

CICLOS DE AQUECIMENTO-PULSO DE VÁCUO PARA MODIFICAÇÃO DA TEXTURA DE BANANAS DESIDRATADAS EM CAMPO DE MICRO-ONDAS

R. L. MONTEIRO¹, B. A. M. CARCIOFI¹ e J. B. LAURINDO¹

¹ Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos

E-mail para contato: joao@enq.ufsc.br

RESUMO – Este trabalho avaliou a influência da aplicação de múltiplos ciclos de aquecimento-pulso de vácuo (MFD) nas propriedades físicas que controlam a crocância de frutas desidratadas em campo de micro-ondas. Fatias de bananas (var. Prata) de 5 mm de espessura foram desidratadas pela secagem com: I) micro-ondas a vácuo MV, e II) MFD, associados a um período complementar de secagem por micro-ondas sob vácuo (MVMFD). As amostras secas pelo MV apresentaram umidade em base seca e atividade de água de 0,0341 g g⁻¹ e 0,259, respectivamente, enquanto que para o MVMFD, esses valores foram 0,0518 g g⁻¹ e 0,393. As micrografias mostraram a formação de poros maiores nas amostras MVMFD, além de maior porosidade (55% contra 43%). Isso implicou em maior irregularidade na curva de força x penetração dessas amostras, indicando maior crocância do produto final. Os resultados obtidos mostram que é possível controlar a textura das frutas desidratadas através da aplicação MFD, em campo de micro-ondas.

1. INTRODUÇÃO

A banana é um fruto climatérico, altamente perecível, apresentando elevada taxa respiratória e de produção de etileno, conduzindo rapidamente ao amadurecimento (Pinheiro *et al.*, 2007). Estima-se que as perdas na cadeia produtiva da banana brasileira são de até 40%. As principais causas são as técnicas inadequadas de colheita e pós-colheita, as quais comprometem a qualidade do produto. Falhas na distribuição e a dificuldade na colocação do produto no mercado também podem ser apontadas como causas de perdas (Chitarra e Chitarra, 2005).

Uma alternativa para diminuir os desperdícios de banana é a desidratação, como forma de reduzir a atividade de água (aw) das frutas para inibir o crescimento microbiano, retardando a deterioração das mesmas. Desta forma, é possível o aumento da vida de prateleira dos alimentos, a redução do peso e do volume a serem transportados, facilitando e reduzindo os custos, além de facilitar o consumo e diversificar a oferta de produtos.

Os processos CMFD (*convective multi-flash drying*) e KMFD (*conductive multi-flash drying*) desidratam e ao mesmo tempo proporcionam uma textura crocante as frutas. O processo

baseia-se na aplicação de sucessivos ciclos de aquecimento e de pulsos de vácuo. O produto é aquecido à pressão atmosférica usando ar quente (aquecimento convectivo) ou uma superfície aquecida (aquecimento condutivo). Quando o produto atinge a temperatura desejada, uma redução súbita de pressão (pulso de vácuo) é aplicada, o que leva a evaporação de água (flash) e consequente resfriamento do produto (Laurindo *et al.*, 2011).

A secagem por micro-ondas apresenta como principal vantagem a rápida taxa de remoção de água, podendo resultar em produtos secos de qualidades nutricionais e sensoriais elevadas. As ondas eletromagnéticas promovem o aquecimento uniforme, dessa forma, vapores são formados no interior do produto, gerando um gradiente interno de pressão, que irá forçar a saída da água. Assim, o encolhimento dos materiais alimentares é diminuído. O aquecimento pelas micro-ondas combinado à aplicação de vácuo pode melhorar a eficiência da secagem, bem como a qualidade dos produtos alimentares. Ainda como consequência, a secagem a vácuo impede a oxidação devido à ausência de ar, e, consequentemente, mantém a cor, textura e sabor dos produtos secos (Zhang *et al.*, 2006).

