

ESTUDO DO FENÔMENO DE ENCOLHIMENTO NO PROCESSO DE SECAGEM DE FATIAS DE ABACAXI PÉROLA

Camila de Souza Paglarini¹, Fabrício Schwanz da Silva², Alexandre Gonçalves Porto³, Philipe dos Santos⁴, Diego Piasson⁵

1. Graduanda em Engenharia de Alimentos na Universidade do Estado de Mato Grosso, Rua A, s/nº - COHAB São Raimundo - Cx. Postal 92 CEP:78390-000 Barra do Bugres – MT, Brasil. (cahpaglarini@yahoo.com.br)
2. Professor Doutor da Universidade do Estado de Mato Grosso – Departamento de Engenharia de Alimentos
3. Professor Doutor da Universidade do Estado de Mato Grosso – Departamento de Engenharia de Alimentos
4. Mestrando em Engenharia de Alimentos na Universidade Estadual de Campinas
5. Professor Mestre da Universidade do Estado de Mato Grosso – Departamento de Matemática

Recebido em: 04/05/2012 – Aprovado em: 15/06/2012 – Publicado em: 30/06/2012

RESUMO

Com excelentes características sensoriais e nutricionais o abacaxi é um fruto muito apreciado pela população nacional e mundial. Porém, esse fruto possui alto teor de umidade e conseqüentemente uma vida útil curta, sendo de extrema importância estudos que possibilitem melhores condições de armazenamento e transporte para este produto. No processo de secagem mudanças físicas como o encolhimento do volume do fruto devem ser consideradas, pois esse fenômeno apresenta modificações nas condições de contorno usadas para resolução da segunda lei de Fick. Esse trabalho teve como objetivo analisar o fenômeno do encolhimento durante a secagem do abacaxi pérola, bem como determinar a influência desse fenômeno nos valores de difusividade efetiva de massa. As temperaturas de secagem foram 40, 50 e 60 °C. Foram ajustados seis modelos matemáticos aos dados experimentais e a escolha do melhor ajuste deu-se em função dos valores de R^2 , P e SE. O encolhimento foi quantificado através da captação de imagens digitais e aferição com um paquímetro digital. Os valores da difusividade efetiva média de umidade foram determinados através da solução analítica da Lei de Fick. O modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi o de Midilli e Kucuk. A redução dos volumes das fatias no decorrer da secagem se comportou de forma inversa a temperatura. Os valores de difusividade mássica foram menores quando o encolhimento foi considerado e os valores da energia de ativação foram de 27,614 e 40,926 kJ/mol, sem e com encolhimento, respectivamente.

PALAVRAS-CHAVE: Volume, Difusividade, Temperatura.

STUDY THE PHENOMENON OF THE PROCESS OF DRYING SHRINKAGE OF SLICES OF PINEAPPLE PEARL

ABSTRACT

With excellent sensory characteristics and nutritional pineapple is a fruit much appreciated by the population nationally and globally. However, this fruit has a high moisture content and therefore a short lifetime, it is extremely important studies that provide better storage and transportation for this product. In the process of physical changes such as drying shrinkage of the volume of the fruit should be considered, since this phenomenon presents changes in boundary conditions used for solving the second Fick's law. This work aimed to analyze the phenomenon of shrinkage during drying of pineapple, as well as determine the influence of this phenomenon in the values of effective diffusivity of mass. The drying temperatures were 40, 50 and 60 °C. Six mathematical models were fitted to the experimental data and choose the best fit was in relation to the values of R^2 , P, SE. The shrinkage was quantified by capturing digital images and measurement with a caliper. The values of average effective moisture diffusivity were determined by analytical solution of Fick's Law. The model that best fitted the experimental data was to Midilli and Kucuk. The reduction of the volumes of the slices during the drying behaved inverse temperature. The diffusivity values were lower when shrinkage was considered and the values of activation energy were 27.614 and 40.926 kJ/mol, with and without shrinkage, respectively.

KEYWORDS: Volume, diffusivity, temperature.

INTRODUÇÃO

O abacaxi é um fruto tropical muito apreciado no Brasil e seu consumo vem se expandindo pelo mundo, principalmente devido suas características sensoriais como cor, sabor e aroma e também suas características nutricionais (RAMOS et al., 2010), pois esse fruto possui quantidades consideráveis de vitamina A, B1, B2 e C, além de ser uma boa fonte de fibras e potássio.

