

# MODELAGEM TEÓRICO-EXPERIMENTAL DE SISTEMAS SUSPENSOS DE SECAGEM

**Paulo Magalhães Filho**

Universidade Estadual Paulista - Unesp – Campus de Guaratinguetá – Depto. de Energia  
12.516-410- Guaratinguetá – SP - Brazil

**Jefferson Almeida Ribeiro**

Universidade Estadual Paulista - Unesp – Campus de Guaratinguetá – Depto. de Energia  
12.516-410- Guaratinguetá – SP - Brazil

**Resumo.** *Com a evolução tecnológica e maior competitividade entre as empresas, aliadas as maiores exigências do mercado consumidor, tornou-se imprescindível, na avaliação e aceitação de secadoras, a necessidade de se fabricar equipamentos que operem com maior rendimento e menor consumo de energia. Tais fatos motivam a estudar e analisar o desempenho de sistemas suspensos de secagem de uso doméstico, com relação às características de funcionamento e eficiência no processo de desumidificação de tecidos, pois os parâmetros que influenciam o desempenho dos secadores e os mecanismos de secagem devem ser conhecidos nos graus de precisão requeridos para cada aplicação. Os parâmetros avaliados neste trabalho foram os seguintes: conteúdos de umidade do tecido na entrada e na saída do secador, condições de transferência de calor, temperatura, a velocidade, a direção e a umidade absoluta do fluxo do meio de fornecimento de calor, e a distribuição de temperatura superficial do tecido. As previsões teóricas são comparadas com os resultados experimentais obtidos em uma bancada de testes onde, conforme configurações apresentadas, simularam-se as condições reais de trabalho do sistema. Foram selecionados os tecidos mais utilizados para manufatura de vestuário: Jeans índigo, Flanela, Cotton-Lycra, Brim, Tergal, Viscose e Linho.*

**Palavras-chave:** *Secagem de tecidos, consumo de energia, secador.*

## 1. INTRODUÇÃO

O circuito padrão de um sistema suspenso de secagem doméstica de tecidos consiste de um fluxo descendente de ar quente e seco, o qual é insuflado no interior de uma câmara envolta por um filme de plástico.

Na secagem de um sólido úmido, mediante um gás a uma temperatura e a uma umidade fixas, temos sempre um determinado tipo de comportamento da variação do teor de umidade em função do tempo de secagem.

Verifica-se que imediatamente após o contato entre o sólido e o meio secante a taxa de secagem do sólido ( $R$ ) - razão entre a massa de líquido evaporada e a massa de sólido seco durante um período de tempo por unidade de área superficial - ajusta-se até atingir um regime permanente. No regime permanente a temperatura da superfície do sólido molhado é a própria temperatura de bulbo úmido do meio secante. Toda superfície exposta do sólido está saturada de líquido. Uma vez que a temperatura da superfície do sólido tenha atingido a temperatura de bulbo úmido do meio secante, ela permanece bastante estável e a taxa de secagem também permanece constante. Esta fase do processo é o período de secagem à taxa constante. O período termina quando o sólido atinge um

teor de umidade, a partir do qual a temperatura da superfície começa a se elevar. Este ponto é chamado de teor crítico de umidade ( $X'_C$ ).

A partir do ponto de teor crítico de umidade, a temperatura da superfície do sólido eleva-se e a taxa de secagem cai. O período de taxa decrescente pode ser bem maior que o de taxa constante, no entanto, a quantidade de líquido removido será muito menor. A taxa de secagem atinge valores próximos de zero ( $R = 0$ ) num certo teor de umidade de equilíbrio ( $X'_E$ ), que é o menor teor de umidade atingível no processo de secagem com o sólido nas condições a que está submetido.

A secagem ocorre como se fosse a evaporação de uma massa de líquido, com a temperatura da superfície atingindo a temperatura de bulbo úmido do meio secante. Durante o período de taxa constante, a massa de líquido evaporada na superfície é substituída pelo líquido que vem do interior do sólido. Durante o período de secagem à taxa decrescente, a superfície vai ficando mais pobre em líquido, pois a velocidade do movimento do líquido do interior do sólido para a superfície é menor que a velocidade com que a massa é evaporada na superfície.

