

Análise da cinética de congelamento de limão tahiti**Analysis of tahiti lemon freezing kinetics**

DOI:10.34117/bjdv6n7-893

Recebimento dos originais: 27/06/2020

Aceitação para publicação: 31/07/2020

Maria Elita Martins Duarte

Doutora em engenharia de alimentos

Instituição: Professora Titular Da Universidade Federal De Campina Grande (UFCG)

Endereço: r. Aprígio Veloso, 882 – Bairro Universitário, Campina Grande - Pb, Brasil, cep 58428-830.

Email: melitamd@gmail.com

Mario Eduardo Rangel Moreira Cavalcanti Mata

Doutor Em Engenharia De Alimentos Pela Universidade Estadual De Campinas – Unicamp.

Instituição: Professor Titular Da Universidade Federal De Campina Grande. (UFCG)

Endereço: r. Aprígio veloso, 882 – bairro Universitário, Campina Grande - Pb, Brasil, cep 58428-830.

Email: mcavalcantimata@gmail.com

Rafaela Duarte Almeida Araújo

Doutoranda em engenharia de processos

Instituição: Universidade Federal De Campina Grande (UFCG)

Endereço: r. Aprígio veloso, 882 – bairro Universitário, Campina Grande - Pb, Brasil, cep 58428-830.

Email: rafaeladual@gmail.com

Renata Duarte Almeida

Doutora em engenharia de processos

Instituição: Universidade Federal De Campina Grande (UFCG)

Endereço: r. Aprígio veloso, 882 – bairro Universitário, Campina Grande - Pb, Brasil, cep 58428-830.

Email: renatadual@yahoo.com.br

Anastácia Maria Mikaella Campos Nóbrega André

Doutora em engenharia de processos

Instituição: Universidade Federal De Campina Grande (UFCG)

Endereço: r. Aprígio veloso, 882 – Bairro Universitário, Campina Grande - Pb, Brasil, cep 58428-830.

Email: anastaciamikaella@gmail.com

Ruth Brito De Figueiredo Melo

Doutora Em Engenharia De Processos

Instituição: Professora Adjunta (T-40 De) da Universidade Estadual Da Paraíba - Uepb

Endereço: Rua Das Baraúnas, 351, Bairro Universitário, Campina Grande/Pb, Brasil, Cep 58429-500, fone: 83-3315.3300

email: ruthmeload@gmail.com

Ramon Viana de Sousa

Doutor em engenharia de processos pela UFCG

Instituição: Professor Doutor Do Instituto Federal Do Rio Grande Do Norte (IFRN)

Instituição: Instituto Federal De Educação, Ciência E Tecnologia Do Rio Grande Do Norte

Endereço: r. Rua dr. Nilo bezerra ramalho, 1692, tirol, brasil, cep: 59015-300.

Email: ramon.sousa@ifrn.edu.br

Leila de Sousa Nunes

Doutora Em Engenharia De Processos

Instituição: Universidade Federal De Campina Grande (Ufcg)

Endereço: r. Aprígio veloso, 882 – Bairro Universitário, Campina Grande - Pb, Brasil, cep 58428-830.

Email: leilaufcg@gmail.com

RESUMO

O uso de técnicas de conservação de alimentos, como a remoção do calor, pode favorecer as etapas de transporte e de armazenamento do limão tahiti, que é uma das frutas cítricas com maior comercialização em mercados internacionais, por promover a redução de alterações bioquímicas e microbiológicas que podem ocorrer durante estes estágios. Dentro deste contexto, este trabalho, teve por objetivo avaliar a cinética de congelamento do limão tahiti (*Citrus aurantifolia var. tahiti*), quando submetidos a diferentes temperaturas de processo. As amostras foram então mantidas em temperaturas de - 18°C e - 60°C até que o equilíbrio térmico entre o fruto inteiro e o meio de congelamento fosse atingido. Baseando-se nos dados coletados, o comportamento evidenciado pelas curvas de congelamento do limão tahiti foi de um processo de congelamento do tipo lento em ambas as temperaturas estudadas, apesar do maior gradiente de temperatura no processo conduzido à - 60°C e, conseqüentemente, menor tempo de congelamento que à -18°C.

Palavras chave: Cinética de congelamento, curva de congelamento, limão tahiti.

