

# COMPARAÇÃO DE SECAGENS CONVECTIVAS EM TÚNEL, EM REGIME CONTÍNUO E DESCONTÍNUO

Vítor Silva<sup>1</sup>; A. Rui Figueiredo<sup>1</sup>; José J. Costa<sup>1</sup>; Raquel Guiné<sup>2</sup>; João Gonçalves<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ADAI – Associação para o Desenvolvimento da Aerodinâmica Industrial – Rua Pedro Hispano n°12 3031-289  
Coimbra – vitor.silva@dem.uc.pt

<sup>2</sup>ESAV- IPV – Escola Superior Agrária de Viseu - Quinta da Alagoa - Estrada de Nelas, Ranhados 3500-606 Viseu  
– raquelguine@esav.ipv.pt

## Resumo

A secagem convectiva, em túnel, de pêra São Bartolomeu, pode ser efectuada em modo contínuo com equipamentos que imponham valores pré-escolhidos para a temperatura e velocidade do ar de secagem, tornando o processo independente das condições meteorológicas, modo este que não é análogo ao verificado numa secagem solar tradicional, inerentemente descontínua (suspensão do processo nos períodos nocturnos). O presente estudo comparou as eventuais vantagens e desvantagens da utilização de uma metodologia de secagem descontínua, convectiva e forçada em túnel, mais próxima das condições habituais de secagem por via solar, quando comparada com uma secagem contínua, para valores análogos da temperatura e velocidade do ar de secagem. Os resultados demonstram que o tempo total de secagem em modo contínuo é mais curto (um decréscimo de cerca de 28 horas). Contudo, em modo descontínuo, a ventilação e o aquecimento estiveram desligados 67,5 horas, correspondentes a 55,8% do tempo total do ensaio. Foi também verificado que a remoção de água no modo descontínuo foi sempre superior em cada reactivação do sistema de termo ventilação quando comparada com o instante imediatamente anterior à pausa nocturna. Os resultados obtidos evidenciam que o modo descontínuo apresenta reduções substanciais da energia gasta, se bem que à custa de um aumento, em todo o caso relativamente pouco significativo, do tempo total de secagem, o que é um resultado muito interessante do ponto de vista da poupança energética em processos desta natureza.

## 1. INTRODUÇÃO

Os sistemas de secagem solar apresentam algumas limitações. A principal, sem dúvida, é a dependência total das condições meteorológicas existentes (Ferreira & Candeias, 2005). Neste sentido a secagem convectiva em túnel surge como solução (Jannot et al., 2004; Karathanos & Belessiotis, 1997; Koyuncu et al., 2007, Lengyel, 2007; Uribe et al., 2009). Nestes sistemas verifica-se usualmente a presença de uma câmara de secagem à qual é acoplada um sistema de circulação de ar forçado e uma fonte de aquecimento. Nestas circunstâncias o funcionamento do sistema pode ser efectuada em modo contínuo. Tal facto leva à existência de curvas de secagem bem definidas devido à presença de condições constantes ao longo de todo o processo (Guiné et al., 2009; Silva et al., 2009).

A secagem de pêra São Bartolomeu é tradicionalmente efectuada sob exposição solar directa (Lima et al., 2009). No entanto outras formas de secagem têm sido desenvolvidas, nomeadamente a utilização de estufas. Para ambos os casos a secagem apresenta sempre um carácter descontínuo (Guiné et al., 2009).

O estudo apresentado de seguida equaciona as vantagens e desvantagens da aplicação de uma metodologia descontínua a processos de secagem convectiva, independentes da luz solar e,

desta forma, aplicar à secagem em túnel, condições mais condizentes com as verificadas numa secagem tradicional.

## **2. EXPERIMENTAL**

### **2.1. Equipamento de secagem**

A câmara de secagem utilizada (Figura 1) consiste numa estrutura de polietileno extrudido de alta densidade de área de secção de 0,24m<sup>2</sup> com uma capacidade máxima para 170 pêras (variável de acordo com o calibre dos frutos). O tabuleiro inferior com capacidade para aproximadamente 20 pêras encontra-se directamente apoiado numa balança electrónica para aquisição de massa em contínuo. Acoplado à câmara existe um sistema de termo-ventilação que assegura condições homogéneas de temperatura e velocidade do ar.