Os tecidos são estruturas fibrosas ou amorfas e são classificados como materiais orgânicos. Estes materiais retêm a umidade como parte integrante da estrutura do sólido, ou então retêm a mesma no interior de fibras ou de poros delgados internos. Nestes materiais, o movimento da umidade é lento e ocorre pela difusão do líquido através da estrutura do sólido. As curvas de secagem desses materiais mostram períodos de taxa constante muito curtos e conseqüentemente elevados valores de teor crítico de umidade ( $X'_C$ ). Os teores de umidade de equilíbrio ( $X'_E$ ) são, em geral, elevados em virtude da água presente fazer parte da estrutura do sólido, e sua remoção total danificar o material. As camadas superficiais tendem a secar mais rapidamente que o interior, e quando as taxas de secagem são muitas elevadas, ocorrem tão grandes gradientes no teor de umidade no interior do sólido, que a estrutura se rompe ou se deforma. Podem ocorrer casos onde se forma uma camada de material seco relativamente impermeável, que dificulta ou impossibilita o prosseguimento da secagem no interior do mesmo, ou em que se acentue o gradiente do teor de umidade no sólido, e dependendo do material, causar a sua deterioração. Em virtude destas circunstâncias, as condições da realização da secagem são relevantes e devem ser escolhidas tendo em vista os efeitos que podem ter sobre a qualidade do material (Foust et al, 1982).

Inicialmente, os fenômenos da secagem foram estudados e especificados em termos da variação dos parâmetros do estado do agente de secagem - o ar úmido. As equações governantes de transferência de calor e massa eram usadas para obter informações sobre o comportamento global do material durante a secagem. Com a exceção da variação global do conteúdo de umidade, e parcialmente, das temperaturas do material molhado, todos os outros parâmetros foram especificados com base em práticas operacionais adquiridas ao longo dos anos e testes experimentais intensivos. O trabalho de Likov (1952) é considerado o mais bem sucedido tratamento teórico geral de secagem que foi reconhecido pela comunidade científica mundial. Porém, as equações diferenciais parciais com coeficientes variáveis usadas por Likov para modelar a transferência de calor e massa em materiais molhados não nos conduziam a soluções exatas. Além disso, embora Likov racionalmente classificasse materiais molhados com respeito a suas composição e estrutura, a procura por soluções aproximadas conduzia à perda da relação de causa e efeito entre a secagem, como um processo de transferência de calor e massa, e as variações resultantes no material.

O principal parâmetro de processo de secagem é o conteúdo (teor) de umidade do material. A temperatura é o segundo em ordem de importância entre os parâmetros de processo de secagem, já que ela determina as variações biológicas e físico-químicas no material. Exemplos desses processos, benéficos ou prejudiciais são muitos e bem conhecidos (Petrovski, 1984). Em certas circunstâncias, transferência de massa é desejada durante a secagem ao passo que em outras deve ser evitada. Se a transferência na forma de vapor predomina, nenhum outro material é transportado. Como a teoria de Likov e sua aplicação pioneira a materiais reais e sua secagem datam de época anterior ao atual estágio dos recursos computacionais, não era possível resolvê-las numericamente para particulares condições iniciais e de contorno. Novos métodos forneceram valores experimentais para o

coeficiente de difusão e para as propriedades termofísicas (Kanevce, 1981 e Petrovski, 1984). As soluções das respectivas equações, utilizando esses coeficientes concordam bem com resultados experimentais (Kanevce, 1981 e Urosevic, 1986). Porém, a aplicação desses resultados para secagem restringe-se a materiais com umidade inicial uniformemente distribuída. Essas soluções não produzem resultados ou produzem resultados imprecisos para a temperatura média do material, não levando em consideração a temperatura instantânea. O estado da superfície do material molhado, ou permanece não caracterizado, ou é obtido usando o perfil parabólico, não aplicável ao caso de tecidos de pequena espessura. Ambos excluem o conhecimento da temperatura instantânea e o gradiente de umidade.

Um dos métodos para análise dos resultados do estudo experimental da cinética de secagem é o método ITE (Milojevic, 1979 e Stefanovic and Nesic, 1986), que satisfaz um mínimo de condições de pré-requisitos e permite a determinação dos parâmetros do processo de secagem, e é confirmado por um número satisfatório de experimentos. É também único em abordar que a cinética de secagem de um certo material é estudada primeiro experimentalmente, e então generalizada. Isto também se aplica à especificação da geometria e às propriedades de fluxo do material que são monitorados durante a secagem.

