



**IASMIN APARECIDA FURTADO FERREIRA**

**APLICAÇÃO DA MUCILAGEM DE ORA-PRO-NOBIS  
(*Pereskia aculeata Miller*) EM SORVETE**

**LAVRAS – MG  
2020**

**IASMIN APARECIDA FURTADO FERREIRA**

**APLICAÇÃO DA MUCILAGEM DE ORA-PRO-NOBIS (*Pereskia aculeata Miller*)  
EM SORVETE**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. Jaime Vilela de Resende  
Orientador

Profa. Dra. Lizzy Ayra Alcântara Veríssimo  
Coorientadora

Prof. Dr. Luiz Ronaldo de Abreu  
Coorientador

**LAVRAS – MG  
2020**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca  
Universitária da UFLA, com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Ferreira, Iasmin Aparecida Furtado.

Aplicação da mucilagem de ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata*  
Miller) em sorvete / Iasmin Aparecida Furtado Ferreira. - 2020.

56 p. : il.

Orientador: Jaime Vilela de Resende.

Coorientador: Lizzy Ayra Alcântara Veríssimo, Luiz Ronaldo  
de Abreu.

Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de  
Lavras, 2019.

Bibliografia.

1. Gelados comestíveis. 2. Hidrocoloides. 3. Estabilizantes. I.  
Resende, Jaime Vilela de. II. Veríssimo, Lizzy Ayra Alcântara. III.  
Abreu, Luiz Ronaldo de. IV. Título.

**IASMIN APARECIDA FURTADO FERREIRA**

**APLICAÇÃO DA MUCILAGEM DE ORA-PRO-NOBIS (*Pereskia aculeata* Miller)  
EM SORVETE**

**APPLICATION OF ORA-PRO-NOBIS MUCILAGE (*Pereskia aculeata* Miller)  
IN ICE CREAM**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Ciência dos Alimentos, área de concentração em Ciência dos Alimentos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 16 de março de 2020.

Dra. Lizzy Ayra Alcântara Veríssimo UFLA

Dra. Vanelle Maria da Silva UFV

Prof. Dr. Jaime Vilela de Resende  
Orientador

**LAVRAS – MG  
2020**

*À minha família, Eliane e Nirley por todo amor,  
incentivo, atenção e confiança.*

***Dedico***

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me guiar e conceder saúde e força necessárias para realização do mestrado.

Aos meus pais, que acompanharam minha trajetória sempre, me incentivaram e que nunca mediram esforços para ajudar no que fosse preciso. Agradeço o amor incondicional, carinho, dedicação, paciência e por estarem sempre ao meu lado.

Ao meu namorado José Reis, por todo amor, carinho, paciência e esforços a mim dedicados nesse período.

Ao professor Dr. Jaime Vilela de Resende pela orientação, paciência, confiança e disposição em me auxiliar na execução deste trabalho.

A professora Lizzy Ayra Alcântara Veríssimo, pela coorientação, por todo o suporte e atenção concedidos.

Ao professor Dr. Luiz Ronaldo de Abreu pelos ensinamentos, suporte e confiança.

A todos do Laboratório de Refrigeração de Alimentos pela amizade, ensinamentos, brincadeiras, companheirismo e por estarem sempre disponíveis para me ajudar, em especial a Larissa, Adrise, Natália, Amanda, Ana Cristina, Isabelle, Sérgio e Camilla. Vocês fizeram com que estes dois anos fossem de muita felicidade, amor, companheirismo e aprendizado.

A Universidade Federal de Lavras e ao Programa de Pós-Graduação do Departamento de Ciência dos Alimentos, pela oportunidade.

Ao CNPq, CAPES e FAPEMIG pela concessão de bolsa de mestrado e apoio financeiro à pesquisa.

Aos técnicos Thales, Cleusa, Ana Alice ao professor Eduardo Alves do Laboratório de Microscopia Eletrônica pelos ensinamentos e confiança.

A todos os funcionários do Departamento de Ciência dos Alimentos pelos conselhos, ajuda e convivência diária.

Muito obrigada!

## RESUMO

Sorvetes são sistemas coloidais complexos que para manterem sua estrutura e características físico-químicas, necessitam da incorporação de aditivos em sua composição. Comumente empregados como emulsificantes e estabilizantes, os hidrocoloides ou mucilagens de origem vegetal, são amplamente estudados para uso na indústria de alimentos. Neste contexto, a mucilagem extraída da *Pereskia aculeata* Miller (ora-pro-nobis) têm se destacado devido à sua alta capacidade de absorção de água, formação de géis e estabilização de emulsões. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da adição da mucilagem de ora-pro-nobis (MOPN) sobre as características físicas, químicas e microestruturais do sorvete, bem como verificar a viabilidade da utilização da MOPN em substituição total ou parcial a um emulsificante-estabilizante comercial utilizados na fabricação deste gelado comestível. Foram elaboradas cinco formulações de sorvete com substituição do mix de estabilizantes-emulsificantes por 0, 25, 50, 75 e 100% (m/m) de MOPN. Estas foram caracterizadas quanto ao comportamento reológico, pH, sólidos totais, composição centesimal, overrun, textura, temperatura de derretimento e comportamento de derretimento. As formulações com maior teor de MOPN originaram sorvetes mais viscosos, com maior incorporação de ar ou overrun, menor grau de recristalização e menor taxa de derretimento. O tratamento com substituição total de MOPN (100%) apresentou os maiores valores para o índice de consistência ( $0,4246 \text{ Pa.s}^n$ ), o overrun (84,57) e a textura (18,01 N), revelando sua maior viscosidade, agregação de ar, firmeza e suavidade. Apesar da formulação com adição de 100% (m/m) de MOPN apresentar a menor temperatura de nucleação ( $1,46 \text{ }^\circ\text{C}$ ), a taxa de derretimento foi significativamente inferior às demais formulações. Com base nos resultados obtidos, conclui-se que a adição da mucilagem do ora-pro-nobis na mistura base do sorvete melhorou grande parte dos parâmetros, como a consistência, o *overrun*, a textura e melhorou a taxa de derretimento dos sorvetes, apresentando grande potencial de utilização pela indústria de alimentos.

**Palavras-chave:** Gelados comestíveis. Hidrocoloides. Estabilizantes. Emulsificantes.

## ABSTRACT

Ice creams are complex colloidal systems that, in order to maintain their structure and physicochemical characteristics, require the addition of additives in their composition. Commonly used as emulsifiers and stabilizers, hydrocolloids or mucilages of plant origin are widely studied for use in the food industry. In this scenario, the mucilage extracted from *Pereskia aculeata* Miller (ora-pro-nobis) has stood out due to its high water absorption capacity, gel formation and emulsion stabilization. The present study aimed to evaluate the effect of adding ora-pro-nobis mucilage on the physical, chemical and microstructural characteristics of ice cream, as well as to verify the viability of using mucilage in total or partial replacement to the commercial emulsifiers-stabilizers used in the manufacture of this edible ice cream. Five ice cream formulations were prepared with substitution of the mix of stabilizers-emulsifiers for 0, 25, 50, 75 and 100% MOPN, which were subsequently characterized in terms of rheological behavior, pH, total solids, proximate composition, overrun, firmness, temperature of melting and melting behavior. The formulations with higher MOPN content gave rise to more viscous ice creams, with greater incorporation of air or overrun, less degree of recrystallization and lower melting rate. The treatment with total replacement of MOPN (100%) presented the highest values for consistency index ( $0.4246 \text{ Pa}\cdot\text{s}^n$ ), overrun (84.57) and texture analysis (18.01 N), revealing its higher viscosity, air aggregation, firmness and smoothness. Although such formulation (100% MOPN) has the lowest nucleation temperature ( $1.46 \text{ }^\circ\text{C}$ ), the melting rate was substantially lower than the others. Based on the results presented, it is concluded that the addition of the ora-pro-nobis mucilage to the ice cream base mixture improved a large part of the studied parameters.

**Keywords:** Edible ice cream. Hydrocolloids. Stabilizers. Emulsifiers

## LISTA DE FIGURAS

### PRIMEIRA PARTE

- Figura 1 – Representação da microestrutura do sorvete: a = bolha de ar, f = glóbulo de gordura, i = cristal de gelo, s = matriz não congelada. .... 15
- Figura 2 – Etapas do processamento de sorvete. .... 17

### SEGUNDA PARTE

- Figura 1 – Fluxograma do processo de extração da MOPN..... 36
- Figura 2 – Fluxograma de produção do sorvete. .... 38
- Figura 3 – (a) Curvas de fluxo e (b) Curvas de viscosidade aparente dos sorvetes em função dos tratamentos com 0% (T1 controle), 25% (T2), 50% (T3), 75% (T4) e 100% (m/m) (T5) de substituição do mix de estabilizantes MOPN. .... 44
- Figura 4 – Textura instrumental do sorvete medida como firmeza, antes e após o ciclo de temperatura para os tratamentos com 0% (T1 controle), 25% (T2), 50% (T3), 75% (T4) e 100% (T5) de substituição do mix de estabilizantes por mucilagem de ora-pro-nóbis. \* Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ). .... 47
- Figura 5 – Representação gráfica das curvas de nucleação e de derretimento: (a) 0% MOPN (T1 -controle); (b) 25% de MOPN (T2); (c) 50% de MOPN (T3); (d) 75% de MOPN (T4); (e) 100% de MOPN (T5). .... 49
- Figura 6 – Comportamento do sorvete durante o derretimento para os tratamentos com 0% (T1 controle), 25% (T2), 50% (T3), 75% (T4) e 100% (T5) de substituição do mix de estabilizantes por mucilagem de ora-pro-nóbis... 50
- Figura 7 – Fotomicrografia dos cristais de gelo dos tratamentos a) T1(controle) ; b) T2 (25%); c) T3 (50%); d) T4 (75%) e e) T5 (100%) . Os números se referem a 1) antes e 2) após os ciclos de temperatura. .... 52

## LISTA DE TABELAS

### PRIMEIRA PARTE

Tabela 1 –	Formulação de uma mistura de sorvete.....	18
------------	---	----

### SEGUNDA PARTE

Tabela 1 –	Formulação da mistura base do sorvete.....	37
Tabela 2 –	Parâmetros do modelo Lei da Potência ajustados aos dados experimentais obtidos para os tratamentos de preparo de sorvete com substituição do mix de estabilizantes por (MOPN).....	43
Tabela 3 –	Parâmetros químicos e físico-químicos para os tratamentos preparados com substituição do mix de estabilizantes por mucilagem de ora-pro-nóbis (MOPN).....	45
Tabela 4 –	Temperatura de nucleação TN (°C) e temperatura de derretimento TD (°C) dos sorvetes com substituição do mix de estabilizantes por mucilagem de ora-pro-nóbis (MOPN). ....	48

## LISTA DE SIGLAS

ANOVA	Análise de variância
ANVISA	Agência Nacional de Vigilância Sanitária
MOPN	Mucilagem de ora-pro-nobis
OPN	Ora-pro-nobis
RMSE	Raiz quadrada do erro do quadrado médio
SNGL	Sólidos não gordurosos do leite
TD	Temperatura de derretimento
TN	Temperatura de início da nucleação

## SUMÁRIO

	<b>PRIMEIRA PARTE.....</b>	<b>12</b>
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL .....</b>	<b>12</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1</b>	<b>Sorvete .....</b>	<b>14</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Definição e microestrutura .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1.2</b>	<b>Processo de fabricação .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1.3</b>	<b>Ingredientes e aditivos .....</b>	<b>17</b>
<b>2.2</b>	<b>Emulsificantes e estabilizantes.....</b>	<b>22</b>
<b>2.2.1</b>	<b>Hidrocoloides.....</b>	<b>23</b>
<b>2.3</b>	<b>Mucilagem de ora-pro-nobis.....</b>	<b>24</b>
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>26</b>
	<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>27</b>
	<b>SEGUNDA PARTE – ARTIGO .....</b>	<b>33</b>
	<b>SORVETES PRODUZIDOS COM ADIÇÃO DE MUCILAGEM DE ORA-PRO-NOBIS EM SUBSTITUIÇÃO A UM EMULSIFICANTE- ESTABILIZANTE COMERCIAL.....</b>	<b>33</b>

## PRIMEIRA PARTE

### 1 INTRODUÇÃO GERAL

O sorvete é um sistema coloidal complexo formado por bolhas de ar, cristais de gelo e glóbulos de gordura individuais ou parcialmente coalescidos dispersos em uma matriz aquosa concentrada pelo congelamento (MARSHALL; GOFF; HARTEL, 2003). Existe uma grande variabilidade em relação à sua composição, dependente da região e dos diferentes mercados, apresentando normalmente de 8 a 20% de gordura, 8 a 15% de sólidos não gordurosos do leite, 13 a 20% de açúcar e 0 a 0,7% de emulsificante-estabilizante (SOUZA et al., 2010). Segundo a RDC nº 226 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária – ANVISA (BRASIL, 2005), os sorvetes são classificados como Gelados Comestíveis e são definidos como produtos congelados obtidos a partir de uma emulsão de gorduras e proteínas; ou de uma mistura de água e açúcar(es). Em complemento, podem ser adicionados de outro(s) ingrediente(s) desde que não descaracterize(m) o produto.

Na produção de sorvetes, os emulsificantes e os estabilizantes desempenham funções essenciais, mesmo sendo utilizados em pequenas quantidades. Os emulsificantes possibilitam a formação de uma emulsão, pois são substâncias anfifílicas, o que reduz a tensão superficial do meio, além de viabilizarem a uniformidade durante o batimento e estabilizarem a emulsão de gordura o que possibilita uma melhor distribuição das bolhas de ar, produzindo assim um sorvete com textura cremosa e corpo característico. Já os estabilizantes são compostos macromoleculares que, na presença de água, se hidratam formando soluções coloidais, que controlam a movimentação da água, podendo ser chamados de espessantes, aglutinantes ou hidrocoloides (SOUZA et al., 2010). Os estabilizantes conferem diversas vantagens ao sorvete durante a produção, armazenamento e consumo como: redução da taxa de derretimento, aprimoramento da textura, reduzindo o tamanho dos cristais de gelo, impossibilitando o encolhimento da massa, facilitando a incorporação de ar e auxiliando na estabilidade da massa (CLARKE, 2004).

Em geral, um grupo de componentes muito utilizados para obtenção de emulsões mais estáveis e com qualidade exigida pelos consumidores, são os hidrocoloides, os quais são constituídos de polímeros como proteínas e polissacarídeos. Pesquisas apontam que as cactáceas são fontes de hidrocoloides devido à composição rica em polissacarídeos e proteínas. Conhecida popularmente como ora-pro-nobis (do latim, “rogai por nós”) ou lobrobó, a *Pereskia aculeata* Miller pertence à subfamília *Pereskioideae* e a família *Cactaceae* é considerado um

alimento rico em proteínas (ALMEIDA FILHO; CAMBRAIA, 1974). Suas folhas possuem alto valor nutricional devido à presença de grande teor de vitaminas, fibras e minerais e não apresenta toxicidade, encontrando assim aplicação como aditivos alimentares.

A ora-pro-nobis (OPN) possui um alto teor do biopolímero arabinogalactana em suas folhas e devido ao conhecimento da sua composição e do seu potencial em formar emulsões a extração dos hidrocoloides extraídos das folhas dessa espécie são utilizados como uma nova tecnologia de aditivos (espessantes, emulsificantes e estabilizantes) na indústria de alimentos (DUARTE; HAYASHI, 2005; MERCÊ et al., 2001). Portanto, a utilização do hidrocoloide da *Pereskia aculeata* Miller como emulsificante-estabilizante na formulação de sorvetes pode promover melhorias, como maior estabilidade à emulsão, melhorar a qualidade do produto melhorando as propriedades funcionais e nutricionais da emulsão, contribuir para redução dos custos do produto final, devido a substituição dos estabilizantes e emulsificantes comerciais por uma fonte vegetal acessível e de baixo custo.

Com este propósito, o estudo avaliou o efeito da adição de mucilagem da *Pereskia aculeata* Miller (MOPN) sobre a qualidade e microestrutura do sorvete, bem como verificar a viabilidade da utilização da mucilagem em substituição total ou parcial aos emulsificantes-estabilizantes utilizados na fabricação do sorvete. Por fim, avaliar o efeito da adição da mucilagem nas características físicas, químicas e estruturais do sorvete após a substituição total ou parcial aos emulsificantes-estabilizantes.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 Sorvete

O sorvete é um dos muitos produtos lácteos consumidos em todo o mundo. Segundo a Resolução RDC n° 266, de 22 de setembro de 2005 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) gelados comestíveis são definidos como produtos alimentícios obtidos a partir de uma emulsão de gorduras e proteínas, com ou sem a adição de outros ingredientes e substâncias, ou de uma mistura de água, açúcares e outros ingredientes bem como substâncias que tenham sido submetidas ao congelamento em condições que garantam a conservação do produto no estado congelado ou parcialmente congelado, durante o armazenamento, o transporte, a comercialização e a entrega ao consumo (BRASIL, 2005).

Ademais, a Portaria n° 379, de 26 de abril de 1999, classificam os gelados comestíveis quanto a composição básica (sorvetes de creme, sorvetes de leite, sorvetes, *sherbets*, gelados de frutas ou *sorbets* e gelados) e quanto ao processo de fabricação (sorvete de massa ou cremosos, picolés, produtos especiais gelados e designação) (BRASIL, 1999).

