



X Congresso Brasileiro de Engenharia Química Iniciação Científica

“Influência da pesquisa em Engenharia Química no desenvolvimento tecnológico e industrial brasileiro”

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
Universidade Severino Sombra
Vassouras – RJ – Brasil

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE E DA TEMPERATURA DO AR NA SECAGEM DE FOLHAS DE EUCALIPTO ATRAVÉS DA TÉCNICA DE PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

RICARDO*¹, L. P.; ROSA², G. S.

¹Aluna da Engenharia Química; ² Docente da Engenharia Química
Universidade Federal do Pampa
Endereço – UNIPAMPA, Travessa 45, nº 1650, Bagé, CEP. 96413-170, RS,
email: gabrielarosa@unipampa.edu.br

RESUMO - A folha de eucalipto possui pouquíssimo aproveitamento industrial, sendo considerada muitas vezes como um resíduo. Para que haja melhor conservação de suas características originais e melhor rendimento em processos que a utilizem como matéria prima, a secagem torna-se necessária. O presente trabalho teve como objetivo utilizar a técnica de planejamento experimental para avaliar a influência das variáveis de operação da secagem da folha de eucalipto (temperatura e velocidade do ar) no tempo de processo. A secagem ocorreu em um secador de leito fixo com fluxo paralelo de ar. Os experimentos foram realizados nas temperaturas de 50, 60 e 70 °C, com velocidades do ar de 1, 1,5 e 2 m/s. Colocou-se aproximadamente 90 g de folhas em uma cesta suspensa no interior do secador, monitorando a variação desta massa no decorrer do experimento. A umidade das folhas *in natura* foi $51 \pm 2,6$ % (b.u.), e a umidade pós-secagem variou entre 5 e 11 % (b.u.). A cinética de secagem apresentou um período de taxa constante, seguido de um período de taxa decrescente. Após a análise estatística dos resultados do planejamento experimental observou-se que tanto a temperatura quanto a velocidade do ar influenciaram no tempo de processo, com confiança de 90 %.

Palavras chave: convecção, umidade, estatística.

INTRODUÇÃO

O gênero da família *Myrtaceae* e subfamília *Leptospermoideae* mais valorizado comercialmente é o *Eucalyptus*, o qual foi introduzido em praticamente todos os continentes (Stape *et al.*, 2004). É cultivado em larga escala por suas características favoráveis como rápido crescimento, facilidade de manejo, diversidade de espécies

e atendimento a vários propósitos industriais (Santos *et al.*, 2003).

Sabe-se que a madeira do eucalipto é muito utilizada industrialmente, enquanto a sua folha tem pouca expressão no mercado, sendo considerada por muitos um resíduo. Porém, sabendo que esta contém óleo essencial, importante composto e com diversas aplicações. De acordo com Rocha e Dos Santos (2007) o óleo essencial do eucalipto é eficaz contra infecções viróticas e bacterianas,

refrescante para o corpo, repelente para insetos, antisséptico e descongestionante, revigorante, entre outros.

Para melhor rendimento durante o processo de extração do óleo essencial, ou melhores condições para armazenamento da folha de eucalipto, é necessário que essa seja submetida a procedimentos de secagem. Na secagem ocorrem dois processos fundamentais e simultâneos: transferência de calor para evaporar o líquido e transferência de massa na forma de líquido ou de vapor dentro do sólido para a superfície. Os fatores que governam a velocidade dos fenômenos de transferência determinam a taxa de secagem, tais como pressão de vapor d'água no material e no ar de secagem, temperatura e velocidade do ar, velocidade de difusão da água no material, espessura e superfície exposta à secagem (Mochi, 2005).

A secagem minimiza a deterioração do material, por meio da redução no teor de água, atuando regressivamente na ação das enzimas, possibilitando a conservação das plantas por maior tempo. Com a redução da quantidade de água, aumenta-se, também, a quantidade de princípios ativos em relação à massa seca (Silva e Casali, 2000).

O efeito da secagem sobre a composição de substâncias voláteis tem sido pesquisado, no sentido de demonstrar que as variações nas concentrações de seus constituintes, durante a secagem, dependem de vários fatores como o método de secagem, temperatura do ar empregada, características fisiológicas, além de conteúdo e tipo de componentes químicos presentes nas plantas submetidas à secagem (Venskutonis, 1997 *apud* Melo *et al.*, 2004).