Dados do IBGE (2011) relatam que em 2010 o Brasil produziu 1.413.352 toneladas de abacaxi, estando entre os cinco maiores produtores mundiais. Segundo KARIN & HAWLADER (2005) as perdas pós-colheita em frutos tropicais e subtropicais, na maioria dos países em desenvolvimento variam de 30 a 40%. Assim sendo, estudos de secagem e armazenamento desse fruto são de grande interesse.

A desidratação de produtos agrícolas, como frutos e vegetais, tem como objetivo a redução da atividade de água do produto, inibindo o crescimento microbiano, a atividade enzimática, bem como as mudanças físicas e químicas do alimento durante o armazenamento, possibilitando maior vida útil ao produto e reduzindo custos de transporte, armazenamento e embalagem (FELLOWS, 2006; MAYOR & SERENO, 2004).

No processo de secagem dos alimentos o fenômeno de encolhimento, também denominado contração volumétrica, raramente não ocorre, assim é necessário considerá-lo para a previsão de perfis de umidade do produto em estudo (KOÇ et al., 2008). Uma das mudanças físicas mais importantes durante o processo de secagem em alimentos é a redução do seu volume. A perda de água e o aquecimento causam tensões na estrutura celular dos alimentos levando a mudança na forma e redução da dimensão (MAYOR & SERENO, 2004). KROSS et al. (2002) relatam que a secagem de produtos agrícolas com alto teor de umidade inicial, como o abacaxi, produz um efeito considerável de encolhimento. O encolhimento é

máximo no início do processo de secagem, sobretudo porque nessa etapa ocorre grande remoção de água nos poros capilares, aumentando os espaços vazios e originando este fenômeno.

A contração volumétrica afeta em particular o coeficiente de difusão mássica do material, que é um dos principais parâmetros que regem o processo de secagem, mas também tem uma influência sobre a taxa de secagem (LIMA et al., 2002). RAMOS et al. (2003) ressaltam que o encolhimento deve ser considerado no estabelecimento de modelos matemáticos.

O encolhimento do material no processo de secagem apresenta modificações nas condições de contorno usadas para resolução da segunda lei de Fick, por isso é de grande importância quantificar esse fenômeno ao se analisar a cinética de secagem (PARK, 1987).

O objetivo deste trabalho foi analisar o fenômeno do encolhimento durante a secagem do abacaxi pérola, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C, bem como determinar a influência desse fenômeno nos valores de difusividade efetiva de massa.

METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Engenharia e Processamento Agroindustrial vinculado ao Centro Tecnológico de Mato Grosso (CTMAT), *Campus* Universitário Dep. Estadual Renê Barbours, da Universidade do Estado de Mato Grosso (UNEMAT), em Barra do Bugres, Mato Grosso.

Foram utilizados frutos produzidos e comercializados por produtores da região de Barra do Bugres, MT. A variedade de abacaxi utilizada foi a pérola.

Primeiramente, o fruto foi fatiado, utilizando um fatiador que permitiu a obtenção de fatias com mesma espessura, em seguida seu miolo foi retirado. O diâmetro do fruto foi fixado em 88 mm o externo e 33 mm o interno.

Posteriormente foram realizadas as secagens das fatias de abacaxi, em um secador descontínuo de bandejas, que utiliza condições constantes de temperatura e velocidade do ar.

A área do fruto foi determinada pela captação de imagens digitais, coletadas por uma câmara digital, através de um *software* desenvolvido para esse fim e a espessura do fruto foi aferida com um paquímetro digital com precisão de 0,01mm. Como pode ser visto na Figura 1, as amostras foram inseridas em bandejas de aço inoxidável preenchida com uma placa de polipropileno. A placa foi pintada de preto para facilitar a análise das imagens, pois o preto facilita a distinção de cores pelo *software*. No centro dessa placa foi colocada a fatia de abacaxi.



FIGURA 1 – Esquema utilizado para coleta de imagens na análise do encolhimento em fatias de abacaxi pérola.

As temperaturas do ar de secagem foram 40, 50 e 60°C e a velocidade do ar igual a 1m/s. As amostras foram retiradas do equipamento para a realização das medidas das massas em balança eletrônica com precisão de 0,01g. As pesagens e a captação de imagens foram realizadas em intervalos de 15 minutos nas primeiras três horas e depois a cada 30 minutos até atingir massa constante. Após, realizou-se, então, o último registro de massa, para a obtenção da umidade de equilíbrio dinâmico, segundo normas do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008).