A crescente demanda por doces e o aumento da renda são os principais fatores que impulsionam o setor de gelados comestíveis. Ademais, à medida que as temperaturas aumentam em todo o mundo, também aumenta o interesse do consumidor no mercado de sorvetes. Os dois podem até estar relacionados, visto que mais de 70% dos consumidores brasileiros dizem que a principal razão pela qual eles tomam sorvete é devido à sensação de refrescamento quando o clima está quente (HOSCH, 2018).

Dados da Associação Brasileira das Indústrias e do Setor de Sorvete (ABIS) registraram um consumo nacional de 1107 milhões de litros de sorvete em 2019, sendo o consumo per capita neste mesmo ano igual a 5,29 litros/habitantes/ano. Tais valores indicam o Brasil como detentor de aproximadamente 40% do mercado de sorvetes na América Latina, revelando o crescente interesse da população por esse tipo de gelado comestível (ABIS, 2019).

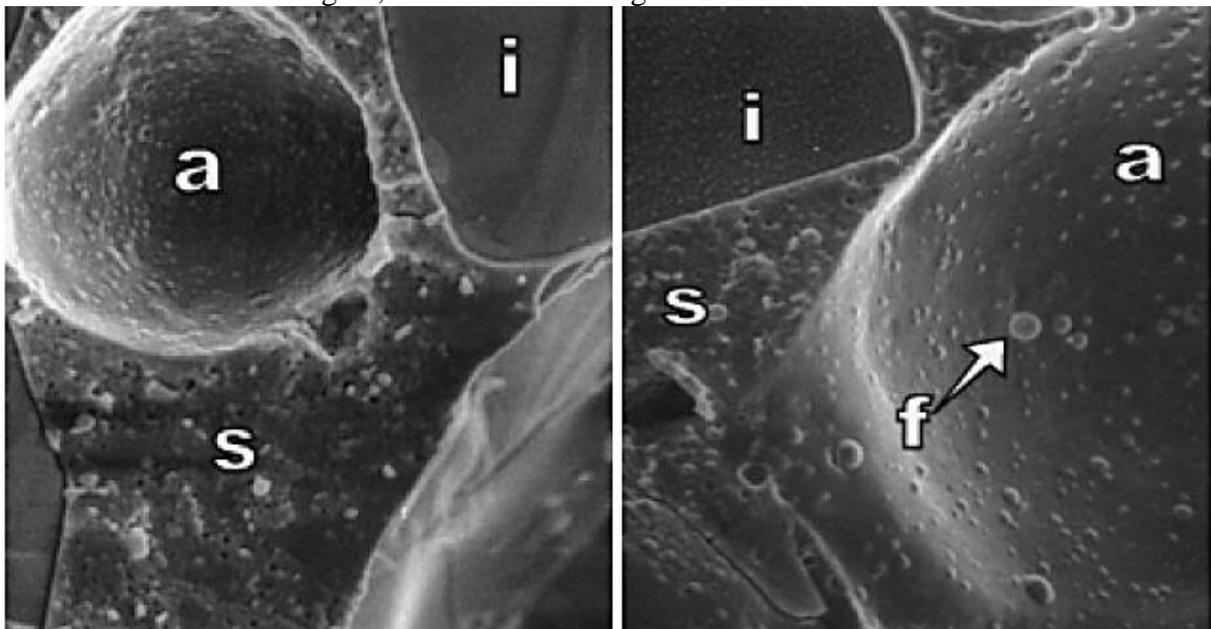
Estima-se que até 2022, o mercado global de sorvetes chegará a U\$ 89 bilhões. O desenvolvimento de sorvetes com pouca gordura, com novos formatos e com novos ingredientes e aditivos está mudando o cenário da produção. Em adição, os fabricantes de sorvete, por sua vez, buscam maximizar os benefícios nutricionais dos produtos que vendem. Novos sabores e variedades estão surgindo constantemente para atrair os consumidores. O consumo de sorvete também está crescendo em mercados emergentes, como China, Brasil e Índia (CHEPKEMOI, 2020).

### 2.1.1 Definição e microestrutura

Dentro da categoria de gelados comestíveis, o sorvete é o produto mais consumido em todo o mundo, sendo uma preparação que se destaca pela facilidade em agradar o paladar tanto de adultos como de crianças (KASSADA et al., 2015). São produtos elaborados basicamente com leite e ou derivados lácteos e ou outras matérias-primas alimentares, em que os teores de gordura e ou proteína são totais ou parcialmente de origem não láctea, podendo ser adicionado de outros ingredientes alimentares (BRASIL, 1999).

Do ponto de vista físico-químico, sorvetes são fluidos complexos formados a partir do congelamento e aeração de uma emulsão na qual coexistem cristais de gelo, bolhas de ar e glóbulos de gordura parcialmente coalescidos suportados em uma matriz aquosa crioconcentrada (Figura 1), podendo conter outros ingredientes, tais como emulsificantes e estabilizantes (PEREIRA et al., 2011).

Figura 1 – Representação da microestrutura do sorvete: a = bolha de ar, f = glóbulo de gordura, i = cristal de gelo, s = matriz não congelada.



Fonte: Goff et al. (2002).

Os glóbulos de gordura e as proteínas do leite são adsorvidos uns aos outros sob a ajuda de emulsificantes, durante o processo de preparo da mistura para sorvete, formando assim uma emulsão coloidal. Durante a batida da mistura, no processo de congelamento do sorvete, uma parte dos glóbulos de gordura, que não se adsorveram nas proteínas do leite, se cristaliza, formando uma aparência de estrutura sólida. Outra parte desses glóbulos aglomera-se formando

o fenômeno chamado de coalescência dos glóbulos de gordura, fato esse comum e observado regularmente em sorvetes. O excesso de formação desse fenômeno e o tamanho das partículas aglomeradas de glóbulos de gordura podem desencadear problemas estruturais como, por exemplo, o crescimento excessivo dos cristais de gelo que confere ao sorvete a textura arenosa após a fabricação e, principalmente, durante o período de armazenamento (COSTA et al., 2008).

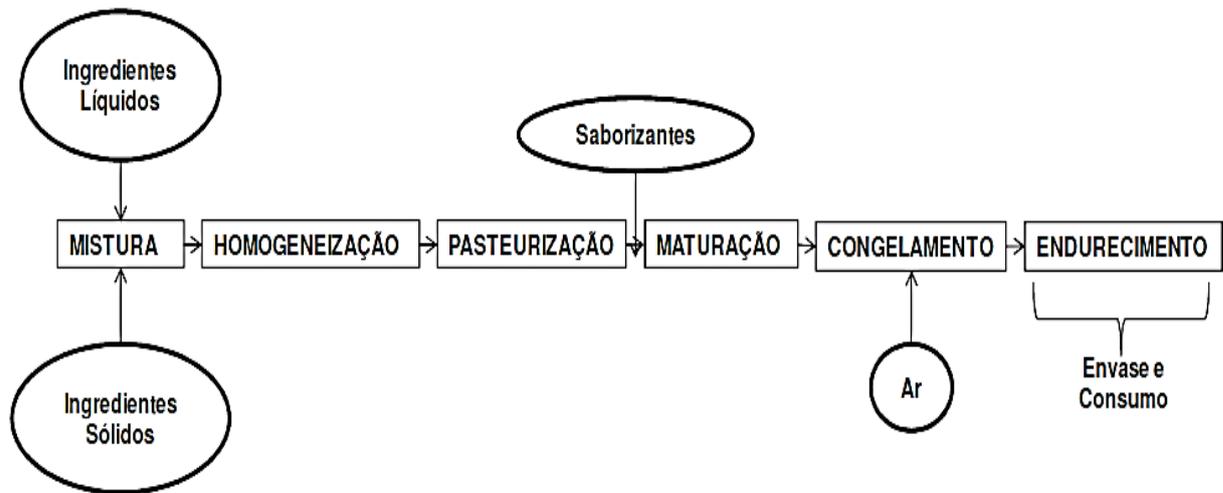
Em suma, sorvetes são alimentos delicados e altamente sensíveis à variações no processo de fabricação, uma vez que as duas fases (congelada e não congelada) que compõem tal sobremesa láctea são submetidas à uma série de operações unitárias a fim de garantir que o produto final alcance o padrão de qualidade e atenda os parâmetros físico-químicos exigidos pela legislação (MILLIATTI; LANNES, 2018).

### **2.1.2 Processo de fabricação**

O processamento deste gelado comestível se inicia pelo delineamento da formulação da mistura para sorvetes, comumente chamada de calda. Após, a formulação é sujeita a diferentes operações nas quais são geradas as propriedades físicas, mecânicas e sensoriais deste coloide alimentício: mistura e pré-aquecimento, pasteurização, homogeneização, resfriamento, maturação, aeração, congelamento, embalagem, endurecimento e armazenamento (KRAHL; FUHRMANN; DIMASSI, 2016). Um fluxograma com todas as etapas do processo produtivo do sorvete pode ser observado na Figura 2.

A mistura e pré-aquecimento são as etapas em que, após pesagem, agregam-se os ingredientes sólidos aos líquidos e a matéria graxa se funde. Tem como principal objetivo garantir que todos os ingredientes estejam dissolvidos ou em suspensão, sem a formação de grumos (CLARKE, 2004). Na pasteurização, os binômios Tempo-Temperatura empregados garantem a solubilização de proteínas e estabilizantes, assegurando a eliminação de microrganismos patogênicos e a redução do número de microrganismos deterioradores. Em decorrência desse processamento térmico algumas enzimas hidrolíticas presentes no leite *in natura* são inativadas, impedindo alterações de aroma, sabor e textura do sorvete (SOLER; VEIGA, 2001). Além disso, também ocorre a formação de grandes glóbulos de gordura, tornando necessária a etapa de homogeneização, cuja finalidade é a redução do diâmetro dos glóbulos de gordura, a obtenção de uma emulsão mais estável, uma melhor solubilização e hidratação dos sólidos. A homogeneização é realizada forçando-se a passagem da mistura aquecida através de um pequeno orifício sob condições moderadas de pressão (200-3000 psi) (GOFF, 1997).

Figura 2 – Etapas do processamento de sorvete.



Fonte: Clarke (2004).

Após a homogeneização a mistura segue para a fase de maturação, na qual é mantida à temperatura de 0 a 4 °C por um período mínimo de 4 horas. É recomendada para promover a completa a hidratação das proteínas do leite e do estabilizante, bem como melhorar a qualidade da aeração da mistura. Durante este processo, a gordura se solidifica e aumenta a viscosidade do mix (THANASUKARN; PONGSAWATMANIT; MCCLEMENTS, 2004).

As etapas finais são aeração e congelamento que envolvem inúmeras mudanças físicas, como: ação das proteínas e emulsificantes na formação e estabilização da espuma; coalescência parcial da gordura seguida de adsorção na interface gordura/ar estabilizando as lamelas entre as bolhas de ar; e crio-concentração da mistura pela remoção da água, sob forma de gelo (GOFF, 2002). Após o congelamento em trocador de calor de superfície raspada o produto é embalado, endurecido e armazenado em temperaturas em torno de -30 °C e finalmente, forma-se a estrutura física final, composta de ar, gelo, gordura e uma fase não-congelada contendo proteínas, emulsificantes, estabilizantes, sais lácteos, lactose e adoçantes, além de água em estado líquido (THAKUR; VIAL, 2005).

### 2.1.3 Ingredientes e aditivos

Na seleção dos ingredientes para a fabricação de sorvete deve-se considerar a qualidade, perecibilidade e custo dos produtos utilizados. Inicialmente os ingredientes utilizados para a fabricação de sorvetes eram leite, creme, açúcar e estabilizantes. Nos dias atuais há uma ampla gama de ingredientes que podem ser utilizados, considerando características como custo,

propriedades (viscosidade, ponto de congelamento e aeração), aroma, corpo, textura, valor nutricional, cor e palatabilidade do produto final (SOUKOULIS; FISK; BOHN, 2014).

Uma típica formulação de uma mistura de sorvete à base de leite possui como ingredientes básicos: a gordura láctea, os sólidos não gordurosos do leite (SNGL), os adoçantes, os estabilizantes, os emulsificantes e a água (TABELA 1).

Tabela 1 – Formulação de uma mistura de sorvete.

<b>Componente</b>	<b>Faixa (%)</b>
Gordura Láctea	10-16
Sólidos não gordurosos do leite	9-12
Sacarose	9-12
Xarope de milho	4-6
Estabilizante/Emulsificante	0-0,5
Sólidos Totais	36-45
Água	55-64

Fonte: GOFF (1997).

Os ingredientes podem ser agrupados em lácteos e não lácteos. Os produtos lácteos formam ingredientes básicos que fornecem gordura e SNGL. Entre os produtos não lácteos encontram-se adoçantes, estabilizantes/emulsificantes, água, ovos, frutas, nozes, essências, produtos especiais (MARSHALL; GOFF; HARTEL, 2003). As funções dos principais ingredientes são apresentadas a seguir:

#### **a) Gordura**

Esse ingrediente fornece energia, ácidos graxos essenciais, esteróis, interage com outros ingredientes desenvolvendo o sabor e estrutura do sorvete, ajudam na estabilização da espuma, são amplamente responsáveis pela textura cremosa e liberam moléculas aromáticas que não são hidrossolúveis (CLARKE, 2004). A gordura utilizada para a fabricação de sorvetes pode ser fornecida pelos ingredientes lácteos (creme de leite, manteiga ou leite em pó integral) ou ser de origem vegetal (derivada da soja, algodão, babaçu ou a combinação destas). No Brasil, como no Reino Unido e parte da Europa, a gordura mais utilizada é a de origem vegetal, um óleo hidrogenado apresentando ponto de fusão em torno de 34° - 38° C. Em outros países, como os Estados Unidos da América, o creme de leite é a principal fonte de gordura (COSTA; LUSTOZA, 2000; GOFF, 1997).

O tipo e a quantidade de gordura utilizada na formulação do sorvete influenciam nas propriedades reológicas, na cremosidade e na sensação de cremosidade (AKOH, 1998; GELIN et al., 1996). Isto ocorre, pois a gordura contribui para a estrutura do sorvete e sua aeração, formando uma rede tridimensional parcialmente coalescida de glóbulos homogêneos que, junto com as bolhas de ar e cristais de gelo são responsáveis pela rigidez, resistência ao derretimento e textura macia do produto congelado (BOLLIGER; GOFF; THARP, 2000; KOXHOLT; EISENMANN; HINRICHS, 2001). Na interface das bolhas de ar e na fase aquosa do sorvete são encontrados os glóbulos de gordura, tanto dispersos quanto parcialmente coalescidos (BOLLIGER; GOFF; THARP, 2000).

As limitações para a utilização de altos teores de gordura estão relacionadas com o aumento do custo do produto, com a redução da capacidade de incorporação de ar, com a diminuição do consumo devido ao grande peso do produto final e ao alto valor calórico que o produto apresenta (GOFF; SPAGNUOLO, 2001). A diferença mais facilmente observada entre o sorvete de baixa e o de alta gordura é a sensação de frio. Os sorvetes com baixo teor de gordura parecem mais frios na boca, ao passo que os com alto teor de gordura reduzem a sensação bucal de frio, possuem alta sensação lubrificante na boca e são mais macios e cremosos (COSTA; LUSTOZA, 2000).

#### **b) Sólidos não gordurosos do leite (SNGL)**

Os sólidos não gordurosos do leite contêm lactose, caseínas, proteínas do soro, minerais, vitaminas e ácidos do leite ou produtos lácteos dos quais eles foram derivados. Os SNGL do leite possuem alto valor nutritivo, contribuindo para o sabor final do gelado comestível. É imprescindível ao melhoramento do corpo e textura do produto e, por não conferir aroma e sabor intensos, podem ser usados para aumentar a palatabilidade do sorvete. As fontes mais utilizadas de SNGL são leite desnatado concentrado ou em pó, soro de leite concentrado ou em pó e os concentrados proteicos da mesma origem (GOFF; HARTEL, 2013).

Os minerais conferem um sabor levemente salgado, o que melhora o sabor e o aroma final do produto. Já a lactose possui um sabor doce, que é mascarado pelo açúcar que normalmente é adicionado. As proteínas do SNGL do leite, em razão de seu elevado valor biológico, aumentam o valor nutritivo do sorvete e sua capacidade de retenção de água, o que torna o produto suave e facilita a incorporação de ar. O efeito funcional do SNGL deve-se às proteínas do leite, em especial à caseína, que durante a homogeneização, cobrem a superfície dos glóbulos de gordura, evitando uma possível separação durante o batimento e o

congelamento. Essas proteínas se depositam na superfície das bolhas de ar estabilizando-as, podendo ainda absorver parte da água livre (SOUZA et al., 2010).

A emulsificação e a capacidade de formar espuma são propriedades ativas de superfície das proteínas. Os componentes ativos na superfície ou na interface das proteínas estão em concentrações relativamente baixas e reduzem a tensão superficial, mesmo em concentrações muito baixas de caseína (0,02 µg/L). Estas características funcionais tornam as proteínas o principal agente estabilizante de emulsão em uma mistura de sorvete (GOFF; HARTEL, 2013).