A fim de avaliar as variáveis que influenciam o processo de secagem pode-se utilizar a técnica de planejamento experimental. Oliveira *et al.* (2006) afirmaram que os níveis das variáveis utilizadas nos ensaios devem ser determinados a partir de um planejamento experimental, sendo esse baseado na metodologia de superfície de resposta, com níveis para cada variável independente sendo o expoente da base 2 (para duas variáveis). O autor também cita que esses pontos fatoriais são apenas para avaliar os efeitos das variáveis e suas interações, não sendo possível, nesse estágio, otimizar o

processo. Deve-se ainda avaliar o erro puro, incluindo no mínimo três repetições dos pontos centrais.

Em face do exposto, este trabalho objetivou utilizar a técnica de planejamento experimental para avaliar a influência das variáveis de operação da secagem da folha de eucalipto (temperatura e velocidade do ar) no tempo de processo.

MATERIAS E MÉTODOS

Matéria-prima

A matéria-prima utilizada foi as folhas de eucalipto retiradas de uma árvore na região da Campanha Gaúcha-RS. O conteúdo de umidade das amostras foi determinado pelo método da estufa em 105 °C por 24 h.

Procedimento experimental

Utilizou-se um secador de leito fixo com fluxo paralelo de ar, mostrado na Figura 1, para realização da secagem das folhas de eucalipto.



Figura 1 – Foto do secador utilizado no experimento.

Na Figura 1 observa-se o compartimento onde tem-se o soprador (1), um psicrômetro (2), o painel de controle (3), um anemômetro (4) e uma balança digital (5).

Colocou-se aproximadamente 90 g de folhas de eucalipto em uma cesta suspensa no interior do secador, conforme a Figura 2, sendo monitorada a variação desta massa no decorrer do experimento, até peso constante (umidade considerada como de equilíbrio).

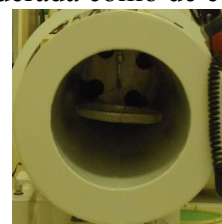


Figura 2 – Cesta suspensa no interior do secador.

As variáveis estudadas no planejamento foram a temperatura e a velocidade do ar de secagem; e como resposta avaliou-se o tempo de secagem para atingir a umidade de equilíbrio. As faixas experimentais foram determinadas após a realização de testes preliminares. O número de experimentos foi estabelecido através da técnica de planejamento experimental com fatorial 2^2 , adicionando 3 réplicas ao ponto central. As temperaturas analisadas principais foram 50 e 70 °C, sendo 60 °C o ponto central, e as velocidades 1 e 2 m/s, sendo 1,5 m/s o ponto central.

Para a obtenção das curvas de taxa de secagem fez-se o tratamento dos dados experimentais. Esse tratamento consistiu em obter as derivadas numéricas de ajustes linear e exponencial dos dados referentes a variação do conteúdo de umidade (b.s.) no decorrer dos experimentos de secagem. Para estes cálculos a área da amostra exposta as transferências de calor e de massa foi considerada constante.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 mostra os valores de umidade das folhas de eucalipto *in natura* e após a secagem nas diversas temperaturas.

Tabela 1 – Valores de umidade para as folhas *in natura* e após a secagem.

Temp. do ar (°C)	Velocidade do ar (m/s)	Umidade <i>in natura</i> (% b.u.)	Umidade Final (% b.u.)
50	1	50,31 ± 0,86	11,15 ± 0,90
50	2	53,20 ± 0,33	7,28 ± 0,44
70	1	53,72 ± 1,33	9,20 ± 0,90
70	2	50,31 ± 0,86	5,62 ± 0,12
60	1,5	53,20 ± 0,33	5,38 ± 0,11
60	1,5	45,12 ± 0,90	9,55 ± 0,33
60	1,5	52,49 ± 1,20	9,23 ± 1,90

A partir dos valores mostrados na Tabela 1, observa-se que a umidade das folhas *in natura* foi $51 \pm 0,026$ % (b.u.), e a umidade final variou entre 5 e 11 % (b.u.). Alves (2007) encontrou $45,67 \pm 6,28$ % para o conteúdo de umidade da folha de eucalipto *in natura*, valor semelhante ao obtido nesse trabalho.

A Figura 3 mostra as folhas de eucalipto *in natura* (a) e após da secagem (b).



Figura 3 – Folhas de eucalipto *in natura* (a) e após da secagem (b).

Na Figura 4 são mostradas as curvas do adimensional de umidade em função do tempo para algumas condições experimentais.

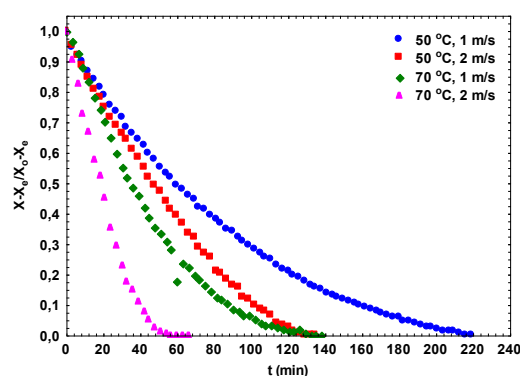


Figura 4 – Adimensional de umidade em função do tempo, para diferentes condições de secagem.

