

# **Estudo da cinética de calor durante o processamento térmico em polpa de manga armazenada em recipiente cilíndrico**

Willian Oliveira Santos<sup>1</sup>, João Carlos Rocha de Araújo<sup>2</sup>, Jair Stefanini Pereira de Ataíde<sup>3</sup>, Vera Solange de Oliveira Farias<sup>3</sup>, Célia Maria Rufino Franco<sup>3</sup>, Aluizio Freire da Silva Júnior<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Aluno do curso de Licenciatura em Física, Unidade Acadêmica de Física e Matemática, Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Cuité/PB – Brasil

<sup>2</sup> Aluno da Pós-Graduação do curso de Física da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Lagoa Nova, Natal-RN, Brasil

<sup>3</sup> Professor(a) Doutor(a) da Unidade Acadêmica de Física e Matemática, Centro de Educação e Saúde, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG – Cuité/PB – Brasil

## **Resumo**

Este trabalho tem como objetivo principal realizar um estudo teórico-experimental do processo de tratamento térmico de produtos alimentares. Solução numérica da equação de difusão, pressupondo condição de contorno constante de primeiro tipo, foi aplicada na descrição da penetração de calor em polpa de manga acondicionada em recipientes cilíndricos, envolvendo a determinação de parâmetros termofísicos relativos ao produto. Para isto a equação de difusão unidimensional escrita em coordenadas cilíndricas foi discretizada usando o método de volumes finitos, com uma formulação totalmente implícita. O sistema físico experimental consistiu de um recipiente cilíndrico de alumínio que foi preenchido com polpa de manga. Com o intuito de se obter a cinética de penetração do calor, um termopar foi inserido no centro geométrico do cilindro. A partir dos dados experimentais, um valor para a difusividade térmica constante foi estimado, por otimização utilizando um software desenvolvido para se estudar o processo de difusão em corpos com forma cilíndrica. O resultado obtido para a difusividade térmica quando comparado aos valores da literatura, mostrou-se coerente. Foi possível concluir que através de simulações é possível precisar o tempo adequado de tratamento térmico, tornando desnecessária a realização de experimentos a cada vez que um novo recipiente cilíndrico for utilizado para armazenar o produto.

Palavras-chave: difusividade térmica; equação de difusão; geometria cilíndrica; polpa de manga; otimização.

## 1. Introdução

A produção e a comercialização de produtos alimentícios explorados na agricultura, sempre foi alvo da economia mundial e contribuinte para o PIB (Produto Interno Bruto) do País. Assim como os alimentos originários da atividade zootécnica, a produção de vegetais requer técnicas agronômicas visando o melhor rendimento e qualidade do produto. Neste processo, para que os alimentos mantenham sua qualidade, são necessárias técnicas de conservação e transformação (OETTERER, 2006), através dos quais se possam conhecer melhor suas propriedades físicas e manter a qualidade final dos produtos. A fim de avaliar os riscos à saúde do consumidor e o desempenho do controle higiênico-sanitário é necessário a análise microbiológicas dos alimentos. Sendo assim, são feitos estudos sobre a composição e características físicas dos mesmos.

As técnicas de conservação têm o objetivo de preservar os alimentos pelo maior período de tempo possível, sob condições sanitárias e organolépticas satisfatórias. Esses processos de conservação baseiam-se na eliminação parcial ou total dos agentes capazes de alterar os alimentos (ORDONEZ, 2005; FELLOWS, 2006). O processo de transferência de calor é um dos métodos mais antigos utilizados para a conservação de alimentos e é definido como a transmissão de energia térmica devido a uma diferença de temperatura em um meio ou, ainda, entre meios diferentes. Pode ocorrer de três maneiras: condução, convecção e radiação, sendo que muitas vezes considera-se que a transferência de calor ocorre apenas por condução.