### **c) Agentes adoçantes**

O açúcar, um dos principais componentes do sorvete, aumenta a viscosidade e o teor de sólidos totais (ST) melhorando o corpo e a textura, tornando-o mais cremoso, além de aumentar a aceitação do produto aprimorando o sabor e o aroma. A ausência de adoçantes causa sensação de redução da intensidade do sabor e acentua sabores e/ou aromas indesejáveis (SOLER; VEIGA, 2001). A quantidade de açúcares adicionado às formulações de sorvetes, expressos em sacarose, pode variar de 12 a 20%, sendo a concentração de 14 a 16% a mais adequada à utilização. Sorvetes que possuem menos de 12% de sacarose são considerados críticos em baixa doçura, implicando em um produto com sabor insosso, prejudicando o sabor desejado (MARSHALL; GOFF; HARTEL, 2003).

Por muitos anos a sacarose, um dissacarídeo formado pela união da glicose e frutose, foi o único adoçante utilizado na fabricação de sorvetes em razão do excelente sabor que confere ao produto. No entanto, existe uma tendência de se obter a doçura adequada a partir da mistura da sacarose com outros agentes adoçantes. Esta mistura é desejada por aumentar o teor de sólidos totais sem exceder a doçura e melhorar a qualidade de adoçantes economicamente mais baratos (MARSHALL; GOFF; HARTEL, 2003). A mistura da sacarose com xarope de milho tem sido muito utilizada, pois contribuem para tornar o corpo do sorvete mais firme e mastigável além de aumentar a vida útil do produto, representado uma fonte econômica de sólidos para a mistura (GOFF, 2002).

Os açúcares, incluindo a lactose oriunda dos componentes lácteos do sorvete, contribuem para a redução do ponto de congelamento, de modo que no produto final apenas 72% da água se encontra congelada. O restante da água encontra-se em uma solução de alta concentração de açúcar que juntamente com o ar adicionado, permite que o alimento possa ser servido e mastigado a temperaturas de -15 °C a -18 °C (GOFF, 2002). Os açúcares podem ser considerados como componentes anticongelantes, em razão de impedir que o produto seja

totalmente congelado. Se não fosse por esse ingrediente, o sorvete congelaria a temperaturas relativamente altas e perderia as características desejáveis de corpo e textura (SILVA, 2012).

#### **d) Água e ar**

Todos os ingredientes são dissolvidos ou dispersos na água e deve constituir aproximadamente de 60 a 72% (m/m) da formulação do sorvete. Durante o congelamento e endurecimento, a maioria da água é convertida em gelo (CLARKE, 2004). O ar no sorvete fornece uma textura leve e influencia as propriedades físicas do derretimento e dureza, a quantidade de ar incorporado (*overrun*) e a distribuição do tamanho das bolhas de ar (SOFJAN; HARTEL, 2004). As bolhas de ar são normalmente recobertas por gorduras, que por sua vez são recobertas por uma camada de proteínas e emulsificantes (AKHTAR; MURRAY; DICKINSON, 2006).

Os cristais de gelo devem possuir tamanho médio entre 20 e 50 $\mu$ m, para proporcionar a sensação de cremosidade (GOFF, 1997). Quando os cristais são maiores que 50  $\mu$ m, estes podem ser detectados na boca pelos consumidores e o excesso destes grandes cristais pode resultar em um produto arenoso (DREWETT; HARTEL, 2007). Na produção de sorvete deve haver controle das flutuações de temperatura que causam o crescimento de grandes cristais de gelo e um cuidadoso controle do *overrun* para produzir um produto de qualidade (FERNÁNDEZ et al., 2008).

A legislação de cada país regulamenta padrões de incorporação de ar no produto (MARSHALL; GOFF; HARTEL, 1996). No Brasil, após a incorporação de ar, o sorvete deve apresentar densidade aparente de 475 g/L (BRASIL, 2005), enquanto nos Estados Unidos o sorvete deve possuir no mínimo 530 g/L (USDA, 2011).

#### **e) Saborizantes**

O sabor agradável ao consumidor é um dos requisitos essenciais na produção do sorvete. Os sabores podem ser naturais ou sintéticos. Os naturais são extraídos de fontes como plantas, já os saborizantes sintéticos podem ser idênticos aos naturais (produzidos artificialmente, mas idêntico a forma natural) ou artificiais produzidos artificialmente e não ocorrem na natureza) (CLARKE, 2004).

## 2.2 Emulsificantes e estabilizantes

No processamento de sorvetes os estabilizantes são adicionados às formulações e oferecem diversos efeitos benéficos ao sorvete durante a manufatura, armazenamento e consumo: aprimoram a textura; reduzem a taxa de derretimento; impedem o encolhimento; mascaram a sensação de cristais de gelo na boca durante a mastigação; permitem um bombeamento mais fácil e um enchimento mais exato da embalagem durante o processamento; facilitam a incorporação controlada de ar e ajudam na produção de uma espuma mais estável (CLARKE, 2004). Possuem um papel importante na resistência a mudanças estruturais durante choques térmicos e inevitáveis ciclos de temperatura que ocorrem durante o armazenamento e distribuição favorecendo o crescimento dos cristais de gelo e outros tipos de deterioração, pois limitam a migração da água. Tal função é atribuída a capacidade de retenção de água dos estabilizantes e formação de uma rede tridimensional entre estabilizante e outros componentes da formulação, principalmente açúcares e proteínas (BAHRAMPARVAR; GOFF, 2013; HARTEL; RANKIN; BRADLEY JR., 2017; JAVIDI; RAZAVI, 2018).

A maioria dos estabilizantes é classificada como gomas ou hidrocoloides, os quais podem ser definidos como polissacarídeos solúvel em água, extraído de vegetais terrestres, marinhos ou de microrganismos ou, ainda, alguns podem sofrer modificações químicas para alcançar as características desejadas (DAMODARAN; PARKIN; FENNEMA, 2018). Substâncias como gelatina, carboximetilcelulose, alginato de sódio, goma guar, goma locusta, carragena e goma xantana são amplamente empregadas no processamento de alimentos (FERNANDÉZ et al., 2008).

Os emulsificantes são utilizados para produção de emulsões lácteas, pois possuem a habilidade de atuar na interface gordura/água devido a sua estrutura molecular. O grupo polar da molécula tem afinidade pela água, na qual se dissolve, enquanto que a parte apolar (do ácido graxo) tem afinidade pela gordura. A capacidade de descolamento das proteínas da superfície dos glóbulos de gordura, tornando o glóbulo mais suscetível a coalescência parcial são também de responsabilidade dos emulsificantes (GOFF; SPAGNUOLO, 2001).

Ademais, são substâncias que tornam possível a formação ou manutenção de uma mistura uniforme de duas ou mais fases imiscíveis no alimento, obtendo emulsões mais estáveis e com qualidade exigida pelos consumidores. Hidrocoloides são muito utilizados na preparação de emulsões, objetivando a redução da tensão superficial e quando a redução é efetiva, formam-se gotículas do líquido disperso. Apesar de encontrar ampla aplicação na indústria de alimentos

como aditivos, tais hidrocolóides ainda apresentam custos onerosos para este setor (PEREIRA; GARCIA-ROJAS, 2015).

Inúmeros estudos revelam fontes de emulsificantes/estabilizantes de origem vegetal, como o de Evangelho et al. (2017) que menciona a possível utilização do concentrado proteico do feijão preto tratados com alcalase como agentes emulsificantes. A goma de cajueiro também é um biopolímero isolado do exsudato de cajueiro, que contém compostos anfifílicos com propriedades emulsionantes satisfatórias (PORTO; CRISTIANINI, 2014). Du et al. (2017), estudou as características físico-químicas, propriedades funcionais e composição de aminoácidos dos extratos proteicos do feijão Mung para determinar o potencial na indústria de alimentos. Os resultados mostraram que a proteína extraída do feijão possui boa solubilidade, capacidade de retenção de água, capacidade de absorção de óleo, propriedades emulsificantes e espumantes. Kaushik et al. (2015), mostrou que a linhaça possui propriedades emulsificantes preferencialmente em emulsões óleo e água. Tais estudos comprovam que os hidrocolóides além de estabilizantes também são capazes de desempenhar função emulsificante em produtos alimentícios.

### **2.2.1 Hidrocolóides**

Hidrocoloide é um grupo heterogêneo de polímeros de cadeia longa (polissacarídeos e proteínas), caracterizado por suas propriedades de formar dispersões com alta viscosidade que é intermediária entre uma verdadeira solução e uma suspensão. Em meio aquoso também formam géis devido à grande presença de hidroxilas (-OH) o que confere à estrutura polimérica característica hidrofílica. As ligações conectadas dentro de um gel são compostas por ligações de hidrogênio, associações hidrofóbicas e ligações cruzadas mediadas por cátions; portanto, os géis de hidrocolóides são geralmente considerados "géis físicos" (JAFARI; BEHESHTI; ASSADPOUR, 2013; MUNARIN; TANZI; PETRINI, 2012; SARA; BHATTACHARYA, 2010).

Compostos por proteínas e polissacarídeos, os hidrocolóides são amplamente utilizados na indústria de alimentos com diferentes finalidades como espessante e gelificante em soluções aquosas, estabilizantes de espumas, emulsões e dispersões, inibidores na formação de cristais de gelo e de açúcar, controlador de flavor entre outros (NISHINARI et al., 2018; STEPHEN; PHILLIPS; WILLIAMS, 2006).

Especificamente na produção de sorvetes, hidrocolóides são considerados ingredientes importantes, visto que estão relacionados à estabilização, controle da recristalização e do

crescimento de cristais de gelo após a etapa de congelamento, prevenção da separação de fases, espessamento, textura, choque térmico e resistência à fusão. Artigos publicados nos últimos anos demonstram que inulina e goma de manjeriço estão se tornando populares na produção de sorvetes (AKBARI et al., 2016; BAHRAMPARVAR; TEHRANI; RAZAVI, 2013). Neste contexto, os hidrocolóides podem também afetar a qualidade do derretimento dos sorvetes, pois têm a capacidade de se ligar a água e, posteriormente, aumentar a microviscosidade desses gelados comestíveis (MARSHALL; GOFF; HARTEL, 2012).

Os polissacarídeos utilizados em indústrias são extraídos de plantas, de algas, de animais e fungos ou são obtidos via fermentação microbiana. A extração de hidrocolóides a partir de produtos vegetais possui um diferencial, visto que estes são mais bem vistos pelos consumidores, quando comparados aos hidrocolóides de origem animal (LIMA JUNIOR, 2013). Essas biomoléculas encontradas em espécies vegetais também são conhecidas como gomas ou mucilagens (CUNHA; PAULA; FEITOSA, 2009).

No Brasil, apesar de existirem plantas nativas que apresentam alto potencial de produção, grande parte dos hidrocolóides utilizados em aplicações alimentares são provenientes de produtos importados, o que demanda grande incentivo financeiro (LIMA JUNIOR et al., 2013; MARTIN et al., 2017). Estudos permitem que as indústrias selecionem as mucilagens apropriadas de acordo com suas necessidades específicas, sem extensa tentativa e erro. Essa mucilagem pode ser obtida de fontes disponíveis localmente e com baixo custo (GERESH; DAWADI; ARAD, 2000; PRAJAPATI et al., 2013). Pesquisas científicas com cactáceas como possíveis fontes de mucilagens, têm sido requeridas devido à presença de grandes quantidades de polissacarídeos e de proteínas em sua estrutura (LIMA JUNIOR et al., 2013; MARTIN et al., 2017).

### **2.3 Mucilagem de ora-pro-nobis**

A crescente demanda por gomas com funcionalidade específica e que interajam sinergicamente, melhorando as propriedades funcionais dos alimentos, fazem com que diversas pesquisas sejam realizadas a fim de encontrar fontes alternativas e economicamente viáveis para a extração de hidrocolóides (SALEHI et al., 2015).

Autores como Amaral et al. (2018), Conceição et al. (2014), Lima Júnior et al. (2013) e Martin et al. (2017), desenvolveram estudos relacionados à extração, caracterização e aplicação de hidrocolóides das folhas de *Pereskia aculeata* Miller, uma cactácea popularmente conhecida no Brasil como ora-pro-nobis (TAKEITI et al., 2009). Tal planta é resistente à seca, própria de

clima tropical e subtropical, encontrada nos trópicos americanos, como na região sul dos EUA e no Brasil (MARTINEVSKI et al., 2013).

A espécie *Pereskia aculeata* Miller é atóxica e apresenta em suas folhas um arranjo de polissacarídeos rico em arabinogalactana com ramificações constituídas por galactose, arabinose, ramnose e ácido galacturônico, associado com proteínas (LIMA JUNIOR et al., 2013; MARTIN et al., 2017). Tal arranjo exerce um papel crucial na determinação das propriedades emulsificantes de hidrocoloides com alto valor comercial, como a goma arábica extraída da *Acacia senegal* (LEE; MCCLEMENTS, 2010; YADAV et al., 2007) que possui comportamento considerado único. Poucas substâncias proteico-polissacarídicas apresentam mecanismos de emulsificação comparável, portanto, a busca por substitutos totais ou parciais para a goma arábica na indústria de alimentos é cada vez mais incentivada (PORTO; CRISTIANINI, 2014).

Em pesquisas recentes, a mucilagem de OPN (MOPN) é apontada como uma fonte alternativa para aplicação em produtos alimentícios. Esta mucilagem apresenta potencial de uso como agente de emulsificação e de estabilização, em razão das suas propriedades de adsorção interfacial (MARTIN et al., 2017). Possui alta capacidade em formar géis, emulsões e nanoemulsões, em virtude de um aumento da viscosidade do meio em função da concentração da mucilagem e sua alta higroscopicidade, bem como proporciona maior estabilidade devido à maior uniformidade das gotículas formadas em sistemas coloidais (CONCEIÇÃO et al., 2014; JUNQUEIRA et al., 2018; LAGO et al., 2019). Em adição, a aplicação de MOPN em bebidas lácteas fermentadas provou ser uma abordagem possível, visto que a mistura aumentou o teor proteico e a viscosidade do produto, bem como reduziu a sinerese (AMARAL et al., 2018). A mucilagem assim obtida pode ser um material funcional alternativo natural e econômico para utilização em muitos processos industriais, em especial, no desenvolvimento de produtos alimentícios à base de emulsão como sorvetes (MONRROY et al., 2017).

### 3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O crescimento no consumo de sorvetes se traduz em novas oportunidades para que as indústrias busquem por produtos diferenciados e de alta qualidade. Conforme a legislação brasileira, o sorvete é um produto que se encontra na categoria de alimentos gelados comestíveis, com ou sem a adição de outros ingredientes e substâncias, obtidos a partir de uma emulsão de gorduras e proteínas ou uma mistura de água e açúcares. O processo de fabricação é complexo, com várias etapas essenciais para a qualidade do produto final como a mistura, a homogeneização, a pasteurização, a maturação, o congelamento e o endurecimento. Na mistura faz-se necessária uma ordem sistemática de adição dos ingredientes para garantir uma ótima qualidade. Os emulsificantes e os estabilizantes também desempenham funções vitais na produção de sorvetes, apesar de serem utilizados em pequenas quantidades, visto que são responsáveis pela incorporação de ar durante o batimento da massa, facilitando a homogeneização entre os ingredientes, principalmente por se adsorverem na interface óleo-água, o que conseqüentemente reduz a tensão interfacial. De acordo com a crescente demanda por hidrocoloides com funcionalidade específica, encontrar novas fontes com propriedades apropriadas é uma área ativa de pesquisa. Assim, a mucilagem extraída da *Pereskia aculeata* Miller (ora-pro-nobis) pode ser considerada um potencial aditivo, uma vez que apresenta alta capacidade de absorção de água, o que lhes conferem excelentes perspectivas para uso em alimentos processados, devido às suas propriedades estabilizantes e emulsificantes.

## REFERÊNCIAS

ABIS. Associação Brasileira das Indústrias e do Setor de Sorvete. **História do sorvete**. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://abis-sorvetes.blogspot.com/2007/12/historia-do-sorvete.html>>. Acesso em: 16 out. 2019.

\_\_\_\_\_. Associação Brasileira das Indústrias e do Setor de Sorvetes. **Produção e consumo de sorvetes no Brasil. 2019**. Disponível em: <[http://www.abis.com.br/estatistica\\_producaoconsumodesorvetesnobrasil.html](http://www.abis.com.br/estatistica_producaoconsumodesorvetesnobrasil.html)> Acesso em: 29 fev. 2020.

AKBARI, M. et al. The effect of inulin on the physicochemical properties and sensory attributes of low-fat ice cream. **International Dairy Journal**, Oxford, v. 57, p. 52-55, 2016.

AKHTAR, M.; MURRAY, B. S.; DICKINSON, E. Perception of creaminess of model oil-in-water dairy emulsions: influence of the shear-thinning nature of a viscosity-controlling hydrocolloid. **Food Hydrocolloids**, Oxon, v. 20, n. 6, p. 839-847, 2006.

AKOH, C. C. Fat replacers. **Food Technology**, Chicago, v. 52, n. 3, p. 47-53, 1998.  
ALMEIDA FILHO, J.; CAMBRAIA, J. Estudo do valor nutritivo do “ora-pro-nóbis” (*Pereskia aculeata* Mill.). **Revista Ceres**, Viçosa, v. 21, n. 114, p. 105-111, 1974.