ABSTRACT

The use of food preservation techniques, such as the removal of heat, can favor the stages of transport and storage of the Tahiti lemon, which is one of the citrus fruits with greater commercialization in international markets, as it promotes the reduction of biochemical and microbiological changes. that can occur during these stages. Within this context, this work aimed to evaluate the freezing kinetics of Tahiti lemon (*Citrus aurantifolia var. Tahiti*), when submitted to different process temperatures. The samples were then kept at temperatures of - 18 ° C and - 60 ° C until the thermal balance between the whole fruit and the freezing medium was reached. Based on the data collected, the behavior shown by the freezing curves of the Tahiti lemon was of a slow-type freezing process at both temperatures studied, despite the higher temperature gradient in the process conducted at - 60 ° C and, consequently, shorter freezing time than -18 ° C.

Key words: Freezing kinetics, freezing curve, Tahiti lemon.

1 INTRODUÇÃO

As plantas cítricas são nativas da Ásia, pertencentes a família *Rutaceae* e o gênero *Citrus*, e representam o ponto mais alto de um longo período evolutivo, cujo início remonta a mais de 20 milhões de anos, na Austrália (SWINGLE, 1967). Segundo pesquisadores, os citros foram levados da Ásia para o norte da África e de lá para o sul da Europa, onde teriam chegado na Idade Média.

Da Europa foram trazidos para as Américas na época dos descobrimentos, por volta de 1500 (TURRA & GHISI, 2010).

A região Nordeste é a segunda maior produtora de citros no Brasil, ficando atrás apenas da região Sudeste, sendo os estados da Bahia (986,2 mil toneladas) e Sergipe os principais produtores da região, e a Paraíba encontra-se na oitava posição no ranking do Nordeste, com 21 mil toneladas, estando à frente apenas do Rio Grande do Norte (IBRAF, 2010). Porém, estes estados ainda têm um longo caminho a percorrer em termos de adoção de tecnologia e organização dos produtores (INMET, 2010).

De acordo com Brito et al. (2014), a produção nacional do limão Tahiti tem boa parte destinada à comercialização do produto in natura, porém seu processamento em suco concentrado congelado ainda é pequeno, sendo a polpa congelada, uma alternativa viável para aumentar e diversificar o oferecimento do fruto, visto que, quando comercializada na maioria das vezes na forma natural, não apresenta um valor comercial compensador.

Para Cavalcanti Mata et al. (2003), vários frutos da região nordeste do Brasil, poderiam ganhar o mercado interno e externo se fossem adotadas políticas públicas de produção e exportação não só dos frutos in natura, como também, na forma processada, como polpas, sucos, sorvetes, doces, dentre outro, porém para essa viabilização, é necessário o domínio tecnológico do processo produtivo em escala industrial, como o conhecimento das alterações fisiológicas que ocorrem com cada produto, durante o período pós-colheita, passando pelo manuseio do produto, transporte, beneficiamento e armazenagem, não se desconhecendo, em cada uma dessas etapas, a inserção da cadeia do frio.

Geralmente, quanto mais baixa a temperatura de armazenagem, mais tempo os alimentos podem ser armazenados, por isso o congelamento continua a ser um importante método de processamento para a produção de alimentos (FERNANDES et al., 2010; PEREIRA et al., 2020).

O uso do processamento por remoção do calor, através da diminuição da temperatura possui benefícios importantes na manutenção das características sensoriais e do valor nutricional para a produção e preservação de muitos alimentos. Muitos dos métodos de processamento mínimo, bem como a armazenagem de produtos frescos, baseiam-se na refrigeração como principal componente de conservação (PEREIRA, et al. 2020).

Segundo Cavalcanti Mata et al. (2003), durante esse processo, primeiramente é removido o calor sensível para diminuir a temperatura de um alimento até o ponto de congelamento. Em alimentos frescos, o calor produzido pela respiração também é removido. Este é chamado de carga calorífica e é importante na determinação do tamanho correto do equipamento para uma taxa de produção específica. A maioria dos alimentos possui uma grande proporção de água que tem um

alto calor específico ($4.200 \text{ J kg}^{-1} \text{ K}^{-1}$) e um alto calor latente de cristalização (335 kJ kg^{-1}), sendo a velocidade de congelamento 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.

Uma quantidade substancial de energia é, portanto, necessária para remover o calor latente, formar os cristais de gelo e congelar os alimentos. O calor latente de outros componentes do alimento (por exemplo, gorduras) deve também ser removido antes que solidifiquem, mas, na maioria dos alimentos, estes componentes estão presentes em pequenas quantidades e é necessária a remoção de uma quantidade relativamente pequena de calor para que a cristalização aconteça (GRUDA & POSTOLSKI, 1996).

