

Utilização da radiação infravermelha na secagem de amostras de banana

Use of infrared radiation in drying banana samples

DOI:10.34117/bjdv7n4-407

Recebimento dos originais: 15/03/2021

Aceitação para publicação: 15/04/2021

Anderson Arthur Rabello

Doutor pela Universidade Federal de Minas Gerais

Instituição: Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Endereço: Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte -MG, Brasil

E-mail: arthur@cefetmg.br

Úrsula do Carmo Resende

Doutora pela Universidade Federal de Minas Gerais

Instituição: Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Endereço: Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte -MG, Brasil

E-mail: resendeursula@cefetmg.br

Fátima de Cássia Oliveira Gomes

Doutora pela Universidade Federal de Minas Gerais

Instituição: Departamento de Química do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Endereço: Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte -MG, Brasil

E-mail: fatimaog@cefetmg.br

Ana Maria de Resende Machado

Doutora pela Universidade Federal de Lavras

Instituição: Departamento de Química do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Endereço: Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte -MG, Brasil

E-mail: anammachado@cefetmg.br

Euler Cunha Martins

Doutor pela Universidade Federal de Minas Gerais

Instituição: Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Endereço: Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte -MG, Brasil

E-mail: euler@cefetmg.br

Ícaro Veloso Soares

Mestre pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Instituição: Departamento de Engenharia Elétrica do Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais

Endereço: Av. Amazonas 7675, Nova Gameleira, Belo Horizonte -MG, Brasil

E-mail: icaro.soares@ieee.org

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo secar amostras de 50 gramas de banana prata cortada em fatias com espessura de 5 mm, utilizando-se fontes de radiação infravermelha, a partir de simulação computacional e construção de protótipo para realização do experimento. A distribuição do campo eletromagnético foi obtida por meio do software CST Studio Suíte® e os resultados foram utilizados para construção do protótipo. As amostras foram submetidas à radiação por infravermelho durante o período de 70 minutos. As lâmpadas foram desligadas a cada 10 minutos para a medição da massa das amostras, verificando-se que houve estabilização da massa a partir de 50 minutos. As amostras em cada período foram submetidas à análise de umidade. Obteve-se uma redução da umidade inicial da banana prata *in natura* de 69,9 g/100g para 21,2 g/100 g, sendo este valor compatível com o normalmente adotado para a comercialização da banana desidratada.

Palavras-Chave: Secagem de Alimento, Radiação Infravermelha, Modelagem Computacional.

ABSTRACT

The objective of this work was to dry 50 g samples of silver banana cut into slices of 5 mm thickness, using sources of infrared radiation, from computer simulation and construction of a prototype to perform the experiment. The electromagnetic field distribution was obtained using the software CST Studio Suite® and the results were used to build the prototype. The samples were subjected to infrared radiation for a period of 70 minutes. The lamps were turned off every 10 minutes to measure the mass of the samples, verifying that the mass stabilized after 50 minutes. The samples in each period were submitted to moisture analysis. A reduction of the initial humidity of 69.9 g/100g of fresh silver banana to 21.2 g/100g was obtained, being this value compatible with the normally adopted for the commercialization of dehydrated banana.

Keywords: Drying of Food, Infrared Radiation, Computational Modeling.

1 INTRODUÇÃO

A secagem de alimentos aumenta a vida útil do produto, além de apresentar outras vantagens como facilidade no transporte e na comercialização e redução nas perdas pós-colheita. Novos métodos de secagem têm sido pesquisados e entre eles a utilização de radiação eletromagnética, que reduz significativamente o tempo de retirada de água da matéria-prima por meio da absorção direta da energia pelas moléculas dos alimentos.

Para a simulação e o experimento deste trabalho escolheu-se a banana (*Musa spp*), uma das frutas mais produzidas no mundo, que possui elevado valor nutricional e é uma importante fonte de energia. O Brasil é o maior consumidor mundial da fruta que tem alto teor de carboidratos, amido e açúcares. A banana prata é a variedade mais comercializada, principalmente na região Nordeste do país (Embrapa, 2016). A banana desidratada, produzida a partir do processo de secagem da fruta *in natura*, agrega valor comercial ao

produto e contribui na redução do desperdício, além de poder ser consumida em até dois anos após sua produção.

