



CINÉTICA DE SECAGEM DE MANGA COM E SEM PRÉ-TRATAMENTO ULTRASSÔNICO

P. M. AZOUBEL¹, M. da R. AMORIM¹, S. S. B. OLIVEIRA², M. do A. M. BAIMA³ e M. da S. CASTRO³

¹Embrapa Semiárido

e-mail: pazoubel@cpatsa.embrapa.br; mariana_rsa@yahoo.com.br

²Universidade de Pernambuco, Departamento de Ciências Biológicas

e-mail: sofiasorelly90@gmail.com

³Instituto Federal Sertão Pernambucano, Departamento de Tecnologia de Alimentos de Origem Vegetal

e-mail: mayara_carpediem@hotmail.com; amparobayma@yahoo.com.br

RESUMO – O ultrassom é uma tecnologia emergente com muitas aplicações na indústria de alimentos. Quando utilizada antes da secagem, pode aumentar a eficiência do processo, provocando redução de custos. O objetivo deste trabalho foi estudar a cinética de secagem de manga ‘Tommy Atkins’, avaliando a utilização do ultrassom como pré-tratamento. Para a etapa de ultrassom, conduzida em um banho ultrassônico a 30°C e frequência de 25 kHz, um conjunto de duas amostras foram imersas em água e submetidas a ondas ultrassônicas por 10, 20 e 30 min. A secagem foi feita em um secador de leito fixo, nas temperaturas de 50 e 70°C e velocidade do ar de 3 m/s. As difusividades efetivas, da ordem de 10⁻⁹ m²/s, aumentaram com o aumento da temperatura e com a aplicação do ultrassom. O modelo de Page apresentou melhor ajuste aos dados experimentais da secagem, apresentando valores do coeficiente de determinação igual a 0,99 e erro médio relativo inferior a 10 %.

PALAVRAS-CHAVE: manga; secagem; ultrassom.

1. INTRODUÇÃO

De polpa carnosa e suculenta, e com o seu sabor e aroma característicos, a manga é consumida principalmente in natura. Entretanto, também pode ser encontrada como produto processado nas formas de suco integral, polpa congelada, ingrediente de produtos como sorvetes, doces, produtos lácteos, entre outros.

O processo convencional de secagem vem ganhando destaque especial nas últimas décadas. Esta técnica consegue retirar grande parte da água livre da fruta, permitindo o transporte e armazenamento a um custo

relativamente baixo, mas tem o inconveniente de causar danos à mesma, tais como perdas de vitaminas e de textura. Adicionalmente, a cor e o odor podem ser afetados negativamente. Atualmente, com as atenções voltadas a este fato, a secagem de frutas precedida de tratamento com ultrassom de potência tem recebido grande atenção.

Ondas ultrassônicas aplicadas ao alimento podem provocar séries rápidas e alternadas de compressão e expansão do mesmo (efeito esponja). As forças envolvidas por este mecanismo podem ser maiores que a tensão superficial que mantém a umidade dentro dos capilares do alimento, criando



canais microscópicos que podem facilitar a remoção da água. Ainda, o ultrassom produz uma cavidade que pode auxiliar na remoção da água fortemente ligada presente no material (Fuente-Blanco *et al.*, 2006; Tarleton e Wakeman, 1998; Tarleton, 1992).

O presente trabalho teve como objetivo o estudo da cinética de secagem da polpa da manga ‘Tommy Atkins’, avaliando a utilização do ultrassom como pré-tratamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Matéria-prima

No presente trabalho foram utilizadas mangas da variedade “Tommy Atkins”, adquiridas no mercado local (Petrolina-PE).

O teor de sólidos solúveis, coloração da casca e firmeza da polpa foram adotados como parâmetros de padronização das amostras, sendo utilizadas as mangas maduras, ou seja, com teor de sólidos solúveis em torno de 14,0 °Brix.

Os frutos foram lavados e descascados manualmente até a remoção completa das cascas. A polpa foi cortada em retângulos (5,0 x 3,0 cm) de 0,5 cm espessura, utilizando-se uma faca de aço inoxidável e cortadores projetados para este fim.

2.2 Ultrassom

As amostras de manga (aproximadamente 20 g) foram colocadas em pares em erlemeyer de 250 mL contendo água destilada, com o intuito de evitar interferências entre as mesmas e as corridas experimentais, e foram submetidas a ondas ultrassônicas por tempos de 10, 20 e 30 minutos. A relação amostra:água destilada utilizada foi de 1:4.