Figura 1 – Vista frontal da câmara de secagem durante um ensaio

### **2.2. Aquisição de massas**

A aquisição contínua de massa foi assegurada por uma balança electrónica FX – 3000 (A&D, Abingdon – UK), com uma precisão de 0,01g. A aquisição de dados foi garantida por um programa em QBasic. Os dados foram recolhidos em intervalos de 60 segundos e resultam de uma media de 4 pesagens por aquisição.

### **2.3. Aquisição de temperaturas**

A temperatura das pêras e do interior da câmara de secagem foi controlada através de termopares conectados a uma interface PICO TC-08 (Pico Technology, Cambridgeshire – UK)

(Figura 2) e os dados adquiridos em intervalos de 60 segundos pelo software picolog recorder da mesma companhia. Os termopares foram colocados em locais representativos da câmara de secagem e à superfície e interior de pêras em cada um dos tabuleiros.



Figura 2 – Interface PICO TC 08

#### 2.4. Humidade inicial da pêras frescas

Para a determinação da humidade, foram retirados pedaços de pêras pertencentes ao mesmo lote a ser secado (previamente descascadas) e pesados. Os pedaços foram então colocados na estufa WTC Binder F53 (Tuttlingen, Alemanha) a 115°C, sobre papel de alumínio.

As pêras foram periodicamente retiradas e pesadas numa balança electrónica (FX – 3000 (A&D company, Abingdon – Reino Unido) até peso constante. A humidade (em base húmida) foi então calculada através da fórmula:

$$\text{Hum}(\%) = \left( \frac{P_{\text{inicial}} - P_{\text{final}}}{P_{\text{inicial}}} \right) \times 100$$

Em que  $P_{\text{inicial}}$  e  $P_{\text{final}}$  representam a massa das pêras antes e após secagem em estufa, respectivamente. Após determinação de humidade individual foi calculada a média e desvio padrão.

Durante os ensaios foi usada a mesma fórmula para determinação da percentagem de humidade em base húmida ao longo processo substituindo  $P_{\text{inicial}}$  pela massa das pêras em cada instante.

#### 2.5. Preparação das pêras para ensaio

Após colheita as pêras da variedade São Bartolomeu foram mantidas no frigorífico até ao dia do ensaio. Após descasque, preservando o pedúnculo intacto, foram distribuídas homogeneamente pela câmara de secagem.

## 2.6. Parâmetros de secagem

Em ambos os ensaios (modo contínuo e descontínuo) a temperatura foi mantida a 40°C e a velocidade do ar debitada situou-se nos 1,2 ( $\pm 0.1$ ) m/s. No ensaio em modo descontínuo o aquecimento e ventilação foram desligados entre as 19h30m e as 9h (período nocturno).

## 2.7. Metodologia dos ensaios

Foi efectuada a pesagem contínua de 20 pêras em cada um dos ensaios efectuados. A aquisição iniciou-se no instante imediatamente após a activação inicial do sistema de termo-ventilação. Todas as fontes de aquecimento e ventilação foram desligadas no período nocturno referido em 2.6.

## 3. RESULTADOS

As figuras 3 e 4 mostram a humidade em base húmida ao longo dos ensaios e a evolução da massa, representada em escala adimensional, para os ensaios em causa.