No presente trabalho, que estuda a secagem vertical de tecidos, foram pesquisados fatores que interferem na duração do processo e na qualidade da secagem.

Prabhu e Parajia (1981) mostram o papel do teor crítico de umidade, o qual fica, em relação ao teor inicial de umidade, segundo os autores, entre 15% a 25% para algodão, aproximadamente 39% para lã e rayon-viscose, e 30% para seda. Para tecidos compostos, uma média ponderada parece ser razoável.

Além de seu papel na carga de secagem, a massa específica aparente do tecido ( $\gamma$ ) que é definida em relação à área exposta ao fluxo do agente secante, está indiretamente relacionada à extensão das capilaridades que entram em ação durante a secagem. A temperatura, sendo o agente motriz da secagem, tem profunda influência sobre o desempenho, particularmente sobre a taxa de evaporação (E).

O consumo de agente secante depende principalmente do tempo de secagem, para uma certa temperatura, uma vez que uma taxa mais lenta de secagem significará consumo mais prolongado de energia e maiores perdas.

Para o período de taxa decrescente de secagem a abordagem variacional proposta por Mitura, Michalowski e Kaminski (1988), apresenta vantagens em relação à modelagem que utiliza equações diferenciais para representar o mecanismo de secagem. A determinação do tempo de secagem pode ser feita através do conceito de funções RTD (Residence Time Distribution), propostas por Pakowski e Mujumdar (1995).

Para se determinar a taxa de evaporação, a massa da amostra colocada no fluxo do agente secante deve ser medida como uma função do tempo. A fim de se obter resultados que possam ser aplicados em escala de protótipo, os seguintes aspectos devem ser considerados (Treybal, 1968): a amostra não deve ser muito pequena; as condições de secagem devem, se possível, ser idênticas às condições previstas para a situação real de uso; a amostra deve ser colocada na unidade de teste de um modo similar ao real; a temperatura e o conteúdo de umidade do agente secante e sua velocidade e direção devem ser idênticas sobre toda a amostra; as razões entre a superfície de secagem e a superfície não exposta ao agente secante devem ser idênticas.

## **2. MODELAGEM TEÓRICA PROPOSTA**

Quando durante a investigação experimental de secagem, as distribuições da temperatura e do conteúdo de umidade ao longo da espessura do material não são determinados, e somente são medidos os conteúdos de umidade médios integral do material a ser secado através da determinação da massa de água adsorvida ( $m_a$ ) e a temperatura média da superfície de secagem, o modelo utilizado para analisar os dados é chamado tipo “parâmetro concentrado”. Os procedimentos

experimentais utilizados neste trabalho correspondem ao caso do tipo “parâmetro concentrado”, onde a massa total será dada pela Eq. (1) e o conteúdo de umidade pela Eq. (2):

$$m_{\text{Total}} = m_a + m_s \quad (1)$$

$$\bar{X} = \frac{m_a}{m_s} = \frac{m_{\text{Total}} - m_s}{m_s} \quad (2)$$

Estas relações indicam que, com o conhecimento da massa molhada de secagem ( $m_{\text{Total}}$ ) como uma função do tempo e da massa seca da amostra ( $m_s$ ) é possível representar o comportamento do conteúdo de umidade da amostra como uma função do tempo ( $t$ ). A taxa de evaporação ( $E$ ) é definida pela Eq. (3), onde “ $A_{\text{sup}}$ ” representa a superfície de contato do material molhado com o meio secante.

$$E = -\frac{1}{A_{\text{sup}}} \frac{dm_{\text{Total}}}{dt} = -\frac{m_s}{A_{\text{sup}}} \frac{d\bar{X}}{dt} \quad (3)$$

Os coeficientes de transferência de calor e de massa do meio secante podem ser considerados constantes durante todo o processo de secagem, sob condições de taxa de secagem constante. Durante o período de taxa decrescente, o processo é afetado pelas difusividades internas do calor e do líquido; os coeficientes de transporte no meio secante também variam durante este período, devido à diminuição contínua na difusividade do líquido evaporado na camada superficial do material. O grau de influência dessas considerações, ao se adotar a modelagem do tipo “parâmetro concentrado”, será determinado na comparação dos resultados teóricos e experimentais.