Vários trabalhos têm sido desenvolvidos para estudar a secagem da banana por meios de convecção forçada (Borges et al. 2010; Hanauer et al., 2015; Oliveira et al., 2017). Este processo, amplamente difundido, consiste em aquecimento do ar que atinge as matérias primas dispostas em bandejas. O fluxo de ar quente no interior do secador é estabelecido por meio de sistema de ventilação com a retirada do vapor de água do alimento para o exterior.

A eficiência da desidratação da banana pode ser aumentada, se a secagem por convecção forçada for associada aos processos de aquecimento por micro-ondas e infravermelho, ou substituída por eles. Nestes processos ocorre o fenômeno de absorção direta da radiação pelos componentes dos alimentos, fazendo com que haja vibração das moléculas e, conseqüentemente, a geração de calor. Estudos sobre uso de radiação eletromagnética para desidratação da banana por micro-ondas foram desenvolvidos por Monteiro (2014). Ao utilizar a radiação por micro-ondas ele conseguiu reduzir a umidade da banana em menor tempo que o aquecimento por convecção forçada.

Micro-ondas, cuja faixa de comprimento de onda da radiação (λ) varia de 1 a 1000 mm, penetram no interior do alimento e o aquecimento ocorre pela vibração das moléculas, gerando calor. Entretanto, a penetração da onda na amostra pode formar pontos máxima concentração de campo e, conseqüentemente, de calor. Estes pontos de concentração ou de queima do alimento, conhecidos como “hotspots”, são devidos à não linearidade da absorção de calor pela água contida nos alimentos em resposta à radiação eletromagnética. Os “hotspots” prejudicam a homogeneidade do aquecimento e a qualidade do produto. A simulação computacional pode ser utilizada para determinar parâmetros do processo de secagem de alimentos, a partir da distribuição do campo eletromagnético, evitando os “hotspots” (Rabello, 2005).

A radiação infravermelha (IR) constitui uma parte do espectro eletromagnético em que predomina o efeito do aquecimento, como o provocado pelo sol. Qualquer corpo com temperatura acima de zero absoluto emite radiação no espectro infravermelho, que é comumente dividido em três faixas que dependem do comprimento de onda da radiação (λ): Infravermelho próximo (NIR), de $\lambda=0,78$ a $1,4 \mu\text{m}$; Infravermelho médio (MIR), de $\lambda=1,4$ a $3 \mu\text{m}$ e infravermelho distante (FIR) de $\lambda=3$ a $1000 \mu\text{m}$ (Krishnamurthy et al., 2008).

No processo de secagem por IR, a maior parte da radiação infravermelha é absorvida por uma fina camada de matéria orgânica e água, então o aquecimento é superficial, sendo transmitido ao interior dos alimentos por condução. A energia IR é fortemente absorvida na água nos comprimentos de onda: 3 μm , 6 μm , 9 μm e 12 μm (Aboud et al., 2019).

Lâmpadas que possuem um filamento de alta resistência, por onde percorre determinada corrente elétrica, são utilizadas para emissão de IR. O processo de secagem utilizando lâmpadas IR é mais rápido que os processos de convecção forçada porque a energia é transferida diretamente da fonte para a superfície dos alimentos, sem necessidade de transporte de calor por meio de ar aquecido. Então, o ar em contato com a superfície do alimento não se aquece tanto como nos processos de convecção forçada, reduzindo o custo energético do processo.

Por outro lado, o aproveitamento da energia fornecida pelas lâmpadas IR na superfície é maior que o obtido no aquecimento por micro-ondas. Assim, taxas de secagem semelhantes aos processos de desidratação por micro-ondas podem ser obtidas com o ajuste da potência e com o arranjo do posicionamento das lâmpadas. Além disso, o protótipo pode ser construído utilizando superfícies refletoras de ondas eletromagnéticas para auxiliar no controle da formação dos pontos de queima do alimento (hotspots).

Outras vantagens do uso da desidratação por IR são: economia de tempo, boas condições de controle dos parâmetros de aquecimento e fácil integração com processos de secagem convectivos, condutivos, por micro-ondas, por vibração, congelamento e vácuo (Riadh et al., 2015). É possível também combinar as vantagens dos processos IR com micro-ondas, obtendo redução significativa no tempo de secagem (Öztürk et al., 2017)

De acordo com Sakare e colaboradores (2020) os parâmetros que influenciam no rendimento da secagem utilizando IR para desidratação de alimentos são: Potência aplicada ao alimento, tempo de exposição, distância entre a fonte e a superfície do alimento e a espessura do alimento. Os autores verificaram por experimento que aumento na potência média fornecida aumenta a difusividade da umidade e reduz o tempo de secagem. Portanto, justifica-se a simulação computacional para o ajuste dos parâmetros antes da construção do protótipo do experimento, reduzindo os custos de fabricação de secadores IR.