AMARAL, T. N. et al. Blends of *Pereskia aculeata* Miller mucilage, guar gum, and gum Arabic added to fermented milk beverages. **Food Hydrocolloids**, Oxon, v. 79, p. 331–342, 2018.

BAHRAMPARVAR M.; TEHRANI, M. M.; RAZAVI, S. M. Effects of a novel stabilizer blend and presence of  $\kappa$ -carrageenan on some properties of vanilla ice cream during storage. **Food Bioscience**, Amsterdam, v. 3, p. 10-18, 2013.

BAHRAMPARVAR, M.; GOFF, H. D. Basil seed gum as a novel stabilizer for structure formation and reduction of ice recrystallization in ice cream. **Dairy Science & Technology**, Paris, v. 93, n. 3, p. 273-285, 2013.

BOLLIGER, S.; GOFF, H. D.; THARP, B.W. Correlation between colloidal properties of ice cream mix and ice cream. **International Dairy Journal**, Oxon, v. 10, n. 10, p. 303-309, 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria n.º 379, de 26 de abril de 1999. Aprova o regulamento técnico referente a gelados comestíveis, preparados, pós para o preparo e bases para gelados comestíveis. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 29 abr. 1999. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs/1/1999/prt0379\\_26\\_04\\_1999.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/svs/1/1999/prt0379_26_04_1999.html)>. Acesso em: 20 nov. 2019.

\_\_\_\_\_. Resolução RDC n.º 266, de 22 de setembro de 2005. Regulamento técnico para gelados comestíveis e preparados para gelados comestíveis. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, 23 set. 2005. Disponível em: <[http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/res0266\\_22\\_09\\_2005.html](http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2005/res0266_22_09_2005.html)>. Acesso em: 20 nov. 2019.

- CHEPKEMOI, J. Which country eats the most ice cream?. 2020. Disponível em: <<https://www.worldatlas.com/articles/the-top-ice-cream-consuming-countries-of-the-world.html>>. Acesso em: 25 jan. 2020.
- CLARKE, D. **The Science of ice cream**. Cambridge: The Royal Society of Chemistry, 2004. 187 p.
- CONCEIÇÃO, M. C. et al. Thermal and microstructural stability of a powdered gum derived from *Pereskia aculeata* Miller leaves. **Food Hydrocolloids**, Oxon, v. 40, p. 104-114, 2014.
- COSTA, F. F. et al. Effect of calcium chloride addition on ice cream structure and quality. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, n. 6, p. 2165-2174, 2008.
- COSTA, O. P.; LUSTOZA, D. C. **Industrialização de sorvetes**. Germantown: International Limited, 2000. 78 p.
- CUNHA, P. L. R. DA; PAULA, R. C. M. DE; FEITOSA, J. P. A. Polissacarídeos da biodiversidade brasileira: uma oportunidade de transformar conhecimento em valor econômico. **Química Nova**, São Paulo, v. 32, n. 3, p. 649–660, 2009.
- DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L.; FENNEMA, O. R. **Química de Alimentos de Fennema**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2018. 1120 p.
- DREWETT, M. E.; HARTEL, R. W. Ice crystallization in a scraped surface freezer. **Journal of Food Engineering**, Oxon, v. 78, n. 3, p. 1060-1066, 2007.
- DU, M. et al. Extraction, physicochemical characteristics and functional properties of Mung bean protein. **Food Hydrocolloids**, Oxon, v. 76, p. 131-140, 2017.
- DUARTE, M. R.; HAYASHI, S. S. Estudo anatômico de folha e caule de *Pereskia aculeata* Mill. (Cactaceae). **Revista Brasileira de Farmacologia**, Rio de Janeiro, v. 15, n. 2, p. 103-109, 2005.
- EVANGELHO, J. A. et al. Black bean (*Phaseolus vulgaris* L.) protein hydrolysates: Physicochemical and functional properties. **Food Chemistry**, Oxon, v. 214, p. 460–467, 2017.
- FERNÁNDEZ, P. P. et al. High-pressure shift freezing: recrystallization during storage. **European Food Research and Technology**, New York, v. 227, n. 5, p. 1367-1377, 2008.
- GELIN, J. L. et al. Interactions between food components in ice cream II: structure-texture relationships. **Food Hydrocolloids**, Oxon, v. 10, n. 4, p. 199-215, 1996.
- GERESH, S.; DAWADI, R. P.; ARAD, S. Chemical modifications of biopolymers: quaternization of the extracellular polysaccharide of the red microalga *Porphyridium* sp. **Carbohydrate Polymers**, Oxon, v. 43, n. 1, p. 75-80, 2000.
- GOFF, H. D. Colloidal aspects of ice cream. **International Dairy Journal**, Oxford, v. 7, n. 6-7, p. 363-373, 1997.

GOFF, H. D. Formation and stabilization of structure in ice-cream and related products. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, London, v. 7, n. 5-6, p. 432-437, 2002.

GOFF, H. D.; HARTEL, R. W. **Ice cream** (7<sup>a</sup> Ed.). Springer, 2013.

GOFF, H. D.; SPAGNULO, P. Effect of stabilizers on fat destabilization measurements in ice cream. **Milchwissenschaft - Milk Science International**, Kempten, v. 56, n. 8, p. 450-453, 2001.

HARTEL, R. W.; RANKIN, S. A.; BRADLEY JR, R. L. A 100-Year Review: Milestones in the development of frozen desserts. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 100, n. 12, p. 10014-10025, 2017.

HOSCH, A. **The state of the global ice cream market**. 2018. Disponível em: <<https://www.kerry.com/insights/kerrydigest/2018/the-state-of-the-global-ice-cream-market>>. Acesso em: 25 jan. 2020.

JAFARI, S. M.; BEHESHTI, P.; ASSADPOUR E. Emulsification properties of a novel hydrocolloid (Angum gum) for d-limonene droplets compared with Arabic gum. **International Journal of Biological Macromolecules**, New York, v. 61, p. 182-188, 2013.

JAVIDI, F.; RAZAVI, S. M. A. Rheological, physical and sensory characteristics of light ice cream as affected by selected fat replacers. **Journal of Food Measurement and Characterization**, New York, v. 12, n. 3, p. 1872-1884, 2018.

JUNQUEIRA, L. A. et al. Rheological behavior and stability of emulsions obtained from *Pereskia aculeata* Miller via different drying methods. **International Journal of Food Properties**, Philadelphia, v. 21, n. 1, p. 21-25, 2018.

KASSADA, A. T. et al. Sorbet a base de caldo de cana saborizado artificialmente. **Revista GEINTEC**, v. 5, n. 1, p. 1716-1725, 2015.

KAUSHIK, P. et al. Preparation, characterization and functional properties of flax seed protein isolate. **Food Chemistry**, Oxon, v. 197, p. 212-220, 2016.

KLAHORST, S. J. Ice cream: Combination chemistry. **Food Product Design**, London, v. 7, n. 5, p. 69-76, 1997.

KOXHOLT, M. M. R.; EISENMANN, B.; HINRICHS, J. effect of the fat globule sizes on the meltdown of ice cream. **Journal of Dairy Science**, New York, v. 84, n. 1, p. 31-37, 2001.

KRAHL, T.; FUHRMANN, H.; DIMASSI, S. Ice cream. In: CARLE, R.; SCHWEIGGERT, R. M. (Eds.). **Handbook on Natural Pigments in Food and Beverages: Industrial Applications for Improving Food Color**. London: Elsevier, 2016. p. 197-207.

LAGO, A. M. T. et al. Ultrasound-assisted oil-in-water nanoemulsion produced from *Pereskia aculeata* Miller mucilage. **Ultrasonics – Sonochemistry**, Amsterdam, v. 50, p. 339-353, 2019.

- LEE, S. J.; MCCLEMENTS, D. J. Fabrication of protein-stabilized nanoemulsions using a combined homogenization and amphiphilic solvent dissolution/evaporation approach. **Food Hydrocolloids**, Oxon, v. 24, n. 6–7, p. 560–569, 2010.
- LIMA JUNIOR, F. A. et al. Response surface methodology for optimization of the mucilage extraction process from *Pereskia aculeata* Miller. **Food Hydrocolloids**, Oxon, v. 33, n. 1, p. 38-47, 2013.
- MACHADO, G. C. **Utilização de óleo de coco babaçu, concentrado proteico de soro e leite em pó desnatado na produção de sorvetes**. 2005. 91 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2005.
- MARSHALL, R. T.; GOFF, H. D.; HARTEL R.W. **Ice cream** (6 ed.), Springer, p. 316-317, 2012.
- MARSHALL, R. T.; GOFF, H. D.; HARTEL, R. W. **Ice cream**. 6. ed. New York: Plenum Publishing, 2003. 371 p.
- MARTIN, A. A. et al. Chemical structure and physical-chemical properties of mucilage from the leaves of *Pereskia aculeata*. **Food Hydrocolloids**, Oxon, v. 70, p. 20–28, 2017.
- MARTINEVSKI, C. S. et al. Utilização de Bertalha (*Anredera Cordifolia* (Ten.) Steenis) e ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Mill.) na Elaboração De Pães. **Journal of Food Nutrition**, Oxon, v. 24, n. 3, p. 6, 2013.
- MERCÊ, A. L. R. et al. Complexes of arabinogalactan of *Pereskia aculeata* and  $\text{Co}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$  and  $\text{Ni}^{2+}$ . **Bioresource Tecnologia**, Barking, v. 76, n. 1, p. 29-37, 2001.
- MIKILITA, I. S. **Avaliação do estágio de adoção das boas práticas de fabricação pelas indústrias de sorvete da região metropolitana de Curitiba (PR):** proposição de um plano de análise de perigos e pontos críticos de controle. 2002. 172 p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.
- MILLIATTI, M. C.; LANNES, S. C. da S. Impact of stabilizers on the rheological properties of ice creams. **Food Science and Technology**, Campinas, v. 38, n. 4, p. 733-739, 2018.
- MONRROY, M. et al. Extraction and physicochemical characterization of mucilage from *Opuntia cochenillifera* (L.) Miller. **Journal of Chemistry**, London, v. 2017, p. 1-9, 2017.
- MOSQUIM, M. C. A. **Fabricando sorvete com qualidade**. São Paulo: Fonte Comunicações e Editora Ltda., 1999. 120 p.
- MUNARIN, F.; TANZI, M. C.; PETRINI P. Advances in biomedical applications of pectin gels. **International Journal of Biological Macromolecules**, New York, v. 51, p. 681-689, 2012.
- MUNDO ESTRANHO. Como surgiu o sorvete?. **Super Interessante**, São Paulo, 18 jul. 2018. Disponível em: <<https://super.abril.com.br/mundo-estranho/como-surgiu-o-sorvete/>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

NISHINARI, K.; FANG, Y.; YANG, N.; YAO, X.; ZHAO, M.; ZHANG, K et al. Gels, emulsions and application of hydrocolloids at Phillips hydrocolloids research centre. **Food Hydrocolloids**, Oxon, v. 78, p. 36-46, 2018.

PEREIRA, G. G. et al. Influence of the partial substitution of skim milk powder for soy extract on ice cream structure and quality. **European Food Research and Technology**, New York, v. 232, n. 6, p. 1093-1102, 2011.

PEREIRA, L. J. B.; GARCIA-ROJAS, E. E. Multiple emulsions: formation and application in microencapsulation of bioactive components. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 45, n. 1, p. 155-162, 2015.

PETERA, B. et al. Characterization of arabinogalactan-rich mucilage from *Cereus triangularis* cladodes. **Carbohydrate Polymers**, Oxon, v. 127, p. 372–380, 2015.

PORTO, B. C.; CRISTIANINI, M. Evaluation of cashew tree gum (*Anacardium occidentale* L.). **LWT - Food Science and Technology**, Amsterdam, v. 59, n. 2, p. 1325-1331, 2014.

PRAJAPATI, V. D. et al. Pharmaceutical applications of various natural gums, mucilages and their modified forms. **Carbohydrate Polymers**, Oxon, v. 92, n. 2., p. 1685-1699, 2013.

SALEHI, F.; KASHANINEJAD, M.; TADAYYON, A.; ARABAMERI, F. Modeling of extraction process of crude polysaccharides from Basil seeds (*Ocimum basilicum l.*) as affected by process variables. **Journal of Food Science & Technology**, v. 52, p. 5220-5227, 2015.

SARA, D.; BHATTACHARYA, S. Hydrocolloids as thickening and gelling agents in food: a critical review. **Journal of Food Science and Technology**, New Delhi, v. 47, n. 6, p. 587-597, 2010.

SILVA, V. M. da. **Sorvete light com fibra alimentar: Desenvolvimento, caracterização físico-química, reológica e sensorial**. 2012. 147 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2012.

SOFJAN, R. P.; HARTEL, R. W. Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. **International Dairy Journal**, Oxon, v. 14, n. 3, p. 255-262, 2004.

SOLER, M. P.; VEIGA, P. G. **Sorvetes**. Campinas: ITAL, 2001. 68 p. (Especial, 1).

SOUKOULIS, C. FISK, I.D. BOHN T. Ice cream as a vehicle for incorporating health-promoting Ingredients: Conceptualization and overview of quality and storage stability. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 13, n. 4, p. 627-655, 2014.

SOUZA, J. C. B. et al. Ice cream: composition, processing and addition of probiotic. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 21, n.1, p. 155-165, 2010.

STEPHEN, A. M.; PHILLIPS, G. O.; WILLIAMS, P. A. **Food Polysaccharides and their applications**. 2nd ed. Boca Raton: CRC, 2006. 748 p.

STOGO, M. **Ice cream and frozen desserts:** a commercial guide to production and marketing. New York: J. Wiley, 1997. 560 p.

THAKUR, R.K., VIAL, C., DJELVEH, G. Combined effects of process parameters and composition on foaming of dairy emulsions at low temperature in a agitated column. **Journal of Food Engineering**, Oxon, v. 68, p. 335-347, 2005.

THANASUKARN, P., PONGSAWATMANIT, R., MCCLEMENTS, D.J. Influence of emulsifier type on freeze-thaw stability of hydrogenated palm oil-in-water emulsions. **Food Hydrocolloids**, Oxon, v. 17, p. 1-23, 2003.

USDA. United States Department of Agriculture. **Economic Research Service:** The economics of Food, Farminf, Natural Resources and Rural America. 2011. Disponível em: <[http://www.ers.usda.gov/data/farmtoconsumer/pricespreadsdoc.htm#fr\\_cream](http://www.ers.usda.gov/data/farmtoconsumer/pricespreadsdoc.htm#fr_cream)>. Acesso em: 23 nov. 2019.

YADAV, M. P. et al. Chemical investigation of the structural basis of the emulsifying activity of gum arabic. **Food Hydrocolloids**, Oxon, v. 21, n. 2, p. 297–308, 2007.

## SEGUNDA PARTE – ARTIGO

### SORVETES PRODUZIDOS COM ADIÇÃO DE MUCILAGEM DE ORA-PRO-NOBIS EM SUBSTITUIÇÃO A UM EMULSIFICANTE-ESTABILIZANTE COMERCIAL

Normas da NBR 6022 (ABNT 2003)

#### RESUMO

Comumente empregados como emulsificantes e estabilizantes, os hidrocoloides ou mucilagens de origem vegetal, são amplamente estudados para uso em produtos alimentícios, inclusive em sorvetes. A mucilagem extraída da *Pereskia aculeata* Miller (ora-pro-nobis) têm se destacado devido à alta capacidade de absorção de água, formação de géis e estabilização de emulsões. O presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da adição da mucilagem de ora-pro-nobis (MOPN) sobre as características físico-químicas e microestruturais do sorvete, bem como verificar a viabilidade da utilização da mucilagem em substituição total ou parcial a um emulsificante-estabilizante comercial utilizado na fabricação deste gelado comestível. Foram elaboradas cinco formulações de sorvete com substituição do mix de estabilizantes-emulsificantes por 0, 25, 50, 75 e 100% (m/m) de MOPN que posteriormente foram caracterizadas quanto ao comportamento reológico, pH, sólidos totais, composição centesimal, *overrun*, firmeza, temperatura de derretimento, comportamento de derretimento e recristalização. O tratamento com substituição total do mix de emulsificante-estabilizante por MOPN (100% m/m) apresentou os maiores valores para índice de consistência (0,4246 Pa.s<sup>n</sup>), *overrun* (84,57) e análise de textura (18,01 N), revelando sua maior viscosidade, agregação de ar, firmeza e suavidade. Apesar de tal formulação (100% m/m de MOPN) apresentar a menor temperatura de nucleação (1,46 °C) a taxa de derretimento foi substancialmente inferior aos demais tratamentos. As formulações com maior teor de MOPN originaram sorvetes mais viscosos, com maior incorporação de ar ou *overrun*, menor grau de recristalização e menor taxa de derretimento. Assim a adição da MOPN mostrou-se eficiente para a substituição parcial ou total do mix de estabilizantes-emulsificantes comercial, já que melhorou substancialmente os parâmetros estudados.