Para o período de taxa de evaporação constante propusemos o equacionamento do processo representado na Fig. (1), onde “ $X_i$ ” é o teor de umidade do material no início do processo; “ $t_c$ ” é o tempo decorrido desde o início do processo até o instante em que se atinja o teor crítico de umidade do material ( $X'_C$ ), e “ $t^*$ ” é o tempo que decorreria para se atingir o teor de umidade de equilíbrio ( $X'_E$ ) se todo o processo fosse com taxa de evaporação constante. Com base nesta premissa representada na Fig. (1), da Eq. (3) teremos:

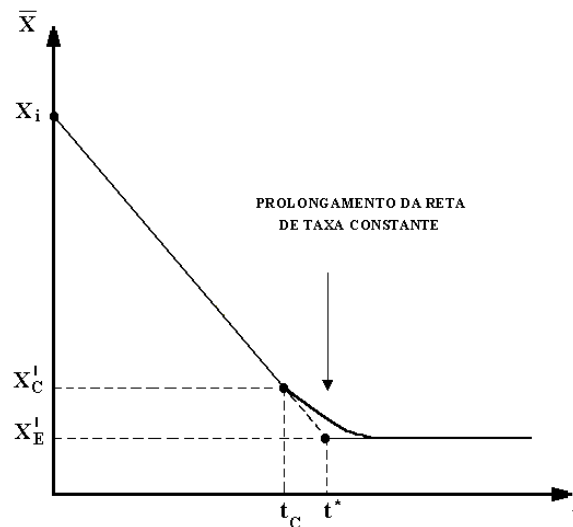


Figura 1. Curva representativa do período de taxa de evaporação constante

$$\text{Constante} = C = \frac{E A_{\text{sup}}}{m_s} = - \frac{d\bar{X}}{dt} \quad (4)$$

Integrando e substituindo os limites, tem-se para a condição inicial ( $t = 0$ ) e  $\bar{X} = X'_i$ :

$$C = \frac{X'_i - X'_E}{t^*} \quad \text{e} \quad \bar{X} - X'_E = (X'_i - X'_E) \left( 1 - \frac{t}{t^*} \right) \quad \text{para} \quad \bar{X} \geq X'_C \quad (5)$$

Como o término do período de taxa constante ocorre no ponto de teor crítico de umidade, " $t_c$ " será obtido pela Eq. (5) quando  $t = t_c$  e  $\bar{X} = X'_C$ .

Para o período de taxa de evaporação decrescente o equacionamento matemático apresentará um fator de amortecimento assintótico ao valor do teor de umidade de equilíbrio, na curva do processo de secagem representado na Fig. (2).

Com base na Eq. (4), teremos  $C F_A = - \frac{d\bar{X}}{dt}$ , sendo o fator de amortecimento ( $F_A$ ) definido por

$$F_A = \frac{\bar{X} - X'_E}{X'_C - X'_E} \quad \text{resultando em:}$$

$$\frac{1}{\bar{X} - X'_E} d\bar{X} = \frac{C}{X'_E - X'_C} dt \quad \text{ou} \quad \ln(\bar{X} - X'_E) \Big|_{X'_C}^{\bar{X}} = \frac{C}{X'_E - X'_C} t \Big|_{t_c}^t \quad (6)$$

Substituindo os limites de integração e resolvendo:

$$\ln \left( \frac{\bar{X} - X'_E}{X'_C - X'_E} \right) = \frac{X'_i - X'_E}{X'_E - X'_C} (t - t_c) \frac{1}{t^*} \quad (7)$$

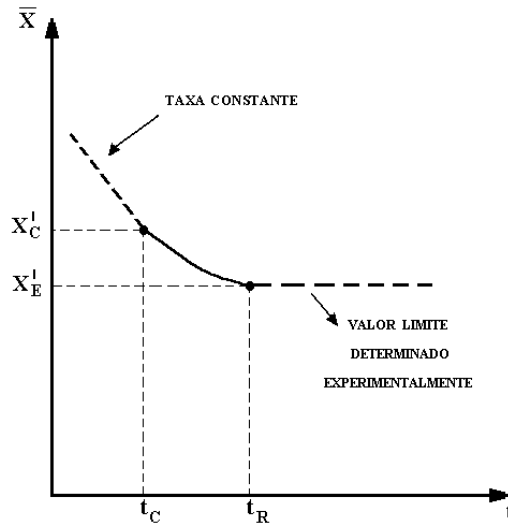


Figura 2. Curva representativa do período de taxa de evaporação decrescente

Agrupando os fatores constantes do segundo membro da Eq. (7), teremos:

$$\ln\left(\frac{\bar{X}-X'_E}{X'_C-X'_E}\right)=-\beta(t-t_c) \quad \text{sendo} \quad \beta=\frac{X'_i-X'_E}{X'_C-X'_E} \frac{1}{t^*} \quad (8)$$

$$\bar{X}-X'_E=(X'_C-X'_E)\exp[-\beta(t-t_c)] \quad \text{para} \quad X'_E < \bar{X} \leq X'_C \quad (9)$$

Será obtido o tempo total de secagem, também denominado tempo de residência ( $t_R$ ) para  $t = t_R$  na Eq. (9).