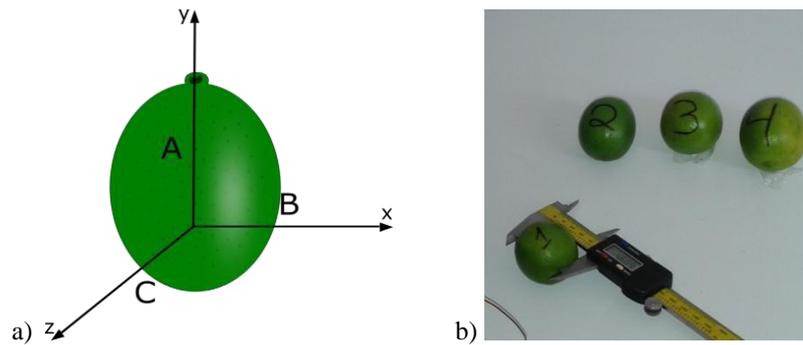
A energia para o congelamento é fornecida como energia elétrica, que é utilizada para comprimir gases (refrigerantes) em equipamentos de congelamentos mecânicos ou para comprimir e resfriar fluidos criogênicos. Se a temperatura for monitorada no centro térmico do alimento (ponto que resfria mais lentamente), obtém-se uma curva característica quando o calor é removido. Desse modo, o conhecimento do comportamento do fruto quando submetido ao congelamento para diferentes condições, são dados de relevante importância, uma vez que possibilitam que a agroindústria possa dimensionar adequadamente suas máquinas dentro de uma linha de processos (CAVALCANTI MATA et al., 2003). Dentro deste contexto, adotou-se a operação unitária de congelamento, com o objetivo de avaliar durante o processo, o comportamento do limão tahiti quanto às curvas de congelamento e a influência da taxa de resfriamento sobre o tempo de congelamento deste fruto pelo método das tangentes.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado no setor de criogenia do Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande. Para a realização deste trabalho, foram utilizados dois termômetros digitais sendo um Oakton® Termometer, modelo Temp 100 JTEK, e outro Minipa Thermo Hygrometer, modelo MTH-1362W, um paquímetro digital Stanley® Digital Caliper; dois freezers, sendo um comercial com temperatura de -18°C e outro industrial Indrel® IULT9504D com temperatura de -60°C . Como amostra, utilizou-se quatro unidades de limão tahiti (*Citrus aurantifolia* var. *tahiti*) obtidos em comércio local.

Primeiramente, realizou-se as medidas das três dimensões mutuamente perpendiculares (altura - A, largura - B e espessura - C) de cada amostra, conforme Figura 1, a partir das quais foi conhecido o centro geométrico de cada fruto.

Figura 1- Descrição das dimensões das amostras.



Fonte: dados da amostra

Cada uma das amostras foram identificadas como 1, 2, 3 e 4, nas quais foi feito um orifício para a introdução da extremidade de um termopar no seu centro geométrico. Em seguida, vedou-se este orifício utilizando silicone para que não houvesse interferência da corrente de ar neste ponto central da amostra, e, finalmente, posicionou-se um segundo termopar no interior do freezer para acompanhamento da temperatura do meio, sendo desta forma, possível a identificação do momento no qual haveria o equilíbrio térmico entre a amostra e o meio. Partindo deste procedimento, duas amostras (1 e 2) foram submetidas ao congelamento à -18°C , enquanto as amostras 3 e 4 foram congeladas à temperatura de -60°C .

A coleta dos dados (valores de temperatura e tempo) foi realizada em diferentes intervalos de tempo, até que as temperaturas da amostra e do meio se mantivessem em equilíbrio térmico. Os dados coletados foram utilizados para a construção da curva de congelamento em função do tempo, a cada temperatura estudada.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das dimensões de cada amostra em estudo estão apresentados na Tabela 1.

