

## UTILIZAÇÃO DE SISTEMA DE CONTROLE EM AMBIENTE LABVIEW PARA DETERMINAÇÃO DA CINÉTICA DE CONGELAMENTO DE *Physalis peruviana* L.

Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti-Mata<sup>1</sup>

Virgínia Mirtes de Alcântara Silva<sup>2</sup>

Newton Carlos Santos<sup>3</sup>

Manoel Tolentino Leite Filho<sup>4</sup>

Maria Elita Martins Duarte<sup>5</sup>

### Recursos Naturais

#### Resumo

A Caatinga possui uma grande variedade de frutas comestíveis, mas apenas uma fração desse potencial é conhecida, principalmente em espécies de pequenos frutos, ricos em nutrientes (vitaminas) e minerais e compostos bioativos (pigmentos, flavonóides, açúcares, esteróis e ácidos graxos). Dentre essa diversidade, encontra-se a família Solanaceae que apresenta 92 gêneros e cerca de 2300 espécies. O gênero *Physalis* é um representante dessa família que apresenta importância no ramo econômico, alimentício e terapêutico, sendo seu fruto utilizado na fabricação de polpa e doces. A qualidade dos frutos representa o fator de maior importância para o armazenamento, frutos são perecíveis, com isso o congelamento é a única técnica eficaz para a manutenção da qualidade. Portanto, os objetivos da presente pesquisa foram: 1. Determinar algumas características físicas da *physalis* a diferentes temperaturas como volume, raio que equivale a uma esfera de igual volume do fruto e densidade; 2. Realizar a curva de congelamento de *physalis* e a difusividade térmica efetiva à temperatura de 150°C através da aquisição de dados de temperatura utilizando a plataforma experimental.

Palavras-chave: Criogenia; Conservação; Perecibilidade; Frutas; Sistema de Aquisição de Dados

1. Coordenador do Programa de Pós-graduação em Engenharia e Gestão de Recursos Naturais, Universidade Federal da Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil, [mmata@deag.ufpb.br](mailto:mmata@deag.ufpb.br)

2. Dr. Engenharia e Gestão de Recursos Naturais - Universidade Federal da Campina Grande, Campina Grande, PB, Brasil, [virginia.mirtes2015@gmail.com](mailto:virginia.mirtes2015@gmail.com)

3. Aluno de mestrado em Engenharia Agrícola. Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/CTRN/UAEA - Campus Campina Grande – PB, [newtonquimicoindustrial@gmail.com](mailto:newtonquimicoindustrial@gmail.com)

4. Aluno de Doutorado em Engenharia de Processos - Universidade Federal de Campina Grande, UFCG, Brasil.

5. Coordenadora do Curso de graduação em Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Campina Grande – UFCG/CTRN/UAEA - Campus Campina Grande – PB, [elita@deag.ufpb.br](mailto:elita@deag.ufpb.br)

