

EFEITO DOS PRÉ-TRATAMENTOS (TÉRMICO E QUÍMICO) NA CINÉTICA E DIFUSIVIDADE EFETIVA DO PROCESSO DE SECAGEM DE CASCAS DE BANANA

VIRGÍNIA MIRTES DE ALCÂNTARA SILVA¹, NEWTON CARLOS SANTOS², RAPHAEL LUCAS JACINTO ALMEIDA², VICTOR HERBERT DE ALCÂNTARA RIBEIRO³, PAULO ROBERTO MEGNA FRANCISCO³

¹Dra em Eng. e Gestão de Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande-PB, virginia.mirtes2015@gmail.com

²Doutorandos em Eng. Química, UFRN, Natal-RN, newtonquimicoindustrial@gmail.com,
raphaelqindustrial@gmail.com

³Doutorandos em Eng. e Gestão de Recursos Naturais, UFCG, Campina Grande-PB,
victor_herbert@hotmail.com, paulomegna@gmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC
04 a 06 de outubro de 2022

RESUMO: O presente estudo teve como objetivo aplicar os pré-tratamentos térmicos (branqueamento) e químico (ácido cítrico) em cascas de banana e avaliar a sua influência na cinética de secagem e na difusividade efetiva. Cascas de banana sem pré-tratamento (controle) e pré-tratadas foram submetidas ao processo de secagem em estufa com circulação de ar ($50\text{ }^{\circ}\text{C}/2,0\text{ m s}^{-1}$) aos dados experimentais foi ajustado o modelos de difusão para sistemas de coordenadas retangulares. O pré-tratamento químico com imersão em solução de ácido cítrico, apresentou um aumento de 52,38% no tempo de secagem com relação as cascas controle. O ajuste do modelo de difusão apresentou coeficiente de determinação superior a 0,98 ($R^2 > 0,98$) para todas as condições estudadas, além disso, os valores da função qui-quadrado (χ^2) foram baixos na ordem de 10^{-2} e por fim, os valores de difusividade efetiva apresentam valores de $4,81 \times 10^{-5}\text{ m}^2\text{ min}^{-1}$, $3,58 \times 10^{-5}\text{ m}^2\text{ min}^{-1}$ e $3,05 \times 10^{-5}\text{ m}^2\text{ min}^{-1}$, para as amostras controle e pré-tratadas por branqueamento e ácido cítrico, respectivamente. Portanto, os pré-tratamentos aplicados foram eficientes para evitar o escurecimento das cascas de banana.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduo, fruta, conservação, tempo de secagem, lei de difusão.

EFFECT OF PRE-TREATMENTS (THERMAL AND CHEMICAL) ON THE KINETICS AND EFFECTIVE DIFFUSIVITY OF THE BANANA PEEL DRYING PROCESS

ABSTRACT: The present study aimed to apply heat (bleaching) and chemical (citric acid) pretreatments to banana peels and evaluate their influence on drying kinetics and effective diffusivity. Banana peels without pre-treatment (control) and pre-treated were submitted to the drying process in an oven with air circulation ($50\text{ }^{\circ}\text{C}/2.0\text{ m s}^{-1}$) to the experimental data, the diffusion models for of rectangular coordinates. The chemical pre-treatment with immersion in citric acid solution showed an increase of 52.38% in drying time compared to the control peels. The adjustment of the diffusion model showed a coefficient of determination greater than 0.98 ($R^2 > 0.98$) for all conditions studied, in addition, the values of the chi-square function (χ^2) were low in the order of 10^{-2} and by Finally, the effective diffusivity values present values of $4.81 \times 10^{-5}\text{ m}^2\text{ min}^{-1}$, $3.58 \times 10^{-5}\text{ m}^2\text{ min}^{-1}$ and $3.05 \times 10^{-5}\text{ m}^2\text{ min}^{-1}$, for the control and pre- treated by bleaching and citric acid, respectively. Therefore, the pre-treatments applied were efficient to prevent the browning of the banana peels.

KEYWORDS: Residue, fruit, conservation, drying time, diffusion law.

