CARACTERIZAÇÃO DA SECAGEM CONVECTIVA DE TOMATE (*Lycopersicon esculentum* Mill) EM CAMADA DELGADA

Karen Dias Coelho[1], Luiz Antonio de Almeida Pinto[1]

RESUMO

O trabalho teve como objetivo a caracterização da cinética de secagem do tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) em camada delgada, e a determinação da reidratação e do teor de licopeno do produto final. O estudo foi realizado em um secador de bandejas com escoamento paralelo do ar, onde as variáveis estudadas foram temperatura do ar de secagem (60, 70 e 80°C) e espessura das amostras (3, 5 e 7 mm). As isotermas de equilíbrio foram determinadas pelo método gravimétrico usando soluções ácidas, e os dados experimentais foram ajustados através da equação de GAB. Nos experimentos de secagem, foi usada a equação de Henderson e Pabis para a obtenção da constante de secagem (K), e os valores de da difusividade efetiva de umidade (D_{EF}) apresentaram-se entre 1,56 a $2{,}67\times10^{-10}$ $m^2\,s^{-1}$ e entre 4,21 a $8{,}35\times10^{-11}$ $m^2\,s^{-1}$, sendo os valores da energia de ativação de 16,99 e 30,64 kJ mol^{-1}, respectivamente, para o primeiro e o segundo períodos de taxa decrescente de secagem. Para a reidratação, verificou-se que com menores temperaturas do ar obteve-se uma maior reidratação do produto num menor tempo, e o teor de licopeno também foi maior nessas condições.

PALAVRAS-CHAVE: Isoterma. Licopeno. Reidratação. Secagem. Tomate.

CHARACTERIZATION OF CONVECTIVE DRYING OF TOMATO (LYCOPERSICON ESCULENTUM MILL) IN THIN LAYER

ABSTRACT

The aim of this work was to characterize the drying kinetics of tomato (*Lycopersicon esculentum* Mill) in thin layer, and determination of rehydration and lycopene content in the final product. The study was carried out through a tray dryer with air parallel flow, the studied variables were air drying temperature (60, 70 and 80ºC) and the samples thickness (3, 5 and 7 mm). The equilibrium isotherms were carried out by gravimetric method using acid solutions, and for fit of experimental dada was used the GAB. In drying experiments was used the Henderson and Pabis equation to calculate the drying constant (K), and the moisture effective diffusivity (D_{EFF}) values showed in ranges from 1.56 to 2.67×10^{-10} $m^2\,s^{-1}$ and from 4.21 to 8.35×10^{-11} $m^2\,s^{-1}$, and the activation energy values were found in 17 e 30.6 kJ mol^{-1}, respectively, for first and second of drying falling rate periods. For the rehydration, was verified that using lower values of air temperature it had a higher rehydration of the final product in lower time, and the lycopene content was also higher using same conditions.

KEYWORDS: Drying. Isotherm. Lycopene. Rehydration. Tomato.

[1] Laboratory of Unit Operations, School of Chemistry and Food, Federal University of Rio Grande (FURG). *Correspondente to: Professor Luiz Antonio de Almeida Pinto, Tel.: +55 53 3233 8648; fax: +55 53 3233 8745. E-mail address: dqmpinto@furg.br or luiz.pinto@pq.cnpq.br

1. INTRODUÇÃO

Entre as hortaliças mundialmente cultivadas para consumo *in natura* e, sobretudo, industrializado, se destaca o tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill). O tomate é a segunda hortaliça em área cultivada no mundo, e a primeira em volume industrializado, com perdas pós-colheita da ordem de 25% a 50%, variando muito de região a região [3]. Este fruto climatérico é altamente perecível e as técnicas de conservação na pós-colheita podem contribuir para minimizar suas perdas e agregar valor [7]. O tomate apresenta boa compatibilidade ao processo de desidratação, e a secagem vem sendo apontada como uma das principais alternativas para reduzir as perdas e agregar valor à matéria-prima. A principal fonte de licopeno na dieta humana é o fruto do tomateiro e seus derivados, sendo o licopeno um poderoso antioxidante, capaz de neutralizar a ação dos radicais livres, responsáveis pelo envelhecimento e degeneração das células [15].

A operação de secagem é uma importante etapa nas indústrias química e de alimentos. O objetivo básico da secagem de alimentos é remover água de um sólido até certo nível que minimize o ataque microbiano e reações químicas de deterioração [12]. O estudo da secagem de alimentos em camada delgada é utilizado para a determinação experimental dos parâmetros que caracterizam a operação, obtendo-se assim um melhor domínio do processo, como também, um maior conhecimento dos fundamentos dos mecanismos envolvidos [2,8]. A umidade de equilíbrio representa o conteúdo de umidade que um material pode alcançar em relação à umidade relativa do meio em que se encontra. As isotermas representam a perda ou o acréscimo de umidade em função da umidade relativa do meio circundante, e apresentam várias formas, sendo que a maioria dos alimentos apresenta a forma sigmoidal [5,20].

A secagem de produtos perecíveis, com altos teores de umidade inicial como o tomate, apresenta diversas vantagens, tais como: manutenção dos constituintes minerais; inibição da ação de microrganismos; redução dos custos de transporte, manuseio e estocagem e alternativa para solução dos problemas de desperdício, descarte e poluição. Além disso, os produtos secos utilizam forma de embalagem mais econômica e disponível e oferecem opção para refeições leves e rápidas [25]. Além do tomate seco apresentar-se como uma alternativa para o aproveitamento do excedente de produção, disponibiliza ao consumidor um produto sensorialmente diferenciado e que, por ser menos perecível, pode ser comercializado em qualquer período do ano [9].