As imagens das amostras submetidas à secagem foram captadas (Figura 2), tratadas (Figura 3) e analisadas através do *software* Matlab®. Primeiramente o *software* trata as imagens, reconhecendo apenas as cores preto e branco, sendo a cor branca da fatia do fruto. Em seguida, o programa calcula a área das fatias no decorrer da secagem, o que permite o cálculo do encolhimento da área no decorrer do processo.

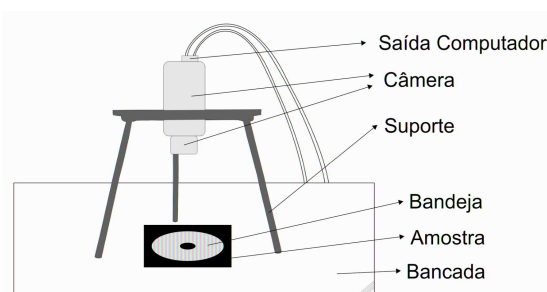


FIGURA 2 - Aparato para captura das imagens superiores da amostra.

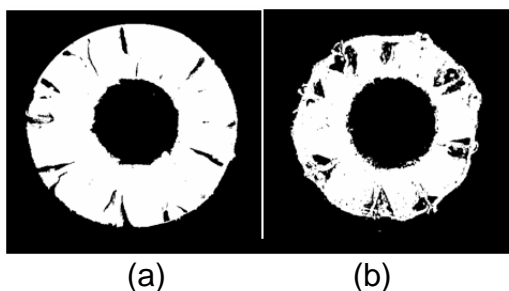


FIGURA 3 - Imagens de fatias de abacaxi pérola no início (a) e no final da secagem (b), após tratamento do *software* Matlab®.

Modelos matemáticos empíricos utilizados por vários pesquisadores para prever o fenômeno da secagem de produtos agrícolas foram ajustados aos dados observados (AFONSO et al, 1999; AKPINAR et al., 2003; LAHSASNI et al., 2004). No Quadro 1, apresentam-se os modelos que foram avaliados neste trabalho.

QUADRO 1 - Modelos matemáticos utilizados para estimar as curvas de secagem.

Designação do Modelo	Modelo
Aproximação da Difusão	$RU = a \exp(-kt) + (1 - a) \exp(-kbt)$ (1)
Dois Termos	$RU = a \exp(-k_0t) + b \exp(-k_1t)$ (2)
Midilli & Kucuk	$RU = a \exp(-kt^n) + bt$ (3)
Page	$RU = \exp(-kt^n)$ (4)
Thompson	$RU = \exp((-a - (a^2 + 4bt)^{0.5}) / 2b)$ (5)
Henderson e Pabis modificado	$RU = a \exp-kt + b \exp-kt + c \exp-kt$ (6)

RU – razão de umidade do produto, adimensional; t – tempo de secagem, horas (h); k, k₀, k₁ – coeficientes de secagem; a, b, n, c – constantes dos modelos.

O encolhimento (S) foi calculado pela Equação 7.

$$S = \frac{V}{V_0} \quad (7)$$

Em que:

S – encolhimento (adimensional);

V – volume da amostra em um determinado tempo (cm³);

V₀ – volume inicial da amostra (cm³).

O encolhimento também foi demonstrado graficamente.

Para o ajuste dos modelos matemáticos de secagem, foram realizadas análises de regressão não linear, pelos métodos Simplex e Gauss-Newton. O grau de ajuste de cada modelo considerou a magnitude do coeficiente de determinação (R²), do desvio padrão da estimativa (SE) e a magnitude do erro médio relativo (P).

Os valores da difusividade efetiva média de umidade foram determinados através da solução analítica da Lei de Fick para a difusão de água líquida em um sólido, levando em consideração as condições do material em análise, conforme expressão representada a seguir.

$$RU = \left(\frac{S}{\pi^2}\right) * \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-(2n+1)^2 * \pi^2 * \frac{D_{EF} * t}{4 * L_0^2} \right] \quad (8)$$

Em que:

L₀ – espessura da camada de produto.

A difusividade efetiva considerando o encolhimento foi determinada, substituindo-se, na Equação 8, a razão de umidade do produto pela concentração de umidade (PARK, 1987) como segue:

$$\frac{C - C_e}{C_0 - C_e} = \left(\frac{S}{\pi^2}\right) * \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[-(2n+1)^2 * \pi^2 * \frac{D_{EF} * t}{4 * L_0^2} \right] \quad (9)$$

Em que:

C – concentração de umidade, X/V, (g.H₂O.g⁻¹.ms⁻¹.m⁻³);

C_e – concentração de umidade de equilíbrio, X_e/V_e, (g.H₂O/g⁻¹.ms⁻¹.m⁻³);

C₀ – concentração de umidade inicial, X₀/V₀, (g.H₂O g⁻¹.ms⁻¹.m⁻³).