Nas Figuras 5 e 6 apresentam-se as curvas de densidade de fluxo de umidade para os experimentos realizados nas temperaturas de 50 e 70 °C, respectivamente.

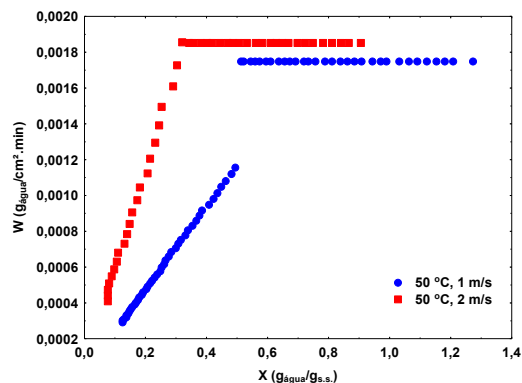


Figura 5 – Densidade de fluxo de umidade na temperatura de 50 °C.

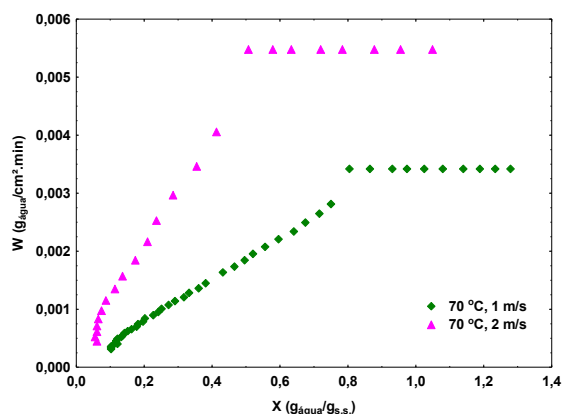


Figura 6 – Densidade do fluxo de umidade na temperatura de 70 °C.

A partir da Figura 4 e até a Figura 6 observa-se que a secagem em leito fixo ocorre inicialmente em período de taxa constante, seguido do período de taxa decrescente. No primeiro período, é retirada a umidade superficial, sendo que este encerrou-se em 75 e 69 min, para a temperatura de 50 °C e velocidade do ar de 1 e 2 m/s, respectivamente. Para as secagens em 70 °C, esta transição ocorreu em 30 e 24 min, para 1 e 2 m/s, respectivamente. Após estes determinados tempos é atingida a umidade crítica do material e inicia-se a taxa decrescente, em que ocorre a retirada da umidade interna do material. Ao final da secagem, a umidade atinge o equilíbrio e a massa do material não varia mais, pois atingiu o conteúdo de umidade de equilíbrio com a atmosfera correspondente.

Radünz *et al.* (2010) e Sousa *et al.* (2011) apresentaram em suas pesquisas curvas para a cinética de secagem das folhas de sálvia e nabo forrageiro, respectivamente, com comportamento semelhante ao obtido nesse trabalho, no que diz respeito a presença de taxa constante e taxa decrescente.

Por meio da análise estatística dos resultados, verificou-se a influência das condições operacionais do processo (temperatura e velocidade do ar) no tempo de secagem. A Tabela 2 apresenta a influência dos efeitos principais e de suas interações para um limite de confiança de 90 % ($p \leq 0,1$).

Tabela 2 - Estimativa dos efeitos para a resposta tempo de secagem.

Fatores	Efeito estimado	p
Média	128	
Temperatura	-37,5	0,0717
Velocidade	-39,0	0,0690
A x B	3,0	0,6082

A Tabela 2 mostra que temperatura e a velocidade do ar de secagem exerceram efeito significativo no tempo de secagem da folha de eucalipto, com um limite de confiança de 90 %. Pela análise do valor de p observa-se que a interação entre as variáveis independentes não apresentaram influência significativa na resposta. Quando os valores de p são inferiores a 0,1 os efeitos são considerados estatisticamente significativos. Também foi observada a relação do sinal negativo existente nas variáveis independentes (temperatura e velocidade do ar de secagem) que provocaram, como esperado, a diminuição no tempo total do processo. Segundo El-Aouar (2001) o sinal negativo indica que a passagem de um nível inferior (50 °C) para um superior (70 °C) da variável independente acarretará uma diminuição no valor da resposta (no caso deste estudo, o tempo de secagem).