## INTRODUÇÃO

O Brasil possui grande diversidade de espécies de pequenos frutos distribuídos em seis biomas, pouco conhecidos e com potencial de inovação para a indústria alimentícia, farmacêutica e cosmética, devido a seus efeitos positivos na saúde e potencial de mercado. Dentre essa diversidade, encontra-se a família Solanaceae que apresenta 92 gêneros e cerca de 2300 espécies. O gênero *Physalis* é um representante dessa família que apresenta importância no ramo econômico, alimentício e terapêutico, sendo seu fruto utilizado na fabricação de polpa e doces. A Caatinga possui uma grande variedade de frutas comestíveis, mas apenas uma fração desse potencial é conhecida, principalmente em espécies de pequenos frutos, ricos em nutrientes (vitaminas) e minerais e compostos bioativos (pigmentos, flavonóides, açúcares, esteróis e ácidos graxos). De acordo com NILE & PARK (2014), esses compostos bioativos possuem propriedades biológicas como antimicrobiano, como antioxidante, anti-inflamatório, anti-cancerígeno, antiproliferativo, anti-neurodegenerativo, glicêmico e controle de peso, cardio-protetor e neuroprotetores. Almeida et al, (2019) realizaram a caracterização dos compostos bioativos da polpa de *Physalis*, a polpa in natura apresentou valores significativos de compostos fenólicos totais (208,93 mgGAE 100.g-1) com média atividade antioxidante sendo a maior atividade obtida pelo método ABTS+ (42,68  $\mu\text{mol Trolox.g}^{-1}$ ). A qualidade dos frutos representa o fator de maior importância para o armazenamento, frutos são perecíveis devido a elevação da taxa de respiração e ao aumento da temperatura diminuindo a sua vida útil, com isso o congelamento é a única técnica eficaz para a manutenção da qualidade. A criopreservação dos materiais biológicos a baixas temperaturas tornou-se um dos pilares para a tecnologia de alimentos, garantindo a conservação da diversidade genética. Segundo Cavalcanti-Mata et al., (2003) a velocidade de congelamento é um dos fatores mais importantes, visto que, os produtos biológicos apresentam teor de água elevado e o tamanho e a forma dos cristais de gelo estão relacionados as velocidades de congelamento. A velocidade do congelamento influencia tanto a localização quanto o tamanho e tipos dos cristais de gelo formados, quanto maior a taxa de congelamento, ou seja, com o mínimo deslocamento de água ocorre a formação de pequenos cristais de gelo esféricos e em grande quantidade. Já no congelamento lento, os cristais são maiores e em menor quantidade de formato angular, ocasionando o desnaturamento dos constituintes coloidais da célula levando a ruptura de seus constituintes. Portanto, os objetivos da presente pesquisa foram: 1.Determinar algumas características físicas da *physalis* a diferentes temperaturas como volume, raio que equivale a uma esfera de igual volume do fruto e densidade; 2. Realizar a curva de congelamento de *physalis* e a difusividade térmica efetiva à temperatura de 150°C através da aquisição de dados de temperatura utilizando a plataforma experimental.

## METODOLOGIA

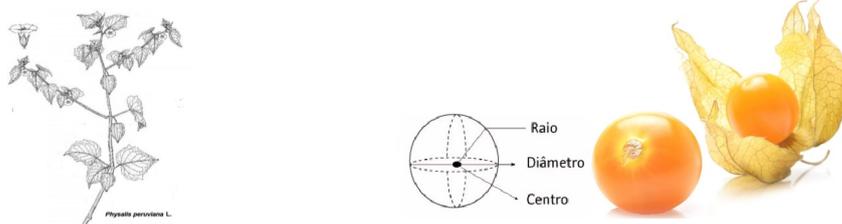
O trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Criogenia da Unidade Acadêmica de Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Campina Grande. Os frutos utilizados, neste experimento, foram adquiridos no comércio local de Campina Grande PB. Transportados em caixas plásticas de 2 litros para o Laboratório, onde se procedeu a seleção e sanitização dos frutos. As medições do comprimento, largura e espessura dos frutos da *Physalis* foram feitas, utilizando-se um paquímetro Mitutoyo com divisões de 0,01mm, sendo realizadas medidas nos três eixos mutuamente perpendiculares. Mohsenin (1986) propôs uma metodologia para extrair o raio médio para sementes não esféricas, através da comparação de volumétrica. Assim, para determinar o volume é necessário mensurar as dimensões geométricas (comprimento (2c), largura (2b) e altura (2a)) das frutas, conforme ilustrado na Figura (1). Assim, a equação de volume proposta para as frutas é:

$$V_g = \frac{4\pi}{3}abc \quad (1)$$

Fazendo a comparação do volume obtido pela equação (1.2) com a equação para o volume da esfera, o raio médio equivalente fica da forma:

$$r_m = \sqrt[3]{\frac{3V_g}{4\pi}} \quad (2)$$

A equação (2.2) é utilizada por muitos pesquisadores nos mais diferentes frutos, como, por exemplo, para o cajá (CAVALCANTI-MATA; BRAGA; SILVA, 2003b), pinhão (GOLDFARB et al., 2010), manga (LEITE et al., 2005), sementes de feijão (CAVALCANTI-MATA et al., 2012).