Os objetivos deste trabalho foram a caracterização da cinética de secagem de tomate (*Lycorpesicon esculentum* Mill) em camada delgada, através da determinação dos

valores da difusividade efetiva de umidade e da energia de ativação, e avaliar a reidratação e o teor de licopeno do produto final,

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Matéria-prima

A matéria-prima utilizada foi tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) *in natura*, redondo, do tipo longa-vida, adquirido no comércio local. O conteúdo de umidade inicial das amostras foi em torno de 95% (base úmida), determinado pelo método gravimétrico em estufa a vácuo, 110 mmHg e 70 ºC [1], que corresponde em base seca a 19 kg kg^{-1}.

2.2 Equipamento de secagem

Os ensaios de secagem foram realizados em um secador descontínuo de bandejas. O equipamento era constituído por um ventilador de 1,5 HP e 1700rpm, e aquecimento elétrico de 6000 W. A entrada e a saída do ar ocorria por meio de tubulações providas de válvulas que permitiam regular a vazão de ar, sendo que o ar escoava paralelo sobre as bandejas, pelas partes superior e inferior das mesmas. As bandejas eram planas em aço inox perfurada, de forma retangular (20 cm de largura e 25 cm de comprimento) e tela perfurada de *mesh* 10.

2.3 Procedimento experimental da umidade de equilíbrio

A umidade de equilíbrio das amostras foi determinada por isotermas, nas temperaturas de 60 e 70°C, utilizando-se o método gravimétrico estático, com o uso de soluções ácidas em diferentes concentrações, garantindo uma variação de umidade relativa de 5,5 a 89% conforme metodologia apresentada por Moraes, Rosa e Pinto [18]. Para a temperatura de 80°C, a umidade de equilíbrio foi determinada a partir dos ensaios de secagem até que se atingisse a massa constante da amostra.

2.4 Procedimento experimental de secagem

A secagem foi realizada com amostras de tomadas lavadas com água corrente potável e clorada (5 ppm), fatiadas em diferentes espessuras, com sementes e com pele. A massa das amostras foi determinada com uma balança eletrônica (Kem modelo 430-21,

Alemanha) com precisão de 0,01 g.

As temperaturas do ar de secagem foram de 60, 70 e 80°C, e as espessuras das fatias de tomate foram medidas com um paquímetro digital (Guo gen, Digital Calliper, China) sendo de 3, 5 e 7 mm, para garantir a condição de camada delgada, correspondendo as massas iniciais de amostra de 192, 231 e 293 g, respectivamente, A velocidade do ar foi de 2,5 m s^{-1}, a fim de desconsiderar os efeitos da resistência externa à transferência de massa, e a umidade absoluta do ar foi de 0,013 ± 0,001 kg kg^{-1}. Os valores de umidade relativa do ar ambiente e dentro do secador foram determinados através de um termohigrômetro (Cole Parmer, modelo 3310-00, EUA) com precisão de 0,1%.

Durante a realização dos experimentos de secagem foram anotados os valores de massa das amostras e temperatura do ar a cada 3 min, durante os primeiros 45 min, e posteriormente a cada 5 min até que se atingisse umidade em torno de 13% (base úmida). Segundo Silva e Giordano [21] para conseguir uma estocagem de tomates secos sem alteração de qualidade e sem a aplicação de conservantes, é essencial reduzir a umidade do produto para a faixa que varia de 11 a 14%, o que evitaria o desenvolvimento de micro-organismo e matéria a estabilidade do produto. Os experimentos foram realizados conforme mostra a TABELA 1.

Tabela **1**: Ensaios realizados para a secagem das fatias de tomate.

Experimento (nº)	Temperatura do ar (°C)	Espessura das amostras (mm)
1	60	3
2	70	3
3	80	3
4	60	5
5	70	5
6	80	5
7	60	7
8	70	7
9	80	7

2.5 Procedimento experimental de reidratação e teor de licopeno

A reidratação das amostras de tomate desidratado foram determinada usando uma modificação do aparelho de Baumann efetuada por Weska, Brizio e Pinto [24]. O aparelho

consistia de um funil conectado a um capilar horizontal (pipeta graduada), e está apresentado na FIGURA 1. A amostra (1 g) foi espalhada em um papel de filtro umedecido (para não influenciar na adsorção da água) colocado no topo de um funil de Buchner com água ao nível da placa perfurada, tomando-se o cuidado de retirar o excedente de água, com papel absorvente. A absorção de água pela amostra, ao longo do tempo, foi lida na pipeta, até a saturação da amostra.

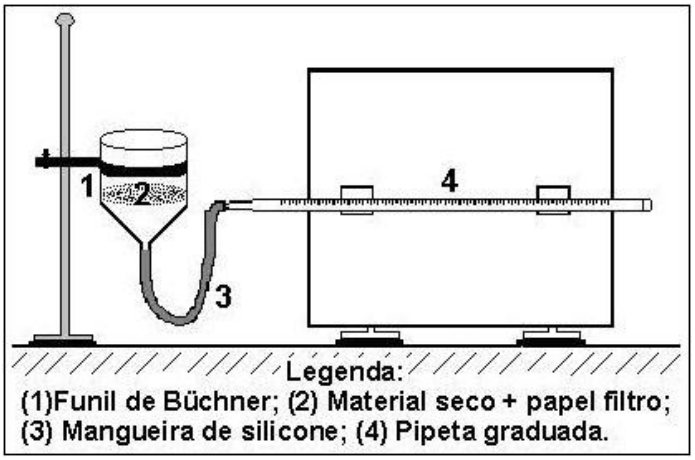


Figura 1: Equipamento para a reidratação da amostras secas [24].