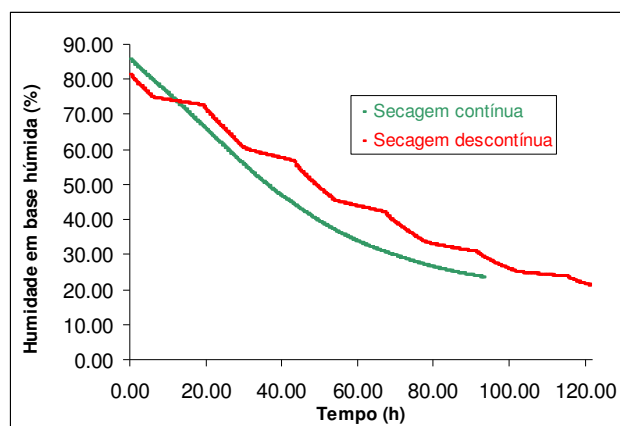


Figura 3 – Evolução da humidade em base húmida ao longo dos ensaios

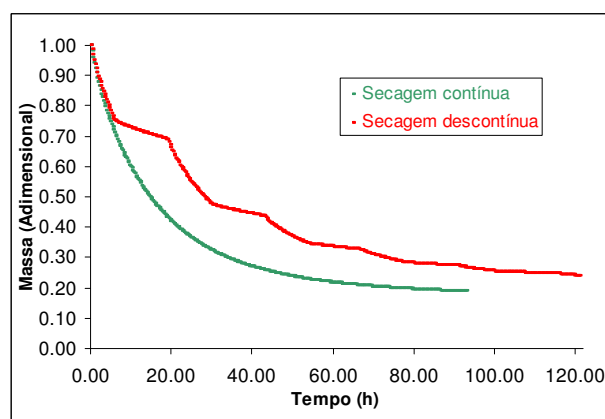


Figura 4 – Evolução da massa (adimensional) ao longo dos ensaios

Observa-se ao longo do processo em contínuo um padrão homogêneo caracterizado por um declive acentuado das curvas de massa e humidade seguida de um segundo patamar de abrandamento das perdas e, finalmente, a estabilização. Os patamares correspondentes ao período nocturno são nitidamente observados na secagem descontínua. É contudo de realçar que nesta fase de interrupção da termo-ventilação do sistema, não se verifica total estabilização de valores ou ganho de massa ou humidade.

Na tabela 1 estão presentes os valores iniciais e finais de humidade e uma análise ao tempo de ensaio e de funcionamento da termo-ventilação em ambos os processos.

Tabela 1 – Humidade inicial e final e tempos de secagem

Tipo de secagem	Humidade inicial em base húmida (%)	Humidade final em base húmida (%)	Tempo total da secagem (horas)	Tempo de funcionamento da termo-ventilação (horas)	Tempo de funcionamento da termo-ventilação (%)
Contínua	85,6	23,5	93	93	100
Descontínua	81,1	21,1	121	53,5	44,2

Verifica-se que, para valores próximos de humidade inicial e final, o ensaio realizado em modo descontínuo demorou mais 28 horas. No entanto a termo ventilação esteve desligada 67 horas e 30 minutos, funcionando apenas 44,2% do tempo total da secagem e, conseqüentemente, menos 39 horas e 30 minutos que no ensaio contínuo.

A evolução da derivada, com sinal negativo, da massa adimensional nos ensaios realizados, está representada na Figura 5:

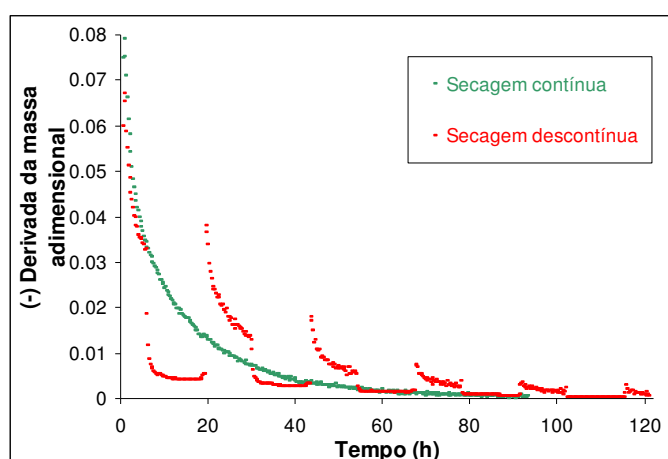


Figura 5 – Derivada, com sinal negativo, da massa (adimensional) ao longo do tempo