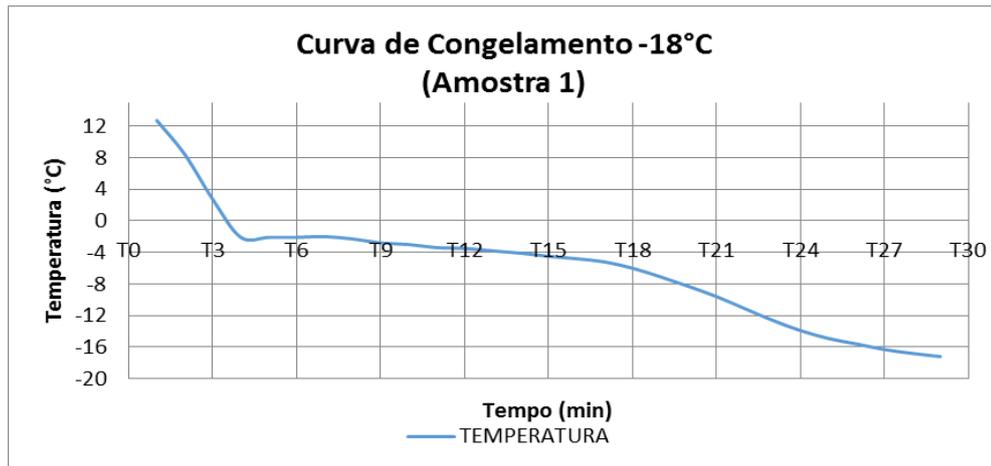
Tabela 1 - Valores das três dimensões mutuamente perpendiculares das amostras de limão tahiti.

<i>Dimensões (mm)</i>	<i>Amostras</i>			
	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>
<i>Altura (A)</i>	45,23	52,01	46,6	52,09
<i>Diâmetro menor (B)</i>	43,86	45,33	45,94	45,18
<i>Diâmetro maior (C)</i>	43,65	45,46	46,05	47,53

Fonte: dados da amostra

Durante o procedimento de congelamento das amostras 1 e 2 à temperatura de -18°C , a partir do tempo zero foram coletados 29 dados. Inicialmente, a coleta foi realizada a cada 15 minutos e em seguida, com intervalos de 20 minutos até que a amostra entrasse em equilíbrio térmico com o interior do freezer, finalizando com uma temperatura de aproximadamente -17°C . A partir dos dados registrados gerou-se o Gráfico da Figura 2 e 3.

Figura 2- Curva de congelamento da amostra 1.



Fonte: dados da amostra

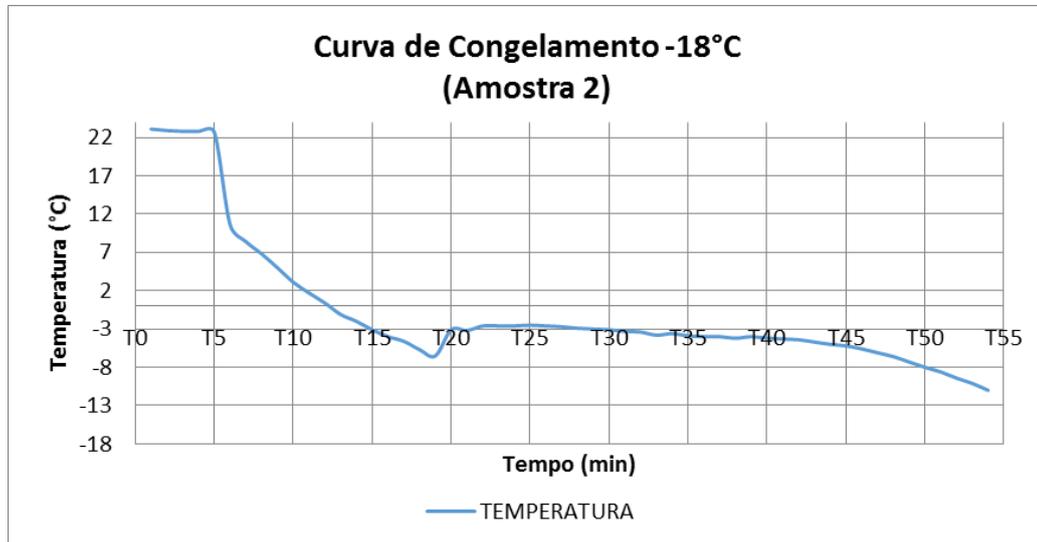
A Figura 2 mostra que o período de resfriamento ocorreu num intervalo de 45 minutos, visto que, decorrido esse tempo, a temperatura da amostra se apresentou praticamente constante, caracterizando assim o início do processo de congelamento.

Esse processo foi iniciado quando a amostra 1 atingiu a temperatura de $-2,1^{\circ}\text{C}$, prolongando-se por aproximadamente 210 minutos. Observa-se no gráfico que o processo de congelamento chega ao fim no momento em que a curva começa a apresentar um declínio abrupto da temperatura em relação ao tempo. A temperatura da amostra 1 ao final da etapa de congelamento foi de $-5,2^{\circ}\text{C}$, evidenciando assim, intervalo de temperatura ($-2,1$ a $-5,2^{\circ}\text{C}$) a amostra encontrou-se na zona crítica. A partir daí, a Amostra 1 foi resfriada até uma temperatura próxima da temperatura do freezer, atingindo $-17,2^{\circ}\text{C}$ num intervalo de 240 minutos, caracterizando o período de pós-congelamento. O processo total de congelamento foi realizado num tempo total de 495 minutos.

