

ANÁLISES ENERGÉTICA E EXERGÉTICA EM SECADORES DE CASULOS DO BICHO-DA-SEDA DO TIPO OPERAÇÃO CONTÍNUA E FLUXOS CRUZADOS¹

Antonio Gilson B. de LIMA²; Sílvia Azucena NEBRA³, Waldyr Luiz R. GALLO⁴

RESUMO: Neste trabalho é apresentada uma análise energética e exergética que possibilita determinar a eficiência dos processos de secagem segundo a 1ª e 2ª leis da Termodinâmica. Detalhes das análises energética e exergética de um secador industrial de casulos do bicho-da-seda, do tipo operação contínua e fluxos cruzados é fornecida. São propostas e comparadas diferentes definições de eficiências energéticas e exergéticas. A destruição de exergia durante o processo de secagem foi calculada.

PALAVRAS-CHAVE: casulos, secador, energia, exergia

ABSTRACT: In this work is presented an energy and exergy analysis that permit to determine the drying process efficiency based in the 1st and 2nd Thermodynamic laws. Details on the energy and exergy analysis of a silkworm cocoon industrial dryer type cross-flow and continuous operation are supplied. Different definitions of efficiency based on the concept of energy and exergy are proposed, calculated and compared. The destruction of exergy during the drying process was calculated.

KEYWORDS: cocoon, dryer, energy, exergy

INTRODUÇÃO: Várias pesquisas foram feitas com o objetivo de melhorar a eficiência energética de secadores. Uma extensa revisão da literatura concernente a este assunto é encontrada em Strumillo & Lopez-Cacicedo (1987). As desvantagens da análise energética apenas é descrita e discutida por Zhang & Wang (1992).

MATERIAL E MÉTODOS: Neste trabalho apresentam-se dados relativos às trocas de energia e massa entre o produto e o ar num secador industrial de casulos de bicho da seda, bem como a análise do desempenho energético e eficiência exergética de um secador de operação contínua de fluxos cruzados, na visão de diversos pesquisadores inclusive os autores. Várias definições de eficiências energética e exergética de secadores convectivos são fornecidas. A partir de dados experimentais (alguns deles estimados) e das equações fornecidas, determinaram-se as eficiências energética e exergética. Em seguida foi feita uma análise dos resultados obtidos, comparando as equações usadas e suas definições sob o ponto de vista físico, inclusive as equações propostas pelos autores.

¹ Parte de um estudo dirigido apresentado pelo primeiro autor ao DE/FEM/UNICAMP.

² Prof. M. Sc., Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal da Paraíba CCT- Campina Grande - Paraíba Em Doutorado no DE/FEM/UNICAMP, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), CAIXA POSTAL 6122, CEP 13083-970, Campinas-SP, Brasil, E-mail antoniol@fem.unicamp.br.

³ Prof. Dra., Departamento de Energia, FEM, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), CAIXA POSTAL 6122, CEP 13083-970, Campinas-SP, Brasil. E-mail sanebra@fem.unicamp.br.

⁴ Prof. Dr., Departamento de Energia, FEM, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), CAIXA POSTAL 6122, CEP 13083-970, Campinas-SP, Brasil.

RESULTADOS E DISCUSSÃO: Os dados básicos referentes ao sistema são apresentados na Tabela 1, contendo as condições de entrada e saída do ar e casulo, no secador. Adotou-se para o ar, como referência, as seguintes propriedades: $P_o = 96,6$ kPa; $T_o = 25$ °C; $h_o = 92,08$ kJ/kg, $s_o = 7,0701$ kJ/(kg K) e $y_o = 0,01842$ kg de água/ kg de ar seco. Para obtenção da irreversibilidade e eficiência exergética do processo, utilizou-se da exergia do calor, estimada em $\dot{E}x^Q = 0,17$ kW, da potência de acionamento da esteira transportadora, cujo valor é de $\dot{W}_{vc liq.} = 0,10$ kW e da potência de acionamento do ventilador de ar de secagem que vale 9,69kW. Para quantificar o desempenho dos secadores foram testadas várias definições de eficiência energética fornecidas na literatura assim como a proposta neste trabalho. Os resultados são reportados na Tabela 2. A equação apresentada por Lasseran (1978) indica na verdade o "consumo específico" de energia, global, no processo. Por meio da equação apresentada por Strumillo & Kudra (1986), percebe-se que a eficiência não apresenta resultados satisfatórios, haja vista que não considera a energia necessária para elevar a temperatura do produto até à temperatura de evaporação, resultando em valores superiores ao real, uma vez que o calor latente de vaporização decresce com a elevação da temperatura. A definição segundo Helvacı & Peker (1989) é criteriosa, uma vez que considera os tempos de permanência do produto e do ar no secador. A equação de Ashworth & Carter (1980) é mais realista, já que penaliza corretamente a operação de secagem em altas temperaturas. Observa-se nos dados da Tabela 3 que a eficiência exergética proposta pelos autores apresenta resultados mais coerentes, indicando claramente uma concordância com a eficiência de 1ª lei, também proposta neste trabalho, e que traduz fielmente ser o processo de secagem altamente dissipativo. Em contrapartida, a equação proposta por Kotas (1985) não se apresenta como uma forma viável de se determinar a eficiência exergética, já que só "penaliza" a perda exergética associada à dissipação de calor para o ambiente.