É perfeitamente notório, no ensaio descontínuo, que a derivada nunca se iguala a zero, inclusivé nos tempos de suspensão nocturna, demonstrando que o processo de secagem continua a decorrer nestes períodos. Tal facto mostra que os processos de re-hidratação são

negligenciáveis ou mesmo inexistentes. Mais se verifica que, em cada re-activação do sistema, o valor da derivada é superior ao verificado no instante antes da suspensão anterior. Este comportamento sugere que, durante os períodos nocturnos e não obstante a suspensão do aquecimento e ventilação, existe migração da água para a superfície do fruto por fenómenos capilares e conseqüente remoção na re-activação do sistema, com aumento significativo da velocidade de secagem.

#### 4. CONCLUSÕES

O trabalho realizado mostrou que ambos os modos de secagem convectiva em túnel (contínuo e descontínuo), são aplicáveis à secagem de pêra São Bartolomeu. Analisando o tempo total de ensaio, o método contínuo revelou ser naturalmente mais rápido. No entanto, a metodologia descontínua apresenta uma redução muito significativa do tempo de operação dos componentes de termo-ventilação do sistema. Além disso, verificam-se no modo descontínuo, maiores velocidades de secagem em cada re-activação após o período nocturno, sugerindo migração de água para a superfície do fruto nos períodos de pausa com conseqüente remoção por acção da termo-ventilação diurna. Por outro lado denota-se que eventuais efeitos de re-hidratação não se manifestam, ou são desprezáveis.

Face ao exposto o processo de secagem convectiva em túnel de modo descontínuo surge como alternativa muito interessante por permitir uma interessante poupança energética, traduzida em menos de 50% de funcionamento das fontes de termo-ventilação durante o ensaio, à custa de um aumento pouco significativo do tempo global de secagem.

**Agradecimentos:** Os autores desejam agradecer à Fundação para a Ciência e Tecnologia, pelo financiamento no âmbito do projecto **PTDC/AGR-ALI/74587/2006**.

#### Referências

- Ferreira A & Candeias M (2005) Secagem solar de frutos e plantas aromáticas. *Revista de Ciências Agrárias* 28 (1), 363-370.
- Guiné RPF, Barroca MJ, Lopes P, Silva V, Santos M & Ferreira DMS (2009) Comparação entre pêras secadas sob diferentes métodos. *Pêras secadas, Promoção de um produto agro-alimentar tradicional – Acção de divulgação*. Viseu: ESAV.
- Jannot Y, Talla A, Nganhou J, Puiggali J (2004) Modeling of banana convective drying by the drying characteristic curve (DCC) Method. *Drying Technology*, 22 (8), 1949-1968.
- Karathanos VT & Belessiotis (1997) Sun and artificial air drying kinetics of some agricultural products. *Journal of Food Engineering* 31, 35-46.

- Koyuncu T, Pinar Y, Lule F (2007) Convective drying characteristics of azerole red (*Crataegus monogyna* Jack.) and yellow (*Crataegus aronia* Bosc.) fruits. *Journal of food engineering* (78), 1471-1475.
- Lengyel A (2007) The change of body temperature during convective drying of cube-shaped apple pieces. *Drying Technology* (25), 1275-1280.
- Lima MJR, Guiné RPF, Barroca MJ (2009) A pêra passa de Viseu. *Pêras secadas, Promoção de um produto agro-alimentar tradicional – Acção de divulgação*. Viseu: ESAV.
- Silva V, Figueiredo AR, Costa JJ (2009) Secagem convectiva em túnel de pêra São Bartolomeu. *Pêras secadas, Promoção de um produto agro-alimentar tradicional – Acção de divulgação*. Viseu: ESAV.
- Uribe E, Vega-Galvez A, Di Scala K (2009) Characteristics of Convective Drying of Pepino Fruit (*Solanum muricatum* Ait.): Application of Weibull Distribution. *Food and Bioprocess Technology*. (Available online first)