A partir dos resultados experimentais foram definidos os pontos, crítico e de equilíbrio, das curvas de secagem, dos quais foram obtidos empiricamente os valores dos parâmetros  $\beta$ ,  $C$ ,  $E$ , e a relação  $\frac{X'_C}{X'_i}$ .

### 3. MODELAGEM E TÉCNICA EXPERIMENTAL

Foi escolhido um equipamento convencional de linha seriada de produção, com expressiva aquisição no mercado, produzido por , Sule Eletrodomésticos S/A (Enxuta), permitindo a realização dos testes em escala original e apresentados integralmente por Ribeiro (2002). Este tipo de secadora, contém 7 suportes para que os tecidos sejam pendurados, numa câmara envoltória de filme plástico de 0,105 m<sup>3</sup>, tendo orifícios laterais para a saída do ar úmido; sendo mostrados na Fig. (3) os sentidos preponderantes dos fluxos.

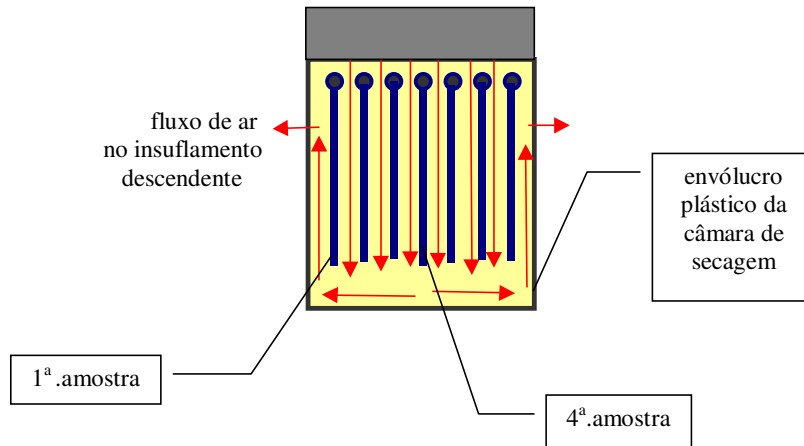


Figura 3. Disposição das amostras suspensas nas 7 hastes da secadora.

As amostras de tecidos foram confeccionadas nas dimensões 0,420 x 0,340 m, para ajuste adequado ao espaço interno da câmara de secagem, resultando numa área total de exposição ao fluxo do agente secante ( $A_{sup}$ ) de 2 m<sup>2</sup>, para os seguintes tecidos: Jeans índigo, Flanela, Cotton-Lycra, Brim, Tergal, Viscose e Linho. Com o objetivo de verificar o comportamento da temperatura das superfícies e teor de umidade das amostras, e o tempo necessário para a desumidificação dessas, foi montada uma bancada de testes cujos instrumentos de medida foram aferidos conforme normas específicas (Ribeiro e Magalhães Filho, 2000).

Foi escolhido o método direto de medição contínua, uma vez que não houve interrupções da secagem para pesagem das amostras. Além disso, esse processo de secagem não exige a retirada total de umidade, pois as fibras naturais possuem uma quantidade de umidade como parte integrante de sua estrutura, e a remoção dessa umidade danifica a mesma. Para as fibras artificiais a supersecagem pode iniciar um processo de deformação plástica.

Neste método a preparação da amostra deve determinar a massa do tecido, nas condições de umidade relativa e temperatura do ambiente, antes e após a amostra ser molhada. A amostra molhada deve ser imediatamente colocada no secador instrumentado de forma a fornecer dados instantâneos sobre a quantidade de massa de líquido restante na amostra. O tempo de secagem se extingue quando é atingido o peso correspondente à massa da amostra medida antes de ser molhada.