Pan e colaboradores (2008) obtiveram 60 % de redução de umidade da banana em 15 minutos, aplicando uma densidade de potência em torno de 5000 W/m² e combinando secagem por convecção forçada e IR. Khampakool e colaboradores (2019) mostraram a eficiência da liofilização de bananas assistido por IR e que o aumento das taxas de secagem relacionou-se com o aumento na potência das lâmpadas resultando em economia de energia sem perda de qualidade da banana desidratada. Pekke e colaboradores (2013) compararam a desidratação de fatias de 5 mm e 8 mm de banana por IR em temperaturas de 60, 70 e 80 °C na superfície do alimento e concluíram que houve perda de eficiência de secagem com o aumento da espessura. Os autores também estabeleceram um limite de 70 °C na superfície da banana para preservar a qualidade do produto.

No início do processo de secagem por IR o calor específico da banana é relativamente alto devido à maior quantidade de água e o aumento da temperatura é maior. Ao longo do processo, a umidade diminui e menos energia IR é necessária para a secagem. Assim, predomina a difusão de calor por condução a partir da superfície ao interior da fruta. Para previsão da cinética de secagem são utilizados modelos matemáticos de aproximação (Baptestini et al. 2017; Tavone et al. 2020; Türkan e Etemoğlu, 2020).

Uma alternativa aos modelos matemáticos de aproximação é utilizar a modelagem computacional para prever o comportamento do processo de secagem a partir da distribuição de energia eletromagnética na amostra. Os parâmetros podem ser simulados antes da construção do protótipo e isto permite que o melhor arranjo possa ser obtido. A partir da simulação da distribuição do campo elétrico na banana é possível ajustar a potência IR aplicada, a distância entre a lâmpada e a superfície do alimento, considerando-se determinada espessura.

O objetivo principal deste trabalho foi obter a banana desidratada por meio de um protótipo de secagem, construído a partir da previsão dos parâmetros obtidos pela simulação computacional.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O protótipo utilizou lâmpadas IR para aquecer fatias de banana, dispostas em tela perfurada cujas dimensões não interferiam na incidência da radiação IR. Para auxiliar na construção do protótipo de secador da banana por IR utilizou-se a simulação computacional para verificar a distribuição do calor em uma das faces da banana prata em determinado arranjo de posicionamento das lâmpadas. O software CST Studio Suíte®

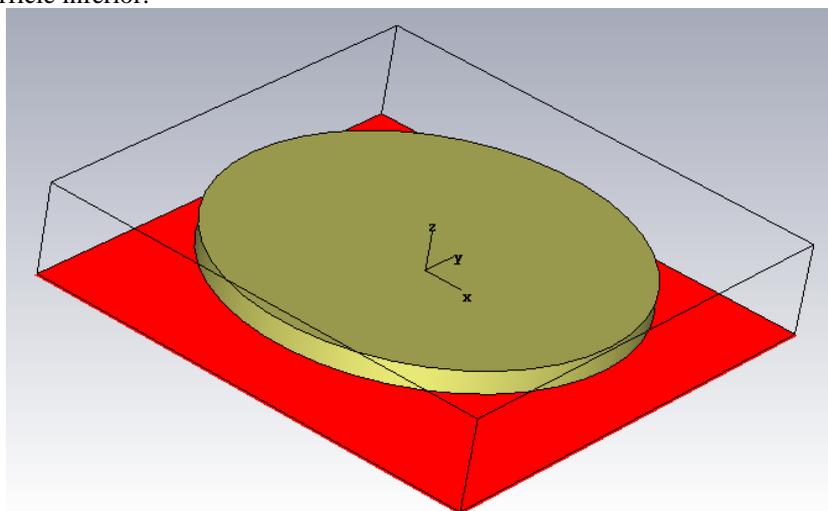
foi utilizado para determinação da distribuição do campo elétrico, que aplica o método dos elementos finitos, com malha em hexaedros, no domínio do tempo. Os parâmetros da modelagem do campo elétrico na amostra estão definidos na Tabela 1.

Tabela 1 – Dimensionamento de parâmetros para simulação computacional do campo elétrico na amostra.