Na amostra 2, a partir do tempo zero, foram coletados 54 pontos de dados, inicialmente com intervalos de 5 minutos, seguidos de intervalos de 10 minutos e por fim leituras a cada 15 minutos até a amostra entrar em equilíbrio térmico com o interior do freezer a -18°C . Ao final de

todo o processo de congelamento a amostra apresentou temperatura de aproximadamente -17°C . Na Figura 3, está apresentada a curva de congelamento obtida a partir da coleta dos dados.

Figura 3 - Curva de congelamento da amostra 2.

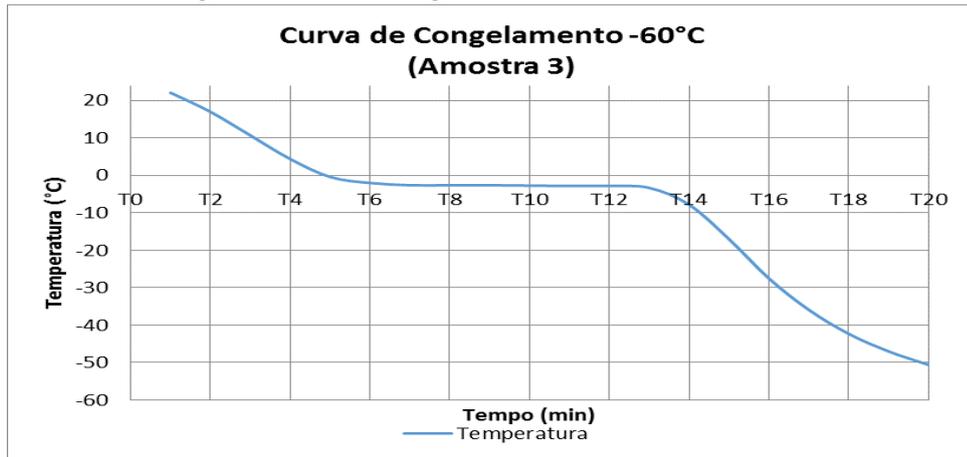


Fonte: dados da amostra

O Gráfico apresentado na Figura 3 exibe uma pequena diferença no início do processo, em que a temperatura não apresentou variação significativa durante 20 minutos, e logo em seguida apresentou uma drástica variação, o que pode ter ocasionado devido a alguma modificação indesejável em relação ao fruto, de origem físicobiológicas, ou ao próprio equipamento utilizado.

As Figuras 4 e 5 correspondem às curvas obtidas a partir da análise de dados das Amostras 3 e 4, respectivamente, submetidas à temperatura de -60°C . No total foram coletadas 21 leituras de tempo e temperatura durante o processo para cada amostra. Nos primeiros momentos, utilizou-se intervalos de tempo de 5 minutos para tomada das leituras, em seguida estes intervalos foram elevados para 10 minutos até o equilíbrio térmico das amostras.

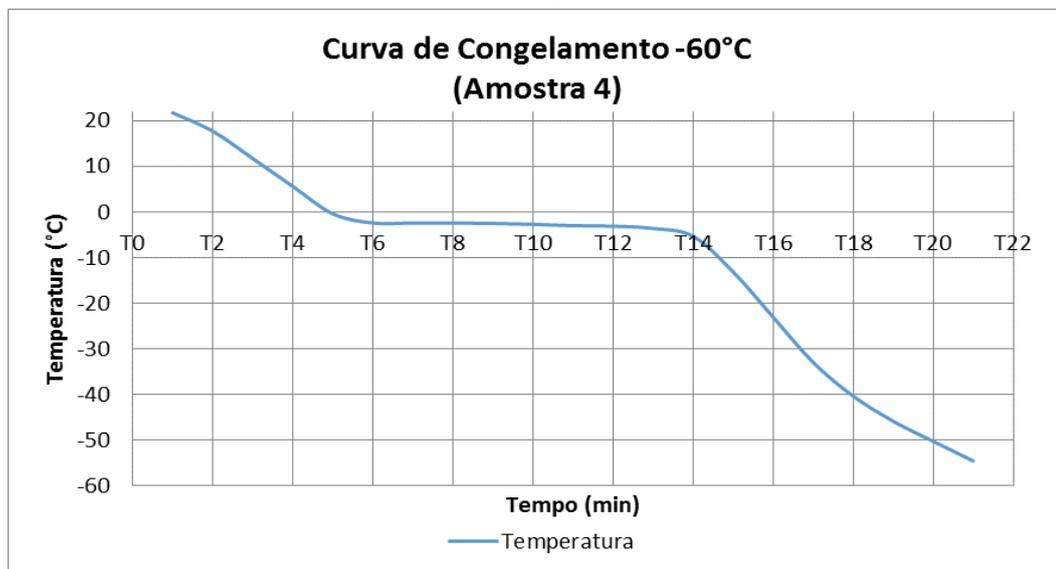
Figura 4 - Curva de congelamento da amostra 3.