O teor de licopeno foi determinado por método espectrofotométrico (Químis Q-108 DRM, Brasil) [14], onde os carotenóides totais foram extraídos utilizando acetona e transferidos para éter de petróleo com posterior leitura no comprimento de onda de 470 nm. O teor de licopeno foi determinado segundo a Equação 1.

$$\text{teor licopeno} = \left(\frac{A \times V \times 1.000.000}{A^{1\%} \times M \times 100}\right) \quad (1)$$

sendo o teor de licopeno em µg/g, A a absorbância da solução no comprimento de onda de 470 nm, V o volume final a solução, $A^{1\%}$ o coeficiente de extinção ou coeficiente de absortividade molar de um pigmento em um determinado solvente específico, e M a massa da amostra tomada para a análise. Para o licopeno em éter de petróleo o valor do coeficiente de extinção é 3450.

2.6 Procedimento de cálculo

O modelo de isotermas mais utilizado para alimentos é a equação de GAB, Equação

(2) [5,17,19]. Esta equação foi utilizada para ajustar os dados experimentais obtidos para as isotermas de equilíbrio.

$$X_E = \frac{X_m\, k\, a\, a_w}{(1-k\,a_w)(1-k\,a_w+k\;a\;a_w)} \tag{2}$$

sendo X_E a umidade de equilíbrio (kg kg^{-1}, base seca), X_m a umidade da monocamada (kg kg^{-1}, base seca), a_w a atividade de água, e "*a"* e "k' parâmetros de ajuste.

Uma das equações empíricas mais utilizada na análise da secagem de alimentos, buscando uma forma de representar a cinética que melhor se ajuste aos dados experimentais, é o modelo empírico de Henderson-Pabis [4], apresentado na Equação (3).

$$X_R = C \exp\ (-Kt) \tag{3}$$

sendo X_R o adimensional de água livre [(X-XE)/(X0-XE)], K a constante de secagem, t o tempo de secagem e C e n parâmetros de ajuste.

O cálculo da difusividade efetiva de umidade (Equação 4) foi realizado segundo uma analogia da segunda Lei de Fick com a equação de Henderson-Pabis (Equação 2) para tempos longos de secagem (F_0>0,2) [8].

$$DEF = \frac{K L^2}{\pi^2} \tag{4}$$

sendo K a constante de secagem e L é a espessura da amostra.

O efeito da temperatura na difusividade efetiva é geralmente descrita utilizando a relação de Arrhenius (Equação 5), a fim de obter uma melhor concordância entre a curva predita e os dados experimentais [10]. A energia de ativação foi calculada a partir da equação de Arrhenius, baseada na declividade da linha reta da difusividade efetiva de umidade com a respectiva temperatura absoluta.

$$D_{eff} = D_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \tag{5}$$

sendo D_o o fator pré operacional da equação de Arrhenius ($m^2\ s^{-1}$), E_a a energia de ativação (kJ mol^{-1}), R a constante universal dos gases (kJ $mol^{-1}\ K^{-1}$) e T a temperatura absoluta (K).

3. **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

3.1 Umidade de Equilíbrio

Através dos valores obtidos experimentalmente de atividade de água (a_w) e umidade de equilíbrio (X_E) das fatias de tomate, nas temperaturas estudadas, foram construídas as curvas apresentadas na FIGURA 2.

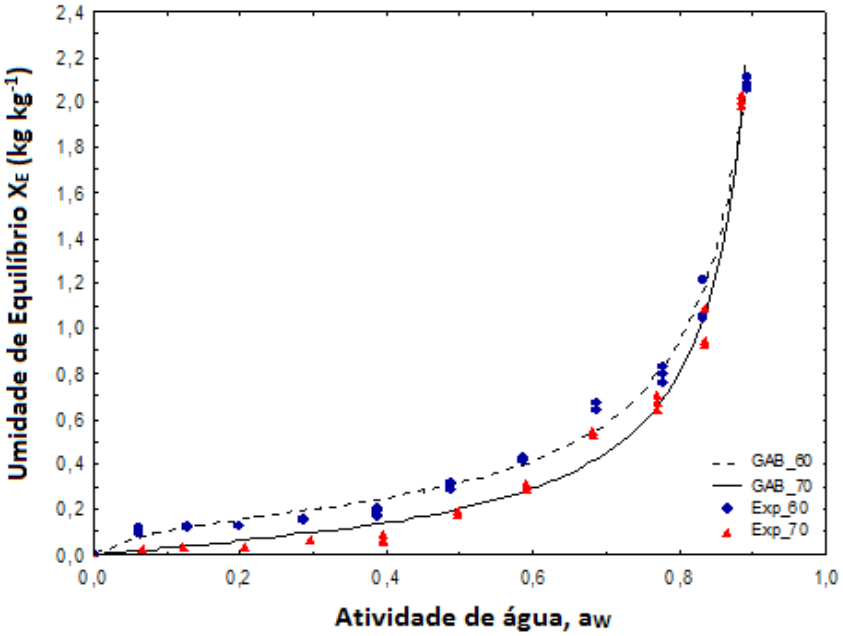


Figura 2: Isotermas de equilíbrio para as fatias de tomate: **(●)** 60°C; **(▲)** 70°C.