CONCLUSÕES: A partir dos dados disponíveis na literatura e resultados experimentais pode-se concluir que: o processo de secagem é caracteristicamente dissipativo, com alta destruição de exergia. Sendo, além disto, altamente consumidor de energia, é muito importante realizar avaliações da eficiência dos secadores utilizados, visando seu aprimoramento; existem propostas diversas equações para o cálculo da eficiência do processo, não havendo ainda consenso entre os diversos autores; as definições de eficiência baseadas na segunda lei da termodinâmica são mais adequadas, visto que levam em conta a "qualidade" da energia utilizada no secador.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- KOTAS, T.J. **The exergy method of thermal plant analysis**. London: Butterworths, 1985. 296 p.
- STRUMILLO, Czeslaw; LOPEZ-CACICEDO, Carlos. **Energy aspects in drying**. Handbook of industrial drying. New York: Arun S. Mujudar, pp. 823-862, 1987.
- ZHANG, Guan-Sheng; WANG, Hong-Tai. **Exergy analysis of super-heated steam yanker dryer**. Drying'92. Montreal: Arun S. Mujudar. Part B, pp. 1108-1114, 1992.
- STRUMILLO, Czeslaw; KUDRA, Tadeusz. **Drying: principles, science and design**. New York: Gordon and Breach Science Publishers, 1986. 448 p.

LASSERAN, Jean-Claude. Princípios gerais de secagem. **Revista Brasileira de Armazenamento**. Belo Horizonte. n.3, pp.17-46,1978.

ASHWORTH, J. C.; CARTER, J. W. **The performance of convective dryers as a function of energy efficiency, capital cost and solids residence time**. Drying'80. Montreal: Arun S. Mujudar. V.1, pp. 293-303, 1980.

HELVACI, S.S., PEKER, S.. **Analysis of the performace of a cascade type rice dryer**. Drying'89. Versailles: Arun S. Mujudar e Michel A. Roques, pp. 550-555, 1989.

TABELA 1 - Dados técnicos do ar e do casulo do bicho-da-seda nas condições de entrada e saída do secador⁵

VARIÁVEL	SUBSTÂNCIA				
	AR		CASULO DO BICHO-DA-SEDA		
	ENTRADA	SAÍDA		ENTRADA	SAÍDA
P (kPa)	101,835	101,325	P (kPa)	96,66	96,66
T (°C)	105	70	T (°C)	28	70
\dot{m}_a (kg/s)	1,3092	1,32223	v(m/s)	0,0013	0,0013
ϕ (%)	2,42	14,27	c_{pe} (kJ/kg/K)	3,6	3,6
y (kg/kg)	0,01842	0,02857	$\dot{m}_{c\ sec\ o}$ (kg/s)	0,0041	0,0041
v (m/s)	8,85	7,08	\dot{m}_w (kg/s)	0,0086	0,0022
V (m ³ /s)	1,41	1,13	\dot{m}_c (kg/s)	0,0127	0,0063
			U(b.u.)	0,680	0,351

TABELA 2 - Eficiências energética de secadores convectivos

AUTOR	EFICIÊNCIA ENERGÉTICA	
Strumillo e Kudra (1986)	$\eta'' = \frac{\dot{m}_{ai}(y_{af} - y_{ai})h_{lv\ a\ T\ de\ alimentação}}{\dot{m}_{ai}(h_{ai} - h_o)}$	0,30
Helvacı e Peker (1989)	$\eta''' = \frac{\dot{m}_{ai}t_{ra}(y_{af} - y_{ai})h_{lv}}{\dot{m}_{ci}t_{rc}(U_o - U)}$	0,35
Ashworth e Carter (1980)	$\eta'''' = \frac{\dot{m}_{ai}(y_{af} - y_{ai})h_{lv\ a\ T\ de\ secagem}}{\dot{m}_{ai}(y_{af} - y_{ai})h_{lv\ a\ T\ de\ secagem} + \dot{m}_{af}(h_{af} - h_{ao})}$	0,23
Lasseran (1978)	$\lambda = \frac{\dot{m}_{ai}(h_{ai} - h_{ao})}{\gamma \dot{m}_{ai}(y_{af} - y_{ai})}$	8658,00 (kJ/kg de água evaporada)
Este trabalho	$\eta'''' = \frac{\dot{m}_{ai}(y_{af} - y_{ai})h_{lv\ a\ T\ de\ secagem}}{\dot{m}_{ai}(h_{ai} - h_o) + \dot{W}_{soprador} + \dot{W}_{transporte\ do\ produto}}$	0,06

TABELA 4 - Eficiências exergetica de secadores convectivos

AUTOR	EFICIÊNCIA EXERGETICA	
Kotas (1985)	$\varepsilon = \frac{\dot{E}x_{cf} + \dot{E}x^Q + \dot{E}x_{af}}{\dot{E}x_{ci} + \dot{E}x_{ai} + \dot{W}_{vc\ liq}}$	0,72
Este trabalho	$\varepsilon = \frac{\Delta Ex_c}{\Delta Ex_a}$	0,17
Este trabalho	$\varepsilon = \frac{\dot{m}_{ai}(y_{af} - y_{ai})ex_w^{Ch}}{\Delta Ex_a}$	0,07

⁵ NOTAÇÃO: P - pressão; T - temperatura; \dot{m} - fluxo de massa; ϕ - umidade relativa; y - umidade absoluta; v - velocidade; V - vazão volumétrica; c_p - calor específico; U - teor de umidade; t - tempo; Ex - exergia; ex^{Ch} - exergia química específica; h - entalpia; γ - eficiência elétrica do aquecedor de ar; η - eficiência energética; ε - eficiência exergetica. SUBSCRITO: a - ar; c - casulo; i - entrada; f - saída; w - água líquida, r - residência no secador, lv - vaporização