Parâmetro para cálculo do campo elétrico na amostra	Valor	Referência
Constante dielétrica da banana (ϵ')	62	Monteiro (2014)
Fator de perda (ϵ'')	17	Monteiro (2014)
Distância da fonte IR	0,1 m	Catálogo GE (2021)
Densidade de potência	1200 W/m ²	Catálogo GE (2021)
Comprimento de onda	3 μ m	(Aboud et al., 2019)

A banana prata foi cortada em fatias no formato de disco com espessura aproximada de 5 mm. O diâmetro escolhido para a fatia de banana usada no experimento foi 30 mm. Contudo, para a redução do tempo computacional na fase de simulação, utilizou-se o recurso da simetria, reduzindo-se todas as dimensões. A Figura 1 mostra o modelo da fatia de banana simulada no software CST Studio Suíte®.

Figura 1 – Modelo da fatia de banana simulada no software CST Studio Suíte®. A geração do calor por meio da radiação IR (representada em vermelho) ocorre devido à penetração do campo elétrico na direção z a partir da superfície inferior.



Supondo que a quantidade de energia média transportada pela onda eletromagnética equivale à energia térmica transferida ao alimento, o cálculo aproximado da temperatura na região da amostra em determinado intervalo de tempo em segundos, foi realizado conforme a Equação 1.

$$T = \frac{\epsilon c A E_0^2}{2mC_P} + T_a \quad (1)$$

Em que T é a temperatura em $^{\circ}\text{C}$ da superfície com área A em m^2 ; T_a é a temperatura ambiente considerada 25°C no dia do experimento; E_0 é o módulo do campo elétrico na região considerada em V/m , obtido por meio da simulação; c é a velocidade da luz em m/s ; ϵ é a permissividade da banana em F/m ; m é a massa da região considerada em kg e C_p é o calor específico da banana em $\text{J/kg}^{\circ}\text{C}$ obtido de Alvarado (1994).

O protótipo foi então construído com superfícies metálicas que refletem a radiação em todas as superfícies da amostra de banana, de modo a reproduzir os perfis de temperatura obtidos na simulação computacional. Assim, foi possível reduzir os gradientes de temperatura ao longo do tempo de secagem.

As fontes de IR escolhidas foram duas lâmpadas incandescentes refletoras de aquecimento IR de potência 250 W modelo GE Modelo 250/R/IR/CL. A Figura 2 mostra o esquema do protótipo construído para o experimento e a Figura 3 mostra o arranjo das fatias de banana no secador.