Pode-se observar na FIGURA 2 a forma sigmoidal das curvas, comportamento típico para isotermas de alimentos [18]. Verifica-se na figura que as isotermas se cruzam em uma atividade de água em torno de 80%. Este fenômeno ocorre em alimentos ricos em açúcares. Labuza [13] observou que a inversão das isotermas ocorre devido à concentração de açúcar no material (quanto maior a temperatura, mais dissolvido estão os açúcares e mais alta é a umidade de equilíbrio contida no material).

Com os dados de isotermas obtidos experimentalmente, realizou-se uma regressão não-linear dos dados, utilizando a Equação 2. Os resultados dos ajustes, para cada temperatura, estão apresentados na TABELA 2.

O bom ajuste da equação de GAB com os dados experimentais das isotermas de fatias de tomate pode ser visualizado para as temperaturas de 60°C e 70°C na TABELA 2. Unadi, Fuller e Macmillan [22], também observaram que GAB foi a equação mais satisfatória para predizer as isotermas de equilíbrio de tomate. O modelo de GAB apresenta parâmetros que descrevem adequadamente os dados experimentais em uma ampla faixa de atividade de água (10% a 90%), o que é interessante para alimentos. Para o modelo de GAB, pôde-se

verificar na TABELA 2 que a umidade da monocamada diminui com o aumento da temperatura, sendo que este valor representa o conteúdo de água do material quando a sua superfície interna é coberta por uma camada de água unimolecular.

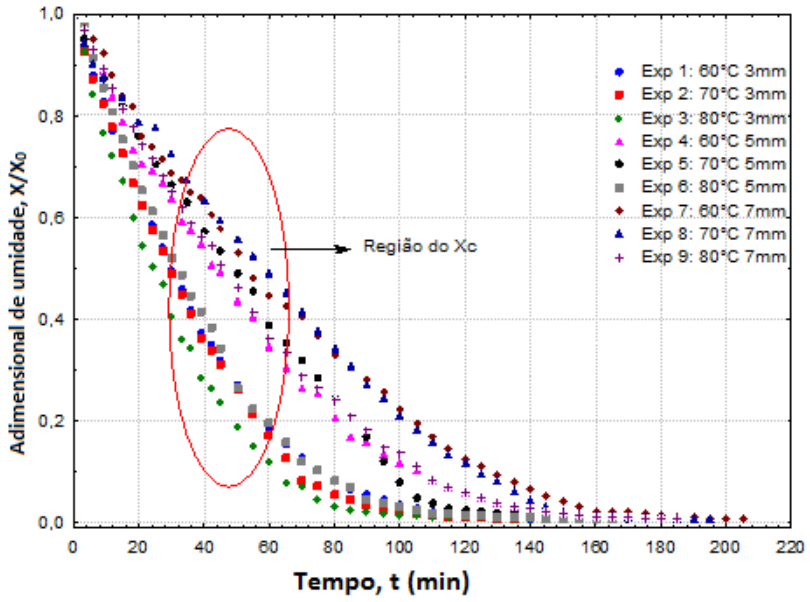
Tabela 2: Parâmetros da equação de isoterma de GAB e valores do coeficiente de determinação.

T (°C)	X_m (kg kg^{-1})	K (min^{-1})	a	R^2
60	0,166±0,006	1,03±0,01	11,02±4,95	0,992
70	0,138±0,008	1,05±0,01	2,01±0,69	0,989

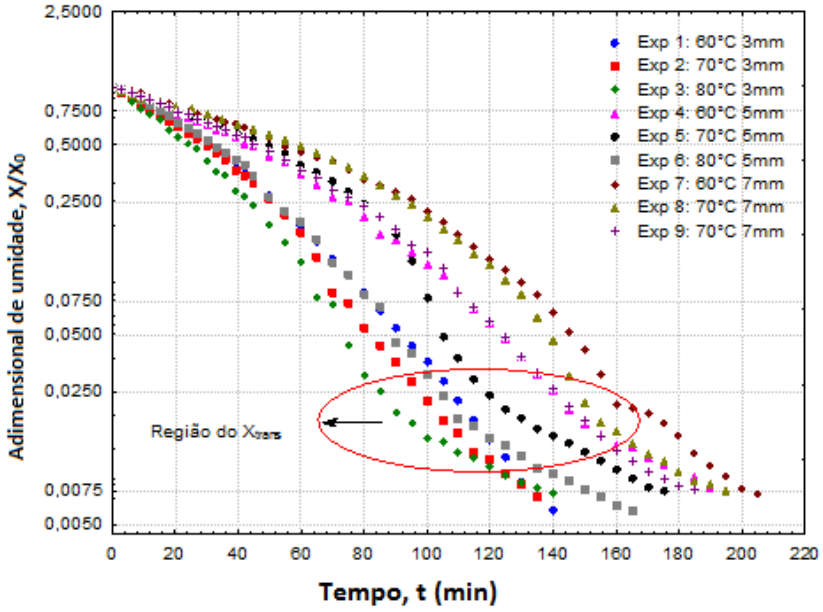
3.2 Caracterização da Secagem

As curvas que descrevem o comportamento da secagem das fatias de tomate em diferentes temperatura e espessuras estão apresentadas na FIGURA 3.