INTRODUÇÃO

O consumo de frutas e produtos frutícolas é conhecido não só promover uma boa saúde geral, mas também diminuir o risco de várias doenças crônicas, como doenças cardíacas, acidente vascular cerebral, doenças gastrointestinais doenças, certos tipos de câncer, hipertensão, degeneração macular

relacionada à idade, catarata do olho, doenças da pele, diminuição da colesterol de lipoproteína de baixa densidade (LDL) e melhora do sistema imunológico função (SIDHU e ZAFAR, 2018). A banana é uma fruta típica das regiões tropicais úmidas e o Brasil é o terceiro produtor mundial. Com produção estimada em seis milhões de toneladas anuais, é a segunda fruta mais consumida no país depois da laranja. Caracteriza-se por ser um alimento de alta perecibilidade e sua utilização como doce apresenta-se como uma alternativa para seu aproveitamento. Entretanto, na produção de polpas para doces e outros derivados, há grande produção de cascas que, apresentam teores de nutrientes maiores do que os das suas respectivas partes comestíveis, além de serem ricas fontes de fibras (OLIVEIRA et al., 2009).

Esses resíduos são ricos em vitaminas, minerais, lipídios e fibras que são compostos que possibilitam inúmeros benefícios à saúde e sua utilização no desenvolvimento de novos produtos, além de proporcionar a redução dos resíduos, contribui para o aumento do valor agregado do produto final (AMADEU et al., 2020). Enzimas contendo cobre, como polifenoloxidasas (PPOs) acelerar a reação de oxidação de numerosos fenóis e esses compostos são moléculas extremamente reativas que podem endurecer reações não enzimáticas responsáveis pelo desenvolvimento de polímeros complexos marrons, como melaninas. A casca da banana fica preta após o corte devido ao escurecimento enzimático que afeta sua aparência, sabor e valor nutritivo. Para reduzir o escurecimento, é usado um pré-tratamento antes do processamento que podem ser físico, químico, térmico e não térmico (JAH et al., 2021).

O branqueamento é considerado um tratamento térmico brando, que utiliza temperaturas entre 70 e 100°C, por alguns minutos, com posterior resfriamento para evitar que o produto permaneça por mais tempo na temperatura elevada, o que poderia acarretar no superaquecimento e conseqüentemente em um cozimento do mesmo. O branqueamento é uma técnica utilizada tanto industrialmente como de forma caseira. O binômio tempo-temperatura é dependente do tipo de produto que será submetido ao tratamento térmico, seu tamanho, geometria e o método de branqueamento a ser utilizado (imersão em água quente, exposição ao vapor, etc). A etapa de resfriamento também pode ser realizada com a imersão do produto em água quente, jatos de água ou correntes de ar frio (OLIVEIRA et al., 2018).

Além do tratamento térmico, há a utilização de compostos acidulantes para diminuir a ação enzimática e diminuir o escurecimento nos vegetais. Estes produtos mantêm o pH do meio abaixo do pH ótimo da enzima. Os ácidos comumente utilizados são: cítrico, málico e fosfórico. No caso do ácido cítrico, além de diminuir o pH do meio ele também pode atuar como agente quelante do cobre da enzima PPO e assim favorecer sua inativação (CHAVES PRIMO et al., 2018). Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo aplicar os pré-tratamentos térmicos (branqueamento) e químico (ácido cítrico) em cascas de banana e avaliar a sua influência na cinética de secagem e na difusividade efetiva.

MATERIAL E MÉTODOS

Para elaboração desse trabalho foram utilizadas bananas maduras (*Musa spp.*) adquiridas no comércio local de Campina Grande-PB. As bananas foram higienizadas e sanitizadas e suas cascas foram utilizadas para o desenvolvimento do presente trabalho. As cascas foram cortadas em retângulos e separadas em 3 lotes: 1º lote (cascas controle), 2º lote (pré-tratamento físico) e 3º lote (pré-tratamento físico). Amostras não tratadas ou controle (1º lote) foram transferidas diretamente para bandejas de secagem sem nenhum pré-tratamento.