Para descrever o transporte de calor durante o tratamento térmico, a geometria e dimensões do recipiente que acondiciona o produto são importantes, assim como o conhecimento das propriedades termofísicas do recipiente e do produto dentro dele. Uma propriedade física importante que está relacionada com o transporte de energia é a difusividade térmica. Dincer e Genceli (1995) argumentam que o significado físico da difusividade térmica está associado à difusão de calor dentro do produto durante as mudanças da temperatura com o tempo. Um elevado valor da difusividade térmica significa uma rápida transferência do calor dentro do produto e pouco tempo para o calor sair do corpo. Na literatura encontram-se vários modelos específicos para cada produto estudado, que são úteis na predição dos valores da difusividade térmica de alimentos (KIZILTAS et al., 2010; TRES et al., 2011; SILVA et al., 2011; ABAKAROV and NUÑEZ, 2013; RUIZ-CABRERA et al., 2014; MOHAMED, 2015; ABBASNEZHAD et al. 2016, HONG et al.; 2017; SILVA et al., 2017). Em vários trabalhos, usam-se valores constantes dessas propriedades térmicas (CARCIOFI et al., 2002; PLAZL et al., 2006; BETTA et al., 2009, UKRAINCZYK, 2009; ARAÚJO et al., 2016).

Simões e Murr (2000) determinaram a difusividade térmica para quatro amostras diferentes da polpa de manga (polpa Integral, peneirada, centrifugada e concentrada), usando o método utilizado por Silva (1997). Os autores verificaram a influência dos sólidos solúveis e insolúveis. Os resultados encontrados para a difusividade térmica das polpas integral, centrifugadas e peneiradas mostraram que os sólidos insolúveis não apresentam grande influência no cálculo da difusividade térmica. Já as polpas concentradas apresentaram uma redução da difusividade térmica quando se aumentou a concentração de sólidos solúveis.

Peng et al. (2017) investigaram a aplicação de micro-ondas no processo térmico de pasteurização de vegetais pré-embalados. Eles utilizaram um sistema de pasteurização assistido por micro-ondas (MAP), desenvolvido especialmente para análise de cenoura pré-

embalada. Dois processos foram desenvolvidos e direcionados aos esporos de *Clostridium botulinum* tipo E. Os resultados obtidos foram comparados com os processos convencionais de água quente (HW) e mostraram segurança microbiana equivalente. Entretanto, o processo MAP proporcionou uma redução significativa no tempo de processamento total, reduziu os valores de cozimento e melhorou a uniformidade da qualidade dos produtos.

Este trabalho apresenta um estudo teórico-experimental na descrição do processo transiente da penetração de calor em polpa de manga acondicionada em recipiente com geometria cilíndrica, considerando que o fluxo de calor ocorre apenas na direção radial. Para isso, foi usada a solução numérica da equação de difusão unidimensional, pressupondo condição de contorno prescrita. A difusividade térmica, considerada como um parâmetro constante, foi determinada por otimização usando dados experimentais.

A necessidade de estudos como esse, faz deste trabalho uma importante linha de pesquisas no que se diz respeito a uma melhor qualidade de produtos alimentícios nas indústrias brasileiras, tendo em vista a importância de estudar suas propriedades termo- físicas e tentar reduzir ao máximo a quantidade de micro-organismos presentes no interior de embalagens ou recipientes industriais.

## 2. Materiais e Métodos

Nesta seção são apresentadas a Modelagem Matemática e Metodologia Experimental. A modelagem matemática baseia-se na equação de difusão transiente unidimensional e o sistema de coordenadas cilíndricas é usado para descrever o fenômeno da condução de calor.

### 2.1- Modelagem matemática

De uma forma geral, a equação de difusão pode ser escrita do seguinte modo (SILVA, 2010):

$$\frac{\partial(\lambda\Phi)}{\partial t} = \nabla \cdot (\Gamma^\Phi \nabla \Phi) + S^\Phi \quad (1)$$

em que  $\Phi$  é a variável de interesse no processo difusivo,  $\lambda$  e  $\Gamma^\Phi$  são os parâmetros de processo e  $S^\Phi$  é o termo fonte.

Para a geometria cilíndrica, em que o comprimento é muito maior que o raio,  $L \gg 10R$  (cilindro infinito) a equação de difusão unidimensional aplicada ao transporte de uma propriedade é dada por (SILVA, 2010):

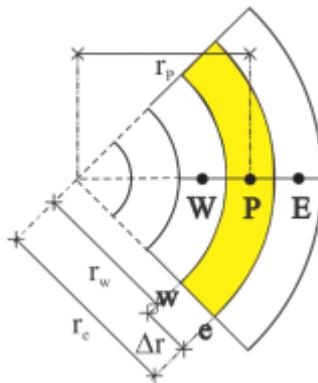
$$\frac{\partial(\lambda\Phi)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r \Gamma^\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right) + S^\Phi \quad (2)$$

em que  $r$  define a posição de um ponto em relação ao eixo central do cilindro.