Fonte: dados da amostra

O período de resfriamento observado na Amostra 3 foi de 20 minutos, seguido pela sua permanência na zona crítica por cerca de 50 minutos, durante o qual sua temperatura sofreu variação de 2,9°C (-0,4 a -3,3°C). Ao final da fase de pós-congelamento a amostra apresentou temperatura de -54,4°C e tempo total de processo de 150 minutos. Comportamento semelhante foi evidenciado pela Amostra 4, apresentado na Figura 5, onde a amostra teve sua fase de resfriamento completada em 20 minutos, no entanto, teve variação de temperatura bem maior (4,9°C) enquanto se manteve na zona crítica com valores entre -0,4 e -5,3°C.

Figura 5 - Curva de congelamento da amostra 4.



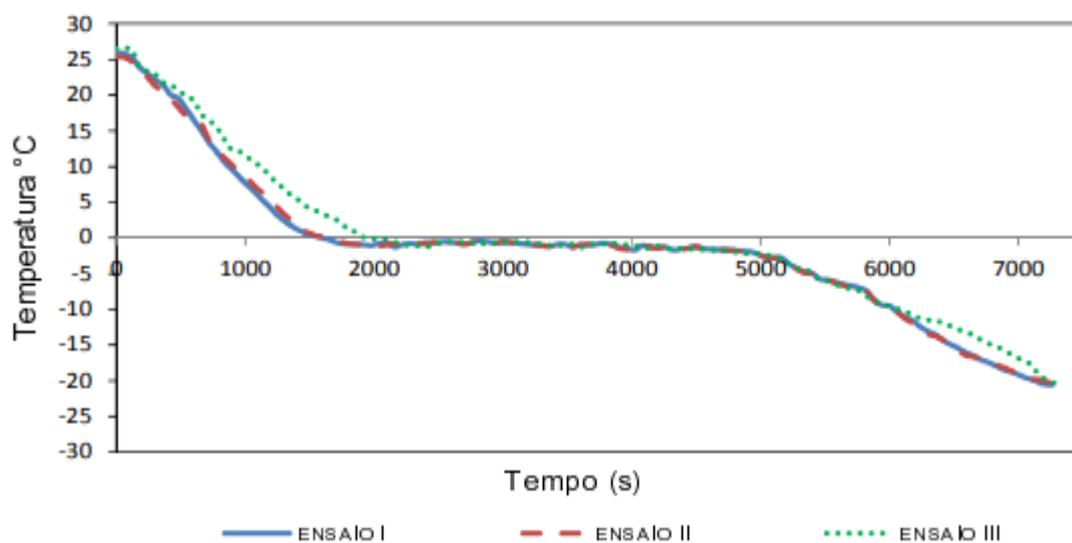
Fonte: dados da amostra

A Amostra 4 foi totalmente congelada em 150 minutos, atingindo valor final de temperatura igual a -54,5°C na fase de pós-congelamento. Fernandes et al. (2010) verificaram uma

temperatura de início de congelamento de $-0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$, em um estudo sobre o congelamento da polpa de morango em banho ultratermostático a $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Analisando-se as curvas de congelamento do limão tahiti, observa-se as três fases distintas: a fase de resfriamento do produto, caracterizada por uma curva típica exponencial; a fase de cristalização ou congelamento da água, representada por uma reta e a fase de pós congelamento, caracterizada por uma curva exponencial, o que corrobora com Brito et al.,(2014) em um estudo realizado sobre a avaliação do processo físico de congelamento da polpa de limão tahiti. Conforme as curvas de congelamento a partir dos dados de tempo e temperatura a $-20 \pm 2^{\circ}\text{C}$, registrados durante os ensaios do processo de congelamento, conforme Figura 6.

Figura 6 - Curvas dos ensaios de congelamento da polpa de limão.