A energia de ativação foi calculada por meio da Equação de Arrhenius (Equação 10), uma expressão linear que relaciona difusividade com o inverso da temperatura (GOUVEIA, 1999).

$$E_a = -RT \ln\left(\frac{k}{A}\right) \quad (10)$$

Em que:

A= Fator de frequência;

R= Constante universal dos gases (8,314 J.K⁻¹ .mol⁻¹);

T= Temperatura absoluta, K;

K= Constante de velocidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 apresenta as curvas de secagem das fatias de abacaxi para as temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

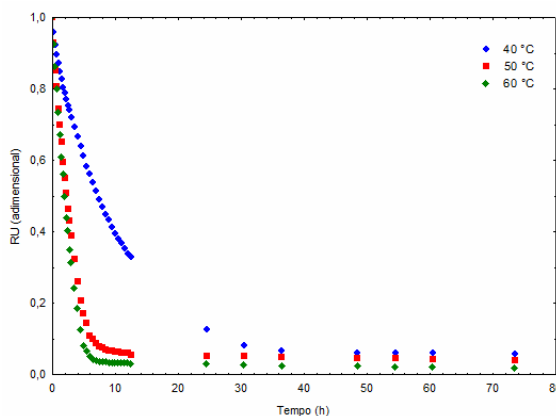


FIGURA 4 - Curvas de secagem de fatias de abacaxi nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

Na Figura 4 pode-se observar que a temperatura teve grande influência na cinética de secagem das fatias de abacaxi, ou seja, quanto maior a temperatura maior é a taxa de secagem e conseqüentemente mais rápido o produto irá secar. Trabalhos realizados por GOUVEIA et al., (2003), ALMEIDA et al., (2006), ALEXANDRE et al., (2009) e FERREIRA & PENA (2010) obtiveram os mesmos resultados.

Na Tabela 1 são apresentados os parâmetros estimados pelos modelos matemáticos analisados, bem como os valores dos coeficientes de determinação (R², em %), o erro médio estimado (SE, em decimal) e o erro médio relativo (P, em %) para as temperaturas estudadas.

TABELA 1 - Parâmetros estimados pelos modelos matemáticos e valores do coeficiente de determinação (R^2), desvio padrão da estimativa (SE) e o erro médio relativo (P)

Modelo	T (°C)	k	A	N	B	c	K_0	K_1	$R^2(\%)$	P(%)	SE
Aproximação da difusão	40	0,987	1,000		-50231,8				99,74	3,873	0,021
	50	0,321	1,000		25351,9				99,74	18,720	0,022
	60	0,409	1,058		-0,010				99,62	30,047	0,027
Dois Termos	40		2,212		-1,259		0,088	0,088	99,73	11,796	0,022
	50		0,550		0,469		0,324	0,324	99,55	32,451	0,029
	60		0,294		0,763		0,407	0,407	99,59	43,057	0,029
Midilli & Kucuck	40	0,112	0,981	0,917	0,00074				99,97	2,425	0,007
	50	0,288	0,995	1,091	0,00096				99,81	19,680	0,019
	60	0,982	1,058	1,279	0,00051				99,89	29,764	0,015
Page	40	0,132		0,838					99,86	8,641	0,015
	50	0,296		1,057					99,57	33,263	0,028
	60	0,306		1,228					99,82	42,683	0,019
Thompson	40		-8,347		2,662				99,85	7,718	0,016
	50		-3,199		-0,035				99,54	32,923	0,029
	60		-2,643		-0,024				99,48	45,079	0,031
Henderson e Pabis modificado	40	-0,164	0,188		0,921	0,061	0,090	1,941	99,99	1,814	0,004
	50	0,321	-0,135		0,552	0,602	0,324	0,324	99,55	32,451	0,030
	60	0,407	0,481		0,333	0,242	0,407	0,407	99,59	43,057	0,030

Como está exposto na Tabela 1, o modelo de Midilli & Kucuk se ajustou melhor aos dados experimentais da secagem de fatias de abacaxi, pois possui maiores valores de R^2 e menores valores de P e SE.