Fazendo  $\lambda = \rho c_p$ ,  $\Gamma^\Phi = k$ ,  $\Phi = T$  e  $S^\Phi = 0$ , a Eq (2) pode ser reescrita para descrever o fenômeno de transporte de calor na direção radial em um meio estacionário, considerado como um cilindro infinito, do seguinte modo:

$$\frac{\partial(\rho c_p \Phi)}{\partial t} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( r k \frac{\partial T}{\partial r} \right) + S^\Phi \quad (3)$$

Devido à hipótese da simetria radial, foi considerado apenas um setor circular, no qual foi criada uma malha uniforme unidimensional. Na malha construída existem três tipos de volumes de controle: os volumes de controle internos, os quais possuem volumes de controle vizinhos a oeste e a leste; o volume de controle externo a leste, o qual possui volume de controle vizinho a oeste e está em contato com o meio externo a leste (E); e finalmente o primeiro volume de controle que possui vizinho a leste e fluxo zero a oeste (W). Estes tipos de volumes de controle podem ser vistos na Fig. 1.



**Figura 1.** Tipos de Volumes de controle para o caso unidimensional.  
FONTE: SILVA JUNIOR, 2015.

Usando o método dos volumes finitos com uma formulação totalmente implícita para integrar a Eq. (2) no espaço ( $2\pi r_p \Delta r L$ ) e no tempo ( $\Delta t$ ), sem o termo fonte, obtém-se o seguinte resultado para o volume de controle P (SILVA 2010; SILVA JUNIOR, 2015):

$$\frac{\lambda_p \Phi_P - \lambda_p^0 \Phi_P^0}{\Delta t} r_p \Delta r = \left( r_e \Gamma_e^\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial r} \Big|_e - r_w \Gamma_w^\Phi \frac{\partial \Phi}{\partial r} \Big|_w \right) \quad (4)$$

onde o sobrescrito 0 significa “tempo anterior” e sua ausência significa “tempo atual”.

### 2.1.1-Volumes internos

Os volumes de controle internos não têm contato com o meio externo e possuem dois volumes de controle vizinhos, um a oeste e outro a leste (Fig.1). Para estes volumes de controle, a derivada parcial pode ser aproximada do seguinte modo:

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right|_e \cong \frac{\Phi_E - \Phi_P}{\Delta r} \quad (5)$$

e

$$\left. \frac{\partial \Phi}{\partial r} \right|_w \cong \frac{\Phi_P - \Phi_W}{\Delta r} \quad (6)$$

A partir da Equação (4), a equação discretizada para um volume interno pode ser escrita do seguinte modo:

$$A_w \Phi_W + A_p \Phi_P + A_e \Phi_E = B \quad (7)$$

onde

$$A_w = -\frac{r_w}{\Delta r} \Gamma_w^\Phi; \quad (8)$$

$$A_p = \frac{\lambda_p r_p \Delta r}{\Delta t} + \frac{r_e}{\Delta r} \Gamma_e^\Phi + \frac{r_w}{\Delta r} \Gamma_w^\Phi; \quad (9)$$

$$A_e = -\frac{r_e}{\Delta r} \Gamma_e^\Phi; \quad (10)$$

$$B = \frac{\lambda_p^0 r_p \Delta r}{\Delta t} \Phi_P^0 \quad (11)$$

Equações semelhantes são obtidas para os outros volumes do controle, a partir da Equação 4, aplicando a condição de contorno de primeiro tipo para o volume mais externo (volume N) e a condição de simetria para o volume mas interno, denominado de volume 1