O objetivo do presente trabalho foi produzir fatias de banana crocantes obtidas pela aplicação de múltiplos pulsos sequenciais de vácuo durante o processo de secagem por micro-ondas e relacionar as condições de processo com parâmetros analíticos de textura.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Seleção e preparação da matéria-prima

As bananas da variedade Prata (*Musa Sapientum L.*) foram adquiridas no comércio local da cidade de Florianópolis - SC e mantidas a temperatura ambiente até o momento da sua utilização. A seleção das frutas foi realizada pelo grau de maturação, através de análise visual, resistência à penetração e conteúdo de sólidos solúveis (SST). A resistência à penetração foi avaliada com o auxílio de um penetrômetro (Effegi Modelo - FT 327, Ø=8 mm, Itália) e o teor de SST foi medido por um refratômetro óptico com resolução 0,1 °Brix (Pocket refractometer Atago, Modelo - PAL-BX/RI, Japão). As bananas foram descascadas manualmente e cortadas em fatias de 5 mm de espessura em dispositivo específico para este fim.

2.2. Dispositivo experimental

As secagens foram realizadas em um forno doméstico adaptado (Electrolux, modelo - MEX55, Brasil) com espaço interno de 45 litros, potência máxima de saída do magnetron de 1000 W e frequência de 2450 MHz. No interior do forno foi adaptado um recipiente de polipropileno que serviu como câmara de vácuo. Este recipiente foi conectado a uma bomba de vácuo e a um transdutor de pressão (Warme, Modelo - WTP4010, Brasil) que enviou os dados para registro em um computador. Um sistema consistindo de uma válvula T conectada a uma junta rotativa formada por um eixo fixo (conectado à bomba de vácuo e ao transdutor de pressão) e por um eixo livre (conectado à câmara de vácuo) permitiu homogeneizar a distribuição das micro-ondas pelo acionamento do motor do prato giratório típico dos fornos de micro-ondas.

domésticos, o dispositivo experimental está representado na Figura 1.

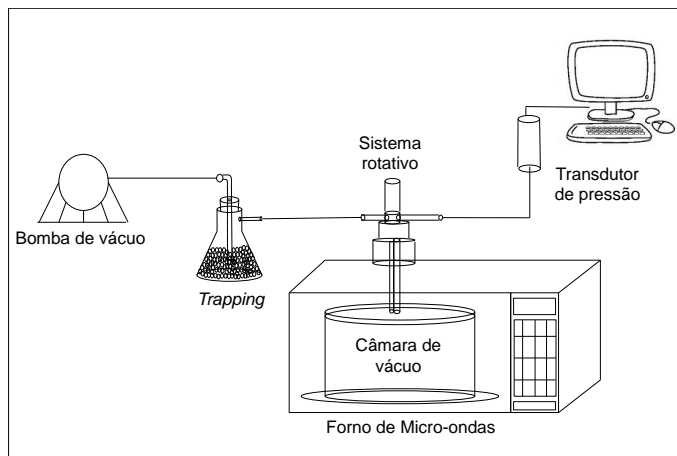


Figura 1 - Dispositivo experimental.

2.3. Secagem por Micro-ondas

Para a secagem, as fatias de banana foram dispostas ao redor da extremidade de uma bandeja circular de polipropileno inserida na câmara de vácuo. O forno micro-ondas, quando ligado, esteve na potência máxima do magnetron (1000 W).

Foram adotados dois procedimentos de secagem (Figura 2): I) Micro-ondas a vácuo (MV), inicialmente reduziu-se a pressão em aproximadamente 4,0 kPa, neste instante o micro-ondas foi ligado por 12 min e então restabeleceu-se a pressão atmosférica, totalizando 13,67 min de processo e II) Múltiplos ciclos de aquecimento-pulso de vácuo (MFD), associados a um período complementar de secagem por micro-ondas sob vácuo (MVMFD), totalizando 16,52 min. No processo MVMFD aqueceu-se a amostra no micro-ondas por 30 s (tempo para que a amostra atingisse 60 °C), quando foi aplicado o pulso de vácuo até a pressão final de 8,0 kPa, esse procedimento foi repetido por mais duas vezes, sendo a duração do aquecimento por micro-ondas de 20 s.

