

## ENCOLHIMENTO NA SECAGEM CONVECTIVA DE ABACAXI COM APLICAÇÃO DE MICRO-ONDAS VARIÁVEL

F. J. LOPES<sup>1\*</sup>, N. R. PEREIRA<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Lavras, Departamento de Ciências dos Alimentos

<sup>2</sup>Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Centro de Ciências e Tecnologias Agropecuárias.

\*e-mail: francemirlopes@yahoo.com.br

### RESUMO

A aplicação de micro-ondas na secagem de produtos alimentícios, quando controlada, acelera a cinética de secagem e pode reduzir o encolhimento e as alterações estruturais responsáveis pela redução de qualidade de alimentos desidratados. O presente trabalho teve como objetivo estudar a cinética de encolhimento de abacaxi secos, utilizando energia de micro-ondas-convectivo, avaliando a influência das condições do ar e energia aplicadas no início e no final do processo. O processo de secagem foi dividido em dois períodos (I e II). A potências de micro-ondas aplicadas ao processo foram de 0,2, 0,4 e 0,65 W/g com referência à massa inicial da fruta. Os testes de secagem foram realizados com temperaturas do ar quente a 55 °C e 70 °C e vazão de ar fixado em 0,5 m<sup>3</sup>/min. Os resultados foram analisados estatisticamente pelo programa empregando-se a análise de variância utilizando o teste Tukey, ao nível de 5% de significância ( $p < 0,05$ ). Os resultados mostraram que o encolhimento foi linear com o decréscimo de umidade. O menor encolhimento foi observado em temperaturas do ar fixada a 55 °C e potência de micro-ondas de 260 W aplicadas no período I e 260 W no período II. O encolhimento maior foi obtido quando diminui a potência de micro-ondas de 170 W do período I para 90 W no período II com temperaturas de 70 °C. Os resultados sugerem que o controle da temperatura do ar e da potência de micro-ondas no primeiro período de secagem pode ser utilizado para se obter um produto de boa qualidade.

### 1 INTRODUÇÃO

O abacaxizeiro (*Ananas comosus* L) é uma planta monocotiledônea perene, pertencente à família *Bromeliaceae* (REINHARDT, 2000).

O abacaxi apresenta grande aceitação tanto pelos consumidores brasileiros quanto pelos estrangeiros, devido a suas características físico-químicas (THÉ *et al.*, 2010). Tem sido a fruta não cítrica mais popular nos países tropicais e subtropicais, principalmente pelo seu atrativo sabor e aroma, contendo uma grande diversidade de

vitaminas e sais minerais (ALMEIDA *et al.*, 2004).

O Brasil é um dos grandes produtores mundiais de abacaxi. Entretanto, devido à alta perecibilidade da fruta, o país sofre com as perdas pós-colheita, decorrentes da sazonalidade da produção e da distância dos mercados consumidores, adicionados ainda à ausência de tratamentos e ao manuseio pós-colheita eficiente, dificultando o escoamento da produção e seu consumo *in natura*. De modo geral, as frutas encolhem durante a secagem, e este encolhimento proporciona uma redução no custo da embalagem do

produto final, facilitando seu armazenamento e transporte. Entretanto, o encolhimento é um dos fatores responsáveis pela perda de qualidade de alimentos desidratados. O conhecimento da influência das variáveis do processo de secagem sobre o encolhimento é essencial para melhorar a compreensão da cinética de secagem, bem como para a preservação da qualidade do produto.

A aplicação de micro-ondas na secagem de produtos alimentícios, quando controlada, acelera a cinética de secagem, como o observado por (BOTHÁ; OLIVEIRA; AHRNÉ, 2012; FENG; YIN; TANG, 2012; FIGIEL, 2009; KONÉ et al., 2013) sendo que o produto processado pode atingir qualidade superior àquela obtida pelos métodos convencionais. Em contrapartida, o fenômeno do encolhimento durante o processo de secagem ainda não está totalmente esclarecido.