Analisando-se as curvas do adimensional de umidade em base seca em função do tempo de secagem através da FIGURA 3(a), em escala linear-linear,, verifica-se a existência de período de taxa constante de secagem, o que é característico de alimentos com alto teor de umidade, como no caso das fatias de tomate. Ainda pode-se verificar a existência do primeiro período de taxa decrescente de secagem, que se inicia após a umidade crítica (X_C), onde ocorre uma acentuada variação da umidade da amostra em função do tempo, sendo o mecanismo de difusão líquida responsável pela migração interna de umidade. Também, é observado nas curvas do adimensional de umidade em função do tempo na FIGURA (3b), em escala log-linear, o segundo período da taxa decrescente de secagem, que se inicia após a umidade de transição (X_{trans}), e a variação de umidade se torna menos pronunciada, pois o mecanismo de difusão de vapor deve ser o controlador desta etapa [8]. Os parâmetros que caracterizam a secagem das fatias de tomate estão na TABELA 3.



(a)



(b)

Figura 3: Curvas do adimensional de umidade em função do tempo de secagem das fatias de tomate: (a) escalar linear-linear; (b) escala log-linear

Tabela 3: Caracterização da secagem das fatias de tomate em camada delgada

Experimento (nº)	X_C (b.s) (kg kg^{-1})	X_{trans} (b.s) (kg kg^{-1})	$t_{taxa\ cte}$ (min)	$t_{1°período}$ (min)	$t_{2°período}$ (min)	t_{total} (min)
1	6,658	0,216	42	88	10	140
2	7,834	0,227	36	79	20	135
3	8,940	0,274	27	68	35	130
4	6,571	0,248	60	95	25	192
5	7,340	0,278	55	85	35	175
6	8,489	0,271	36	94	35	165
7	6,224	0,281	75	105	25	205
8	7,181	0,294	70	90	35	195
9	8,379	0,278	50	105	30	185

Através da TABELA 3 pode-se observar que todos os ensaios apresentaram períodos consideráveis de taxa constante de secagem, o que é comum em alimentos que apresentam alto teor de umidade (como no caso das fatias de tomate, com umidade inicial de aproximadamente 19 kg kg^{-1}, em base seca). Os valores da umidade crítica (X_C) aumentaram com o aumento da temperatura do ar de secagem, ficando, porém, semelhantes para iguais espessuras das amostras. A umidade de transição (X_{trans}) apresentou valores ao redor de 25% em base seca.

Os valores da umidade de equilíbrio (X_E) das fatias de tomate, nas temperaturas de secagem de 60 e 70°C, foram calculados através da Equação 2, utilizando os parâmetros determinados para o modelo de GAB, conforme a Tabela 2, sendo os valores de 0,101 e 0,017 kg kg^{-1}, respectivamente. Para a temperatura de 80°C, o valor foi de 0,012 kg kg^{-1}, estabelecido em ensaio de secagem até atingir a massa constante da amostra.

A FIGURA 4 apresenta as curvas do adimensional de água livre em função do tempo para a secagem das fatias de tomate, durante o período de taxa decrescente de secagem.

Através de regressão não linear dos dados experimentais da FIGURA 4, utilizando a equação empírica de Henderson-Pabis (Equação 3), foram calculados os valores da constante de secagem (K) e os coeficientes de determinação (R^2).

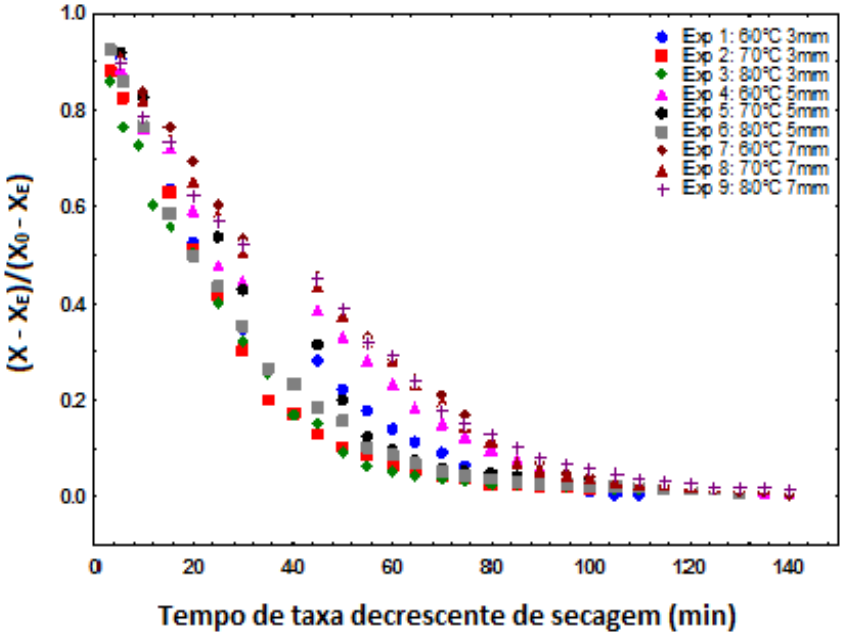


Figura 4: Curvas do adimensional de água livre para os períodos de taxa decrescente em função do tempo para a secagem das fatias de tomate, nas espessuras de 3, 5 e 7 mm e temperatura de 60, 70 e 80°C.