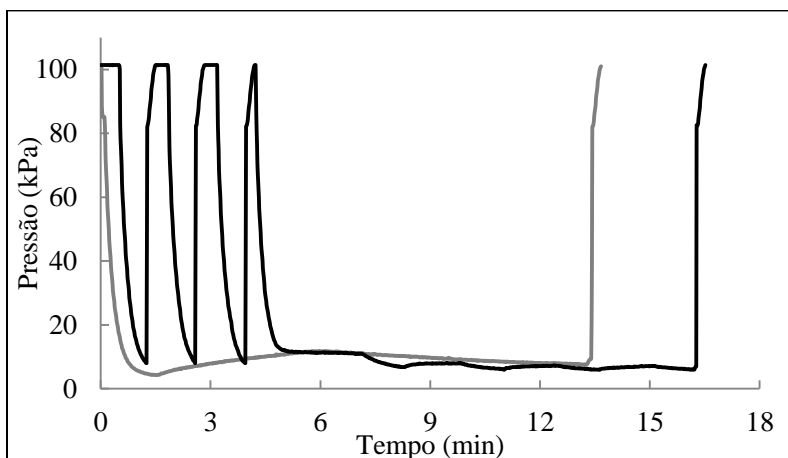


Figura 2 - Evolução temporal da pressão na secagem MV (—) e MVMFD (—) para potência de 1000 W.

2.4. Caracterização físico-química

As frutas *in natura* foram caracterizadas pelo conteúdo de água, de sólidos solúveis totais (SST) e pela atividade de água (aw). No decorrer da secagem, as amostras foram caracterizadas por: umidade, aw, volume aparente, volume real, porosidade, teste de penetração e microscopia eletrônica de varredura (MEV). As metodologias utilizadas são descritas a seguir.

O conteúdo de água foi determinado pelo método gravimétrico (Shimadzu, Modelo - AY220, Filipinas com precisão de 0,0001 g) a vácuo (≤ 100 mmHg, 70 °C) conforme metodologia da AOAC (2005). As determinações foram realizadas em quadruplicata.

A atividade de água (aw) foi determinada em higrômetro digital (Aqualab Modelo - Series 3 TE, Decagon Devices, Inc., Pullman, EUA) pela medida do ponto de orvalho a 25 °C. As análises foram realizadas em triplicata.

O volume aparente (V_{ap}) foi determinado pela força de empuxo da amostra imersa em n-heptano. A amostra foi presa em um gancho conectado à parte inferior de uma balança analítica com precisão de 0,0001 g (Marte, Modelo -AY220, Filipinas). O V_{ap} foi calculado pela Equação 1, sendo a análise realizada em quadruplicata.

$$V_{ap} = \frac{(m_{s+g} - m_g) - (m_{s+g,n-hp} - m_{g,n-hp})}{\rho_{n-hp}} \quad (1)$$

na qual m_g é massa do gancho, m_{s+g} é a massa da amostra e do gancho, $m_{s+g,n-hp}$ é a massa aparente registrada para a amostra e o gancho mergulhados no n-heptano, $m_{g,n-hp}$ é a massa aparente registrada para gancho mergulhado no n-heptano.

O volume real (V_r) da amostra foi determinado utilizando um picnômetro de ar

comprimido, esquematizado na Figura 3.

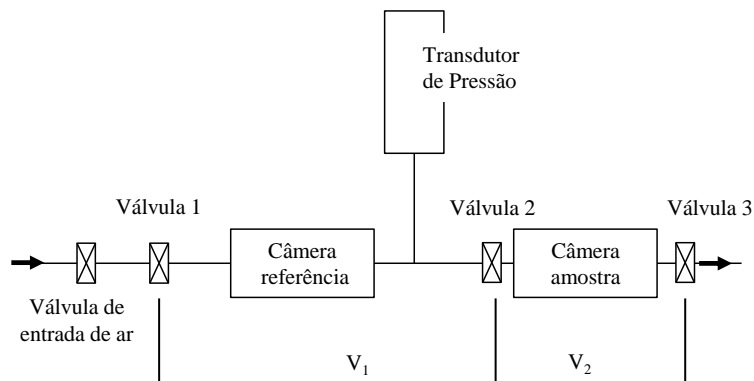


Figura 3 - Diagrama esquemático do picnômetro (Adaptado de Sereno *et al.*, 2007).