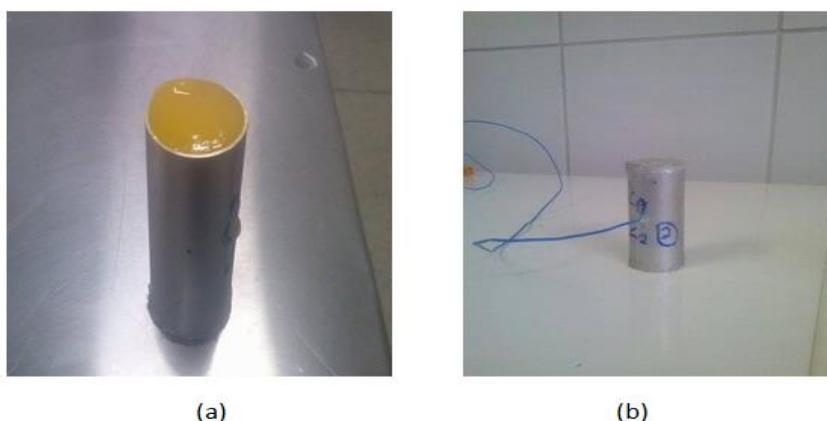
### **2.1- Metodologia experimental**

O procedimento experimental foi realizado no Laboratório de Tecnologia de Alimentos, do Centro de Educação e Saúde da Universidade Federal de Campina Grande, campus de Cuité, Paraíba.

A matéria-prima utilizada foi a manga (*Mangifera indica L.*) pertencente à família *Anacardiaceae*. O produto foi adquirido na feira livre local e a sua escolha caracterizou-se por

fruto saudável e que apresenta polpa firme. Inicialmente, os frutos foram higienizados em água corrente e, em seguida, descascados e cortados para serem transformados em polpas utilizando um microprocessador. As polpas, obtidas sem a adição de água, foram armazenadas em depósitos plásticos, que permaneceram na bancada do laboratório, por aproximadamente 24 h, para que a produto entrasse em equilíbrio térmico com o ambiente, que possui climatização controlada.

Um recipiente cilíndrico de alumínio com comprimento de 160 mm e um diâmetro medindo 31,30 mm foi confeccionado com o objetivo de acondicionar o produto a ser submetido ao tratamento térmico. Antes de ser preenchido com a polpa, um pequeno furo foi realizado na metade do comprimento do cilindro para que fosse possível introduzir um fio do termopar (Tipo k). Após a colocação do termopar, o mesmo foi vedado com o adesivo de silicone no intuito de melhorar a fixação do termopar e impedir que houvesse vazamento do produto ou mesmo a penetração de água durante o processo de aquecimento. Em seguida, as polpas, que já se encontravam em equilíbrio térmico com o ambiente, foram colocadas dentro do recipiente até o mesmo ficar totalmente preenchido, conforme mostrado na Figura 2a. O recipiente foi então tampado e vedado com cola e silicone. A próxima etapa consistiu em colocar o termopar no centro geométrico do recipiente, já que esse é o ponto de interesse da análise, fixando-o com um pouco de cola silicone de tal forma que o mesmo ficasse bem posicionado (Figura 2b). Após esse procedimento, o termopar foi conectado ao termômetro digital, modelo TH - 095, que possui dois canais e pode ser alimentado através de uma bateria ou uma fonte de 9 V.



**Figura 2.** (a) Polpa inserida no tubo cilíndrico; (b) Recipiente pronto para a pasteurização

É importante destacar que a experiência realizada nessa pesquisa teve o intuito de propor um tratamento térmico no qual o centro geométrico da amostra, considerado como o ponto mais crítico, atingisse o equilíbrio térmico com toda a amostra. Dessa forma, com o pasteurizador/processador Etiel PP - 30 L corretamente instalado, colocou-se água no tanque interno para ser aquecida a uma temperatura 65 °C. Quando esta temperatura foi atingida, o recipiente preenchido com a polpa foi colocado no pasteurizador, permitindo que a amostra fosse aquecida em banho-maria, lentamente até que o ponto crítico atingisse a temperatura

desejada. Esse procedimento levou cerca de 30 minutos e os dados foram coletados em instantes previamente determinados.

A difusividade térmica foi considerada constante e obtida através de otimização utilizando o software “Infinite Cylinder” desenvolvido por SILVA 2010, que também simula a transferência de calor e apresenta gráficos para a interpretação dos resultados numéricos obtidos.

### 3. Resultados e Discussão

#### 3.1- Resultados

Com o intuito de encontrar a difusividade térmica aparente, foram utilizados os parâmetros da Tabela 1, bem como os dados obtidos experimentalmente.

**Tabela 1.** Arquivo com dados informados para otimização da experiência

Raio (m)	Volumes de controle	Temperatura inicial (°C)	Temperatura final (°C)	Nº de passos no tempo (s)	Nó escolhido
$1,565 \times 10^{-2}$	100	22,2	65,4	2000	1

Os resultados obtidos no processo de otimização são apresentados na Tabela 2

**Tabela 2.** Resultados do processo de otimização.

$\alpha$ (m <sup>2</sup> s <sup>-1</sup> )	$\chi^2$	R <sup>2</sup>
$1,6684449 \times 10^{-7}$	79,34926	0,9982482

Dantas Junior et. al (2007), encontraram um valor para difusividade térmica da polpa de manga espada de  $1,465 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , utilizando o método criado por Dickerson (1965).