Os experimentos foram conduzidos em um banho ultrassônico (marca Unique), sem

agitação mecânica e temperatura de 30 °C. A frequência de ultrassom foi de 25 kHz, conforme encontrado na literatura para frutas como o melão (Fernandes *et al.*, 2008) e a banana (Fernandes e Rodrigues, 2007).

O processo foi avaliado em termos de perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS), utilizando os dados de umidade obtidos e de acordo com as equações abaixo:

$$PA(\%) = 100 \frac{(m_i X_i - m_f X_f)}{m_i} \quad (1)$$

$$GS(\%) = 100 \frac{(m_f (1 - X_f / 100) - m_i (1 - X_i / 100))}{m_i} \quad (2)$$

2.3 Secagem

Para o processo de secagem foi utilizado um secador de leito fixo, de aço inoxidável, velocidade do ar de secagem 3,0 m/s e temperaturas de 50 e 70°C.

O sistema de operação do secador consiste da passagem de ar verticalmente através de bandejas, com recirculação, constituindo um circuito fechado. O aquecimento do ar é feito através de um conjunto de três resistências (cada uma com 8000 W de potência), as quais podem ser acionadas independentes, controladas por um termostato digital. Foi utilizado ainda um termo-anemômetro, a fim de se controlar tanto a temperatura quanto à velocidade do ar de secagem.

A pesagem das amostras foi realizada através de uma balança semi-analítica. Os intervalos de tempo utilizados na pesagem serão de 15 em 15 minutos durante a primeira hora de processo, de 30 em 30 minutos para as duas horas seguintes e de 1 em 1 hora até que o equilíbrio dinâmico entre a amostra e o ar de secagem seja alcançado.



O estudo da cinética de secagem foi realizado a partir dos dados do adimensional de umidade e da taxa de secagem em função do tempo do processo, utilizando os modelos difusional (Equação 3) e de Page (Equação 4):

$$\left(\frac{X - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} \right) = \left[\frac{8}{\pi^2} \sum_{i=0}^{\infty} \frac{1}{(2i+1)^2} \exp\left(-(2i+1)^2 \pi^2 D_{ef} \frac{t}{4L^2} \right) \right] \quad (3)$$

$$\frac{\bar{X} - X_{eq}}{X_0 - X_{eq}} = \exp(-kt^v) \quad (4)$$

O erro relativo médio (P) foi calculado a fim de avaliar se os modelos utilizados foram preditivos ($P < 10\%$):

$$P = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^N \frac{|V_p - V_o|}{V_o} \quad (5)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O efeito do ultrassom como pré-tratamento é apresentado na Tabela 1. Durante este processo, a manga ‘Tommy Atkins’ ganhou água e perdeu sólidos. Resultados semelhantes foram encontrados por Fernandes e Rodrigues (2007) no pré-tratamento com ultrassom para banana cultivar Nanica, e reconfirmado por Azoubel *et al* (2010) para a banana cultivar Pacovan. Tal fato pode ter ocorrido devido ao gradiente de concentração, o que favorece uma transferência de sólidos da fruta para o meio líquido e uma transferência de água do meio líquido para o produto. Como consequência, o teor de umidade dos frutos após a etapa de ultrassom aumentou.

No pré-tratamento da manga, observa-se que o tempo de 10 minutos absorveu menos água e perdeu um número menor de sólidos, adquirindo assim uma composição mais próxima do produto fresco (Tabela 1).

Tabela 1- Perda de água (PA) e ganho de sólidos (GS) após o pré-tratamento com ultrassom e umidade (X) da manga ‘Tommy Atkins’

t (min)	PA (%)	GS (%)	X* (g H ₂ O/g massa seca)
10	-1,36	-3,55	5,41
20	-4,80	-5,50	6,80
30	-2,02	-5,26	6,12

*Umidade da fruta fresca: 5,32

O período de secagem a taxa constante não foi observado em nenhuma das condições estudadas. A Figura 1 apresenta a modelagem matemática usando o modelo difusional de Fick.