O 2º lote de cascas foi submetido ao pré-tratamento de branqueamento, no qual, as mesmas foram branqueadas em água quente a 80 °C por 5 min e resfriada instantaneamente com água corrente por 5 min para erradicar o excesso de calor, seguido de drenagem da água extra com ajuda de malha de aço inoxidável, seguindo os procedimentos descritos por Jha et al. (2021). O 3º lote de cascas foi submetido ao pré-tratamento em solução de ácido cítrico, no qual, as mesmas foram mergulhadas em uma solução de 0,2% de ácido cítrico durante 30 min seguindo os procedimentos descritos por Jha et al. (2021).

Secagem das cascas

Os três lotes de cascas foram submetido a cinética de secagem na temperatura de 50 °C em estufa de circulação de ar com velocidade fixa de 2,0 m s⁻¹. A perda de umidade foi registrada por

meio de balança digital com precisão de 0,001g. O processo de secagem foi continuado até que a leitura constante da massa fosse registrada.

Calculo da difusividade

As difusividades efetivas (*Def*) das cascas nas diferentes condições foram determinados usando a equação de difusão Equação (1) para sistemas de coordenadas retangulares (CRANK, 1975). No cálculo de *Def*, a solução analítica para a segunda lei de difusão de Fick foi aplicada em forma de uma série infinita Equação (2):

$$\frac{\partial X}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(Def \frac{\partial X}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(Def \frac{\partial Y}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(Def \frac{\partial Z}{\partial z} \right) \quad (1)$$

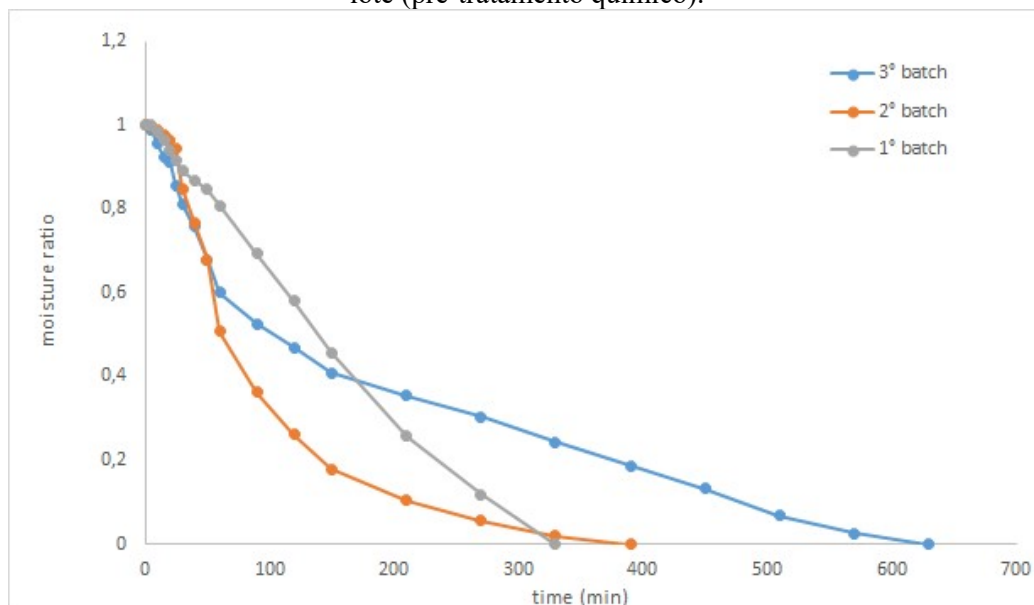
$$X^* = \frac{X(t) - X_{eq}}{X_i - X_{eq}} = \frac{8}{\pi^2} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{1}{(2n+1)^2} \exp \left[- (2n+1)^2 \pi^2 \frac{Def}{L^2} t \right] \quad (2)$$

Onde: X^* é a razão de umidade adimensional; n é o número de termos; *Def* é a difusividade efetiva ($m^2 \text{ min}^{-1}$); L é a espessura da parede (m); t é o tempo (min)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 1, estão apresentadas as curvas da cinética de secagem (razão de umidade versus tempo de secagem) das cascas de banana sem pré-tratamento (1° lote – controle) e com pré-tratamento (2° lote (pré-tratamento térmico) e 3° lote (pré-tratamento químico)). A curva da Figura 2, representa a diminuição do teor de água do produto durante a secagem, ou seja, é a curva obtida pesando o produto durante a secagem numa determinada condição de secagem (PARK et al., 2014).