Neste trabalho, conjuntos de sete amostras para cada tecido, após terem sido lavados até a estabilização do conteúdo de goma e tintura, foram centrifugados em lavadora automática para se determinar uma massa residual de água, admitida para o cálculo do teor de umidade inicial do processo ( $X_i'$ ). Para os testes, estes conjuntos foram torcidos até se atingir o valor previamente determinado da massa inicial de água, e então imediatamente colocados na bancada de testes, fechando-se o envoltório de filme plástico.

Foram realizadas dez baterias de testes para cada experimento, as quais se mostraram suficientes para que se tivesse uma confiabilidade nos resultados de cada conjunto de amostras. A variação entre os pesos iniciais das amostras úmidas de cada tipo de tecido, por bateria de testes, foi estabelecida em um valor máximo de 3%. Cada bateria de testes se encerrava no momento em que se atingisse o peso correspondente à massa da amostra medida antes de ser molhada.

As amostras dos tecidos foram adquiridas no mercado, e os fabricantes indicaram as porcentagens de fibras na sua composição, com as correspondentes massas específicas aparentes ( $\gamma$ ) conforme apresentado na Tab. (1):

Tabela 1. Características das amostras

Amostra	Composição	Massa específica aparente kg/m <sup>2</sup>
Flanela	100% algodão	0,210
Viscose	100% viscose	0,140
Tergal	33% viscose + 67% poliéster	0,150
Brim	100% algodão	0,270
Cotton-Lycra	10% elastano + 90 % algodão	0,360
Linho	100% viscose	0,290
Jeans Indigo	100% algodão	0,445

#### 4. RESULTADOS E CONCLUSÃO

As diferentes amostras escolhidas foram adequadas para se observar que a capacidade higroscópica de uma determinada fibra varia consideravelmente com o tipo de trama da estrutura em diferentes tecidos (massa específica aparente), apresentando comportamento bem distinto para as curvas de teor de umidade em relação ao tempo de duração do processo, mesmo apresentando valores muito próximos para a taxa de secagem.

Os gráficos obtidos a partir dos resultados experimentais, Figs. (4) e (5), estão em conformidade com as formas esquemáticas previstas teoricamente na literatura.

Com base no modelo proposto, os tempos teóricos de secagem ( $t_c$  e  $t_R$ ) foram calculados pelas Eqs. (5) e (9), respectivamente, e comparados com os tempos obtidos nos ensaios realizados conforme descrito no procedimento experimental. O modelo teórico proposto foi verificado ser adequado para o estudo do comportamento dos parâmetros de secagem de tecidos, na situação escolhida para o desenvolvimento deste trabalho, o que é mostrado através das comparações realizadas e apresentadas na Tabs. (2) e (3).