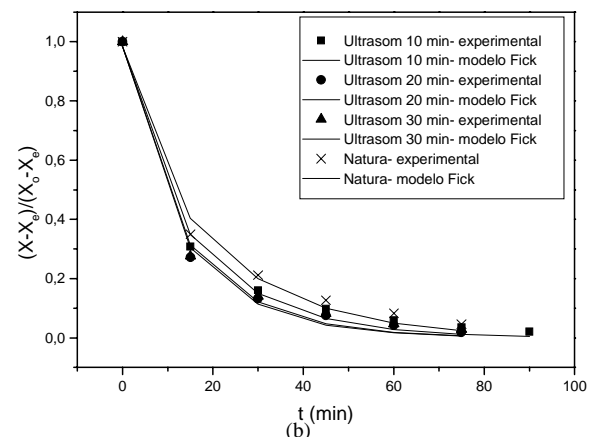
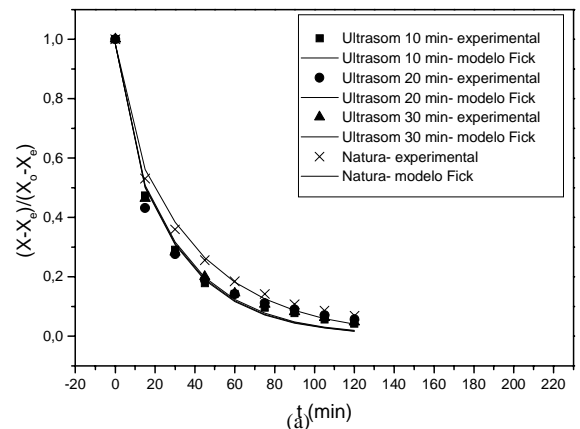


Figura 1- Modelagem da cinética de secagem da manga in natura e pré-tratada utilizando o modelo de Fick: 50°C (a) 70°C (b)



A Tabela 2 apresenta os valores encontrados para a difusividade, bem como os respectivos coeficientes de correlação (R^2) e desvios médios (p) para o Modelo de Fick. Analisando os resultados obtidos, percebe-se que o aumento da temperatura favorece ao processo de transferência de massa e, conseqüentemente, ao aumento da difusividade efetiva.

Tabela 2- Parâmetros do modelo de Fick e resultados estatísticos para manga in natura e pré-tratada por ultrassom por 10 min(U10), 20 min (U20) e 30 min (U30) e seca

T (°C)	Amostra	Def. 10^9 (m^2/s)	R^2	P(%)
50	in natura	1,05	0,99	13,56
	U 10	1,34	0,99	21,09
	U 20	1,37	0,98	29,64
	U 30	1,32	0,99	24,38
70	in natura	1,97	0,99	21,74
	U 10	2,37	0,99	35,23
	U 20	2,75	0,99	33,00
	U 30	2,67	0,99	34,37

Os valores mais baixos do coeficiente de difusão foram obtidos para as amostras sem pré-tratamento. Portanto, a taxa de transferência de massa foi menor para estas amostras. Tal fato confirma as observações de Fuente-Blanco et al. (2006), em que a etapa de ultrassom afeta a estrutura celular da fruta, tornando mais fácil à difusão de água nos tecidos do material durante a secagem. Este fenômeno pode ter ocorrido devido à formação de micro-canais durante a aplicação do ultrassom e a água pode utilizar desses canais microscópicos para difundir até a superfície da amostra de fruta, contribuindo para os valores mais altos da difusividade efetiva, conforme observado por Fernandes et al. (2008), através de imagens microscópicas de melões com e sem pré-tratamento ultrassônico submetidos à secagem.

Comparações com valores de difusividade encontrados na literatura é difícil, devido aos diferentes métodos de estimação e modelos empregados, aliado à variação da composição do alimento e sua estrutura física. Entretanto, os valores encontrados neste estudo estão na mesma faixa dos apresentados por vários autores (Baini and Langrish, 2007; Nguyen and Price, 2007; Fernandes and Rodrigues, 2007, Azoubel *et al.*, 2010).

A Figura 2 mostra o ajuste dos dados experimentais de secagem da manga utilizando o modelo de Page.

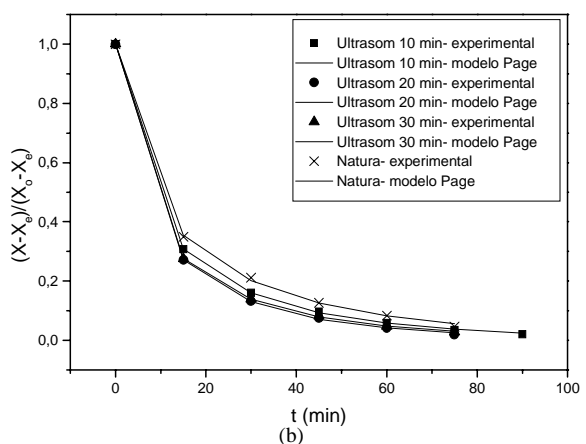
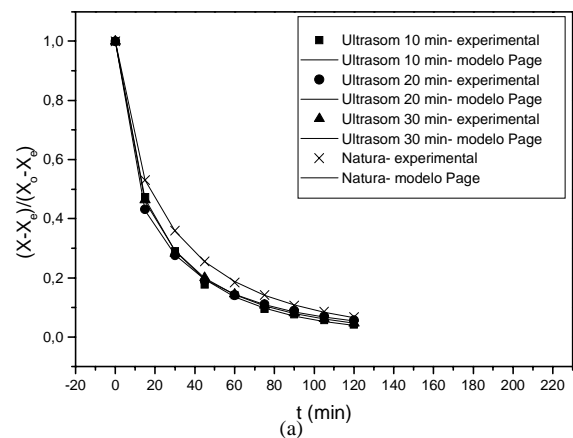


