das folhas após a secagem esteve de acordo com o que foi proposto no quarto parágrafo do item Secagem de Papel Artesanal.

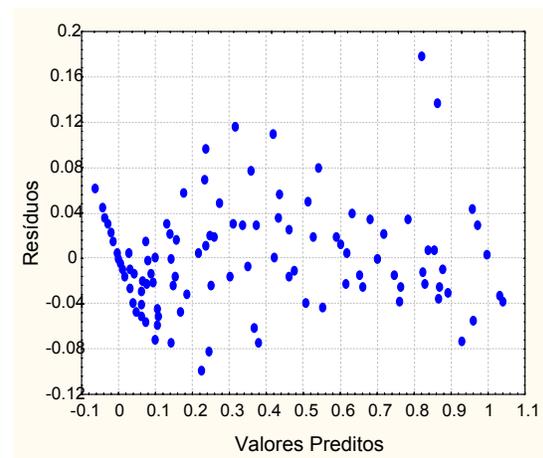


Figura 14. Resíduos: Efeito conjunto temperatura-espessura

## Conclusão

As principais conclusões deste trabalho são relacionadas a seguir.

Nas condições estudadas, a retirada do tecido na secagem “natural” permitiu uma redução do tempo de secagem das folhas de papel para no máximo 3,5 horas, sem problemas quanto à qualidade final (forma) do papel obtido. A temperatura do ambiente de secagem é variável importante do processo.

Na Etapa 1, com velocidades do ar na faixa de 2 a 2,4 m/s, a secagem convectiva reduziu consideravelmente o tempo total da operação para em torno de 12 a 15 min, mas o teste se mostrou destrutivo quanto à qualidade do papel produzido. Neste caso, as variações na temperatura do ar não alteraram significativamente o processo de secagem.

A redução da velocidade para a faixa de 0,2 a 1,0 m/s, levou a tempo de secagem em torno de 18 a 27 min, sem que a qualidade (forma) das folhas de papel produzidas fosse prejudicada.

Com os resultados obtidos na Etapa 2 da secagem convectiva, no contexto da região estudada ( $T_s$ : 50 a 70 °C ;  $v_{ar}$ : 0,6 a 1,0 m/s ;  $E$ : 0,18 a 0,36 mm), os seguintes aspectos podem ser constatados:

- a pequena influência da velocidade do ar no processo de secagem ;
- os efeitos da temperatura do ar de secagem e da espessura das amostras se apresentaram de acordo com o esperado para a secagem deste tipo de material ;
- o modelo de Page (1949) citado por Motta Lima (1996) (Equação 1) e suas modificações para a influência da temperatura do ar e espessura das amostras, mostraram-se adequados na representação das curvas de secagem obtidas, ressaltando-se, neste caso, a Equação 6, que permite um ajuste bastante satisfatório dos efeitos conjuntos das três variáveis estudadas.

Em todos os experimentos realizados nesta segunda etapa, não houve problemas quanto à qualidade final das folhas de papel, após a secagem.

#### Nomenclatura

- A - superfície de secagem ( $= 2A_s$ ), [L<sup>2</sup>]  
 $A_s$  - área/superfície da amostra, [L<sup>2</sup>]  
 a - parâmetro da Equações 4 e 5, [L<sup>-1</sup>]  
 b - parâmetro da Equações 4 e 5, [L<sup>-2</sup>]  
 b.s. - base seca  
 b.u. - base úmida  
 c - parâmetro da Equações 4 e 5, [L<sup>-3</sup>]  
 DP(E) - desvio padrão de E, [L]  
 E - espessura da amostra, [L]

- $\sigma_E$  - 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 - parâmetro das Equações 2 e 5, [ $\theta$ ]  
 k - “constante” de secagem (Eq.1), [T<sup>-n</sup>]  
 $k_0$  - parâmetro das Equações 2 e 3, [T<sup>-n</sup>]  
 M - gramatura da amostra, [M/L<sup>2</sup>]  
 n - parâmetro das Equações 1, 2, 4 e 5, [-]  
 R - coeficiente de correlação, [-]  
 t - tempo de secagem, [T]  
 $T_{bs}$  - temperatura de bulbo seco, [ $\theta$ ]  
 $T_{bu}$  - temperatura de bulbo úmido, [ $\theta$ ]  
 $T_s$  - temperatura do ar de secagem, [ $\theta$ ]  
 $v_{ar}$  - velocidade do ar de secagem, [ $\theta$ ]  
 X - umidade (b.s.), [-]  
 $X_0$  - umidade inicial da amostra (b.s.), [-]  
 $X_e$  - umidade de equilíbrio (b.s.), [-]  
 YE - umidade adimensional definida como:  
 $(X - X_e) / (X_0 - X_e)$ , [-]

#### Referências

- FORTE GIL, M.A. *et al.* Reciclagem de papel utilizando métodos artesanais. In: ENCONTRO ANUAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA CNPq/UEL/UEM/UEPG/UNIOESTE, 5, 1996. *Anais...* Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 1996, p. 328.  
 MOTTA LIMA, O.C.; MASSARANI, G. Estudo sobre a secagem de papel III: uma análise das equações de secagem. In: COBRASP, 23, 1995, Maringá-PR. *Anais...* Maringá: DEQ/CTC-UEM, 1996. v.1, p. 431-440.

*Received on September 25, 2001.*

*Accepted on November 23, 2001.*