Observa-se também que a magnitude da constante de secagem (K) para o modelo de Midilli e Kucuk, que representa o efeito das condições externas de secagem, aumentou com a elevação da temperatura do ar de secagem. Resultado semelhante foi encontrado por PARK et al., (2001), AKPINAR et al., (2003), MENGES & ERTEKIN (2006), WANG et al., (2007), ao estudarem a secagem de pêra, pimentão, polpa de maçã dourada e polpa de maçã, respectivamente. Segundo BABALIS & BELESSIOTIS (2004), a constante de secagem (K) pode ser utilizada como aproximação para caracterizar o efeito da temperatura e está relacionada à difusividade efetiva de umidade no processo de secagem.

Na Figura 5 são apresentados, para todas as condições de secagem estudadas, os gráficos entre os teores de água observados e previstos pelo modelo de Midilli e Kucuk.

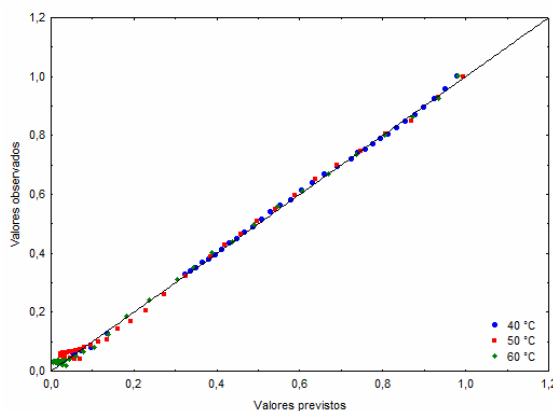


FIGURA 5 - Valores estimados e observados pelo modelo de Midilli e Kucuk para todas as condições de secagens estudadas.

A Figura 6 apresenta as curvas de secagem de fatias de abacaxi contendo os valores observados e estimados pelo modelo de Midilli e Kucuk, bem como a função gerada pelo ajuste. Nesta figura é possível observar a elevada coerência entre os valores observados e estimados, para as condições de secagem estudadas.

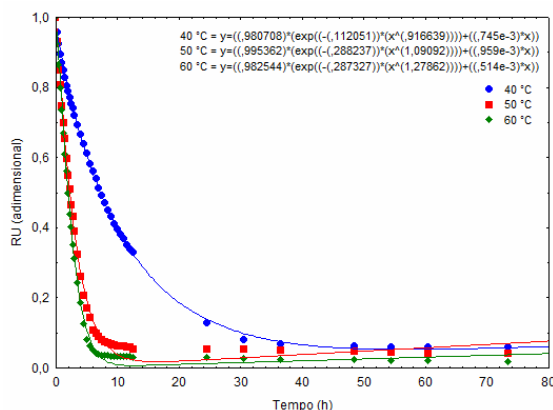


FIGURA 6 - Curvas de secagem de fatias de abacaxi, ajustadas pelo modelo de Midilli Kucuck, nas temperaturas de 40, 50 e 60 °C.

A Figura 7 apresenta os valores observados do índice de contração volumétrica ou encolhimento (S) da massa em função do teor de água adimensional.

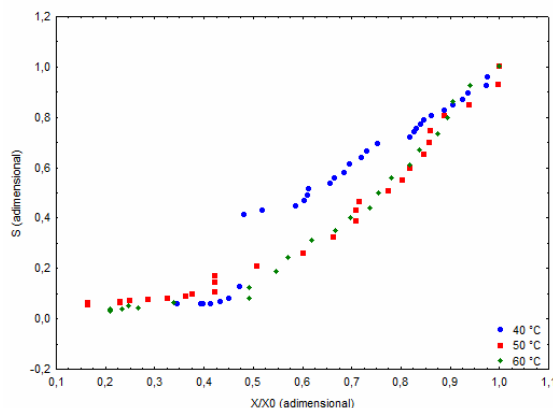


FIGURA 7 - Valores observados do encolhimento de fatias de abacaxi submetidas à secagem nas temperaturas de 40, 50 e 60°C.

A partir dos valores médios dos volumes iniciais e dos volumes de equilíbrio para as amostras de fatias de abacaxi pérola, calculados através das imagens captadas e da espessura das amostras, foi possível calcular a redução do volume (RV), sendo ele expresso em percentual, conforme a Tabela 2.

TABELA 2 – Valores dos volumes iniciais, de equilíbrio e a redução do volume (RV) para as temperaturas estudadas, obtidos pelo *software MATLAB®*.