O procedimento realizado foi conforme proposto por Sereno *et al.* (2007). O V_r foi calculado utilizando a Equação 2, sendo a análise realizada em quadruplicata.

$$V_r = \frac{V_1 \left(\frac{P_1}{P_2} \frac{T_2}{T_1} - 1 \right)}{\left(\frac{P_{atm}}{P_2} \frac{T_2}{T_{amb}} - 1 \right)} + V_2 \quad (2)$$

na qual é P_{atm} e T_{amb} são a pressão e a temperatura medida com picnômetro vazio e a válvula 1 fechada. P_1 e T_1 são a pressão e a temperatura medida após o equilíbrio da compressão de ar na câmara de referência, com as a válvula 1,2 e 3 fechadas. P_2 e T_2 são a pressão e a temperatura medida após a abertura da válvula 2, com as a válvula 1 e 3 fechadas.

A porosidade (ε) das amostras foi calculada a partir dos valores de V_r e V_{ap} , conforme a Equação 3.

$$\varepsilon = \left(1 - \frac{V_r}{V_{ap}} \right) \cdot 100 \quad (3)$$

Os teste de penetração (*puncture test*) foram realizados com probe cilíndrica de 2 mm de diâmetro em um analisador de textura (Stable Micro System, Modelo - TA-HD-Plus, Reino Unido). Ao final de cada processo de desidratação foram analisadas 5 amostras, sendo realizadas 3 perfurações em diferentes regiões das mesmas.

Para as imagens de MEV (Modelo - JEOL JSM 6390LV, Japão) as amostras desidratadas foram liofilizadas (Liobras, Modelo - Liotop L101, Brasil) durante 24 horas, para a retirada da umidade residual, e recobertas com ouro utilizando um metalizador (LEICA, Modelo - EM SCD500). As imagens capturadas foram da parte interna das amostras fraturadas.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

As amostras de banana *in natura* utilizadas nos processos de secagem apresentaram a concentração de SST de $23,1 \pm 1,2$ °Brix (média \pm desvio padrão), resistência à penetração de $1,2 \pm 0,1$ kgf cm⁻² e a massa de banana utilizada na secagem foi de $85,80 \pm 0,82$ g.

As Figuras 4 e 5 apresentam os dados em triplicata da evolução temporal da umidade em base seca (X_{bs}) e da atividade de água (a_w) das amostras durante as secagens por MV e MVMFD e apresentam uma boa reprodutibilidade da evolução temporal da X_{bs} e a_w das amostras durante as secagens, mesmo com a amostragem realizada de forma destrutiva. As bananas *in natura* apresentaram umidade em base seca média (\pm desvio padrão) de $2,4365 (\pm 0,1195)$ g g⁻¹ e ao final dos processos MV e MVMFD estes valores foram reduzidos para $0,0341 (\pm 0,0025)$ e $0,0518 (\pm 0,0128)$ g g⁻¹, respectivamente. A atividade de água inicial média (\pm desvio padrão) foi de $0,981 (\pm 0,005)$ e ao final dos processos MV e MVMFD atingiram $0,259 (\pm 0,006)$ e $0,393 (\pm 0,012)$, respectivamente.