A constante de secagem foi utilizada para determinação do parâmetro físico difusividade efetiva de umidade (D_{EF}) através da Equação 4, para a caracterização do primeiro e segundo períodos de taxa decrescente de secagem. A TABELA 4 apresenta os valores estimados da constante de secagem (K_s) e da difusividade efetiva média de umidade

Para o primeiro período de taxa decrescente de secagem utilizou-se a espessura média das fatias de tomate entre a umidade crítica (X_c) e umidade de transição (X_{trans}) de cada amostra. Já para o segundo período de taxa decrescente de secagem utilizou-se a espessura final das fatias, pois, segundo Kilpatrick, Lowe e van Arsdel [11], o encolhimento de materiais fibrosos ocorre linearmente durante o período de taxa constante e o primeiro período de taxa decrescente de secagem, passando, a partir do segundo período de taxa decrescente, a não variar mais a espessura, visto que o encolhimento se dá até atingir umidade em torno de 25%. No caso da secagem das fatias de tomate, foi verificado que a umidade de transição (X_{trans}) apresentou valores nessa faixa, e a partir do segundo período de taxa decrescente de secagem não foi observado encolhimento do material.

Tabela 4: Valores estimados para a constante de secagem (K_{S1} e K_{S2}) pela equação de Henderson-Pabis e da difusividade efetiva de umidade (D_{EF1} e D_{EF2}).

Experimento (nº)	K_{S1}* (min^{-1})	D_{EF1}* (m^2s^{-1})x10^{10}	K_{S2}* (min^{-1})	D_{EF2}* (m^2 s^{-1})x10^{11}
1	0,029	1,56	0,021	4,21
2	0,038	1,93	0,022	5,01
3	0,046	2,21	0,025	8,03
4	0,025	1,69	0,019	4,32
5	0,033	2,12	0,020	5,11
6	0,039	2,43	0,022	8,21
7	0,019	1,92	0,018	4,57
8	0,025	2,34	0,020	5,26
9	0,031	2,67	0,022	8,35

* Primeiro período de taxa decrescente de secagem; ** segundo período de taxa decrescente de secagem.

O parâmetro K representa a velocidade de difusão de água no material quando a resistência externa a transferência de massa do ar é desprezível, e quanto mais alto seu valor maior será a variação da umidade e menor o tempo de operação [16]. Na TABELA 4 pode ser observado esse comportamento, onde maiores valores da constante de secagem foram encontrados para as maiores temperaturas utilizadas.

Os valores das difusividades efetivas médias de umidade do primeiro período de secagem (TABELA 4) foram maiores que do segundo período, isso pode ser explicado pela maior facilidade de migração interna de umidade no primeiro período, onde o mecanismo que controla a transferência de massa é a difusão líquida [8]. Também, a difusividade efetiva (D_{EF1}) apresentou valores semelhantes para iguais temperaturas do ar de secagem e diferentes espessuras das fatias de tomate. Esse comportamento se deve ao fato de que a difusividade efetiva de umidade não varia com espessura do material, sendo função apenas da umidade e temperatura do ar de secagem.

Os valores da energia de ativação (E_a) foram calculados utilizando o logaritmo dos valores das difusividades efetivas de umidade e o inverso da temperatura absoluta do ar, para o primeiro e segundo períodos de taxa decrescente de secagem, conforme apresentado na FIGURA 5.

Através da FIGURA 5, pode-se observar que os resultados mostraram uma relação linear derivada da equação de Arrhenius (Equação 5). Os valores das energias de ativação (E_a) foram determinados a partir da declividade das retas para o primeiro e segundo

períodos de taxa decrescente, sendo encontrados os valores médios de 16,99 ± 0,81 kJ mol^{-1} e 30,64 ± 1,14 kJ mol^{-1} , respectivamente.

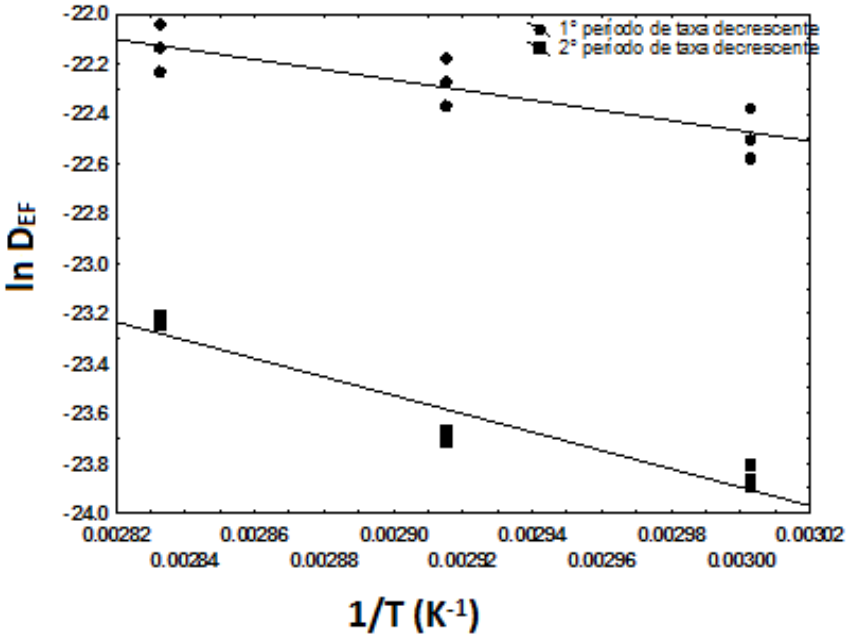


Figura 5: Curvas dos valores de Ln (D_{EF}) em função do inverso da temperatura do ar de secagem, para o primeiro e segundo período de taxa decrescente da secagem das fatias de tomate.

A partir da FIGURA 5, observa-se que a energia de ativação foi maior no segundo período da taxa decrescente de secagem, pois a água de mais fácil evaporação foi retirada no primeiro período, sendo então, necessário mais calor, no segundo período de secagem para evaporar a água remanescente no material [23].