Temperatura (°C)	V_0 (m ³)	V_e (m ³)*	RV (%)
60	$3,30241 \times 10^{-05}$	$1,05319 \times 10^{-05}$	68,10862
50	$3,18698 \times 10^{-05}$	$9,83632 \times 10^{-06}$	69,13589
40	$3,50207 \times 10^{-05}$	$9,2561 \times 10^{-06}$	73,3685

* V_e – volume de equilíbrio (m³)

Verifica-se, a partir da Tabela 2, que a redução do volume (RV) foi maior nas menores temperaturas. Explica-se tal fenômeno devido à redução rápida do teor de umidade em altas temperaturas, o que ocasiona a rápida transição do estado elástico do material para o estado vítreo, acarretando uma redução na taxa de encolhimento (MAYOR & SERENO, 2004; KATEKAWA & SILVA, 2007). KATEKAWA & SILVA (2007) descrevem uma segunda teoria para a ocorrência desse fenômeno, a mesma se baseia na formação de uma crosta no decorrer da secagem que reduz o encolhimento do produto e também a remoção do teor de água.

Os valores da difusividade efetiva de massa foram calculados levando em consideração ou não o encolhimento, a partir das equações 8 e 9, respectivamente. A Tabela 3 demonstra os valores da difusividade mássica considerando e não considerando o encolhimento, bem como o percentual de diferença (RD).

TABELA 3 - Valores da difusividade mássica estimado pelo modelo difusional com e sem a consideração do encolhimento nas diferentes temperaturas bem como o percentual de diferença (RD).

Temperatura (°C)	D_{ef} (m ² .s ⁻¹)	D_{ef} (m ² .s ⁻¹)	RD (D_{ef} ; %)*
	Não considerando encolhimento	Considerando o encolhimento	
40	$2,68705 \times 10^{-08}$	$7,20 \times 10^{-09}$	73,20
50	$4,61263 \times 10^{-08}$	$1,52 \times 10^{-08}$	67,05
60	$5,05689 \times 10^{-08}$	$1,84 \times 10^{-08}$	63,61

*RD – redução da difusividade (%)

Conforme apresentado na Tabela 3, a influência do encolhimento nos valores da difusividade mássica foi visível, variando de 63,61 a 73,20% de redução, quando considerado o encolhimento, demonstrando que a equação 8 superestima os valores de difusão mássica, por isso ela é chamada de difusividade efetiva de umidade.

Os resultados expostos na Tabela 3 demonstram a influência do encolhimento nos valores difusividade de massa. Pode-se observar que os valores calculados da difusividade mássica considerando o encolhimento da amostra são menores se comparados com os valores da difusividade efetiva sem considerar o encolhimento. QUEIROZ & NEBRA (2003) também observaram a redução dos valores de difusividade mássica considerando o encolhimento. Segundo PARK (1987) isso ocorre devido a difusividade quando calculada sem a consideração do fenômeno de encolhimento, superestimar a transferência de massa por difusão.

Verifica-se, a partir da Tabela 3, que os valores de difusividade efetiva de umidade (D_{ef}) aumentaram com a elevação da temperatura, demonstrando a diminuição das resistências internas de secagem. O mesmo comportamento foi observado em outros estudos de secagem de produtos de origem vegetal: destacando-se os trabalhos de ARAÚJO (2000), PARK et al., (2001), GOYAL et al., (2006), SACILIK & KONURALP (2006), DOYMAZ (2007), JANJAI et al., (2007) e JANJAI et al., (2008).

Segundo GONELI (2008) com o aumento da temperatura de secagem a viscosidade da água diminui e, sendo a viscosidade uma medida da resistência do fluido ao escoamento, variações dessa propriedade implicam em alterações no valor da difusividade de umidade de modo a favorecer essa movimentação da umidade no material. A variação da vibração das moléculas de água com a temperatura é outro fator que influencia no valor da difusividade efetiva de umidade (D_{ef}), sendo que o aumento da temperatura ocasiona o aumento da vibração molecular.

VALENTE (2007) estudou a secagem de abacaxi e verificou que a difusividade mássica variou de $5,82 \times 10^{-10}$ a $1,44 \times 10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$. Para ZOGZAS et al., (1996), os valores de difusividade efetiva de umidade (D_{ef}) para produtos de origem agrícola se encontram na faixa de 10^{-11} a $10^{-9} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Na Figura 8 encontra-se a representação de Arrhenius para a relação entre a difusividade efetiva de umidade (D_{ef}) e a temperatura absoluta. Segundo GOUVEIA (1999) a energia de ativação é importante na análise final do processo de secagem, pois ela indica a dificuldade na retirada de água de um alimento.