Figura 2 – Esquema do protótipo construído para secagem das fatias de banana

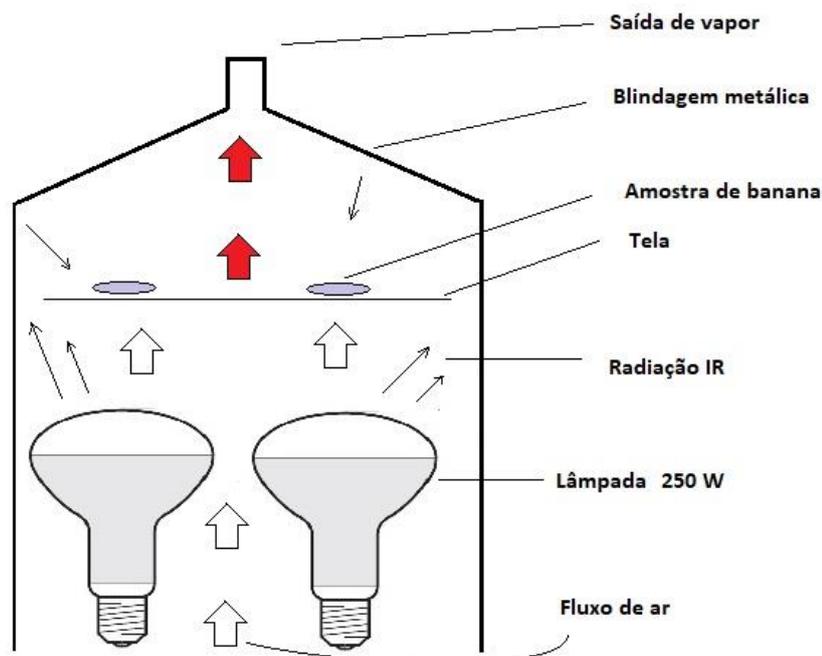


Figura 3 – Arranjo das fatias de banana no protótipo do experimento



As fatias de banana *in natura* foram submetidas à radiação por infravermelho verificando-se a massa das amostras até a estabilização das medidas em 70 minutos. Inicialmente, 50 g de banana descascada em fatias foram posicionadas na tela do protótipo e as lâmpadas foram ligadas durante 10 minutos, quando o processo foi interrompido para medição da massa das amostras. Então, a amostra foi retirada do secador e embalada para ser submetida à análise de umidade. Após o processo foi reiniciado, com secagem por 20 minutos de nova amostra com massa inicial equivalente (50 g). O procedimento se repetiu para 30, 40, 50, 60 e 70 minutos. A análise foi realizada pelo método de secagem direta em estufa, definida em IAL (2005).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 4 mostra a distribuição do campo elétrico ao longo da superfície da banana, na qual incide a radiação IR, obtido pela simulação computacional. A Figura 5 mostra a penetração do campo elétrico na direção z a partir da base xy, além da superfície no sentido para o interior da fruta.

Figura 4 – Distribuição do campo elétrico na superfície de incidência IR.

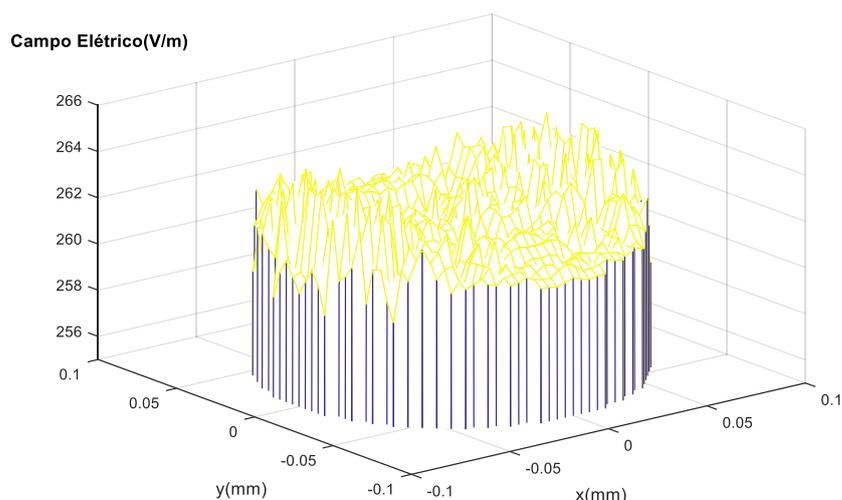
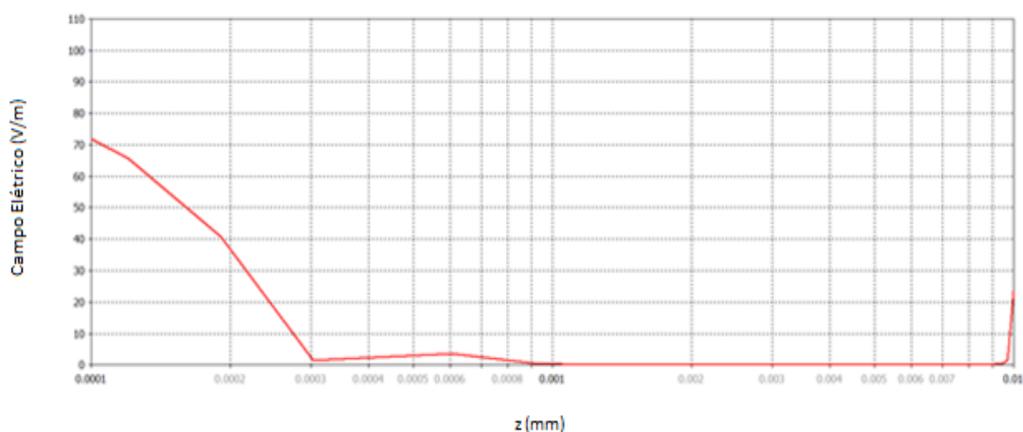


Figura 5 – Penetração do campo elétrico ao interior da banana ao longo do eixo z definido na simulação computacional, desconsiderando a superfície de $0,1\mu\text{m}$.