**Palavras-chave:** Gelados comestíveis. Hidrocoloides. Estabilizantes. Emulsificantes.

## INTRODUÇÃO

O sorvete pode ser considerado um sistema coloidal complexo formado por bolhas de ar, cristais de gelo, glóbulos de gordura individuais ou parcialmente coalescidos dispersos em uma matriz aquosa concentrada pelo congelamento (MARSHALL; GOFF; HARTEL, 2003) e uma fase não congelada. Nessa fase, são encontradas micelas de caseína suspensas em uma solução contendo açúcares, proteínas micelares e não micelares, carboidratos, estabilizantes, emulsificantes e minerais (GOFF, 2002). A composição e o processo de fabricação do sorvete interferem diretamente nas suas características físicas, uma vez que influenciam no estado de agregação dos glóbulos de gordura, na quantidade de ar incorporada, no tamanho das bolhas de ar, na viscosidade da fase aquosa e no tamanho e estrutura dos cristais de gelo (AKHTAR; MURRAY; DICKINSON, 2006).

Os emulsificantes e os estabilizantes são responsáveis pela incorporação de ar durante o batimento da massa, facilitando a homogeneização entre os ingredientes, principalmente por se adsorverem na interface óleo-água, o que conseqüentemente reduz a tensão interfacial. Comumente empregados como emulsificantes e estabilizantes, os hidrocolóides ou mucilagens de origem vegetal, tem sido amplamente estudado para uso na indústria de alimentos, devido à presença de grandes quantidades de polissacarídeos e de proteínas em sua estrutura (RIOS et al., 2014).

Pesquisas com cactáceas como possíveis fontes de mucilagens (hidrocolóides de origem vegetal) têm sido requeridas devido ao potencial de aplicação dessas mucilagens como aditivos de baixo custo, fácil aquisição e possibilidade de substituição até mesmo total dos estabilizantes comerciais. A espécie *Pereskia aculeata* Miller, popularmente conhecida como ora-pro-nobis, apresenta em suas folhas um arranjo de polissacarídeos rico em arabinogalactana com ramificações constituídas por galactose, arabinose, ramnose e ácido galacturônico, associado com proteínas (LIMA JUNIOR et al., 2013; MARTIN et al., 2017). Tal arranjo exerce um papel crucial na determinação das propriedades emulsificantes de hidrocolóides com alto valor comercial, como a goma arábica (LEE; MCCLEMENTS, 2010). Essa mucilagem assim obtida pode ser um material funcional natural, alternativo, promissor aditivo e econômico para utilização em muitos processos industriais, em especial, no desenvolvimento de produtos alimentícios à base de emulsão. Nesse contexto, é possível inferir o potencial da mucilagem de ora-pro-nobis (MOPN) para melhorar a estabilidade e as características de um sistema coloidal, como o sorvete. Além disso, tal hidrocoloide apresenta-se como uma alternativa

economicamente viável para obtenção de espessantes e estabilizantes de cunho alimentício, além de ser uma matéria prima é abundante e de baixo custo (MONRROY et al., 2017).

Além dos aspectos físicos, a qualidade sensorial (como a textura, sensação na boca e corpo do sorvete) e nutricional dos alimentos pode ser modificada com o uso de hidrocolóides (MAYAKRISHNAN; BAKRUDEEN; AHMED, 2013). A aceitação de sorvete pelos consumidores é dependente das propriedades de sabor e textura percebido pelos consumidores, principalmente em relação a cremosidade e sabor. A percepção da cremosidade depende de muitos fatores estruturais, como reologia, tamanho dos glóbulos de gordura, porcentagem de ar incorporada, número e tamanho de cristais de gelo, entre outros (ROLON et al., 2017; SOUKOULIS; FISK, 2016). Esses fatores estão inevitavelmente conectados tanto aos ingredientes usados na formulação do sorvete quanto aos processamentos adotados. Os hidrocolóides, que atuam como espessantes e crioprotetores, contribuem substancialmente para o desenvolvimento da textura do sorvete, além do aumento de sua estabilidade no armazenamento (MAITY; SAXENA; RAJU, 2018).

Com este propósito, o presente estudo teve como objetivo avaliar o efeito da adição da mucilagem da *Pereskia aculeata* Miller sobre as características físicas, químicas, microestruturais, bem como verificar a viabilidade da utilização da MOPN em substituição total ou parcial a um mix de emulsificante-estabilizante comercial utilizados na fabricação do sorvete.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

### **Material**

As folhas de ora-pro-nobis (*Pereskia aculeata* Miller) foram colhidas no município de Lavras (21° 14' 42 S, 44° 59' 59 O, Minas Gerais, Brasil) e os demais materiais utilizados na produção do sorvete foram adquiridos no comércio local (Lavras, MG, Brasil).

### **Obtenção da mucilagem de ora-pro-nobis (MOPN)**

A extração da mucilagem de ora-pro-nobis (MOPN) foi realizada segundo metodologia descrita por Lima Júnior et al 2013, com modificações, conforme ilustrado na Figura 1. Primeiramente, as folhas de ora-pro-nobis foram trituradas e homogeneizadas em água (1:2,5 m/v), à temperatura de 100 °C por 10 min, utilizando-se um liquidificador industrial (Metvisa,

LG10, São Paulo, SP, Brasil). Em seguida, as amostras foram acondicionadas em béqueres e permaneceram sob agitação em banho termostático (Quimis, 215-2 q, São Paulo, SP, Brasil) a 65 °C por 6 h. O homogeinato resultante foi manualmente filtrado com tecido organza e, posteriormente, submetido a uma filtração à vácuo por meio de um funil de Buchner acoplado a uma bomba de vácuo (Primar, MC 1284, Itu, SP, Brasil), utilizando como meio filtrante três camadas de organza. Após a filtração, o material foi centrifugado (SP Labor, SP-701, Presidente Prudente, SP, Brasil) (7 min, 4677×g). Ao líquido remanescente adicionou-se etanol na proporção de 1:3 (homogeinato:álcool). O precipitado foi retirado, congelado, seco em liofilizador (Edwards High Vacuum, L4KR, São Paulo, SP, Brasil) e moído em moinho de bolas (SP Labor, SP-38, São Paulo, Brasil) para obtenção da MOPN em pó.

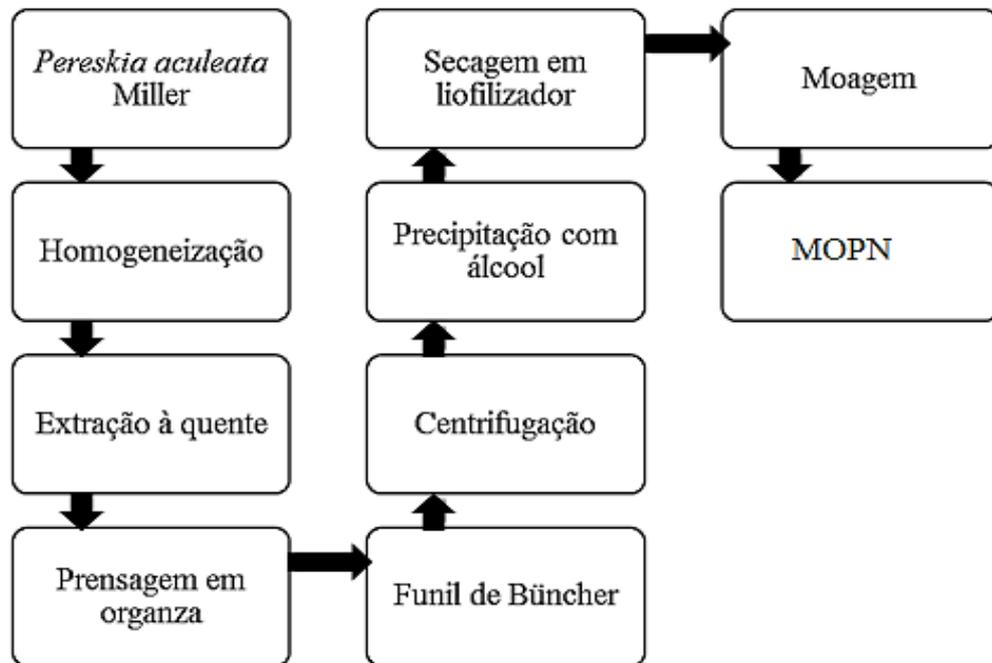


Figura 1 – Fluxograma do processo de extração da MOPN.

### Formulação da mistura base do sorvete

Foram preparadas misturas bases do sorvete contendo 10% (m/m) de gordura de origem láctea (creme de leite, 35% de gordura) (Laticínio Verde Campo, Lavras, MG, Brasil), 11% (m/m) de sólidos não gordurosos (leite em pó desnatado, 95% de sólidos) (Nutriway Foods, Contagem, MG, Brasil), 10% (m/m) de sacarose (Companhia União, São Paulo, SP, Brasil), 4% de xarope de milho (Arcólor, São Paulo, SP, Brasil), 0,6% (m/m) de mix estabilizante/emulsificante (Emulsificante Selecta, Jaraguá do Sul, SC, Brasil) e 64,4% (m/m)

de água. Em adição, a MOPN foi adicionada à formulação em substituição total ou parcial aos estabilizantes-emulsificantes (m/m) em níveis de 0% (controle - T1), 25% (m/m) (T2), 50% (m/m) (T3), 75% (m/m) (T4) e 100% (m/m) (T5).

Tabela 1 – Formulação da mistura base do sorvete.

Componentes	Tratamentos (%)				
	T1 (Controle)	T2	T3	T4	T5
Gordura Láctea	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
SNGL	11,00	11,00	11,00	11,00	11,00
Sacarose	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Xarope de Milho	4,00	4,00	4,00	4,00	4,00
Mix (estabilizante- emulsificante)	0,60	0,45	0,30	0,15	0,00
MOPN	0,00	0,15	0,30	0,45	0,60
Água	64,40	64,40	64,40	64,40	64,40

SNGL = sólidos não gordurosos do leite; Mix = estabilizante/emulsificante; MOPN = mucilagem de ora-pro-nóbis.

### Produção do sorvete

A produção da mistura base do sorvete foi realizada de acordo com a metodologia de Pereira et al. (2011). O leite em pó foi adicionado sob agitação (3500 rpm) à água previamente aquecida a 30 °C e, em seguida, transferido para um liquidificador industrial (Refrigás, Bauru, SP, Brasil), no qual os demais ingredientes foram dispersos sob agitação constante. A MOPN foi anteriormente misturada à sacarose, juntamente com o mix de emulsificante/estabilizante para facilitar a solubilização. A mistura foi, então, pasteurizada a 72 °C por 15 min em banho-maria, seguida por resfriamento até a temperatura de 4 °C. Para completa homogeneização, a mistura foi submetida a agitação por 2 min a 3500 rpm em liquidificador industrial (Refrigás). A temperatura da mistura foi ajustada a 4 °C e mantida nessa temperatura por 24 h para ser maturada. Todos os tratamentos foram submetidos às mesmas condições de batimento, que ocorreu em uma produtora descontínua horizontal (Refrigás, Bauru, SP, Brasil), com tempo de batimento de 10 min. Por fim, o sorvete foi acondicionado em embalagens adequadas e imediatamente enviado a uma câmara de congelamento a -25 °C, em que permaneceu nessa temperatura por 48 h para completar a fase de endurecimento (Figura 2).

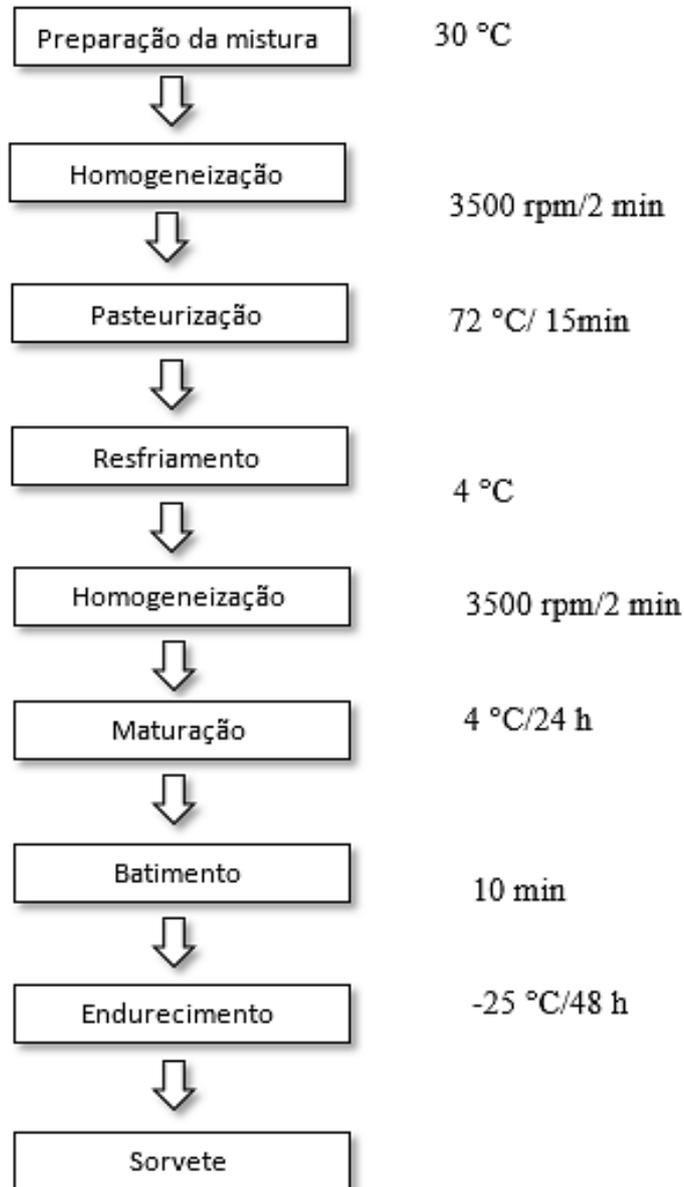


Figura 2 – Fluxograma de produção do sorvete.

## **Análises físicas e físico-químicas**

### ***Comportamento Reológico***

A curva de escoamento da calda do sorvete após o período de maturação, foi avaliado a 5 °C (temperatura de consumo) em viscosímetro rotacional (Brookfield, DV III Ultra, Brookfield Engineering Laboratories, Stoughton, USA), usando adaptador para pequenas amostras 13R/RP e sensor de cisalhamento coaxial SC4-34, acoplado à um banho termostático (Brookfield, EX 200) para controle de temperatura da amostra. Cada amostra foi submetida a uma rampa crescente de taxa de deformação (0 a 35 s<sup>-1</sup>) durante 6 minutos de ensaio e foram

registrados 14 pontos. Os modelos Lei de Newton (Eq. 1), Lei da Potência (Eq. 2) e Herschel-Bulkley (Eq. 3) foram ajustados aos dados experimentais.

$$\sigma = \mu\dot{\gamma} \quad (1)$$

$$\sigma = k\dot{\gamma}^n \quad (2)$$

$$\sigma = \sigma_0 + k\dot{\gamma}^n \quad (3)$$

Onde  $\sigma$  é a tensão de cisalhamento em (Pa),  $\mu$  é a viscosidade (Pa·s),  $\dot{\gamma}$  a taxa de deformação ( $s^{-1}$ ),  $k$  é o índice de consistência (Pa·s<sup>n</sup>),  $n$  é o índice de comportamento (adimensional) e  $\sigma_0$  é a taxa de deformação inicial (Pa).

### ***pH, sólidos totais e composição centesimal***

A determinação do pH foi realizada em um pHmetro digital de bancada (Tecnal, Tec-3MP, Piracicaba, SP, Brasil) (IAL, 2008). Os sólidos totais foram quantificados por método gravimétrico (AOAC, 2005). A composição centesimal das amostras foi realizada por meio da determinação da umidade (método N°. 967.08), cinzas (método N°. 942.05), proteína (método N°. 988.05), gorduras (método N°. 2003.06) e fibra bruta (método N°. 958.06) (AOAC, 2005). A umidade e o teor de cinzas foram determinados pelo método gravimétrico em câmara a 105 °C e por incineração a 550 °C, respectivamente; o conteúdo proteico foi estimado pelo método micro-Kjeldahl e a concentração proteica foi estimada usando um fator de conversão de nitrogênio de 6,25; a gordura foi determinada por extração de Soxhlet com éter etílico; e o teor de fibra bruta foi determinado por filtração a vácuo após hidrólise ácida. A porcentagem de carboidratos foi calculada usando a seguinte fórmula: 100 – (umidade + gordura + proteína + cinza + fibra bruta).

### ***Overrun***

O *overrun* foi determinado de acordo com o método descrito por Whelan et al. (2008). Volumes iguais (50 mL) de sorvete foram pesados e o *overrun* foi calculado conforme Eq. 4. A capacidade de incorporação de ar foi avaliada para cada tratamento e o tempo em que a mistura permaneceu no interior da produtora (10 minutos) foi fixo para todos esses tratamentos.

$$\text{Overrun (\%)} = \frac{(\text{massa da calda} - \text{massa do sorvete})}{\text{massa do sorvete}} \times 100 \quad (4)$$

### **Recristalização**

Com intuito de simular a recristalização, foram realizados experimentos com variação de temperatura, em que as amostras foram transferidas da armazenagem ( $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) para um freezer ( $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ ), programado para simular variações de temperatura em que as amostras foram mantidas à temperatura de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}/12\text{ h}$ , aquecidas à temperatura de  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}/12\text{h}$ , resfriadas a  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}/12\text{h}$  e novamente aquecidas a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}/12\text{h}$  (totalizando um ciclo de variação de temperatura em 48h). Esse ciclo foi repetido sete vezes em todas as amostras (COSTA et al., 2008; REGAND; GOFF, 2006). A análise de textura instrumental das amostras de sorvete após os ciclos de temperatura foi realizada da mesma forma que a análise de firmeza do sorvete.