O presente trabalho teve como objetivo estudar a cinética de encolhimento de abacaxi secos, utilizando secagem convectiva combinada com micro-ondas, avaliando a influência das condições do ar e aplicação variável de micro-ondas no encolhimento do produto.

## 2 MATERIAL E METODOS

As amostras de abacaxis firmes e maduros da cultivar pérola (*Ananas comosus*) foram fornecidas por único produtor, do município de São João da Barra - RJ. Os abacaxis foram escolhidos de acordo com seu grau de maturação, pela coloração da casca, e pelo teor de sólidos solúveis totais (entre 10 e 15 °Brix).

### 2.1 Preparo das amostras

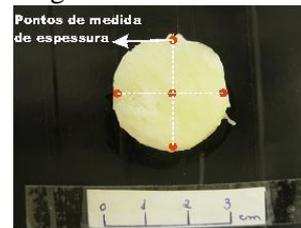
Os frutos foram descascados manualmente até a remoção completa da casca. Os miolos foram removidos e a polpa foi cortada em pedaços cilíndricos com 25 mm de diâmetro e 10 mm de espessura com o auxílio de um cortador projetado para este fim. Os abacaxis tinham em média 166 cm de

comprimento, 123 cm de largura e pesavam em média 1,359 Kg, desconsiderando a coroa.

### 2.2 Volume aparente e encolhimento

O volume aparente das amostras foi medido por análise de imagem digital. As amostras foram fotografadas no mesmo instante em que foram pesadas. A área superficial foi medida diretamente pelas fotografias, por meio de cinco amostras diferentes. A espessura das mesmas foi determinada por meio de uma média aritmética das medidas realizadas em cinco diferentes pontos da amostra, como demonstrado na Figura 1, com a utilização de um paquímetro. Esta análise foi repetida em 5 amostras diferentes.

**Figura 1** - Pontos de medição da espessura ao longo da amostra de abacaxi.



A análise de imagem foi realizada pelo tratamento de 5 amostras por meio do *software* livre ImageJ para obtenção da área superficial. O *software* livre ImageJ relaciona o tamanho do objeto na imagem ao tamanho no mundo real, por isso a importância da escala da imagem. Ao capturar as imagens e salva-las no computador o *software* é capaz de converter o número de pixels dos pedaços de abacaxi para as dimensões reais. Os dados de volume aparente foram obtidos multiplicando-se a área superficial fotografada pela espessura média do material em cada tempo de secagem.

O encolhimento (S) foi calculado como sendo a relação entre o volume aparente da amostra seca ( $V_d$ ) e o seu volume aparente inicial ( $V_0$ ), Equação 1. Foram feitas marcações na bandeja, para obter o volume

aparente das mesmas amostras durante a secagem.

$$S = \frac{V_d}{V_0} \times 100 \quad (1)$$

**Figura 2-** a) Imagem original dos pedaços de abacaxi *in natura* (esquerda) e depois do tratamento (direita), b) Imagem original dos pedaços de abacaxi seco (esquerda) e depois do tratamento (direita).



### 2.3 Cinética de encolhimento

A cinética de encolhimento foi realizada pelo acompanhamento das variações de volume aparente e área superficial das amostras em relação à amostra *in natura*, medidos por imagem digital conforme descrito anteriormente. A espessura e as imagens das amostras foram coletadas a cada 15 minutos de secagem nos primeiros 30 minutos e a cada 10 minutos no restante do processo até atingir massa correspondente a 15% de umidade.

### 2.4 Análise estatística

Os dados obtidos do encolhimento foram analisados estatisticamente pelo programa estatístico SAS – Statistical Analysis System (2003), versão 9.3, empregando-se a análise de variância (ANOVA) utilizando o teste Tukey, ao nível de 5% de significância ( $p < 0,05$ ).