3.3 Reidratação e Teor de Licopeno

A reidratação e teor de licopeno foram determinados na menor espessura e nas condições extremas devido ao fato de nas demais espessuras o tempo de secagem foi maior, proporcionando assim, uma maior alteração no produto.

A FIGURA 6 apresenta as curvas da umidade em função do tempo dos ensaios de reidratação dos experimentos nº 1 e n º 3 de tomate desidratado.

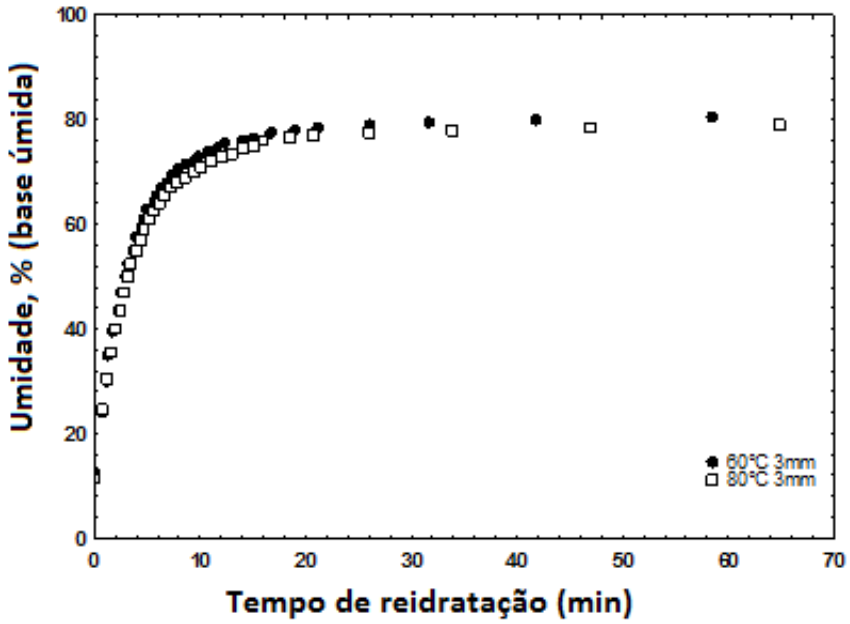


Figura 6: Curvas da umidade em função do tempo dos experimentos nº 1 e nº 3 de reidratação das amostras das fatias de tomate desidratada.

A reidratação pode ser considerada como uma medida dos danos causados ao material pela secagem e por tratamentos posteriores à desidratação. A reidratação de tecidos vegetais secos é composta por três processos simultâneos: o embebimento em água pelo material seco, o inchamento e a lixiviação dos compostos solúveis. Durante a secagem, o deslocamento e ruptura celular são irreversíveis, resultando na perda da integridade, formando uma estrutura densa, com intenso encolhimento dos capilares, de propriedades hidrofílicas reduzidas refletidas pela incapacidade de embebimento de água suficiente para uma reidratação completa [12]. A partir da FIGURA 6, pode-se observar que para menor temperatura, houve uma maior reidratação (cerca de 80,4%,base úmida), o que corresponde a 84,6% da umidade inicial, num menor tempo. Isso se deve ao fato de que quanto maior a temperatura, maior é o dano ocorrido na estrutura do tomate, ocasionando assim, uma menor reidratação e um maior tempo para reidratar. Ainda é possível observar que a reidratação ocorreu praticamente nos primeiros 10 min

Os teores de licopeno foram de 301,69 ± 0,13 μg g^{-1} e 203,31 ± 0,14 μg g^{-1} para os experimentos nº 1 e nº 3. As fatias de tomate *in natura* apresentaram teor de licopeno de 569,02 ± 0,44 μg g^{-1}, representando uma perda de 46,98 e 64,27%, respectivamente. Zanoni, Peri, Nani e Lavelli [26] e Camargo [6], verificaram que a perda de licopeno ocorre principalmente por oxidação, e em maiores temperaturas esse efeito é mais acentuado.

4. CONCLUSÃO

Os experimentos de secagem das fatias de tomate em camada delgada, com escoamento paralelo do ar, tendo como variáveis de estudo a temperatura (60, 70 e 80°C) e a espessura da fatia de tomate (3, 5 e 7mm), apresentaram o período de taxa constante e dois períodos de taxa decrescente de secagem.

A equação de GAB mostrou bom ajuste aos dados experimentais das isotermas, e foi utilizada na estimativa da umidade de equilíbrio das fatias de tomate. Para determinação da constante de secagem foi utilizada a equação empírica de Henderson-Pabis. Os valores de difusividade efetiva de umidade (D_{EF}) foram na faixa de $1,56\times10^{-10}$ a $2,67\times10^{-10}$ m^2 s^{-1} para o primeiro período de taxa decrescente, e de $4,21\times10^{-11}$ a $8,35\times10^{-11}$ m^2 s^{-1} para o segundo período de taxa decrescente de secagem. A energia de ativação apresentou valores de 16,99 e 30,64 kJ mol^{-1} para o primeiro e segundo período de taxa decrescente, respectivamente. A reidratação do tomate seco mostrou-se mais eficiente para a temperatura de 60 ºC, pois apresentou uma maior reidratação (84,6% da umidade inicial) num menor de tempo. O teor de licopeno também foi superior nessa condição, apresentando valor de 301,69 µg g^{-1}.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] AOAC. *Official Methods of Analysis.* (16th ed.). Arligton, Virginia, USA: Association of Official Analytical Chemists, 1995.