Figura 2- Modelagem da cinética de secagem da manga in natura e pré-tratada utilizando o modelo de Page: 50°C (a) 70°C (b)

Os parâmetros do modelo (k e v) são apresentados na Tabela 3, juntamente com os



valores do coeficiente de determinação (R^2) e desvio médio relativo (P). Verifica-se que o modelo apresentou valores de R^2 próximos à unidade e desvios médios relativos menores que 10 %, sendo, portanto um bom modelo de predição da cinética de secagem da manga com e sem pré-tratamento por ultrassom.

Tabela 3- Parâmetros do modelo de Page e resultados estatísticos para manga in natura e pré-tratada por ultrassom por 10 min (U10), 20 min (U20) e 30 min (U30) e seca

T (°C)	Amostra	K	b	R^2	P(%)
50	in natura	0,005	0,70	0,99	1,00
	U 10	0,007	0,70	0,99	3,83
	U 20	0,015	0,59	0,99	2,35
	U 30	0,009	0,66	0,99	1,39
70	in natura	0,014	0,63	0,99	5,38
	U 10	0,015	0,64	0,99	5,28
	U 20	0,016	0,65	0,99	6,85
	U 30	0,019	0,62	0,99	2,98

4. CONCLUSÕES

O aumento da temperatura e o pré-tratamento da manga favoreceram ao processo de transferência de massa. Os valores de difusividade efetiva calculados através do modelo difusional foram da ordem de 10^{-9} m²/s. Entretanto, o modelo de Page apresentou melhor ajuste aos dados experimentais da secagem da fruta com e sem pré-tratamento com ultrassom.

5. NOMENCLATURA

GS	ganho de sólidos	%
D	difusividade efetiva	m ² s ⁻¹
k	constante do modelo de Page	
L	meia espessura da placa	m
m	massa da amostra	kg
N	número de pontos experimentais	

P	desvio médio relativo	
%		
PA	perda de água	%
t	tempo	s
T	temperatura	°C
V	valor	
v	constante do modelo de Page	
X	conteúdo de umidade	kg kg _{ms} ⁻¹

Subscritos

ms	massa seca
i	inicial
eq	equilíbrio
f	final
o	obtido experimentalmente
p	predito pelo modelo

6. REFERÊNCIA

AZOUBEL, P.M.; BAIMA, M.A.M.; AMORIM, M. da R., OLIVEIRA, S.S.B. de. Effect of ultrasound on banana cv Pacovan drying kinetics. *J. Food Eng.*, v. 97, p.194-198, 2010.

BAINI, R.; LANGRISH, T.A.G. Choosing an appropriate drying model for intermittent and continuous drying of bananas. *J. Food Eng.*, v. 79, p.330-343, 2007.

FERNANDES, F. A. N.; RODRIGUES, S. Ultrasound as pre-treatment for drying fruits: dehydration of banana. *J. Food Eng.*, v. 82, p.261-267, 2007.

FERNANDES, F. A. N.; GALLÃO, M. I.; RODRIGUES, S. Effect of osmotic dehydration and ultrasound pre-treatment on cell structure: melon dehydration. *LWT*, v. 41, p.604-610, 2008.

FUENTE-BLANCO; S. de la; RIERA-FRANCO de SARABIA, E.; ACOSTA-APARICIO, V. M.; BLANCO-BLANCO, A.; GALLEGU-JUÁREZ, J. A. Food drying



process by power ultrasound. *Ultrason.*, v. 44, p.e523-e527, 2006.

NGUYEN, M.-H.; PRICE, W.E. Air-drying of banana: influence of experimental parameters, slab thickness, banana maturity and harvesting season. *J. Food Eng.*, v. 79, p.200-207, 2007.

TARLETON, E. S. The role of field-assisted techniques in solid/liquid separation. *Filtr. Sep.*, v. 3, p.246-253, 1992.

TARLETON, E. S.; WAKEMAN, R. J. Ultrasonically assisted separation process. In: M. J. W. Povey e T. J. Mason (eds), *Ultrasounds in food processing*, Glasgow: Blackie Academic and Professional, 1998.