### 2.5 Secagem assistida por micro-ondas

#### 2.5.1 Forno de micro-ondas adaptado

Para a realização do processo de secagem assistida a micro-ondas, os experimentos foram conduzidos em um forno doméstico a micro-ondas, da marca Brastemp, cavidade com volume de 38 litros, modelo BMC38-A, com 900 W de potência nominal máxima, devidamente adaptado a um sistema de ar quente no Laboratório de Tecnologia de Alimentos (LTA/CCTA/UENF). A montagem do equipamento foi desenvolvida de acordo com (SILVA et al., 2011).

### 2.6 Procedimento experimental

O processo de secagem foi dividido em dois períodos (I e II) como ilustrado na Tabela 1. No período I, o processo de secagem foi conduzido até que as amostras atingissem um teor de umidade de 40% (bu), enquanto no período II, o processo foi realizado entre 40% a 15% de umidade (bu). A potências de micro-ondas aplicadas ao processo foram de 90, 170 e 259W, correspondentes a 0,2, 0,4 e 0,65 W/g com referência à massa inicial da fruta. Os testes de secagem foram realizados com temperaturas do ar quente a 55 °C e 70 °C e vazão de ar fixado em 0,5 m<sup>3</sup>/min.

O período I foi conduzido com duas diferente potência de micro-ondas e temperatura do ar, 170 W e 260 W, e 70 °C e 55 °C, respectivamente. Essas condições foram escolhidas visando acelerar o período de indução térmica, de maneira que tanto o ar quanto as micro-ondas forneçam energia para o material. Neste período as amostras foram secas até aproximadamente 40% de umidade (bu).

No período II de secagem, aplicou-se 90 W e 260 W de potência e as mesmas condições de temperatura do ar aplicadas no período I (70 °C e 55 °C), e foi conduzido até que o produto atingisse, aproximadamente, 15% de umidade (bu). A partir do período I, correspondente a 40% de umidade (bu), a secagem do abacaxi torna-se mais lenta e é considerado o período crítico da secagem.

**Tabela 1** - Esquema ilustrativo das condições experimentais testadas para secagem com aplicação de micro-ondas variável dos pedaços de abacaxi.

| T °C  | Período I | Período II |
|-------|-----------|------------|
|       | P (W)     | P (W)      |
| 55 °C | 170       | 90         |
|       | 260       | 260        |
| 70 °C | 170       | 90         |
|       | 260       | 260        |

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A aplicação de potência de micro-ondas variável durante o processo de secagem não alterou o comportamento linear do encolhimento dos pedaços de abacaxi. Uma excelente concordância também foi encontrada entre os dados experimentais e os previstos por ajuste linear ( $R^2 \geq 0,9888$ ) para o período I e ( $R^2 = 1$ ) no período II. Resultados semelhantes foram encontrados por (RUIZ-LÓPEZ et al., 2012). O encolhimento foi observado em todas as condições de processo conforme mostrado na Figura 3 e 4. Observa-se que houve uma tendência da elevação da potência proporcionar aumento de  $V/V_0$ .

O menor encolhimento foi observado em temperaturas do ar fixada a 55 °C e potência de micro-ondas de 260 W aplicadas no período I e 260 W no período II. Este resultado diferiu estatisticamente ao nível de ( $p < 0,05$ ) pelo teste de tukey dos obtidos pelas outras condições, exceto para temperaturas do ar e potência de micro-ondas fixas em 70 °C e 170 W no período I e 260 e 90 W no período II (Tabela 2). O encolhimento maior foi obtido quando diminui a potência de micro-ondas de 170 W do período I para 90 W no período II com temperaturas de 70 °C. Em temperaturas do ar fixas em 55 °C, as variações da potência de micro-ondas não diferiram significativamente