A Figura 7 apresenta o diagrama de Pareto:

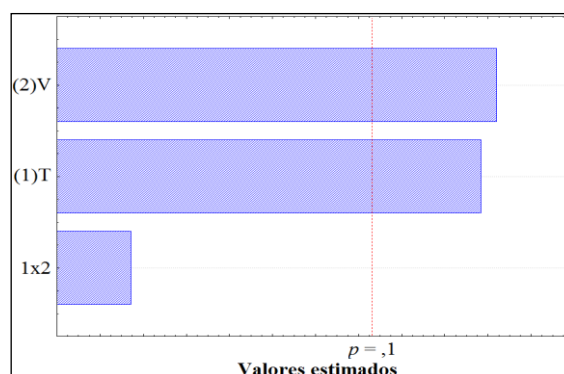


Figura 7 – Diagrama de Pareto.

Com base na Figura 7, confirma-se a significância dos efeitos principais, em que os efeitos estatisticamente significativos localizam-se à direita do limiar de significância ($p \leq 0,1$). Assim sendo, a velocidade tem influência pouco maior que a temperatura no tempo da secagem.

CONCLUSÃO

A umidade das folhas *in natura* foi $51 \pm 2,6$ % (b.u.), e a umidade final variou entre 5 e 11 % (b.u.).

Os resultados para a cinética de secagem de todas as temperaturas apresentaram um período de taxa constante, seguido de um período de taxa decrescente, o que significa que inicialmente retira-se a umidade superficial do material, e após, a umidade interna.

No planejamento experimental a temperatura e a velocidade do ar tiveram efeito significativo no tempo de processo, para uma confiança de 90 %.

REFERÊNCIAS

- ALVES, A. M. C. (2007) Quantificação da produção de biomassa e do teor de carbono fixado por clones de eucalipto, no polo gessoiro do Araripe – PE. Universidade Federal Rural de Pernambuco. Recife – PE. (dissertação de mestrado).
- EL-AOUAR, Â. A. (2001) Avaliação do processo combinado de desidratação osmótica e secagem na qualidade de cubos de mamão formosa (*Carica Papaya L.*). Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas – SP.
- MELO, E. C., RADÜNZ, L. L., DE ALVARENGA E MELO, R. C. (2004), “Influência do processo de secagem na qualidade de plantas medicinais” Engenharia na Agricultura, Viçosa – MG, v.12, n.4, 307-315.
- MOCHI, V. T. (2005), Efeito da temperatura de secagem no rendimento do óleo essencial e teor de 1,8-cineol presentes nas folhas de *Eucalyptus camaldulensis*, UNICAMP – SP (dissertação de mestrado), 91p.
- OLIVEIRA, R. A., OLIVEIRA, W. P., PARK, K. J. (2006), “Determinação da difusividade efetiva de raiz de chicória”, Engenharia Agrícola, v.26, n.1, Jaboticabal - SP.
- RADÜNZ, L. L., MOSSI, A. J., ZAKRZEWSKI, C. A., AMARAL, A. S. & GRASSMANN, L. (2010) “Análise da cinética de secagem de folhas de sálvia” Rev. Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, PB, UAEA/UFCG.
- ROCHA, M. E. N., DOS SANTOS, C. L. (2007), “O uso comercial e popular do eucalipto *Eucalyptus globulus labill – Myrtaceae*” Saúde & Ambiente em Revista, Duque de Caxias - RJ, v.2, n.2, 23-24.
- SANTOS, P. E. T.; GERALDI, I. O.; GARCIA, J. N. (2003) “Estimativas de parâmetros genéticos de propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus grandis*”, Scientia Forestalis, Piracicaba – SP, v.63, p.54-64.
- SILVA, F.; CASALI, V. W. D. (2000) “Plantas medicinais e aromáticas: pós-colheita e óleos essenciais”, Viçosa: Arte e Livros, Viçosa – MG, 135p.
- SILVA, A. S. (2008), Avaliação da secagem do bagaço de cajá usando planejamento fatorial composto central, UFRN – RN (dissertação de mestrado), 69p.
- SOUSA, K. A., RESENDE, O., CHAVES, T. H., COSTA, L. M. (2011) “Cinética do nabo forrageiro (*Raphanus sativus L.*)” Revista Ciência Agronômica v.42, n.4, p 883-892, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza - CE.
- STAPE, J. L.; BINKLEY, D.; RYAN, M. G. (2004) “*Eucalyptus* production and the supply, use and efficiency of use of water, light and nitrogen across a geographic gradient in Brazil”, Forest Ecology and Management, Philadelphia - PA – USA, v.193, p.17-31.

AGRADECIMENTOS

Ao programa de bolsas de desenvolvimento acadêmico (PBDA) e ao programa de apoio à participação discente em eventos (PAPE), ambos da Universidade Federal do Pampa.