As temperaturas de resfriamento, congelamento e pós-congelamento foram coletadas utilizando um sistema de aquisição de dados, para o estudo da cinética de congelamento da fruta, composto de uma placa de aquisição de dados a NI USB-6008 produzida pela National Instruments. (INSTRUMENTS, 2015). Para a medição de temperatura das frutas foi utilizado três termopares de 36AWG que foram inseridos no centro geométrico de cada fruto. As três amostras de frutas são colocadas no interior de um freezer criogênico com capacidade de até  $-200 \pm 2^\circ\text{C}$ . No PC são desenvolvidos o código de programação no LABVIEW para os três termopares, como, também, definido a taxa de aquisição e o local de armazenamento.

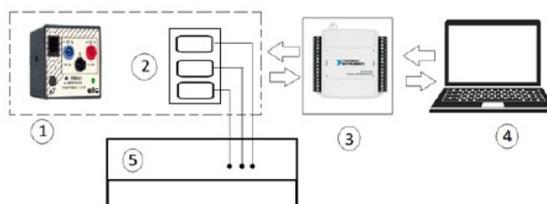


Ilustração da montagem experimental: 1- fonte de alimentação; 2- placa de aquisição de dados NI USB 6009; 4- PC para gerenciamento *Software* LABVIEW. Fonte: próprio autor.

As leituras foram feitas nas três frutas respectivamente em intervalo programado de 5 em 5 segundos, até alcançar a temperatura de equilíbrio, ponto final do processo. Para a execução do tratamento matemático com os valores experimentais das curvas de congelamento das sementes *Physalis* empregou-se a equação de Fourier e Cavalcanti-Mata. Contudo, para o resfriamento ou aquecimento de alimentos e produtos agrícolas, a variação de temperatura na superfície muda muito mais rápido que no interior do produto, formando um gradiente de temperatura mensurável, entre as camadas (MOHSEIN, 1986). Dessa forma, o processo de variação de temperatura numa semente, seja no aquecimento ou resfriamento se dará por difusão molecular. Por esse motivo, é conveniente definir as equações que governam esse fenômeno de transferência de calor, tendo em vista que serão usadas no decorrer desse trabalho. Nesse trabalho serão utilizadas as equações de transferência de calor de Fourier e a semi-empírica de Cavalcanti-Mata respectivamente, Equação (3) e Equação (4).

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_a - T_{\infty}} = J \exp\left(\frac{-M_1^2 \alpha t}{r_m^2}\right), \quad (3)$$

$$\frac{T - T_{\infty}}{T_a - T_{\infty}} = RT = J \exp\left(\frac{-M_1^2 \alpha}{r_m^2}\right) t^{N_1}, \quad (4)$$

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Figuras 1 e 2 são ilustrados o comportamento das curvas de congelamento para a temperatura de  $-150^{\circ}\text{C}$ , utilizando a metodologia de regressão não linear das Equações (3) e (4). Nota-se nas figuras que o comportamento do congelamento é dividido em três fases, ou seja, a fase 1 de resfriamento, a fase 2 de cristalização e a fase 3 de pós-congelamento. Nas tabelas 1 e 2 são colocados os parâmetros das curvas de congelamento calculados pelas duas metodologias, na qual o método de Cavalcanti-Mata obteve o melhor desempenho, tendo em vista que o erro médio relativo P(%) foi em todas as fases menor que 10%, enquanto, a metodologia de Fourier obteve melhor desempenho apenas na última fase, portanto, para fins de coeficientes paramétricos os dados obtidos pelo método de Cavalcanti-Mata devem ser considerados mais apropriados, como por exemplo, o coeficiente de difusão efetiva ( $\alpha$ ).

Tabela 1: Parâmetros de congelamento pelo método de Cavalcanti-Mata

$-150^{\circ}\text{C}$	J	$R_m$ (mm)	$\frac{M_1^2 \alpha}{R_m}$	M1	$\alpha$ (mm/s)	$R^2(\%)$	P(%)
Fase 1	1,01103	10,13	1,90E-04	0,3313	0,177635442	98,35	10,05
Fase 2	0,89124	10,13	0,00951	4	0,058630238	99,16	8,79
Fase 3	0,876321	10,13	0,00136	0,1	13,9558984	99,38	6,75