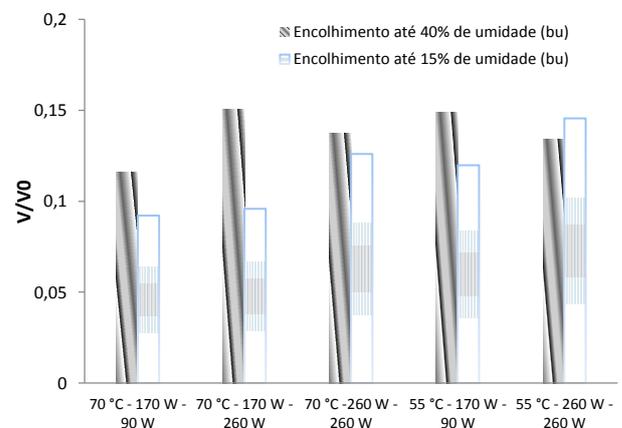
na redução do volume entre si. Os mesmos efeitos foram observados para temperatura do ar de 70 °C.

**Tabela 2** - Médias do encolhimento ( $V/V_0$ ) dos pedaços de abacaxi seco.

| Experimento           | $V/V_0$                   |
|-----------------------|---------------------------|
| 70 °C - 170 W - 90 W  | 0,09 <sup>b</sup> ± 0,01  |
| 70 °C - 166 W - 260 W | 0,11 <sup>b</sup> ± 0,02  |
| 70 °C - 260 W - 260 W | 0,12 <sup>ab</sup> ± 0,01 |
| 55 °C - 170 W - 90 W  | 0,12 <sup>ab</sup> ± 0,01 |
| 55 °C - 260 W - 260 W | 0,15 <sup>a</sup> ± 0,02  |

Médias na mesma coluna acompanhadas de mesma letra não são significativamente diferentes pelo teste de Tukey ( $P < 0,05$ ).

**Figura 3** - Encolhimento volumétrico ( $V/V_0$ ) dos pedaços de abacaxi desidratadas em todas as condições de temperatura e potência de micro-ondas variável.



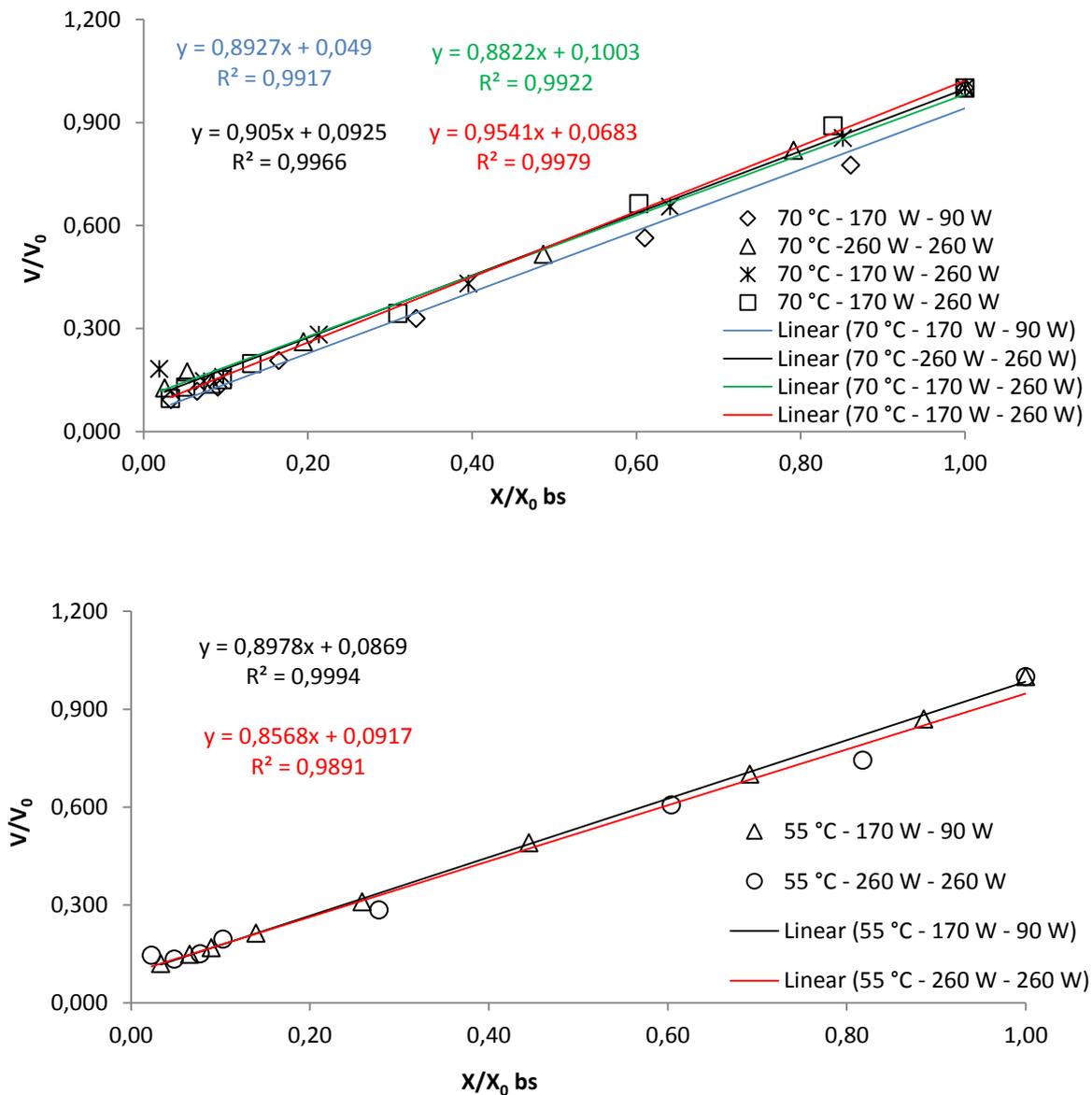
Em baixas umidades foi verificada a estabilização da redução do volume, correspondente ao enrijecimento da parede celular do produto. Esta diminuição da redução do volume no final do processo também foi observada por (YAN; SOUSA-GALLAGHER; OLIVEIRA, 2008) ao estudarem o encolhimento de banana, abacaxi e pedaços de manga durante a secagem com ar quente.