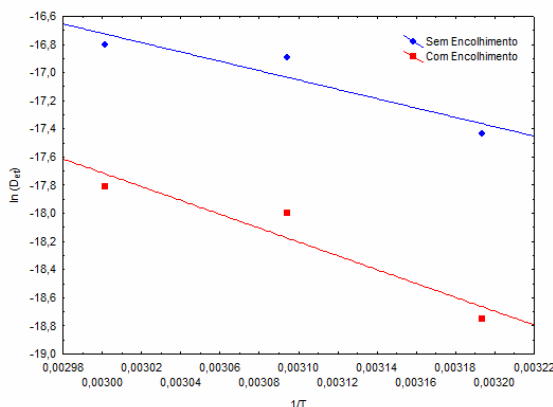


FIGURA 8 - Representação de Arrhenius para a relação entre a difusividade efetiva de umidade (D_{ef}) e a temperatura absoluta.

O ajuste linear obtido para os valores de $\ln(D_{ef})$ e a temperatura absoluta ($1/T$) demonstra que houve uma uniformidade de variação da difusividade de umidade ou mássica com a temperatura do ar constante, conforme a Figura 8. Os valores encontrados para a energia de ativação foram 27,614 e 40,926 kJ/mol, utilizando os valores da difusividade mássica sem e com o fenômeno do encolhimento, respectivamente. Tais valores encontram-se dentro da faixa apresentada por ZOGZAS et al., (1996) para produtos agrícolas que varia de 12,7 a 110 kJ/mol.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos neste estudo, pode-se concluir:

- A temperatura teve grande influência nas curvas de secagem de fatias de abacaxi e o modelo de Midilli & Kucuk foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais;
- A redução dos volumes das fatias no decorrer da secagem se comportou de forma inversa a temperatura;
- Os valores difusividade mássica aumentaram com o aumento da temperatura;

- Considerando o encolhimento os valores de difusividade foram menores do que os valores sem considerar o encolhimento;
- A energia de ativação aumentou quando o encolhimento foi considerado nos valores de difusividade mássica.

AGRADECIMENTOS

A equipe executora deste trabalho agradece a Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de Mato Grosso-FAPEMAT pela bolsa concedida.

REFERÊNCIAS

AFONSO JÚNIOR, P.C.; CORRÊA, P.C. Comparação de modelos matemáticos para descrição da cinética de secagem em camada fina de sementes de feijão. **Revista Brasileira de Engenharia agrícola e ambiental**, v.3, p.349-353, 1999.

AKPINAR, E.K.; BICER, Y.; YILDIZ, C. Thin layer drying of red pepper. **Journal of Food Engineering**, v.59, p.99-104, 2003.

ALEXANDRE, H. V.; GOMES, J. P.; NETO, A. L. B.; SILVA, F. L. H.; ALMEIDA, F. A. C. Cinética de secagem de abacaxi cv pérola em fatias. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.11, n.2, p.123-128, 2009.

ALMEIDA, C. A.; GOUVEIA J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; SILVA, F. L. H. Avaliação da cinética de secagem em frutos de acerola. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v.6, n.1, p.145-151, 2006.

ARAÚJO, E. A. F. **Estudo da cinética de secagem de fatias de banana nanica (*Musa acuminata* var. *Cavendish*) osmoticamente desidratadas**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP. 2000. 87p.

BABALIS, S.J. e BELESSIOTIS, V.G. Influence of the drying conditions on the drying constants and moisture diffusivity during the thin-layer drying of figs. **Journal of Food Engineering**, v.65, n.3, p.449-58, 2004.

DOYMAZ, I. Air-drying characteristics of tomatoes. **Journal of Food Engineering**. v.78, p.1291–1297, 2007.

FELLOWS, P.J. **Tecnologia do processamento de alimentos: princípios e prática**. 2.ed. Porto Alegre: Artmed, 2006. 602p.

FERREIRA, M. F. P & PENA, R. S. Estudo da secagem da casca do maracujá amarelo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.12, n.1, p.15-28, 2010.

GONELI, A. L. D. **Dinâmica da variação das propriedades físico-mecânicas e da qualidade das sementes de mamona (*Ricinus communis* L.) durante a secagem e o armazenamento sob condições controladas**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Viçosa – UFV. 2008. 188p.

GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; FARIAS, E. S.; SILVA, M. M.; CHAVES, M. C. V.; REIS, L. S. Determinação de curvas de secagem em frutos do cajá. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, n.1, p.65-68, 2003.