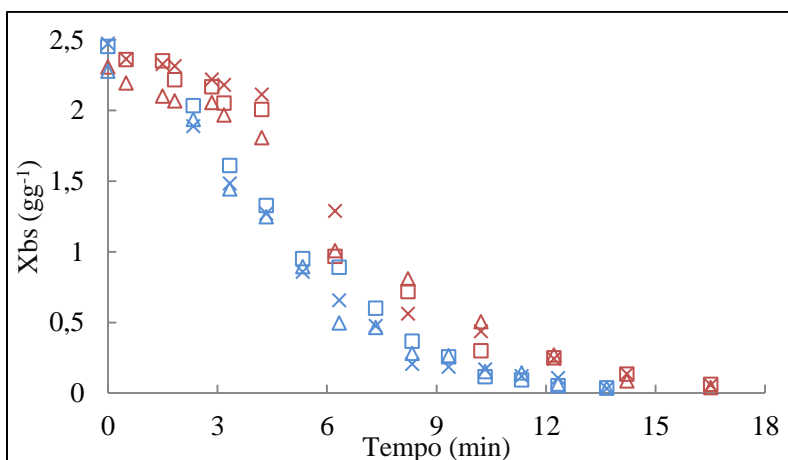


Figura 4 - Evolução temporal da umidade em base seca das amostras de banana durante os processos de secagem MV (—) e MVMFD (—), realizada em triplicata.

A secagem MVMFD resultou na formação de microestrutura diferenciada, indicando uma textura do alimento de característica crocante. Esta textura é verificada pela relação força x penetração relativa (Figura 6). Resultados semelhantes foram obtidos por Zotarelli *et al.* (2012), que compararam bananas secas pelo processo CMFD e por liofilização. As frutas CMFD e frutas liofilizadas apresentaram comportamento irregular para os dados obtidos na análise de força x penetração relativa, semelhantes ao observado no processo MVMFD.

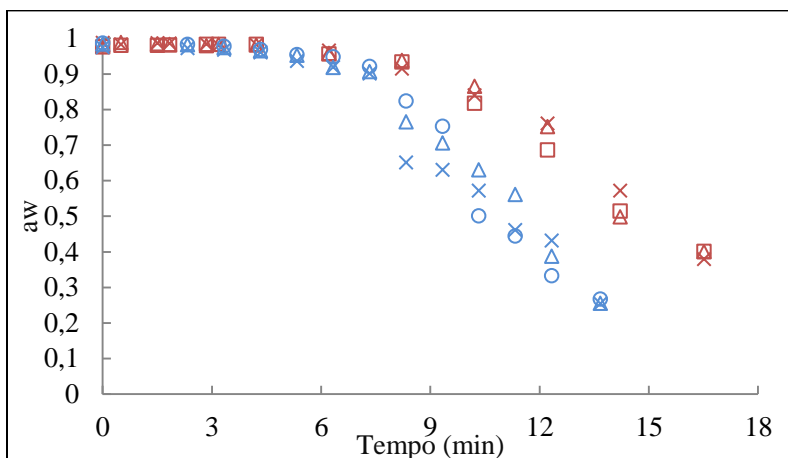


Figura 5 - Evolução temporal da atividade de água das amostras de banana durante os processos de MV (—) e MVMFD (—), realizada em triplicata.

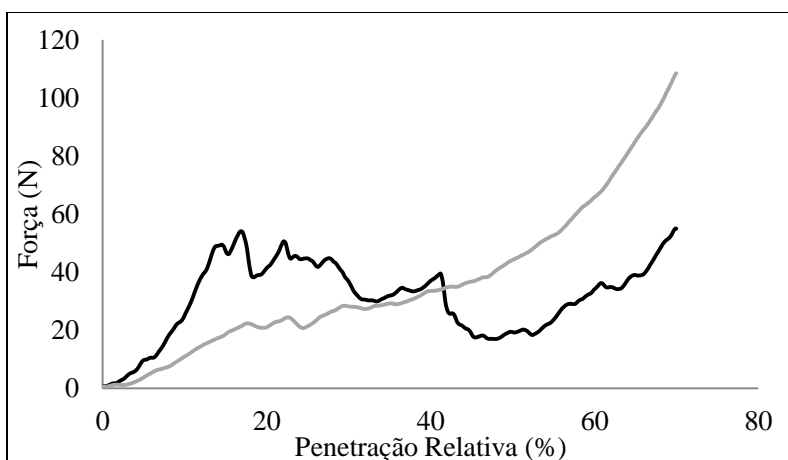


Figura 6 - Relação força-penetração para as fatias de banana secas por MV (—) e MVMFD (—).