Figura 1 – Razão de umidade versus tempo de secagem das cascas de banana submetidas a pré-tratamentos nas seguintes condições: 1° lote (cascas controle), 2° lote (pré-tratamento térmico) e 3° lote (pré-tratamento químico).



Fonte: Própria (2022).

Pode-se visualizar que para os três lotes de cascas de banana os minutos iniciais do processo os pontos são mais elevados. Segundo Park et al. (2014) esse período é denominado de período de indução ou o período de se entrar em regime operacional, pois no começo, o produto é geralmente mais frio do que ar, e a pressão parcial de vapor da água na superfície do produto é débil, e por consequência, a transferência de massa e a velocidade de secagem também são débeis. O calor

chegando em excesso acarreta uma elevação da temperatura do produto ocorrendo um aumento de pressão e da velocidade de secagem. Este fenômeno continua até que a transferência de calor compense exatamente a transferência de massa. Se a temperatura do ar for inferior àquela do produto esta última diminuirá até atingir o mesmo estado de equilíbrio. A duração deste período é insignificante em relação ao período total de secagem.

As cascas que não receberam pré-tratamento foram necessário 330 min para que as mesmas atingissem o teor de água de equilíbrio. As cascas submetidas ao branqueamento apresentaram o 2º maior tempo de secagem (390 min) e as submetidas ao pré-tratamento químico com imersão em solução de ácido cítrico, apresentou um aumento de 52,38% no tempo de secagem com relação as cascas controle (1º lote).

Na Tabela 1, pode-se observar os valores de difusividade efetiva ($Deff$), coeficiente de determinação (R^2) e função qui-quadrado (χ^2), obtidos no processo de secagem das cascas de banana submetidas a pré-tratamentos nas seguintes condições: 1º lote (cascas controle), 2º lote (pré-tratamento térmico) e 3º lote (pré-tratamento químico).

Tabela 1 – Difusividade efetiva do processo de secagem de cascas de banana submetidas a pré-tratamentos nas seguintes condições: 1º lote (cascas controle), 2º lote (pré-tratamento térmico) e 3º lote (pré-tratamento químico).

Lotes	$Deff$ ($m^2 \text{ min}^{-1}$)	R^2	χ^2
1º	$4,81 \times 10^{-5}$	0,9602	$1,6849 \times 10^{-2}$
2º	$3,58 \times 10^{-5}$	0,9828	$6,3810 \times 10^{-2}$
3º	$3,05 \times 10^{-5}$	0,9845	$3,7809 \times 10^{-2}$

Nota: Coeficiente de determinação (R^2); Função qui-quadrado (χ^2).

Fonte: Própria (2022).

O ajuste da equação da segunda lei de difusão de Fick, aplicada em forma de uma série infinita aos dados experimentais da cinética de secagem das cascas de banana nas diferentes condições, apresentou coeficiente de determinação superior a 0,98 ($R^2 > 0,98$) para todas as condições estudadas, além disso, os valores da função qui-quadrado (χ^2) foram baixos na ordem de 10^{-2} e variaram de $1,6849 - 6,3810 \times 10^{-2}$. Dessa foram, sendo considerado um bom ajuste aos dados experimentais.