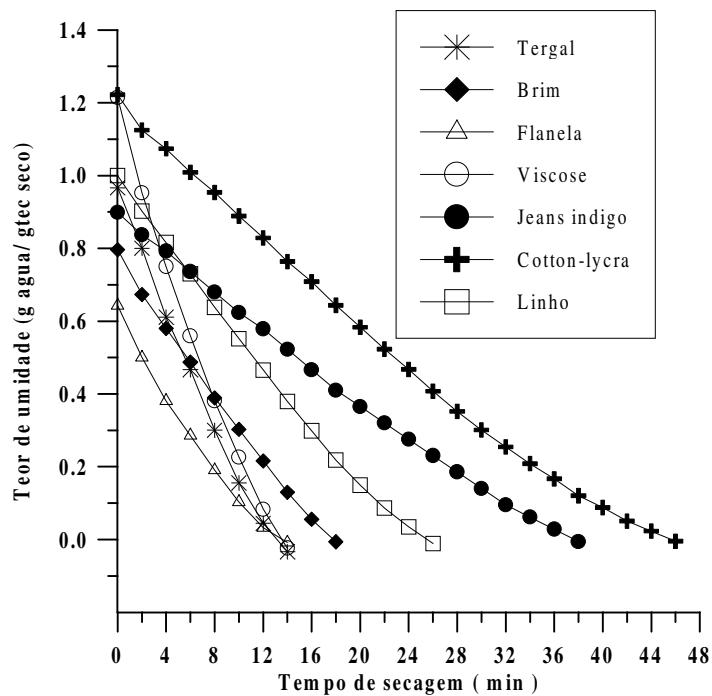


Figura 4. Teor de umidade versus tempo de secagem

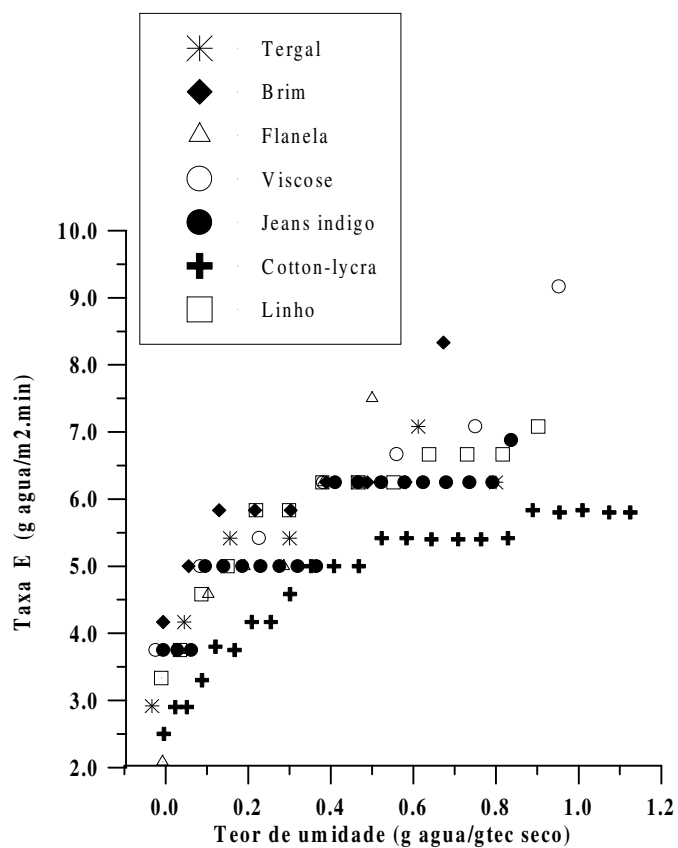


Figura 5. Taxa de evaporação versus teor de umidade



Tabela 2. Coeficientes e parâmetros

	$X_i'$	$X_c'$	$m_s$	C	E	$t^*$	$\beta$	$\frac{X_c'}{X_i'}$
	$g_{\text{água}}/g_{\text{tec seco}}$		$g_{\text{tec seco}}$	$\frac{g_{\text{água}}}{g_{\text{tec seco}} \cdot \text{min}}$	$\frac{g_{\text{água}}}{\text{m}^2 \cdot \text{min}}$	min.	$\text{min.}^{-1}$ ( $\times 10^2$ )	%
Tergal	0,962	0,300	150	$8,33 \times 10^{-2}$	6,25	12,7	21,02	31,2
Brim	0,796	0,130	270	$4,69 \times 10^{-2}$	6,33	18,7	22,38	16,3
Flanela	0,643	0,286	210	$5,60 \times 10^{-2}$	5,88	12,6	15,99	44,5
Linho	1,000	0,218	290	$4,34 \times 10^{-2}$	6,29	25,3	13,63	21,8
Cotton-lycra	1,220	0,301	360	$3,03 \times 10^{-2}$	5,45	44,3	7,16	24,7
Jeans Indigo	0,899	0,185	445	$2,56 \times 10^{-2}$	5,70	38,6	9,30	20,6
Viscose	1,214	0,226	140	$9,78 \times 10^{-2}$	6,85	13,7	28,13	18,6

Tabela 3. Comparação dos tempos teóricos e experimentais

	$t_c$		$t_R$	
	min.		min.	
	Experimental	Calculado	Experimental	Calculado
Tergal	8	7,9	13	14,7
Brim	14	14,2	18	18,5
Flanela	6	6,4	18	17,0
Linho	18	18,0	25	26,5
Cotton-lycra	30	30,3	45	47,7
Jeans Indigo	28	27,9	37	39,9
Viscose	10	10,1	14	13,8

Finalmente cabe ressaltar que a partir dos coeficientes empíricos “ $\beta$ ” e “C” e da relação “ $X_c'/X_i'$ ”, pode-se criar um sistema lógico de controle para gerenciamento da duração do processo, de acordo com as características da carga inserida na secadora pelo usuário, contribuindo para a redução do consumo de energia elétrica e melhoria da qualidade da secagem.

## 5. AGRADECIMENTO

Os autores agradecem a empresa Sule Eletrodomésticos S/A pelas doações das unidades para os testes experimentais.