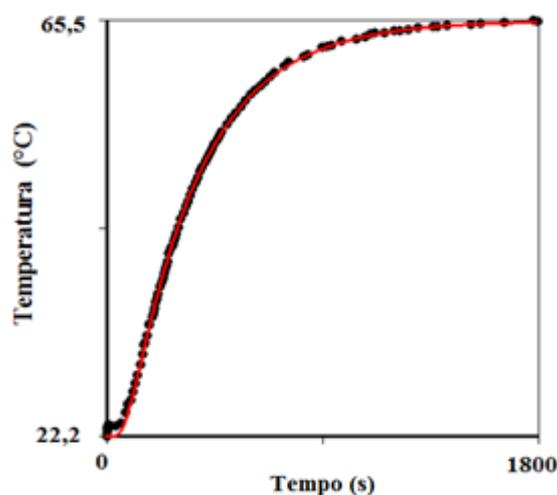
Os resultados encontrados por Simões e Murr (2000) para a difusividade térmica das polpas de manga integral, centrifugadas e peneiradas variaram entre  $1,38 \times 10^{-7}$  a  $1,41 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ . Por outro lado, as polpas concentradas apresentaram uma diminuição da difusividade térmica quando se aumentou a concentração de sólidos solúveis, obtendo-se um valor de  $1,28 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

Silva et. al (2010), usando o método de FLASH, encontraram valores para difusividade térmica da acerola que variaram de  $1,88$  a  $2,14 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ , enquanto Silva et al. (2017), ao considerar a difusividade térmica como um parâmetro constante, obteve o valor de  $1,3738 \times 10^{-7} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ .

Assim, os resultados obtidos para a difusividade térmica na otimização feita neste trabalho, bem como o método empregado, são coerentes quando comparados com resultados reportados na literatura para estudos similares. Portanto, é possível concluir que a difusividade térmica pode ser expressa por uma constante, da mesma forma que foi tratada em alguns trabalhos aqui referenciados.

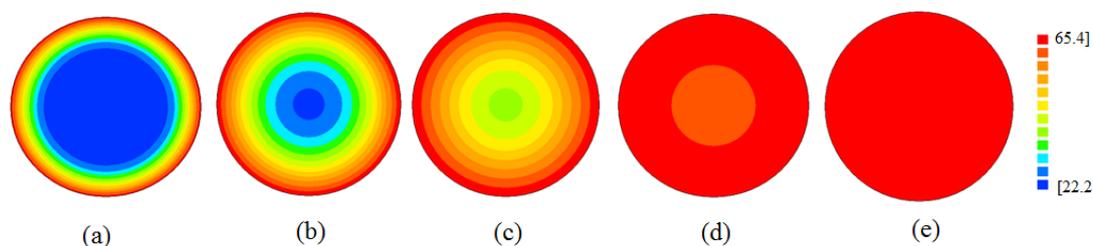
Usando o valor determinado para a difusividade térmica e simulando as condições experimentais, é possível descrever a cinética de transferência de calor e prever a distribuição de temperatura no interior do recipiente para vários instantes de tempo.

A Figura 3 mostra a superposição dos dados experimentais e da cinética de temperatura simulada numericamente no centro do recipiente.



**Figura 3.** Gráfico representando a penetração de calor a partir da simulação numérica e os dados obtidos experimentalmente no centro do recipiente.

A Figura 4 mostra gráficos de contorno que apresentam a distribuição da temperatura na seção transversal do cilindro em cinco instantes diferentes do processo de aquecimento.



**Figura 4.** Distribuição das temperaturas no interior da polpa de manga nos instantes: (a) 5 min; (b) 10 min; (c) 15 min; (d) 25 min; (e) 30 min.

O gráfico da Figura 3 mostra, visualmente, que há uma boa concordância entre os dados obtidos experimentalmente e a curva obtida através da simulação, permitindo afirmar que a condição de contorno de primeiro tipo é certamente adequada para o tipo de recipiente utilizado para armazenar a polpa. Neste mesmo gráfico pode-se verificar ainda que a temperatura de equilíbrio é atingida após 30 minutos, em todos os pontos do recipiente.