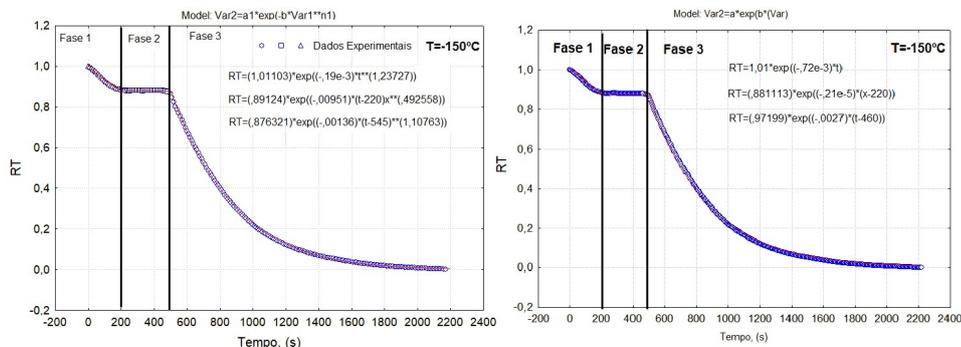


Figura 2. A esquerda tem-se a curva de congelamento utilizando a metodologia de Fourier e a direita curva de congelamento de Cavalcanti-Mata

-150°C	J	R <sub>m</sub> (mm)	$\frac{M1^2\alpha}{R_m}$	M1	$\alpha$ (mm/s)	R <sup>2</sup> (%)	P(%)
Fase 1	1,01	10,13	7,20E-04	0,3313	0,673144831	95,75	25,32
Fase2	0,881113	10,13	2,10E-06	0,9957	0,000217361	68,45	117,5
Fase 3	0,97199	10,13	2,70E-03	4,04	0,016975396	99,72	5,96

Com a plataforma experimental foi possível automatizar o processo de congelamento e definir o tempo de aquisição de cada dado, permitindo um maior número de pontos sendo possível uma análise numérica com melhor acurácia. Por outro lado o uso do equipamento permitiu visualizar com extrema qualidade as fases de transição do processo de congelamento de frutas.

## CONCLUSÕES OU CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os resultados obtidos, foi possível calcular o coeficiente de difusão efetivo utilizando a metodologia de Cavalcanti-Mata e de Fourier, na qual chegando a conclusão de Cavalcanti-Mata a situações que ocorre o congelamento em três fases. A qualidade no processamento dos dados só foi possível em função da eficiência da plataforma experimental desenvolvida, na qual possibilita a aquisição simultânea de até três temperaturas utilizando microtermopares com diâmetro de 0,5 mm. Portanto essa mesma plataforma pode ser utilizada especificadamente para estudar o comportamento da cristalização, possibilitando modelos matemáticos mais eficientes.

## REFERÊNCIAS

- MOHSENIN, Nuri N. **Physical properties of plant and animal materials**. 1986.
- NILE, S.H.; PARK, S.W. Edible berries: Bioactive components and their effect on human health. *Nutrition*. v.30, p.134–144, 2014.
- MATA, M.; BRAGA, M. E. D.; SILVA, M. d. Curvas de congelamento de frutos de cajá (spondias lutea l.) a temperaturas semi-criogênicas. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, Especial*, n. 1, p. 55–62, 2003. Matta et al., (2003)
- MATA, M.; BRAGA, M. E. D.; SILVA, M. d. Curvas de congelamento de frutos de cajá (spondias lutea l.) a temperaturas semi-criogênicas. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, Especial*, n. 1, p. 55–62, 2003.
- GOLDFARB, Míriam et al. Cinética de congelamento criogênico de sementes de pinhão-mansão (*Jatropha curcas* L.). **Embrapa Algodão-Artigo em periódico indexado (ALICE)**, 2010.
- CAVALCANTI-MATA, Mario E.R.M. et al. Cinética de congelamento do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) a baixas temperaturas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi**, v. 16, n. 6, 2012. INSTRUMENTS, N. *National Instruments User Guide NI USB-6008/6009*. 2015. <http://www.ni.com/pdf/manuals/371303n.pdf>.
- LEITE, J. C. A. et al. Cinética de resfriamento e caracterização física da manga (mangífera indica l.) variedade tommy atkins. Universidade Federal de Campina Grande, 2005.