Fonte: Brito et al (2014)

Pode-se observar que as curvas, foram similares às obtidas durante a cinética de congelamento dos frutos de limão tahiti, desta pesquisa. Em ambos os trabalhos pôde-se verificar a presença bem definida das três fases de congelamento da água presente nas amostras. Segundo Brito et al. (2014), esta distinção entre as fases se dá por conta da baixa taxa de congelamento. Isto pode ser corroborado quando se observa no trabalho conduzido por Cavalcanti Mata et al. (2003), que procederam com o congelamento de frutos de cajá sob diferentes temperaturas (-30 , -60 e -90°C), e reportaram que à temperatura de -30°C , o fruto congelou em 75 minutos; à temperatura de $-60\text{ }^{\circ}\text{C}$, o tempo gasto foi de 44 minutos enquanto que à temperatura de $-90\text{ }^{\circ}\text{C}$, foram necessários 40 minutos até total congelamento dos frutos de cajá, conforme as Figuras 7, 8 e 9.

Figura 7- Curva de congelamento do fruto cajá a temperatura de -30 °C.

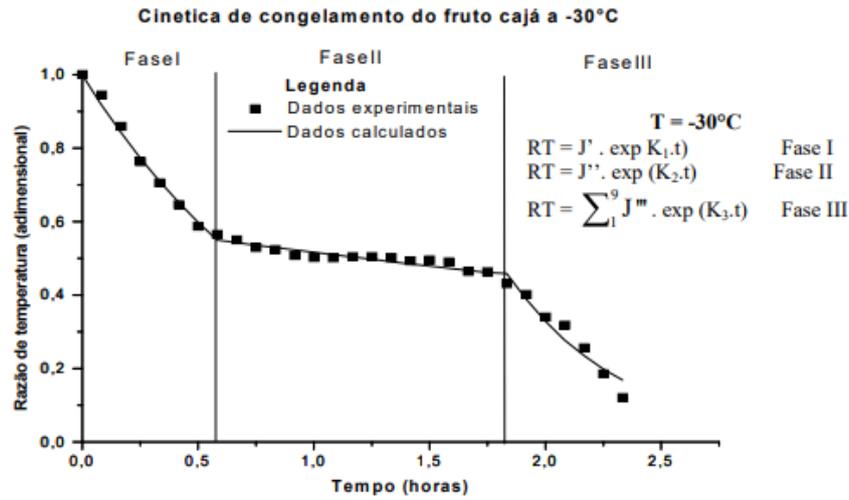


Figura 8 - Curva de congelamento do fruto cajá a temperatura de -60 °C.

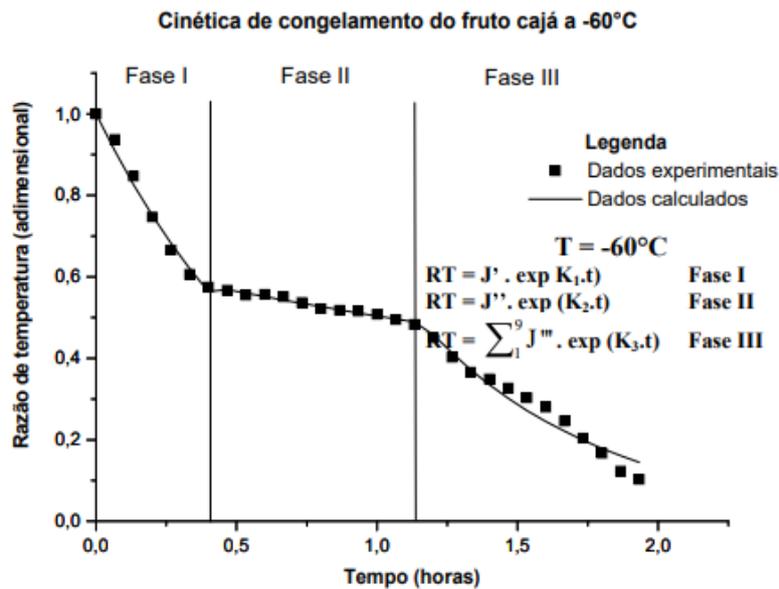
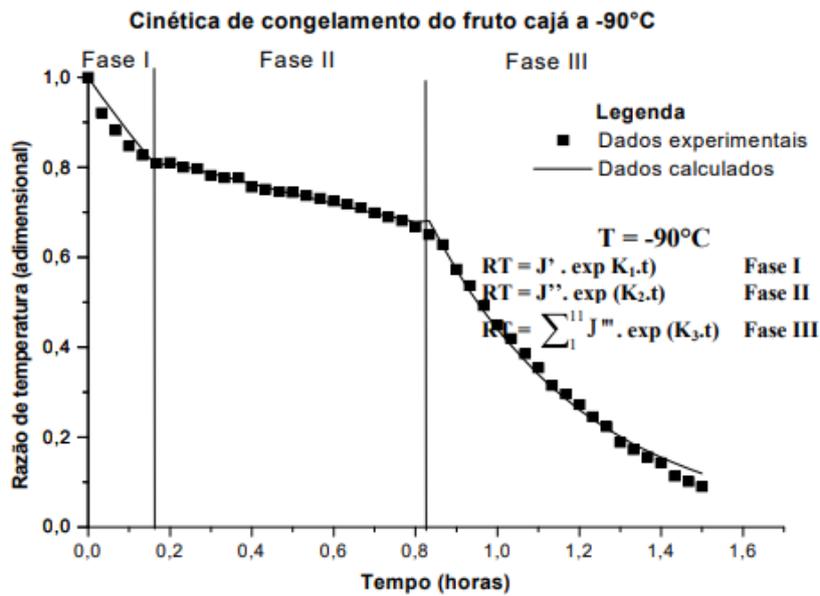