As imagens de MEV (Figura 7) permitem observar que o processamento com MVMFD causou uma abertura (expansão) na estrutura interna do produto, formando espaços maiores. Consequentemente, a porosidade da amostra MVMFD ($\epsilon = 55,3 \pm 4,5$) foi 28% maior que a porosidade da amostra seca apenas pelo processo MV ($\epsilon = 43,4 \pm 5,4$).

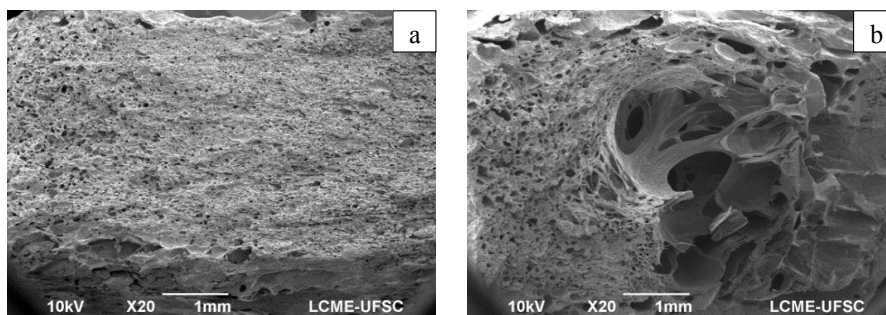


Figura 7 - Imagens de MEV pelo processo (a) MV (b) MVMFD.

4. CONCLUSÃO

É possível alterar a textura das frutas desidratadas através da aplicação de múltiplos ciclos de aquecimento-pulso de vácuo em campo de micro-ondas. O processo de secagem combinando o aquecimento por micro-ondas e sucessivos pulsos de vácuo pode ser competitivo com o processo de liofilização para a produção de frutas desidratadas crocantes, pois pode apresentar frutas com microestrutura semelhante e um menor tempo de processamento. No entanto, dependendo das características da fruta, esta pode passar por deformações irreversíveis, pois o aquecimento das micro-ondas ocorre em todo o material, o que gera um gradiente de pressão interna, resultando em uma força para a saída da água. Deste modo, são necessários estudos detalhados das condições de processo e das características da matéria prima para definir a aplicabilidade e as limitações do processo.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AOAC, *Official Methods of Analysis*, Association of Official Analytical Chemists, Washington, 2005.
- CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. *Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio*. 2 ed., Lavras: Editora UFLA, p.785, 2005.
- LAURINDO, J.B.; PORCIUNCULA, B.D.A.; ZOTARELLI, M.F. Processo de secagem por sucessivos ciclos de aquecimento-pulso de vácuo (CAPV) para obtenção de alimentos desidratados crocantes. Brazilian Patent PI 017110000045 filed January 24, 2011.
- PINHEIRO, A.C.M.; VILAS BOAS, E.V.B.; ALVES, A.P.; SELVA, M.L. Amadurecimento de bananas ‘Maçã’ submetidas ao 1-metilciclopropeno. *Ver. Bras. Frutic.*, v.29, p.1-4, 2007.
- SERENO A. M.; SILVA M.A.; MAYOR, L. Determination of particle density and porosity in foods and porous materials with high moisture content. *Int. J. Food Prop.*, v.10, p. 455-469, 2007.
- ZHANG, M.; TANG, J.; MUJUMDAR, A. S.; WANG, S. Trends in microwave-related drying of fruits and vegetables. *Trends. Food Sci. Ttech.*, v.17, p. 524-534, 2006.
- ZOTARELLI, M. F.; PORCIUNCULA, B. D. A.; LAURINDO, J. B. A convective multi-flash drying process for producing dehydrated crispy fruits. *J. Food Eng.*, v. 08, p. 523- 531, 2012.