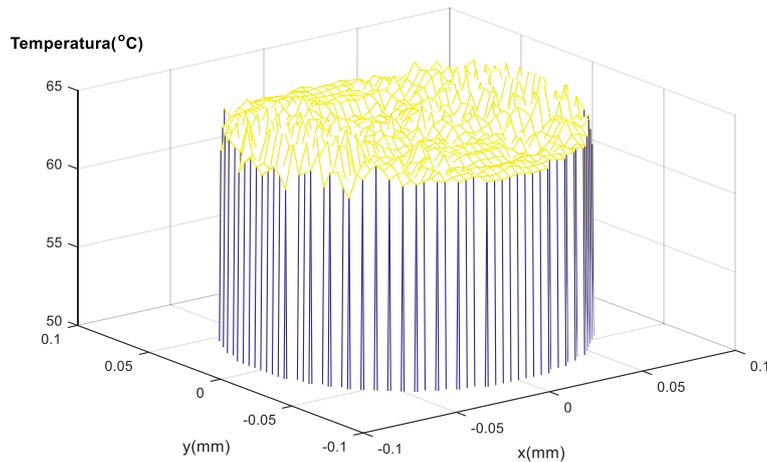


Os resultados da simulação mostraram que a distribuição da energia IR na superfície da banana submetida à radiação IR foi homogênea, o que evita o surgimento de pontos de queima (“hotspots”) no alimento. O campo elétrico médio obtido das componentes E_x , E_y e E_z foi 261,27 V/m.

Por outro lado, a intensidade do campo diminuiu intensamente a partir da superfície sendo praticamente nulo a partir de $0,3\mu\text{m}$. Isto significa que o aquecimento por IR pode ser considerado praticamente superficial.

A Figura 6 mostra a temperatura obtida a partir da Equação 1, após 6 minutos de aquecimento.

Figura 6 – Temperatura na superfície de incidência da radiação infravermelha após 6 minutos.

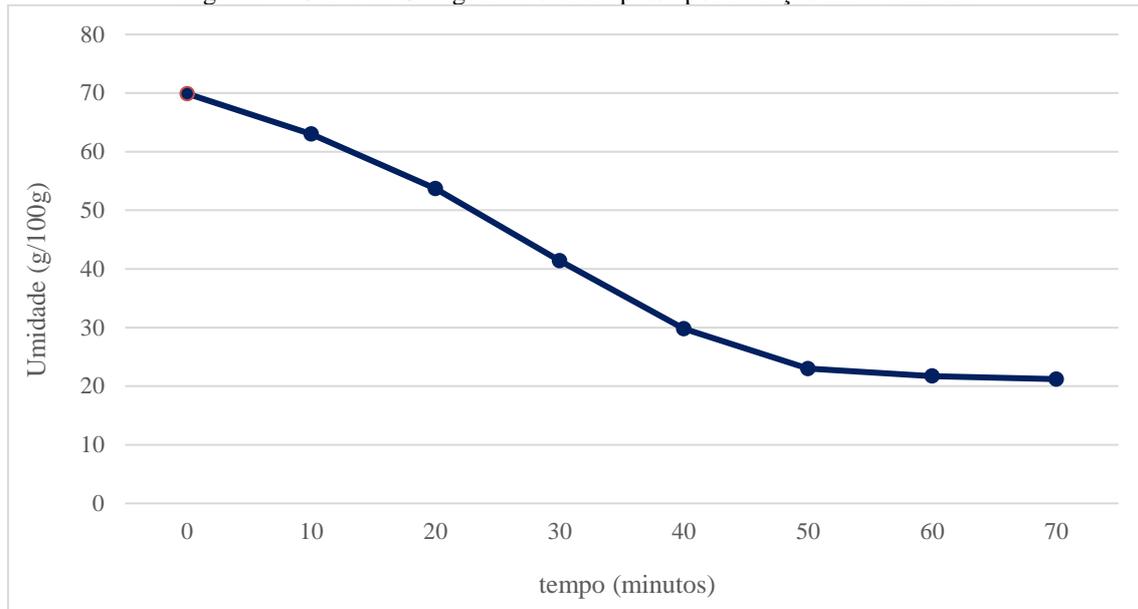


A temperatura na superfície da banana aumentou rapidamente, atingindo o valor médio de 63,4 °C em 6 minutos, que é equivalente à temperatura usual do processo de secagem (entre 60 a 70 °C). Esse valor serve de referência para a comparação entre os processos de secagem por convecção e IR. A absorção de energia IR na superfície da banana é muito mais rápida no início do processo e depois se equilibra com a difusão do calor para o interior da fruta e os fenômenos convectivos nas superfícies.