(KHRAISHEH; MCMINN; MAGEE, 2004; MAYOR; SERENO, 2004) explicam que

baixa potência de micro-ondas resulta na diminuição das taxas de secagem, conseqüentemente, as forças induzidas não são suficientemente fortes para quebrar a estrutura e, por conseguinte, o encolhimento é limitado. Além disso, observaram que o encolhimento é menor na secagem com micro-ondas em comparação à secagem convectiva.

É válido ressaltar que a potência de micro-ondas de 90 W no período II não favoreceu a obtenção de um produto crocante, mas com aspectos borrachudos, principalmente quando foram aplicadas baixas temperatura do ar de secagem, além de acarretar maior tempo de processo.

**Figura 4** - Encolhimento volumétrico ( $V/V_0$ ) dos pedaços de abacaxi desidratado versus umidade adimensional (bs).



## 4 CONCLUSÃO

O encolhimento foi observado em todas as condições de processo experimentais adotadas e este fenômeno foi linear com o decréscimo de umidade. Entretanto, há indício de que a elevação da potência proporciona aumento de  $V/V_0$ , ou seja pode reduzir o encolhimento.

O menor encolhimento foi observado em temperaturas do ar fixada a 55 °C e potência de micro-ondas de 260 W aplicadas no período I e 260 W no período II.

O encolhimento maior foi obtido quando diminuí a potência de micro-ondas de 170 W do período I para 90 W no período II com temperaturas de 70 °C.

Não foi observada influência da temperatura do ar e da potência de micro-ondas no encolhimento do produto no segundo período de secagem.

Portanto, os resultados sugerem que o controle da temperatura do ar e da potência de micro-ondas no primeiro período de secagem pode ser utilizado para se obter um produto de boa qualidade.