GOUVEIA, J. P. G. **Avaliação da cinética de secagem do gengibre (*Zingiber officinale*, Roscoe) em um secador de leito fixo**. Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Campinas, SP. 1999. 162 p.

GOYAL, R.K.; KINGSLY, A.R.P.; MANIKANTAN, M.R.; ILYAS, S.M. Thin-layer Drying Kinetics of Raw Mango Slices. **Biosystems Engineering**, v.95, n.1, p.43–49, 2006.

IBGE-Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2011. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201106.pdf. Acesso em 01/08/2011.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. São Paulo, IMESP, 4.ed. e 1.ed. digital, 2008. 1020p.

JANJAI, S., LAMBERT, N., INTAWEE, P., MAHAYOTHEE, B., HAEWSUNGCHARERN, M., BALA, B.K., MÜLLER, J. Finite element simulation of drying of mango. **Biosystems Engineering**, v.299, p.523–531, 2008.

JANJAI, S., BALA, B.K., LAMBERT, N., MAHAYOTHEE, B., HAEWSUNGCHARERN, M., MUHLBAUER, W., MULLER, J. Moisture diffusivity determination of different parts of longan fruit. **International Journal of Food Properties**, v.10, p.471–478, 2007.

KARIM, M. A. E HAWLADER, M. N. A. Mathematical modelling and experimental investigation of tropical fruits drying. **International Journal of Heat and Mass Transfer**, v.48, p.4914–4925, 2005.

KATEKAWA, M. E.; SILVA, M. A. Drying rates in shrinking medium: case study of banana. **Brazilian Journal of Chemical Engineering**, v.24, n.04, p.561-569, 2007.

KOÇ, B; EREN, I.; ERTEKIN, K. Modelling bulk density, porosity and shrinkage of quince during drying: The effect of drying method. **Journal of Food Engineering**, v.85, p.340–349, 2008.

KROSS, R. K.; MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M. Shrinkage effect during the drying process of fresh pretreated tomatoes (*Lycopersicon esculentum* L.). **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4, n.2, p.187-194, 2002.

LAHSASNI, S.; KOUHILA, M.; MAHROUZ, M.; JAOUHARI, J.T. Drying kinetics of prickly pear fruit (*Opuntia ficus indica*). **Journal of Food Engineering**, v.61, p.173-179, 2004.

LIMA, A. G. B.; QUEIROZ, M. R.; NEBRA, S. A. Simultaneous moisture transport and shrinkage during drying solids with ellipsoidal configuration. **Chemical Engineering Journal**, v.86, p.83–85, 2002.

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

MENGES, H.O e ERTEKIN, C. Mathematical modeling of thin layer drying of Golden apples. **Journal of Food Engineering**, v.77, p.119–125, 2006.

PARK, K.J.; YADO, M.K. M.; BROD, F.P.R. Estudo de secagem de pêra bartlett (pyrus sp.) em fatias. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.21, p.288-292, 2001.

PARK, K. J. **Estudo comparativo do coeficiente de difusão sem e com encolhimento durante a secagem**. Tese (doutorado). Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas, SP. 1987. 54p.

QUEIROZ, M. R.; NEBRA, S. A. Abordagem teórica e experimental do encolhimento na secagem de bananas. **Engenharia Agrícola**, v.23, n.2, p.364-371, 2003.

RAMOS, M. J. M.; MONNERAT, P. H.; PINHO, L. G. R.; CARVALHO, A. J. C. Qualidade sensorial dos frutos do abacaxizeiro 'imperial' cultivado em deficiência de macronutrientes e de boro. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.32, n.3, p.692-699, 2010.

RAMOS, I. N.; BRANDÃO, T. R. S.; SILVA, C. L. M. Structural changes during air drying of fruits and vegetables. **Food Science and Technology International**, v.9, n.3, p.201-206, 2003.

SACILIK K. e KONURALP A. E. The thin layer drying characteristics of organic apple slices, **Journal of Food Engineering**, v.73, p.281–289, 2006.

VALENTE, P. P. S. S. **Desidratação osmótica e secagem de abacaxi (*Ananás Comosus* (L.) Merrill), variedade pérola**. Dissertação (mestrado). Universidade Estadual de Campinas - Faculdade de Engenharia de Alimentos. Campinas, SP. 2007. 124p.

ZOGZAS, N. P.; MAUROULIS, Z. B.; MARINOS-KOURIS, D. Moisture diffusivity data compilation in foodstuffs. **Drying Technology**, v.14, n.10, p.2225-2253, 1996.