Através de uma inspeção das Figuras 3 e 4 é possível observar que o comportamento da temperatura no centro geométrico apresenta uma evolução, no início do aquecimento, com um fator de atraso. Consequentemente, a temperatura de equilíbrio no centro é atingida com um tempo maior do que a da superfície. As curvas isotérmicas mostram que a cinética da propagação do calor ocorre da superfície externa para o centro, sendo neste ponto o aquecimento mais lento do que nas extremidades. Devido a este fato, frequentemente o ponto central é escolhido para ter o estado transiente acompanhado durante o aquecimento.

Desta forma, destaca-se a importância deste trabalho, no que diz respeito à possibilidade de realizar simulações de aquecimento de produtos pastosos contidos em recipientes cilíndricos. É possível garantir, através de simulações, que a região menos favorável do produto também tenha alcançado a temperatura de tratamento (equilíbrio térmico). Sendo assim, as dimensões das embalagens podem ser alteradas sem que para isso se faça necessário o investimento em experimentos, possibilitando a redução dos custos.

#### **4. Conclusões**

Os procedimentos empregados para calcular os parâmetros termofísicos e simular o processo de otimização a partir dos dados experimentais se mostraram adequados, pois os resultados obtidos para a difusividade térmica são coerentes quando comparados com dados da literatura para estudos similares. Uma vez conhecido o valor da difusividade térmica, foi possível definir o tempo necessário para que a polpa acondicionada em um recipiente com geometria cilíndrica entre em equilíbrio térmico com uma temperatura previamente definida, através de simulações. Dessa forma, torna-se desnecessário a realização de experimentos a cada vez que um recipiente cilíndrico com diferentes dimensões for utilizado para acondicionar o produto. Apenas os resultados das simulações numéricas são suficientes para se estabelecer o tempo de processo adequado para a inativação de agentes patogênicos.

A metodologia utilizada é capaz de identificar o ponto com maior fator de atraso no processo da condução de calor e, assim, possibilitar que a cinética de aquecimento de tal ponto possa ser descrita. Consequentemente, pode-se garantir que a temperatura de inativação dos agentes patogênicos seja atingida. Se o ponto com maior fator de atraso atinge a temperatura na qual os agentes patogênicos são inativados, então todos os outros pontos já atingiram essa temperatura.

## 5. Referências

- ABAKAROV, A.; NUÑEZ, M.; Thermal food processing optimization: Algorithms and software. *Journal of Food Engineering*, v. 115, n. 4, p.428-442, 2013.
- ABBASNEZHAD, B.; HAMDAMI, N.; MONTEAU, J.Y.; VATANKHAH, H.; Numerical modeling of heat transfer and pasteurizing value during thermal processing of intact egg. *Food Science & Nutrition*, v.1, p.42-49, 2016.
- ARAÚJO, L.F.; FARIAS, V.S.O.; AMARAL, S.L.D.; ATAÍDE, J.S.P.; SILVA, W.P., OLIVEIRA, M.E.G. Influência da imposição de uma difusividade térmica variável durante a pasteurização de polpas de frutas, Livro do II Encontro Nacional da Agroindústria: Desafios da Agroindústria no Brasil, v.1, p. 205-210, 2016.
- BETTA, G.; RINALDI, M.; BARBANTI, D.; MASSINI, R. A quick method for thermal diffusivity estimation: application to several foods. *Journal of Food Engineering*, v. 91 p. 34-41, 2009.
- CARCIOFI, B.A.M.; FAISTEL, J.; ARAGÃO, G.M.F.; LAURINDO, J.B. Determination of thermal diffusivity of mortadella using actual cooking process data. *Journal of Food Engineering*, v. 55, p. 89-94, 2002.
- DANTAS JUNIOR, E.E.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIREDO, R.M.F. Determinação da difusividade térmica da polpa da manga espada. *Revista Educação Agrícola Superior*, v.22, n.1, p.43-46, 2007.
- DINCER, I; GENÇELI, O.F. Cooling process parameters of cylindrical products cooled both in water and in air. *Int. J. Heat mass transfer*. 1995.
- FELLOWS, P. *Food processing technology: principles and practice*. CRC. 2. ed., 2006.
- HONG, Y.K.; HUANG, L.; YOON, W.B.; LIU, F.; TANG, J. Mathematical modeling and Monte Carlo simulation of thermal inactivation of non-proteolytic *Clostridium botulinum* spores during continuous microwave- assisted pasteurization. *Journal of Food Engineering*. V.190, p. 61-71, 2016.
- KIZILTAS, S.; ERDOĞDU, F.; KORAY PALAZOĞLU, T. Simulation of heat transfer for solid-liquid mixtures in cans and model validation under pasteurization conditions. *Journal of Food Engineering*, v. 97, n. 4, p. 449 – 456, 2010.
- MOHAMED, I.O.; Determination of Cold Spot Location for Conduction-Heated Canned Foods Using an Inverse Approach, *International Journal of Food Processing Technology*, v. 2, p.10-17. 2015.