## NOMENCLATURA

|                   |                              |
|-------------------|------------------------------|
| bs                | Base seca                    |
| bu                | Base úmida                   |
| Dp                | Densidade potência (w/g)     |
| $X/X_0$           | Umidade adimensional         |
| $V/V_0$           | Encolhimento volumétrico     |
| PI                | Período I                    |
| PII               | Período II                   |
| t                 | Tempo (min)                  |
| <i>Subscritos</i> |                              |
| 0                 | Referente à condição inicial |
| f                 | Referente à condição final   |

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, C. O. de.; VILAR, L. da C.; SOUZA, L. F. da S.; REINHARDT, D. H.; MACEDO, C. M. Peso médio do abacaxi no

Brasil: um tema em discussão. **Bahia Agrícola. Bahia citros: fortalecimento da citricultura baiana. Salvador-Seagri**, v. 6, n. 3, p. 41-46, 2004.

BOTHA, G. E.; OLIVEIRA, J. C.; AHRNÉ, L. Quality optimisation of combined osmotic dehydration and microwave assisted air drying of pineapple using constant power emission. **Food and Bioproducts Processing**, v. 90, n. 2, p. 171-179, 2012.

FENG, H.; YIN, Y.; TANG, J. Microwave Drying of Food and Agricultural Materials: Basics and Heat and Mass Transfer Modeling. **Food Engineering Reviews**, v. 4, n. 2, p. 89-106, 2012.

FIGIEL, A. Drying kinetics and quality of vacuum-microwave dehydrated garlic cloves and slices. **Journal of Food Engineering**, v. 94, n. 1, p. 98-104, 2009.

KHRAISHEH, M. A. M.; MCMINN, W. A. M.; MAGEE, T. R. A. Quality and structural changes in starchy foods during microwave and convective drying. **Food Research International**, v. 37, n. 5, p. 497-503, 2004.

KONÉ, K. Y., DRUON, C., GNIMPIEBA, E. Z., DELMOTTE, M., DUQUENOY, A., LAGUERRE, J. C. Power density control in microwave assisted air drying to improve quality of food. **Journal of Food Engineering**, v. 119, n. 4, p. 750-757, 2013.

MAYOR, L.; SERENO, A. M. Modelling shrinkage during convective drying of food materials: a review. **Journal of Food Engineering**, v. 61, n. 3, p. 373-386, 2004.

REINHARDT, D. A planta e o seu ciclo. **Abacaxi. Produção: Aspectos técnicos. Cruz das almas: EMBRAPA Mandioca e Fruticultura**, p. 13-14, 2000.

RUIZ-LÓPEZ, I. I., RUIZ-ESPINOSA, H., ARELLANES-LOZADA, P., BÁRCENAS-POZOS, M. E., GARCÍA-ALVARADO, M. A. Analytical model for variable moisture diffusivity estimation and drying simulation of shrinkable food products. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 3, p. 427-435, 2012.

SILVA, F. A., GONÇALVES, L. A. G., DAMIANI, C., GONÇALVES, M. Á. B., JÚNIOR, M. S. S., JÚNIOR, A. M. Estabilidade oxidativa de amêndoas de noz macadâmia secas por micro-ondas com ar quente. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, v. 41, n. 2, p. 286-292, 2011.

THÉ, P. M. P.; NUNES, R. de P.; MOREIRA DA SILVA, L. I. M.; ARAÚJO, B. M.de. Características físicas, físico-químicas, químicas e atividade enzimática de abacaxi cv. *smooth cayenne* recém colhido. **Alimentos e Nutrição**. V. 21, n. 2, p. 273-281. 2010.

YAN, Z.; SOUSA-GALLAGHER, M. J.; OLIVEIRA, F. A. R. Shrinkage and porosity of banana, pineapple and mango slices during air-drying. **Journal of Food Engineering**, v. 84, n. 3, p. 430-440, 2008.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Tecnológico – CNPq e Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro-FAPERJ, pelo apoio à pesquisa.