A densidade de potência IR aplicada à amostra de banana influencia no tempo de secagem, como confirmado pelos resultados da simulação computacional e os estudos anteriores. Maiores densidades de potência IR aplicadas ao alimento aceleram o aquecimento inicial. Pekke e colaboradores (2013) utilizaram radiação IR com densidade de potência de 4600 W/m² para secar fatias de 5 mm de banana. Neste trabalho, o tempo para atingir a temperatura de 60 °C foi igual a 2 minutos. Pan e colaboradores (2008) encontraram tempo de 4 minutos para que a temperatura atingisse aproximadamente 60 °C utilizando fonte IR com potência de 3000 W/ m². Devido à menor densidade de potência IR aplicada (1200 W/ m²), justifica-se o tempo obtido pela simulação computacional neste trabalho, maior que os resultados anteriores.

Os resultados do experimento utilizando o protótipo podem ser observados na cinética de secagem obtida na curva da Figura 7.

Figura 7 – Curva de Secagem da banana passa por radiação infravermelha



A redução de cerca de 70 % da umidade ocorreu em aproximadamente 50 minutos, quando as medidas de massa da amostra começaram a se estabilizar. Pekke e colaboradores (2008) encontraram redução de aproximadamente 70% de umidade em cerca de 25 minutos, entretanto, utilizando secagem por IR com maior densidade de potência aplicada (4600 W/m^2).

A taxa de redução da umidade foi significativamente maior que os processos por convecção forçada. Oliveira e colaboradores (2017) obtiveram as curvas de secagem da banana prata dispostas em bandejas de um secador com circulação de ar a $60 \text{ }^\circ\text{C}$. Neste trabalho, a amostra de banana desidratada alcançou a umidade de 18% em mais de 8 horas. Hanauer e colaboradores (2015) obtiveram resultados semelhantes em 10 horas. Borges e colaboradores (2010) avaliaram as curvas de secagem da banana prata alterando a geometria da fatia, a velocidade do ar de convecção e sua temperatura. A maior taxa de secagem para a banana prata foi obtida nas condições de ar a $70 \text{ }^\circ\text{C}$, com velocidade $0,42 \text{ m/s}$ e formato de corte em fatias em forma de disco. Com estas condições, a amostra de banana teve redução de 60 % na umidade em aproximadamente 3 horas.

Portanto, os resultados encontrados na simulação computacional e no experimento foram coerentes com os estudos prévios sobre a secagem da banana.

O aspecto final do produto pode ser visualizado na Figura 8, que mostra a banana desidratada após 70 minutos, embalada para os testes de umidade. Observa-se que não há a formação de pontos de queima (“hotspots”) na superfície do alimento. O valor final de

umidade 21,2 g/100 g está de acordo com o requerido para comercialização do produto (Jesus et al., 2005).

Figura 8 – Aspecto final da banana desidratada



4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso da radiação infravermelha mostrou-se um método rápido e eficiente de secagem da banana prata. A simulação computacional confirmou as condições observadas em trabalhos anteriores, podendo-se, portanto, considerar o processo de secagem da banana por radiação infravermelha como um problema de difusão de calor da superfície ao interior da fruta. Além disso a modelagem computacional permitiu a previsão de parâmetros de aquecimento para a realização do experimento. Houve significativa redução do tempo de secagem em relação ao processo de convecção forçada, sem a produção de pontos de queima (“hotspots”) na banana desidratada. Como continuidade desse trabalho está sendo verificada a interferência do processo de secagem por radiação infravermelha na qualidade do produto.

REFERÊNCIAS

Aboud, S. A.; Altemimi, A.B.; Al-Hilphy.; A.R.S.; Yi-Chen, L.; Cacciola, F. A. Comprehensive Review on Infrared Heating Applications in Food Processing. *Molecules* 2019, n. 24, p. 1-21.

Alvarado, J.D. Propiedades físicas de fruta: difusividade y conductividade térmica efectiva de pulpas. *Latin American Applied Research*, 1994, v. 24, n. 1, p. 41-47.

Borges, S.V.; Mancini, M.C.; Corrêa, J.L.G.; Leite, J. Secagem de Banana Prata e d`água por convecção forçada. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 2010, v.30, n. 3, p. 605-612.

Baptestini, F.M.; Corrêa, P.C.; Oliveira, G.H.H.; Botelho, F.M.; Oliveira, A.P.L. Coeficientes de transferência de calor e massa e modelagem da secagem por infravermelho de fatias de banana. *Revista Ceres*, 2017, v.64, n.5, p.