### **Firmeza dos sorvetes**

A análise de firmeza foi conduzida em um texturômetro (Stable Micro Systems, TA.XT2i, Texture Technologies Corp., Scarsdale, USA), com auxílio do acessório *Knife Edge* (HDP/BS0). As dimensões da *probe* foram 0,3 cm de espessura (extremidade sem corte)  $\times$  7 cm de comprimento  $\times$  10 cm de altura. Previamente aos testes, as amostras de sorvete foram transferidas para um freezer a  $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$  e mantidas nesta temperatura durante 24 h. As condições de análise estabelecidas foram: distância de penetração de 60 mm; velocidade da *probe* antes e durante a penetração de  $2\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ ; e velocidade da *probe* após a penetração de  $10\text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$ . Os dados obtidos foram analisados com o de *software* Exponent Lite Express (Stable Micro Systems, Godalming, UK). A firmeza foi medida como a força de compressão máxima (N) durante a penetração da *probe* na amostra (AIME et al., 2001).

### **Temperatura de derretimento**

A temperatura de derretimento e nucleação foi determinada usando o calorímetro diferencial de varredura (DSC-60A, Shimadzu, Tokyo, Japan), conectado a um computador para o tratamento simultâneo dos dados. O controle de temperatura do sistema foi feito com nitrogênio líquido e o instrumento calibrado para temperatura e fluxo de calor com índio ( $T = 156,6 \pm 6\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $\Delta H = -30,25\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ ) e zinco ( $T = 28,5 \pm 1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  e  $\Delta H = 104,71\text{ J}\cdot\text{g}^{-1}$ ).

Aproximadamente 3 mg de amostra foram transferidos para um cadinho que, em seguida, foi hermeticamente fechado. Protocolo de temperatura: as amostras foram equilibradas a  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  e aquecidas de  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  a uma taxa de aquecimento de  $2\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$  e novamente resfriadas de  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  a  $-70\text{ }^{\circ}\text{C}$  a uma taxa de resfriamento de  $2\text{ }^{\circ}\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$ .

### ***Comportamento de derretimento***

Para a análise de comportamento de derretimento, 51 g de cada tratamento foram armazenados em potes de 100 mL. Um dia antes da realização dos testes, as amostras foram transferidas para um freezer a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , no qual permaneceram por 12 h. As amostras de sorvete foram removidas das embalagens e colocadas em uma peneira de aço (abertura de  $0,3\text{ cm} \times 0,3\text{ cm}$ ) acoplada no topo de um funil, anexado a uma proveta. Os testes foram realizados em uma sala com temperatura controlada ( $20\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) e o peso do material que passou através da peneira foi anotado a cada 5 min durante o derretimento. O peso do material derretido (g) foi plotado em função do tempo de fusão (GIAROLA et al., 2019). Os gráficos foram plotados representando a massa derretida em função do tempo antes e depois dos ciclos de temperatura. Foi verificada a equação de melhor ajuste às curvas.

### ***Microestrutura***

As amostras de cada tratamento foram coletadas, antes e após a recristalização, (cubos de aproximadamente  $3\text{ mm}^3$ ) e espalhadas em lâminas para microscopia ( $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Após espalhamento das amostras nas lâminas, gotas de iso-amil-butanol (previamente resfriado a  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) foram usadas para dispersar os cristais de gelo presentes nas amostras dos sorvetes. As lâminas foram cobertas com lamínulas colocadas sobre um *cold stage*, por onde passa nitrogênio líquido. As imagens dos cristais de gelo dispersos nas lâminas foram obtidas usando uma câmera de vídeo (Cole-Palmer 49901-35, Cole-Palmer, Vernon Hills, USA), acoplada a um microscópio fotônico (Meiji ML 5000, Meiji Techno América, Santa Clara, USA). Para o processamento e análise das imagens, foi utilizado o programa ImageJ (National Institutes of Health).

## **Análise estatística**

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado (DIC), com 5 tratamentos e 3 repetições. Os resultados experimentais dos diferentes tratamentos foram avaliados por análise de variância (ANOVA) e teste de médias de Tukey ( $p < 0,05$ ) por meio do *software* estatístico *Statistical Analysis System* (SAS University Edition, Cary, USA, 2016). Os gráficos foram plotados usando o programa SigmaPlot 12.0 (Systat Software Inc., Califórnia, EUA, 2011).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **Obtenção da MOPN**

A extração da mucilagem de ora-pro-nobis apresentou rendimento de aproximadamente 1,02%, resultado semelhante ao de 1,6% e cerca de 1,0 % registrados por Martin et al. (2017) e Lima Junior et al. (2013), respectivamente. A pequena variação pode ser justificada por mudanças da composição centesimal das folhas de ora-pro-nobis em função da nutrição do solo e das flutuações climáticas (AMARAL et al., 2018).

### **Comportamento reológico**

As propriedades reológicas do sorvete refletem o comportamento de escoamento do produto e a sensação do mesmo na boca, sendo considerados de grande importância, pois a mistura é exposta ao calor, congelamento e tratamentos mecânicos (MILLIATTI; LANNES, 2018). Os tratamentos apresentaram comportamento pseudoplástico, devido aos valores de índice de comportamento de fluxo ( $n$ ) serem menores que uma unidade ( $n < 1$ ) e os valores de índice de consistência ( $k$ ) maiores que zero, como observado na Tabela 2. Dentre os modelos empregados, a Lei da Potência foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais de todos os tratamentos avaliados, pois foram obtidos maiores valores de  $R^2$  ( $0,9991 < R^2 < 0,9999$ ) e menores valores da raiz do erro quadrático médio ( $RMSE < 0,0421$ ).

O nível de substituição do mix de estabilizante/emulsificante pela MOPN na mistura base do sorvete influenciou no índice de consistência ( $k$ ), em que o aumento da concentração de MOPN resultou em incrementos nos valores de  $k$  (Tabela 2). O índice de consistência é um

parâmetro que indica sobre as propriedades da mistura e maiores valores de  $k$  estão relacionados a misturas base mais viscosas (KARACA et al., 2009).

Tabela 2 – Parâmetros do modelo Lei da Potência ajustados aos dados experimentais obtidos para os tratamentos de preparo de sorvete com substituição do mix de estabilizantes por (MOPN).

Tratamento	$k$ (Pa.s <sup>n</sup> )	$n$	R <sup>2</sup>	RMSE
T1	0,0206 ± 0,0018	0,9020 ± 0,0256	0,9991	0,0050
T2	0,0402 ± 0,0001	0,8813 ± 0,0047	0,9993	0,0074
T3	0,0917 ± 0,0026	0,8255 ± 0,0101	0,9995	0,0117
T4	0,3854 ± 0,0536	0,7859 ± 0,0149	0,9996	0,0113
T5	0,4246 ± 0,0203	0,7101 ± 0,0172	0,9999	0,0421

Valores médios,  $n = 3$ . T1 (Controle) = 0% MOPN; T2 = 25% MOPN; T3 = 50% MOPN; T4 = 75% MOPN; T5 = 100% MOPN.  $k$  = índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>);  $n$  = índice de comportamento (adimensional); R<sup>2</sup> = coeficiente de determinação; RMSE = raiz quadrada do erro do quadrado médio.

A Figura 3a representa a variação da tensão de cisalhamento e a Figura 3b a variação da viscosidade aparente em função da taxa de deformação aplicada aos diferentes tratamentos avaliados. A partir do reograma (Figura 3a) pode-se observar a relação de não-linearidade entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação. Conforme descrito por Chhabra e Richardson (2008), esta característica é típica de um comportamento não-Newtoniano pseudoplástico. Verifica-se também, pela Figura 3b, que o aumento da taxa de deformação produz a diminuição da viscosidade aparente, comportamento característico de fluidos pseudoplásticos. Tal comportamento também foi observado em outras pesquisas com sorvetes (DERTLI et al., 2016; GIAROLA et al., 2019; PEREIRA et al., 2011).

De acordo com a Figura 3b, a viscosidade aparente da mistura base aumenta conforme se eleva o nível de substituição do mix de estabilizante pela MOPN. Tais resultados podem ser explicados devido à mucilagem possuir propriedades emulsificantes, em razão das suas propriedades de adsorção interfacial, aumentando, portanto, as interações intermoleculares quando dispersa em água. Assim, quanto maior o teor de MOPN maiores interações por ligações de hidrogênio serão formadas, resultando em uma maior viscosidade aparente (OLIVEIRA et al., 2019). Sendo assim, se a MOPN fosse utilizada isoladamente, poderia ser empregada em níveis menores que o mix de estabilizante, por proporcionar a mesma viscosidade no sorvete.

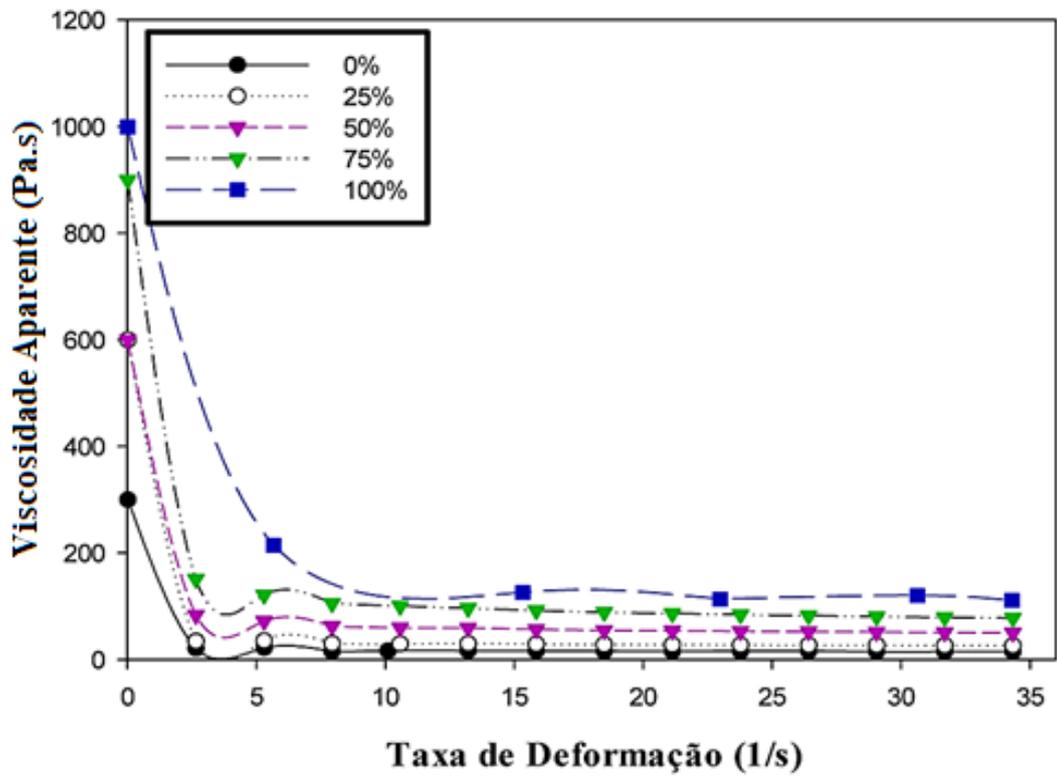
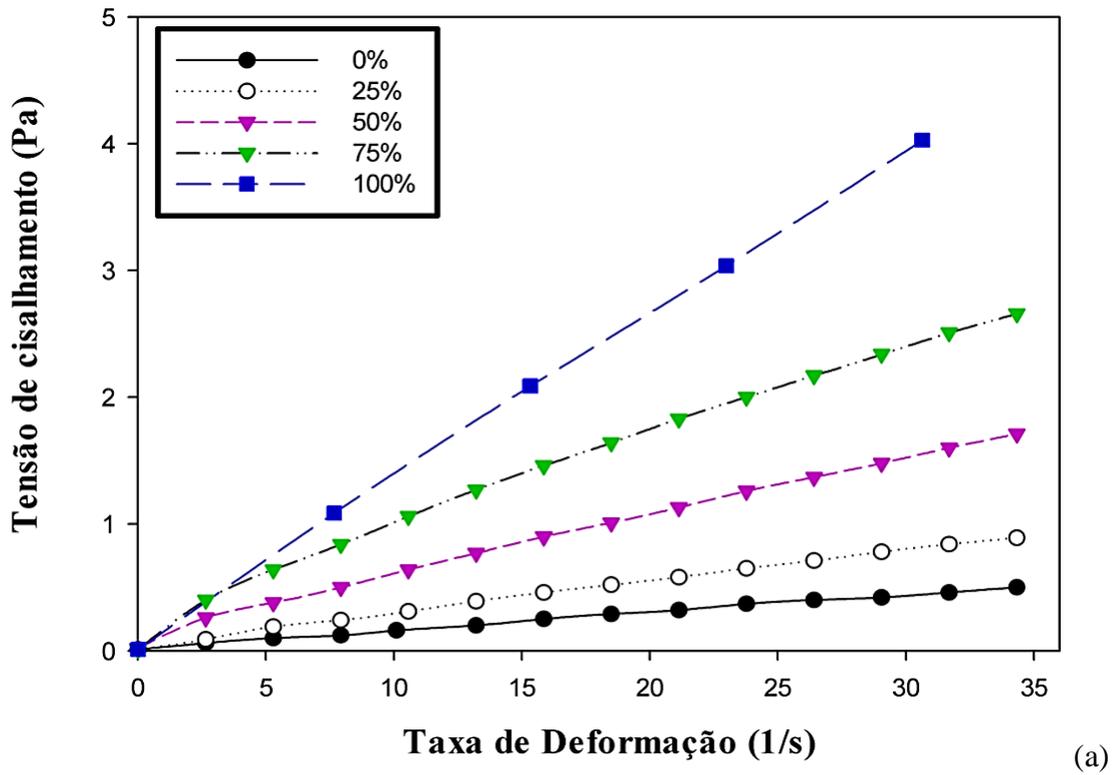


Figura 3 – (a) Curvas de fluxo e (b) Curvas de viscosidade aparente dos sorvetes em função dos tratamentos com 0% (T1 controle), 25% (T2), 50% (T3), 75% (T4) e 100% (m/m) (T5) de substituição do mix de estabilizantes MOPN.

## pH, sólidos totais e composição centesimal

Os sorvetes produzidos foram caracterizados em relação aos parâmetros físico-químicos e os resultados estão apresentados na Tabela 3. Os tratamentos não apresentaram diferença estatística ( $p > 0,05$ ) para a composição centesimal (pH, sólidos totais, umidade, gordura, proteína, fibra, cinza e carboidrato) quando o teor de mix estabilizante/emulsificante foi substituído pela MOPN. Tal fato pode ser explicado devido à concentração de mix estabilizante/emulsificante e MOPN adicionados à formulação do sorvete serem baixos (0,6% m/m).

Tabela 3 – Parâmetros químicos e físico-químicos para os tratamentos preparados com substituição do mix de estabilizantes por mucilagem de ora-pro-nóbis (MOPN).

Análises	Tratamento (%)				
	T1	T2	T3	T4	T5
pH	6,59 ± 0,00 <sup>a</sup>	6,60 ± 0,00 <sup>a</sup>	6,60 ± 0,00 <sup>a</sup>	6,60 ± 0,01 <sup>a</sup>	6,60 ± 0,00 <sup>a</sup>
ST	25,19 ± 3,65 <sup>a</sup>	23,53 ± 0,82 <sup>a</sup>	24,85 ± 0,54 <sup>a</sup>	26,48 ± 0,64 <sup>a</sup>	25,17 ± 1,07 <sup>a</sup>
Umidade	73,80 ± 2,86 <sup>a</sup>	76,46 ± 0,79 <sup>a</sup>	75,14 ± 0,51 <sup>a</sup>	73,52 ± 0,66 <sup>a</sup>	75,82 ± 0,99 <sup>a</sup>
Gordura	3,89 ± 0,40 <sup>a</sup>	3,90 ± 0,76 <sup>a</sup>	3,93 ± 0,21 <sup>a</sup>	3,90 ± 0,96 <sup>a</sup>	3,70 ± 0,45 <sup>a</sup>
Proteína	4,38 ± 0,38 <sup>a</sup>	3,77 ± 0,15 <sup>a</sup>	3,89 ± 0,24 <sup>a</sup>	4,26 ± 0,09 <sup>a</sup>	3,68 ± 0,39 <sup>a</sup>
Fibra	1,73 ± 0,22 <sup>a</sup>	1,04 ± 0,38 <sup>a</sup>	1,31 ± 0,35 <sup>a</sup>	1,56 ± 0,32 <sup>a</sup>	1,08 ± 0,14 <sup>a</sup>
Cinzas	0,67 ± 0,32 <sup>a</sup>	0,61 ± 0,35 <sup>a</sup>	0,72 ± 0,26 <sup>a</sup>	0,94 ± 0,03 <sup>a</sup>	0,47 ± 0,20 <sup>a</sup>
Carboidrato	14,50 ± 2,84 <sup>a</sup>	14,20 ± 1,39 <sup>a</sup>	15,02 ± 0,22 <sup>a</sup>	15,80 ± 0,82 <sup>a</sup>	15,14 ± 0,80 <sup>a</sup>
<i>Overrun</i>	39,39 ± 0,79 <sup>a</sup>	41,03 ± 1,59 <sup>a</sup>	53,77 ± 7,30 <sup>b</sup>	58,16 ± 2,57 <sup>b</sup>	84,57 ± 4,61 <sup>c</sup>

Valores médios, n = 3. \*Médias seguidas pela mesma letra minúscula na linha não diferem pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ). T1 (Controle) = 0% MOPN; T2 = 25% MOPN; T3 = 50% MOPN; T4 = 75% MOPN; T5 = 100% MOPN.