Figura 9 - Curva de congelamento do fruto cajá a temperatura de -90 °C



Cavalcanti Mata et al. (2003) afirmam que sendo o congelamento do fruto lento, teoricamente não deve haver a presença de inclinação acentuada da curva na fase de congelamento, visto que, para esta condição, toda a energia seria utilizada na formação dos cristais de gelo no interior do fruto. A partir deste fato, observa-se na corrente pesquisa que as curvas de congelamento apresentadas pelas amostras de limão tahiti condizem com o comportamento de um processo lento de congelamento, pois não nos apresenta inclinação acentuada durante a fase de cristalização (zona crítica).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conclui-se que o tempo do congelamento das amostras de limão tahiti sob a temperatura de -60°C foi menor que quando submetidas à temperatura de -18°C pelo fato de haver maior gradiente de temperatura e da taxa de transferência de calor ser maior à -60°C. e que o processo de congelamento do limão tahiti nas condições estudadas se caracterizaram como sendo congelamento lento, o que leva à formação de cristais de gelo maiores.

REFERÊNCIAS

- BRITO, K. D.; OLIVEIRA, L. S. C.; LIMA, A. G. B. de; SANTIAGO, A. M.; ALVES, D. E. G. Avaliação do Processo Físico de Congelamento da Polpa de Limão Tahiti (*Citrus latifolia* Tanaka). **Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química**, Área temática: Engenharia e Tecnologia de Alimentos. Florianópolis, SC. 2014.
- CAVALCANTI-MATA, M. E. R. M; BRAGA, M. E. D.; SILVA, M. da. Curvas de congelamento de frutos de cajá (*Spondias lútea* L.) a temperaturas semi-criogênicas. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, Especial, n.1, p.55-62, 2003.
- FERNANDES, T. N.; RESENDE, J. V.; CRUVINEL, R. S. R.; RENO, M. J. Relação entre o comportamento reológico e a dinâmica do congelamento e descongelamento de polpa de morango adicionada de sacarose e pectina. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.30, n.1, p.188-204, jan.-mar. 2010.
- GRUDA. Z.; POSTOLSKI, J. **Tecnología de la congelación de los alimentos**. Zaragoza: Editorial Acribia, 631p.1986.
- IBRAF. Instituto Brasileiro de Frutas. **Brasil é o 3º produtor mundial de frutas**. Disponível em: http://www.ibraf.org.br/news/news_item.asp?NewsID=81 29. Acesso em: Outubro de 2010.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa – BDMEP**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>. Acesso em: Dezembro de 2010.
- PEREIRA, D. C. S; MARTINS, E. M. F; MARTINS, M. L; CAMPOS, A. N. R. Armazenamento à frio de frutos de juçara (*Euterpe edulis* Martius): estabilidade de compostos bioativos e atividade antioxidante. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 6, n. 7 , p.43147-43160, jul. 2020.
- SWINGLE, W. T. **The botany of citrus and its relatives**. Revisão de Philip C. Reece. In: REUTHER, W.; WEBBER, H. J.; BATCHELOR, L. D. (eds.). *The citrus industry*. Berkeley, California: University of California, 1967. v.1, cap.3, p.190-430.
- TURRA, C.; GUISI, F. **Laranja orgânica no brasil: produção, mercado e tendências**. Disponível em: <http://www.sober.org.br/palestra/12/01P052.pdf>. Acesso em: Dezembro de 2010.