## 6. REFERÊNCIAS

- Foust, A. S. et al., 1982, “Princípios das Operações Unitárias”, 2.ed., Guanabara Dois, Rio de Janeiro, 644p.
- Kanevce, G., 1981, “Transient Energy and Mass Transfer in Colloidal-capillary Porous Materials”, Ph.D. Thesis, University of Novi Sad, Department of Chemical Engineering.
- Likov, A. V., 1952, “Theory of Drying”, Nehézipari Könyvkiadó, Budapest.
- Milojevic, D., 1979, “An Analysis of Heat and Mass Transfer Kinetics During the Convective Drying of a Dense Layer of a Granular Capillary-Porous Colloidal Materials”, M.Sc. Project, University of Beograd, Department of Mechanical Engineering.
- Mitura, E., Michalowki, S. and Kaminski, W., 1988, “A Mathematical Model of Convection Drying in the Falling Drying Rate Period”, Drying Technology, Vol. 6, No. 1, pp. 113-137.

- Pakowski, Z. and Mujundar, A. S., 1995, "Basic Process Calculations in Drying", In: Mujundar, A. S. (Ed.), Handbook of Industrial Drying, 2nd ed., Macel Dekker, Inc., New York, Vol. 1, Cap. 3, pp. 71-111.
- Petrovski, K., 1984, "The Determination of the Thermophysical Properties of Wet Materials", Ph.D. Thesis, University of Skopje, Department of Mechanical Engineering.
- Prabhu, M. R. and Parajia, J. S., 1981, "Performance Relations and Norms for Textile Contact and Convection Dryers", In: Mujundar, A. S. (Ed.), Advances in Drying, Hemisphere, New York, Vol. 1, pp. 233-238.
- Ribeiro, J. A., 2002, "Modelagem Teórico – Experimental de Sistemas Suspensos de Secagem Doméstica de Vestuários", Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia, Unesp, Guaratinguetá.
- Ribeiro, J.A. e Magalhães Filho, P., 2000, "Avaliação do Desempenho de Secadora Vertical de Uso Doméstico para Vestuário", Anais do Congresso Nacional de Engenharia Mecânica - Conem, CD-ROM, UFRN, Natal, RN, 8p.
- Stefanovic, M. and Nestic, S., 1986, "The ITE Method for the Determination of the Drying Kinetics of Solid Granular Materials", Proceedings of the 5<sup>th</sup> International Drying Symposium - Drying '86, Vol. 1, Cambridge, Massachusetts, USA, pp. 265-268.
- Treybal, R. E., 1968, "Mass-transfer Operations", McGraw-Hill, New York.
- Urosevic, M., 1986, "The Effect of the Amplitude and Parameter Variation Interval During Drying of Dense Layer Systems", Ph.D. Thesis, University of Novi Sad, Department of Chemical Engineering.

## 7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

# THEORETICAL-EXPERIMENTAL MODELING OF CLOTHING HOUSEHOLD DRYING SUSPENDED SYSTEM

## Paulo Magalhães Filho

Universidade Estadual Paulista - Unesp – Campus de Guaratinguetá – Depto. de Energia  
12.516-410- Guaratinguetá – SP - Brazil

## Jefferson Almeida Ribeiro

Universidade Estadual Paulista - Unesp – Campus de Guaratinguetá – Depto. de Energia  
12.516-410- Guaratinguetá – SP - Brazil

**Abstract.** *Due to the technologic evolution and a higher competition among the companies, with the bigger requirements of the consuming market, it turned out necessary the manufacturing of equipment with higher performance and lower energy consumption. These aspects are motivation for studying and analyzing the performance of suspended household drying systems, regarding to their functioning features and efficiency on the cloth dehumidification process, since the parameters which influence the dryer performance and the drying mechanisms must be well known on the required accuracy degrees for each application. The parameters evaluated by this thesis were: cloth moisture contents at the dryer input and output; heat transfer conditions; speed, direction and absolute humidity of the heat supplying mean; and the cloth surface temperature distribution. The theoretical predictions are compared to the experimental results obtained from a test bench, where real system work conditions were simulated. The most utilized kinds of cloth for clothing manufacturing were selected, such as: blue jeans, flannel, cotton-spandex, canvas, polyester, viscose rayon and linen.*

**Keywords.** *Cloth drying, energy consumption, dryer.*