### *Overrun*

As bolhas de ar presentes no sorvete são componentes importantes que afetam as propriedades físicas, a estabilidade durante o armazenamento, as propriedades de derretimento e fornece uma textura mais suave afetando o derretimento. A quantidade de ar incorporado durante o batimento e congelamento afeta o tamanho dos cristais de gelo, sendo que para baixos valores de *overrun* é esperado cristais de gelo maiores (PEREIRA et al., 2011). Pode-se observar, pela Tabela 3, que o tratamento com 100% de MOPN (T5) apresentou maior *overrun*,

em torno de 84,57% e foi significativamente diferente dos demais tratamentos com menor concentração de MOPN. Portanto, as formulações com maiores teores de MOPN apresentaram maior incorporação de ar.

A substituição total do mix de estabilizantes/ emulsificantes do sorvete pela MOPN promoveu elevação na viscosidade da mistura base do sorvete e, conseqüentemente, da matriz não congelada após a redução da temperatura. O aumento da viscosidade proporciona maior incorporação de ar (*overrun*), assim, maior viscosidade da matriz não congelada permite melhor dispersão e estabilização das bolhas de ar (EISNER; WILDMOSER; WINDHAB, 2005). Conforme descrito por Martin et al. (2017), esse desempenho da MOPN é explicado pela presença de grupos O-acetil e O-metil nos polissacarídeos e pela cadeia lateral de aminoácidos (grupo R), que induzem alterações de polaridade na superfície menos polar e envolvem a capacidade do hidrocoloide para atuar como um emulsificante.

Pereira et al. (2011), ao utilizar extrato hidrossolúvel de soja na produção de sorvete em substituição parcial de leite em pó desnatado não verificou o aumento no *overrun* do sorvete em função do incremento dos teores de extrato de soja na formulação do produto, mas observaram um decréscimo de *overrun* a partir de substituições superiores a 10%. Já Milliatti e Lannes (2018), ao produzirem sorvetes com diferentes estabilizantes constatou que as formulações produzidas com hidrocoloides separadamente apresentaram valores de *overrun* superiores, em torno de 65%, enquanto as formulações produzidas pela combinação de hidrocoloides obteve menor incorporação de ar.

### **Firmeza dos sorvetes**

A textura do sorvete está relacionada com a sua estrutura e depende de diversos fatores, como *overrun* (quantidade de ar incorporado), tamanho das bolhas de ar, estado de agregação dos glóbulos de gordura e o tamanho dos cristais de gelo presentes no sorvete (PEREIRA et al., 2011). Os ingredientes (gordura, açúcares, proteínas e hidrocoloides) e as condições de processamento (homogeneização, maturação e congelamento) podem refletir na qualidade do produto final (MUSE; HARTEL, 2004). O grau de resistência do sorvete à ação de uma força externa é fornecido pela análise instrumental da textura, técnica que pode inferir sobre parâmetros relacionados à mastigação (INOUE et al., 2009).

Os resultados da análise de firmeza antes e depois dos ciclos de temperatura do sorvete, medida pelo trabalho necessário para penetração no sorvete de uma probe de dimensões especificadas até uma profundidade determinada, é mostrada na Figura 4.

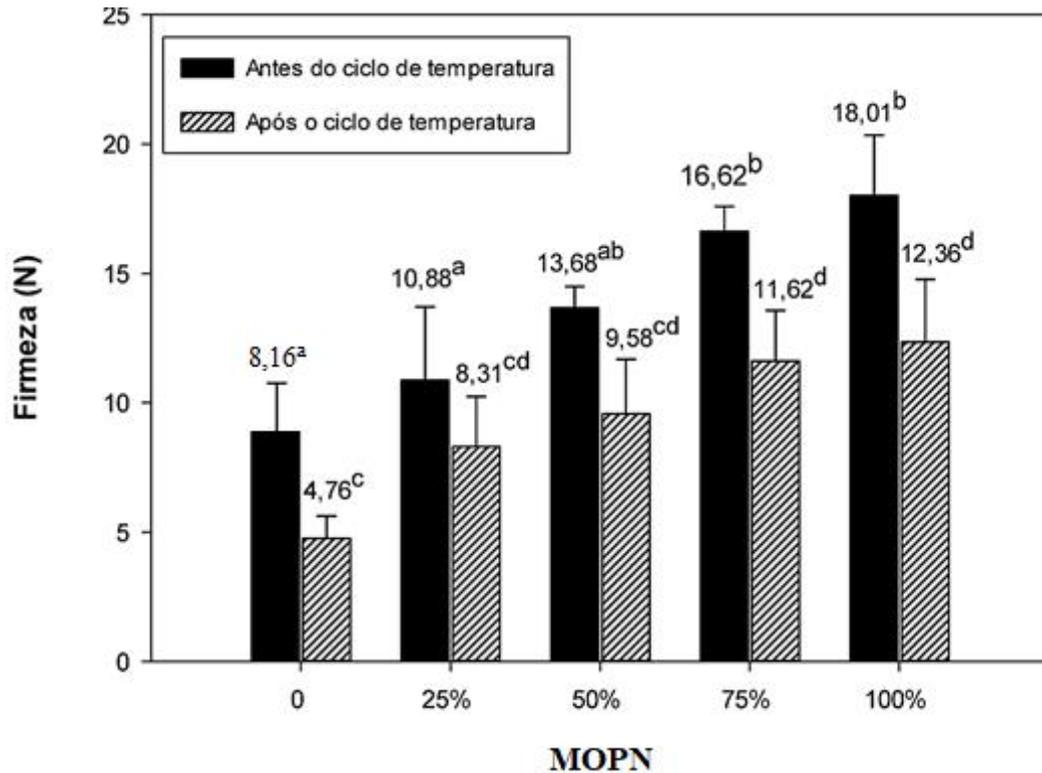


Figura 4 – Textura instrumental do sorvete medida como firmeza, antes e após o ciclo de temperatura para os tratamentos com 0% (T1 controle), 25% (T2), 50% (T3), 75% (T4) e 100% (T5) de substituição do mix de estabilizantes por mucilagem de ora-pro-nóbis. \* Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem pelo teste Tukey ( $p \leq 0,05$ ).

O sorvete sem substituição do mix de emulsificante/estabilizante pela MOPN (T1 controle) obteve menor firmeza (8,16 N), enquanto o sorvete com 100% de substituição (T5) apresentou maior valor para este atributo (18,01 N). Após o ciclo de temperatura no sorvete, as amostras de cada tratamento foram novamente submetidas a outra análise de textura verificou-se que a firmeza do sorvete diminuiu, mantendo o padrão de que, quanto maiores os níveis de substituição do mix de emulsificante/estabilizante pela MOPN, maiores os valores de firmeza. Tais resultados podem ser explicados devido à capacidade dos hidrocolóides de controlarem a recristalização por meio do aprimoramento da microviscosidade e crioproteção. Os hidrocolóides atuam como crioprotetores, devido à sua capacidade de controlar a difusão da água para os cristais de gelo por impedimento estérico e retenção de água (GOFF, 2002; WHELAN et al., 2008).

Soukoulis, Chandrinos e Tzia (2008) obtiveram resultados semelhantes ao estudarem a funcionalidade dos hidrocolóides relacionados às características reológicas, físicas e sensoriais do sorvete, concluíram que a firmeza instrumental aumentou com o aumento do percentual de hidrocolóides adicionados nas formulações, melhorando a textura e aceitação do sorvete. Concluíram também que o alginato de sódio e a goma xantana ofereceram uma ação

crioprotetora notável em amostras de sorvete, enquanto também contribuíram para melhorar a sensação na boca, a percepção do sabor e a estabilidade.

A MOPN foi capaz de controlar a recristalização do gelo ao longo dos ciclos de temperatura, melhorando a textura e a suavidade do sorvete. O aumento da firmeza entre os tratamentos foi refletido pelo aumento da viscosidade. A medida que a concentração de MOPN aumenta, a viscosidade e a firmeza também são elevadas. Uma viscosidade maior reduz a mobilidade da água ao redor dos cristais de gelo. Whelan et al. (2008) e Pereira et al. (2011) encontraram valores superiores de firmeza para sorvetes de base leite (57,30 N) e sorvete com substituição parcial do leite em pó por extrato de soja (49,40 N), respectivamente.

### Temperatura de nucleação/derretimento

O termograma contendo os picos de nucleação e de derretimento dos sorvetes, analisados está apresentado pelas curvas de resfriamento e aquecimento, respectivamente, mostrados na Figura 5. As temperaturas de nucleação e derretimento estão relacionadas à formação de cristais de gelo menores e a melhores distribuições (GIAROLA; PEREIRA; RESENDE, 2015).

As temperaturas médias de nucleação e de derretimento de todos os tratamentos dos sorvetes obtidas por meio dos termogramas estão mostradas na Tabela 4. Observou-se que a temperatura de início da nucleação (TN) diminuiu à medida que houve maior substituição do mix de emulsificantes pela MOPN, enquanto que a temperatura de derretimento (TD) não sofreu grandes alterações. A adição da mucilagem não influenciou notavelmente a temperatura de derretimento, fornecendo uma vantagem para o uso da MOPN na formulação de sorvetes.

Tabela 4 – Temperatura de nucleação TN (°C) e temperatura de derretimento TD (°C) dos sorvetes com substituição do mix de estabilizantes por mucilagem de ora-pro-nóbis (MOPN).

<b>Tratamentos</b>	<b>TN (° C)</b>	<b>TD (° C)</b>
T1 Controle	5,62	15,23
T2	3,35	14,16
T3	5,25	14,49
T4	2,81	14,44
T5	1,46	12,89

Valores médios, n = 3. T1 (Controle) = 0% MOPN; T2 = 25% MOPN; T3 = 50% MOPN; T4 = 75% MOPN; T5 = 100% MOPN.

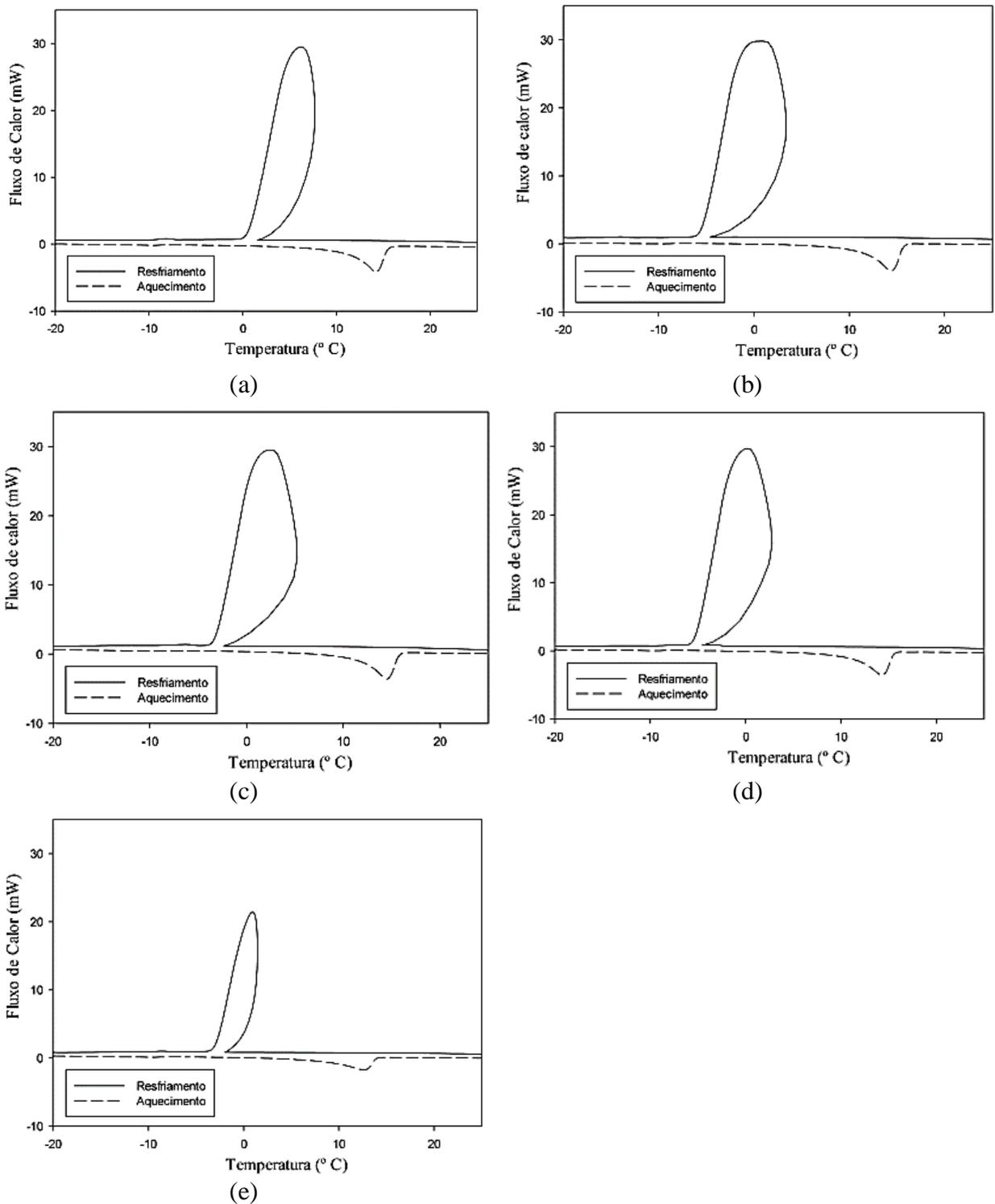


Figura 5 – Representação gráfica das curvas de nucleação e de derretimento: (a) 0% MOPN (T1 - controle); (b) 25% de MOPN (T2); (c) 50% de MOPN (T3); (d) 75% de MOPN (T4); (e) 100% de MOPN (T5).

## Comportamento de derretimento

O derretimento do sorvete envolve os fenômenos de transferência de calor e massa. O calor penetra, gradualmente, do exterior para o interior do sorvete causando o derretimento dos cristais de gelo. A água produzida é difundida na matriz não congelada, em que flui através da complexa microestrutura e, finalmente, ocorre o gotejamento (MUSE; HARTEL, 2004; PEREIRA et al., 2011; SOUKOULIS; CHANDRINOS; TZIA, 2008). O comportamento do sorvete produzido com substituição parcial do emulsificante pelo MOPN, durante o derretimento, está representado na Figura 6.

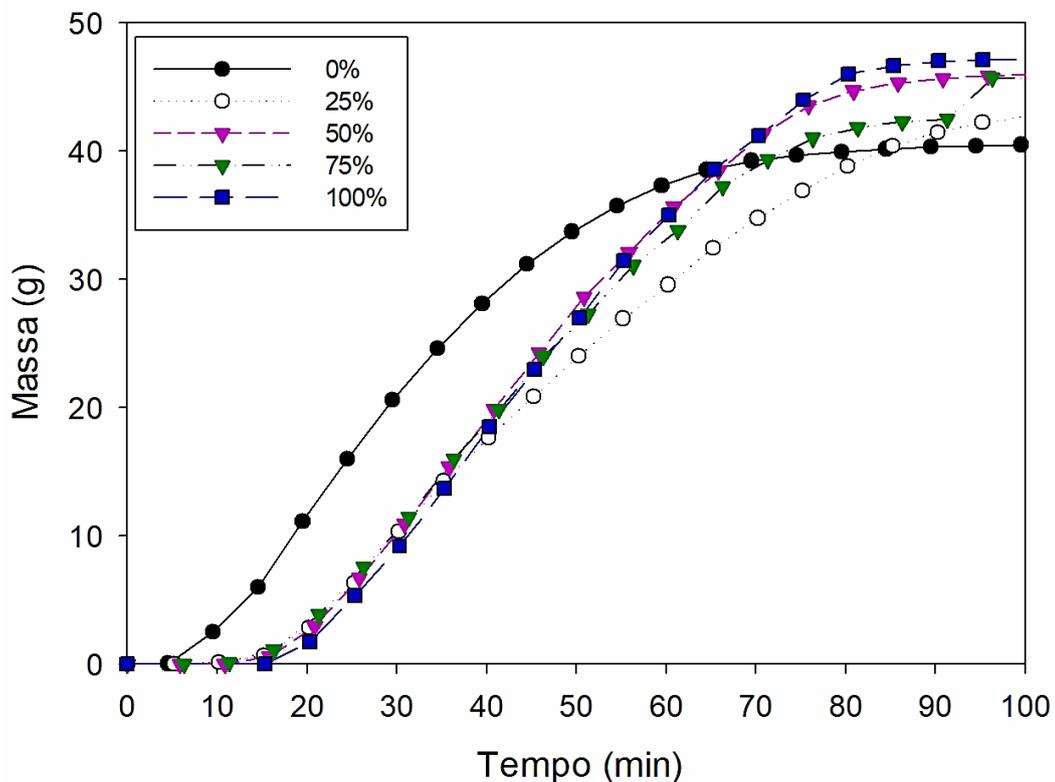


Figura 6 – Comportamento do sorvete durante o derretimento para os tratamentos com 0% (T1 controle), 25% (T2), 50% (T3), 75% (T4) e 100% (T5) de substituição do mix de estabilizantes por mucilagem de ora-pro-nóbis.