Os valores de difusividade efetiva apresentam valores de $4,81 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ min}^{-1}$, $3,58 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ min}^{-1}$ e $3,05 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ min}^{-1}$, para as amostras do 1º, 2º e 3º lote, respectivamente. Jah et al. (2021) ao aplicarem 4 diferentes pré-tratamentos na flor da bananeira, obtiveram valores de difusividade variando entre $5,9789 \times 10^{-7}$ a $12,925 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$. Lima et al. (2020) ao determinarem a difusividade efetiva do processo de secagem de cascas de maracujá sem pré-tratamentos, os valores variaram de $2,602 \times 10^{-7}$ a $2,792 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ min}^{-1}$ para temperatura de 60 e 70 °C, respectivamente. Segundo Gomes et al. (2018) a difusividade representa a velocidade com que a água se desloca do interior para a superfície do material, sendo assim vaporizada.

CONCLUSÃO

Através dos resultados obtidos, pode-se concluir que: Os pré-tratamentos aplicados foram eficientes para evitar o escurecimento das cascas de banana; O tempo de secagem das cascas submetidas ao pré-tratamento de imersão em solução de ácido cítrico foi superior quando comparado com o branqueamento e o modelo utilizado para o calcular a difusividade foi considerado como um bom ajuste ao conjunto de dados experimentais e os valores de difusividade efetiva variaram de $3,05 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ min}^{-1}$ a $4,81 \times 10^{-5} \text{ m}^2 \text{ min}^{-1}$. Dessa forma, como sugestão de trabalhos futuros pode-se avaliar o efeito do pré-tratamento nas propriedades físicas e na composição nutricional das cascas desidratadas.

REFERÊNCIAS

- AMADEU, L. T. S., FIGUEIREDO, R. M. F., QUEIROZ, A. J. M., DOS REIS, C. G., DE LIMA, T. L. B., & DA SILVA COSTA, P. (2020). Resíduos de frutas na elaboração de geleia de melão Pele de Sapo. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 15(2), 153-159.
- CRANK, J. (1975). *The mathematics of diffusion* (2nd ed., p. 414). Oxford: Clarendon Press.
- GOMES, F. P., OSVALDO, R., SOUSA, E. P., DE OLIVEIRA, D. E., & ARAÚJO NETO, F. R. D. (2018). Cinética de secagem da massa triturada de jambu: Difusividade efetiva e energia de ativação. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 22, 499-505
- JHA, P., MEGHWAL, M., PRABHAKAR, P. K., & SINGH, A. (2021). Exploring effects of different pretreatments on drying kinetics, moisture diffusion, physico-functional, and flow properties of banana flower powder. *Journal of Food Processing and Preservation*, 45(4), e15356.
- LIMA, A. R. N., DOS SANTOS, Ê. M. A., PEREIRA, M. T. L., DA SILVA JÚNIOR, A. F., DE OLIVEIRA, T. M. Q., DE OLIVEIRA FARIAS, V. S., ... & DE ATAÍDE, J. S. P. (2020). Otimização e simulação do processo de secagem de cascas de maracujá através de ferramentas empíricas e analíticas. *Brazilian Journal of Development*, 6(10), 74271-74285.
- OLIVEIRA, C. T. A. (2018). Métodos tradicionais e emergentes para evitar o escurecimento enzimático de vegetais. 33f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Uberlândia- Patos de Minas-MG, 2018.
- OLIVEIRA, L. F., BORGES, S. V., NASCIMENTO, J., CUNHA, A. C., JESUS, T. B., PEREIRA, P. A. P., ... & VALENTE, W. A. (2009). The use of peels banana in banana preserves-evaluation of quality. *Alimentos e Nutrição Araraquara*, 20(4), 581-590.
- PARK, K. J. B., PARK, K. J., ALONSO, L. F. T., CORNEJO, F. E. P., & FABBRO, I. M. (2014). Secagem: fundamentos e equações. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 16(1), 93-127.
- CHAVES PRIMO, M., FLOR, G. L. F., TROMBETA, F. C., NUNES, L. L., FERREIRA, P. F., & DE PAIVA, L. A. Efeito do branqueamento e imersão em ácido cítrico no congelamento de frutas e hortaliças. In *Anais do Congresso Nacional Universidade, EAD e Software Livre* (Vol. 2, No. 9).
- SIDHU, J. S., & ZAFAR, T. A. (2018). Bioactive compounds in banana fruits and their health benefits. *Food Quality and Safety*, 2(4), 183-188.