[2] BALA, B.K.; WOODS, J.L. Thin layer drying models for malts. **Journal Food Engineering**, v. 16, p. 239-149, 1992.

[3] BARRET, R.L. **Conservação pós-colheita de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill) do cultivar gigante Kada submetido a choque a frio e armazenamento com filme de PVC.** Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura de Lavras. Minas Gerais, 1990.

[4] BARROZO, M.A.S.; SARTORI, D.J.M.; FREIRE, J.T. Transferência de calor e massa em leito deslizante e escoamento cruzados: secagem de sementes de soja. In: **Tópicos especiais em sistemas particulados**, São Carlos: ed. UFSCar, 1998.

[5] BASUNIA, M.A.; ABE, T. Moisture desorption isotherms of medium-grain rough rice. **Journal of Stored Products Resea**rch, v. 37, p.205-219, 2001.

[6] CAMARGO, G.A. **Novas tecnologias e pré-tratamento: tomate seco embalado à vácuo**. P Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas, 2005.

[7] CAMARGO, G.A.; NIURK, H.; QUEIROZ, M.R. Avaliação da qualidade de tomate seco em conserva. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.11, n.5, p. 521-526, 2007.

[8] CHIRIFE, J. Fundamentals of the drying mechanism during air dehydration of foods. In: MUJUMDAR, A. (Ed) **Advances in drying**. Washington/ New York/ London: Ed. Hemisphere Publishing Corporation, v.3, p. 73-102, 1983.

[9] FAGUNDES, A.F.; ONUKI, N.S.; GARDINGO, D.J.R., BORSATO, A.V. Influência do grau de umidade na textura de tomate seco refrigerado ou envasado em óleo. **Publicato (UEPG)** p 35-42, 2005.

[10] KEEY, R.B. **Drying: principles and practice.** New York: Pergamon Press, 358p, 1972.

[11] KILPATRICK, P.W.; LOWE, E.; van ARSDEL, W.B. Tunnel dehydration for fruits and vegetables**.** In: van Arsdel, W. B. **Advances in Food Research**, New York: Academic Press. v. 4. p. 313-371, 1955.

[12] KROKIDA, M.K.; MARINOS-KOURIS, D. Rehydration kinetics of dehydrated products. **Journal of Food Engineering**, v. 57, p. 1-7, 2003.

[13] LABUZA, T. P. Moisture sorption: practical aspects of isotherm measurement and use. **American Association of Cereal Chemists**, St. Paul: Practical Applications, Braseq, 74p,1984.

[14] LIME, B.J., GRIFFITHS, F.P., O'CONNOR, R.T., HEINZELMAN, D.C.; MCCALL, E.R. (1957). Spectrophotometric methods for determining pigmentation – beta-carotene and lycopene – in ruby red grapefruit. **Journal of Agricultural and Food Chemistry***, v.* 5, p.941–944.

[15] LUZ, L.M. **Tomates contra o câncer.** Química e Saúde. 2008. Disponível em http://arrozdoce.wordpress.com/2008/01/24/tomates-contra-o-cancer/, Acesso em: 20 març. 2009.

[16] MANDALA, I.G.; ANAGNOSTARAS, E.F.; OIKONOMOU, C.K. Influence of osmotic dehydration conditions on Apple air-drying kinetics and their quality characteristics. **Journal Food Engineering**, n. 69, p. 307-316, 2005.

[17] MIR, M.A.; NATH, N. Sorption isotherms of fortified mango bars. **Journal of Food Engineering**, v. 25, p.141-50, 1995.

[18] MORAES, M.A.; ROSA, G.S.; PINTO, L.A.A. Moisture sorption isotherms and thermodynamic properties of apple fuji and garlic. **International Journal of Food Science and Technology**, n. 43, p. 1824–1831, 2008.

[19] MULET, A. Equilibrium isotherms and isosteric heat of morel (Morchella esculenta). **Journal of Food Engineering**. v.53, n.1, p.74-81, 2002.

[20] RIBEIRO, E.P; SERAVALLI, E.A.G. **Química de alimentos.** 2ª edição. Ed Edgard Blücher LTDA, 184p, 2007.

[21] SILVA, J.B.C.; GIORDANO, L.B. Tomate para processamento industrial. Brasília: **Embrapa Comunicação para Transferência de Tecnologia – Embrapa Hortaliças**, 2000.

[22] UNADI, A.; FULLER, R.J.; MACMILLAN, R.H. Prediction of the equilibrium moisture content of tomatoes. **Food Australia**. v. 50, n.4, p. 200-203, 1998.

[23] WANG, Z.; SUN, J.; LIAO, X.; CHEN, F.; ZHAO, G.; WU, J.; HU, X. Mathematical modeling on hot air drying of thin layer apple pomace. **Food Research International**, n. 40, p. 39-46, 2007.

[24] WESKA, R.F.; BRIZIO, A.P.; PINTO, L.A.A. **Avaliação** d**as características do produto obtido na secagem de maçã fuji (*Mallus Percicae*) em camada delgada**. In: ANAIS DO XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA QUÍMICA (COBEQ), 2006, Santos :ABEQ, (CD-Rom), p. 4242-4249.

[25] WOODROOF, G.J.; LUH, B.S. **Commercial fruit processing**. The AVI. Publishing Co. Inc. Westport. Connecticut. 1975,.p.375-507,

[26] ZANONI, B.; PERI, C.; NANI, R.; LAVELLI, V. Oxidative heat damage of tomato halves as affected by drying. **Food Research International**, v. 31, n.5, p. 395-401, 1999.

AGRADECIMENTOS

À CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de estudos.