Devido à capacidade de retenção de água pelos hidrocolóides, a qualidade do derretimento do sorvete foi significativamente aumentada. Observa-se que até, aproximadamente os primeiros 5 minutos da análise, as amostras dos tratamentos avaliados apresentaram comportamento similar (Figura 6). A partir desse ponto, o aumento no teor de hidrocolóides levou à diminuição da taxa de derretimento dos sorvetes. O tratamento com 0% de MOPN derreteu mais rapidamente que os demais (SOFJAN; HARTEL, 2004).

Uma explicação é que, o aumento dos teores da MOPN está relacionado ao aumento da viscosidade e, portanto, é necessário mais tempo para que a água seja difundida na microestrutura do sorvete e, conseqüentemente, flua do interior para o exterior. Em complemento, os tratamentos com concentrações mais altas de MOPN estão correlacionados a baixas taxas de transferência de calor, devido o aumento do *overrun*, ou seja, as moléculas do ar minimizam a transferência de calor (SOUKOULIS; CHANDRINOS; TZIA, 2008).

Sofjan e Hartel (2004) observaram que sorvetes com 100 e 120% de *overrun* apresentaram maior resistência ao derretimento do que o sorvete com 80% de *overrun*. Segundo esses autores, o ar é um bom isolante térmico e, portanto, retarda a taxa de transferência de calor. Portanto, o *overrun* pode ter contribuído para comportamento observado para a taxa de derretimento, já que os tratamentos com maiores concentrações de MOPN apresentaram maior incorporação de ar. Por melhor que sejam os atributos sensoriais de um sorvete, a taxa de derretimento é extremamente importante na percepção global do consumidor quanto à qualidade do produto, uma vez que se o sorvete derrete rapidamente, sua qualidade acaba sendo prejudicada. Em países de clima tropical como o Brasil, esse processo é mais intenso, em função das altas temperaturas anuais.

### **Microestrutura dos sorvetes**

A Figura 7 mostra as fotomicrografias do tratamento das imagens para as análises da distribuição, tamanho dos cristais e recristalização, antes e ao final do ciclo de variação de temperatura. Observa-se o crescimento no tamanho dos cristais de gelo e diminuição do seu número por campo fotografado, antes e após os ciclos de temperatura. Visualiza-se também que, houve variações no tamanho e no número de cristais de gelo entre os tratamentos.

A ação do estabilizante para reduzir a recristalização de gelo pode estar relacionada com alterações nas propriedades de difusão da fase descongelada, tal como sugerido por muitos autores (HARPER; SHOEMAKER, 1983; GOFF, 1992; GOFF; CALDWELL; STANLEY, 1993; GOFF; VERESPEJ; SMITH, 1999; FLORES; GOFF, 1999 a; b; REGAND; GOFF, 2003). Essa modificação nas taxas de difusão molecular pode ser atribuída a um aumento da viscosidade e da limitação da mobilidade de moléculas de água na fase concentrada de congelamento (HARPER; SHOEMAKER, 1983; GOFF, 1992; GOFF et al., 1993) ou a efeitos localizados (impedimento estérico e/ou de retenção de água) na proximidade da superfície do cristal de gelo (FLORES; GOFF, 1999 a; b; REGAND; GOFF, 2003).

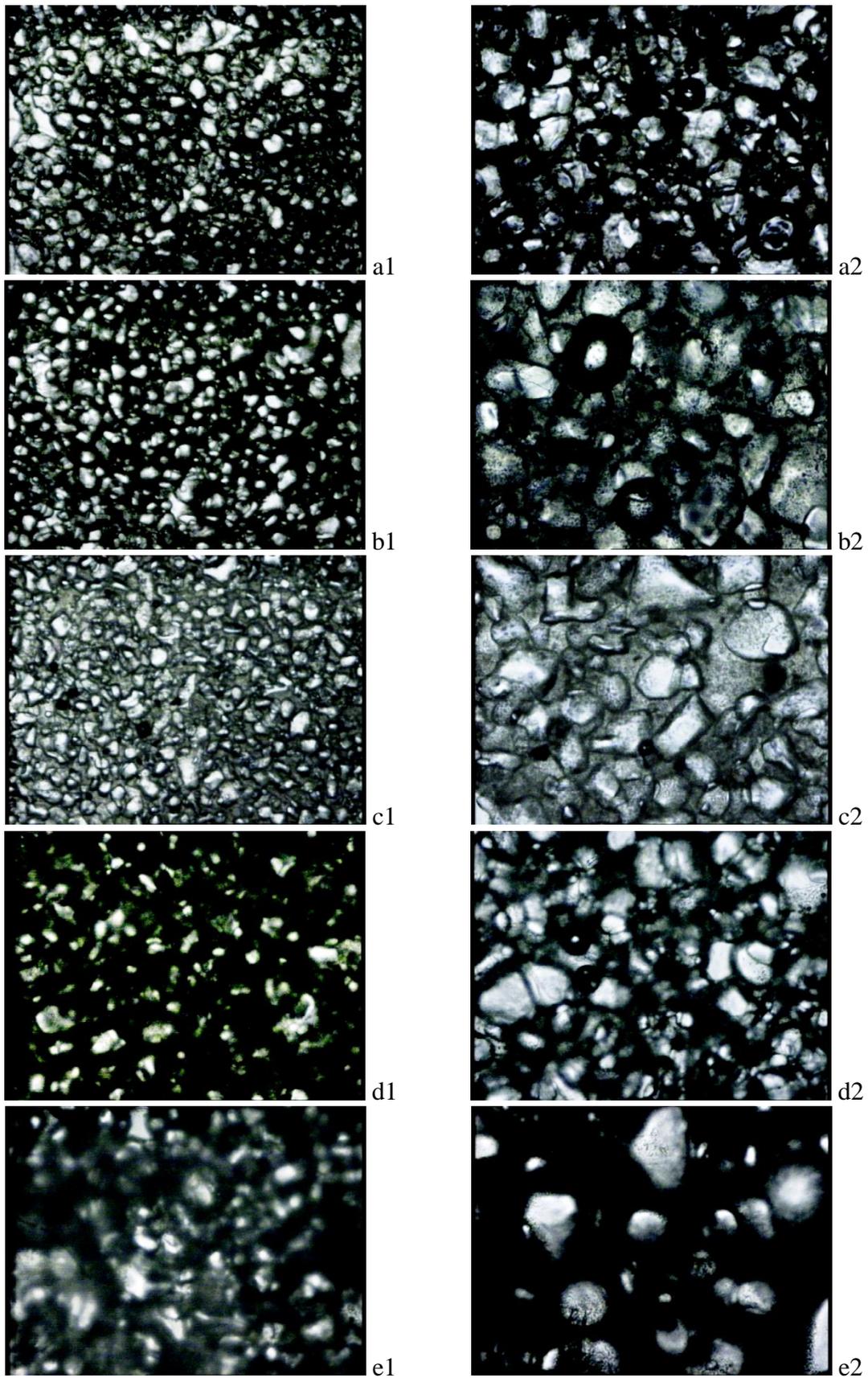


Figura 7 – Fotomicrografia dos cristais de gelo dos tratamentos a) T1 (controle) ; b) T2 (25%); c) T3 (50%); d) T4 (75%) e e) T5 (100%) . Os números se referem a 1) antes e 2) após os ciclos de temperatura.

Soukoulis, Chandrinos e Tzia (2008) e Bahramparvar e Goff (2013) relataram que a presença de carragena como estabilizante melhorou a função de crioproteção. Eles atribuíram esse efeito à capacidade da carragena em se conectar com caseínas que conduzem a uma forte rede de gel. Assim, o fato de uma taxa de crescimento inferior do cristal ser obtida, pode ser explicada pelos efeitos combinados de um aumento da viscosidade e uma estrutura de gel forte que reduzem a mobilidade da água em torno dos cristais de gelo. Isso promoveria uma redeposição de água sobre o mesmo cristal, em vez da difusão de água através da fase de descongelada para a redeposição no maior cristal adjacente, que iria ser termodinamicamente favorecido.

Esta mobilidade de água, no entanto, parece aumentar durante os ciclos de temperatura, resultando em taxas de recristalização mais elevada. Regand e Goff (2003) sugeriram que a capacidade de retenção da água do estabilizante é reduzida durante os ciclos de temperatura, aumentando a mobilidade da água em torno de cristais de gelo devido ao encolhimento contínuo da estrutura semelhante a um gel rígido em cada ciclo.

## CONCLUSÃO

A substituição do mix de estabilizante/emulsificante comercial pela mucilagem de *ora-pro-nobis* na mistura base do sorvete, influenciou positivamente o índice de consistência das misturas avaliadas, que significa que misturas base mais viscosas foram obtidas com incrementos na contração de MOPN. A adição da MOPN promoveu uma elevação na viscosidade aparente da mistura base do sorvete e o aumento da viscosidade proporciona uma maior incorporação de ar na massa o que resulta em incrementos nos resultados de *overrun*. A MOPN foi capaz de controlar a recristalização do gelo ao longo do tempo de armazenamento, melhorando a textura e a suavidade do sorvete. O aumento no teor de hidrocoloides levou à diminuição da taxa de derretimento dos sorvetes. O tratamento com 0% (m/m) de MOPN derreteu mais rapidamente quando comparado aos demais tratamentos em que foram adicionados a MOPN. Com base nos resultados expostos, conclui-se que o tratamento com 100% (m/m) de substituição de um mix de estabilizante/emulsificante comerciais pela mucilagem do *ora-pro-nobis* na mistura base do sorvete, apresentou melhorias nos parâmetros estudados.

## AGRADECIMENTOS

Este estudo foi financiado em parte pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) - Código Financeiro 001. Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - Brasil (CNPq) (Números de Concessão 478376/2013-8 e 308043/2015-4) e da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais - Brasil (FAPEMIG) (Números de Concessão CAG - APQ-01308-12 e CAG - APQ-03851-16), e o suporte técnico e fornecimento de equipamentos (Planta Piloto de Laticínios – DCA/UFLA).

## REFERÊNCIAS

- AIME, D. B. et al. Textural analysis of fat reduced vanilla ice cream products. **Food Research International**, v. 34, n. 2–3, p. 237–246, 2001.
- AKHTAR, M.; MURRAY, B. S.; DICKINSON, E. Perception of creaminess of model oil-in-water dairy emulsions : Influence of the shear-thinning nature of a viscosity-controlling hydrocolloid. **Food Hydrocolloids**, v. 20, p. 839–847, 2006.
- AMARAL, T. N.; JUNQUEIRA, L. A.; PRADO, M. E. T.; CIRILLO, M. A.; ABREU, L. R.; COSTA, F. F.; RESENDEJ. V. Blends of *Pereskia aculeata* Miller mucilage, guar gum, and gum Arabic added to fermented milk beverages. **Food Hydrocolloids**, v. 79, p. 331-342, 2018.
- AOAC. ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. **Official methods of analysis of the Association of Analytical Chemists**. 18. ed. Gaithersburg: AOAC International, 2005.
- CHHABRA, R. P.; RICHARDSON, J. F. **Non-Newtonian flow and applied rheology: Engineering applications**. 2. ed. Oxonia: Butterworth-Heinemann, 2008.
- COSTA, F. F. et al. Effect of calcium chloride addition on ice cream structure e quality. **Journal of Dairy Science**, Champaign, v. 91, n.6, p. 2165-2174, June 2008.
- DERTL, E. et al. Development of a fermented ice-cream as influenced by in situ exopolysaccharide production: Rheological, molecular, microstructural and sensory characterization. **Carbohydrate Polymers**, v. 136, p. 427–440, 2016.
- EISNER, M. D.; WILDMOSER, H.; WINDHAB, E. J. Air cell microstructuring in a high viscous ice cream matrix. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 263, n. 1–3, p. 390–399, 2005.

GIAROLA, T. M. DE O. et al. Effects of Golden Flaxseed Flour on Ice Recrystallization in Uvaia (*Eugenia pyriformis* Cambess.) Diet Sherbet. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, n. 12, p. 2120–2135, 2019.

GIAROLA, T. M. DE O.; PEREIRA, C. G.; RESENDE, J. V. Fortification with iron chelate and substitution of sucrose by sucralose in light uvaia sherbet (*Eugenia pyriformis* Cambess): physical, chemical and sensory characteristics. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, n. 9, p. 5522–5533, 2015.

GOFF, H. D. Formation and stabilisation of structure in ice-cream and related products. **Current Opinion in Colloid and Interface Science**, v. 7, n. 5–6, p. 432–437, 2002.

IAL. INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Metódos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: IAL, 2008.

INOUE, K. et al. Modeling of the effect of freezer conditions on the hardness of ice cream using response surface methodology. **Journal of Dairy Science**, v. 92, n. 12, p. 5834–5842, 2009.

KARACA, O. B. et al. The functional, rheological and sensory characteristics of ice creams with various fat replacers. **International Journal of Dairy Technology**, v. 62, n. 1, p. 93–99, 2009.

LAGO, A. M. T. et al. Ultrasound-assisted oil-in-water nanoemulsion produced from *Pereskia aculeata* Miller mucilage. **Ultrasonics Sonochemistry**, v. 50, n. 2018, p. 339–353, 2019.

LEE, S. J.; MCCLEMENTS, D. J. Fabrication of protein-stabilized nanoemulsions using a combined homogenization and amphiphilic solvent dissolution/evaporation approach. **Food Hydrocolloids**, v. 24, n. 6–7, p. 560–569, 2010.

LIMA JUNIOR, F. A. et al. Response surface methodology for optimization of the mucilage extraction process from *Pereskia aculeata* Miller. **Food Hydrocolloids**, v. 33, n. 1, p. 38–47, 2013.

MAITY, T.; SAXENA, A.; RAJU, P. S. Use of hydrocolloids as cryoprotectant for frozen foods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 58, n. 3, p. 420–435, 2018.

MARSHALL, R. T.; GOFF, H. D.; HARTEL, R. W. **Ice cream**. New York: Plenum Publishing, 2003.

MARTIN, A. A. et al. Chemical structure and physical-chemical properties of mucilage from the leaves of *Pereskia aculeata*. **Food Hydrocolloids**, v. 70, p. 20–28, 2017.

MAYAKRISHNAN, V.; BAKRUDEEN, A.; AHMED, A. Cardioprotective activity of polysaccharides derived from marine algae: An overview. **Trends in Food Science & Technology**, v. 30, n. 2, p. 98–104, 2013.

- MILLIATTI, M. C.; LANNES, S. C. DA S. Impact of stabilizers on the rheological properties of ice creams. **Food Science and Technology**, v. 38, n. 4, p. 733–739, 2018.
- MONRROY, M. et al. Extraction and Physicochemical Characterization of Mucilage from *Opuntia cochenillifera* (L.) Miller. **Journal of Chemistry**, v. 2017, p. 1–9, 2017.
- MUSE, M. R.; HARTEL, R. W. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness. **Journal of Dairy Science**, v. 87, n. 1, p. 1–10, 2004.
- OLIVEIRA, N. L. et al. Development and characterization of biodegradable films based on *Pereskia aculeata* Miller mucilage. **Industrial Crops and Products**, v. 130, p. 499–510, 2019.
- PEREIRA, G. DAS G. et al. Influence of the partial substitution of skim milk powder for soy extract on ice cream structure and quality. **European Food Research and Technology**, v. 232, n. 6, p. 1093–1102, 2011.
- RIOS, R. V. et al. Application of fats in some food products. **Food Science and Technology**, v. 34, n. 1, p. 03–15, 2014.
- ROLON, M. L. et al. Effect of fat content on the physical properties and consumer acceptability of vanilla ice cream. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 7, p. 5217–5227, 2017.
- SOFJAN, R. P.; HARTEL, R. W. Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. **International Dairy Journal**, v. 14, p. 255–262, 2004.
- SOUKOULIS, C.; CHANDRINOS, I.; TZIA, C. Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with  $\kappa$ -carrageenan on storage quality of vanilla ice cream. **LWT - Food Science and Technology**, v. 41, n. 10, p. 1816–1827, 2008.
- SOUKOULIS, C.; FISK, I. Innovative ingredients and emerging technologies for controlling ice recrystallization, texture, and structure stability in frozen dairy desserts: A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 53, n. 15, p. 2543–2559, 2016.
- WHELAN, A. P. et al. Physicochemical and sensory optimisation of a low glycemic index ice cream formulation. **International Journal of Food Science and Technology**, v. 43, n. 9, p. 1520–1527, 2008.