OETTERER, M.; REGITANO D'ARCE, M.A.B.; SPOTO, M.H.F. Fundamentos de Ciência e Tecnologia de Alimentos. Barueri: Manole, Pp. 99-134, 2006.

ORDONEZ, J.A. Tecnologia de alimentos - Componente dos alimentos e processos. Editora Artmed, v.1, Porto Alegre - RS, 2005.

PENG, J.; TNAG, J.; LUAN, D.; LIU, F.; TANG, Z. LI, F.; ZHANG, W. Microwave Pasteurization of Pre-packaged Carrots. Journal of Food Engineering. 10.1016/j.jfoodeng.2017.01.003. 2017.

PLAZL, I.; LAKNER, M.; KOLOINI, T. Modeling of temperature distributions in canned tomato based dip during industrial pasteurization. Journal of Food Engineering, v. 75, n. 3, p. 400 – 406, 2006.

RAMPELOTTO, C. Pasteurização de Salsichas com Ultrassom e Micro-ondas. 2012. 81 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Santa Maria, 2012.

RUIZ-CABRERA, M. A.; DE ANDA-SALAZAR, A.; GONZÁLEZ-GARCÍA, R.; MIGUEL ABUD-ARCHILA, M.; GRAJALES-LAGUNES, A. Experimental and simulated thermal properties and process time for canned escamoles (*Liometopum apiculatum*) under sterilization conditions. CyTA - Journal of Food, v.1, p. 1-8, 2014.

SILVA JUNIOR, A.F. Desenvolvimento de ferramentas numéricas e computacionais para a descrição de transferência de massa em corpos cilíndricos: Aplicação em desidratação osmótica e secagem complementar de bananas. 239 f. Tese (Doutorado em engenharia de processos) Universidade Federal de Campina Grande-UFCG, PB, 2015.

SILVA, C.M.D.P.S. Difusão de Massa Em Corpos Cilíndricos: Modelagem e Desenvolvimento de Software Com Aplicação à Secagem de Bananas. 129 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010

SIMÕES e MURR. Determinação da difusividade térmica da polpa da manga. Acta Scientiarum, 22(5), p. 1225-1228, 2000.

SILVA, M.A.C.; SILVA, Z.E.; OLIVEIRA PEREIRA, E.; OLIVEIRA SANTOS, S.A.; SILVA, C.K.F. Determinação de propriedades termofísicas da polpa de acerola: Aplicação do Métodos de FLASH. VI congresso nacional de engenharia mecânica- CONEM 2010.

SILVA, W.P.; SILVA, C.M.D.P.S.; LINS, M.A.A. Determination of expressions for the thermal diffusivity of canned foodstuffs by the inverse method and numerical simulations of heat penetration. International Journal of Food Science and Technology, v. 46, n. 4, p. 811–818, 2011.

SILVA, W.P.; ATAÍDE, J.S.P.; OLIVEIRA, M.E. G.; SILVA, C.M.D.P.S.; NUNES, J.S. Heat transfer during pasteurization of fruits pulps stored in containers with arbitrary geometries obtained through revolution of flats areas. *Journal of Food Engineering*, p. 58-67, 2017

TRES, M.V.; BORGES, G.R.; CORAZZA, M.L.; ZAKRZEVSKI, C.A. Determinação da difusividade térmica de alimentos: Medidas experimentais e simulação numérica. *Perspectiva*, v. 35, n. 131, p. 43 – 56, 2011.

UKRAINCZYK, N. Thermal diffusivity estimation using numerical inverse solution for 1 D heat conduction. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, v. 52, n. 25 – 26, p. 5675 – 5681, 2009.