Embrapa -Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. A cultura da banana.Coleção Plantar. Embrapa Informação Tecnológica. 2006. 110p.

GE Lighting Technical Catalogue. European Edition. Disponível em <https://docs.rs-online.com/e205/0900766b800b1b47.pdf>. Acesso em 07/03/2021

Hanauer, D. C.; Matiello, E. R; Paini, F. M.; Bueno, P. F. Secagem de Duas Cultivares de Banana em Estufa com Circulação de Ar em Diferentes Temperaturas Revista do Congresso Sul Brasileiro de Engenharia de Alimentos, 2015, v.1. n. 1, disponível em <https://www.revistas.udesc.br/index.php/revistacsbea/issue/view/446>, acesso em 07/03/2021.

IAL -Instituto Adolfo Lutz. Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz. v. 1: Métodos químicos e físicos para análise de alimentos, 3. ed. São Paulo: IMESP, 2005. p. 98-99. 013/IV Perda por dessecação (umidade) – Secagem em estufa a vácuo

Khampakool, A.; Soisungwan, S.; Park, S.H. Potential application of infrared assisted freeze drying (IRAFD) for banana snacks: Drying kinetics, energy consumption, and texture. *LWT - Food Science and Technology*, 2019, n. 99, p. 355–363.

Krishnamurthy, K.; Khurana, H.K.; Jun, S.; Yrudayaraj, J.; Demirci A. Infrared Heating in Food Processing: An Overview. *Comprehensive Reviews in Food and Science and Food Safety*. Institute of Food Technologists, 2008, v. 7, n.1, p. 2-13.

Jesus, S. C.; Matsuura F.C.A.U.; Folegatti, M.I.S; Cardoso, R.L. Avaliação de banana-passa obtida de frutos de diferentes genótipos de bananeira. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 2005, vol. 40. n.6, p. 573-579.

Monteiro, R.L.; Secagem de Banana (var. Prata) em campo de micro-ondas com vácuo contínuo ou intermitente. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina, 2014, 138 p.

Oliveira, J.P.; Araujo, C.I.A.; Alves, E.E.; Souza T.I.M, J.; Chauca, M.N.C.; Careli, R.T. Desidratação de Banana Prata Anã Saborizada com Canela. *Caderno de Ciência Agrária*, 2017, v. 9, n.3, p. 17-23.

Öztürk, S.; Sakiyan, Ö. Alifaki, Y, Ö. Dielectric properties and microwave and infrared-microwave combination drying characteristics of banana and kiwifruit. *Journal of food Process Engineering*, 2017, v. 40. p.1-8.

Pan, Z.; Shih,C.; McHugh,T.H.; Hirschberg, E. Study of banana dehydration using sequential infrared radiation heating and freeze-drying. *LWT - Food Science and Technology*, 2008, v. 41, p.1944 -1951.

Pekke, M. K.; Pan, Z.; Griffiths, G.A.; Smith, G.; Thompson J.F. Drying Characteristics and Quality of Bananas Under Infrared Radiation Heating. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 2013, v. 6, n.3, p. 58-70.

Rabello, A. A.; Silva E.J.; Vollaire C.; Nicolas. A. Adaptive Time-Stepping of Non Linear Microwave Problems. *IEEE Transactions on Magnetics*. 2005, v. 41, p. 1584–1587.

Riadh, M. H.; Ahmad B. S. A.; Marhaban, M. H.; Soh, A.C. Infrared Heating in Food Drying: An Overview. *Drying Technology*, 2015, v. 33, p. 322–335

Sakare, P.; Prasad,N.; Thombare,N.; Singh, R.; Sharma, S.C. Infrared Drying of Food Materials: Recent Advances. *Food Engineering Reviews*, 2020, v. 12. Pg. 381–398

Tavone, L.A.S; Arévalo, C.R.B; Pinedo, A.A.; Maldonado, C.A.B.; Pizato, S.; Pinedo, R.A. Comparação de modelos matemáticos da cinética de secagem de banana pão/sapo em estágio verde de maturação. *Brazilian Journal of Development*, 2020, v. 6, n. 6, p.35611-35622.

Türkan,B.; Etemoğlu, A.B. Experimental and theoretical investigation of drying kinetics of banana slices. *Pamukkale University Journal of Engineering Sciences*, 2020, v. 26, n.4, p. 643-653