

**UFRRJ  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE ALIMENTOS**

**TESE**

**APLICAÇÃO DE HOMOGENEIZAÇÃO A ALTA PRESSÃO EM  
SORVETE *PLANT-BASED* DE AÇAÍ E FARINHA DE  
CASCA DE JABUTICABA  
COM PROTEÍNA DE FEIJÃO-FAVA**

**NÁTALI SILVA TEIXEIRA**

**2024**



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
INSTITUTO DE TECNOLOGIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
DE ALIMENTOS**

**APLICAÇÃO DE HOMOGENEIZAÇÃO A ALTA PRESSÃO EM  
SORVETE *PLANT-BASED* DE AÇAÍ E FARINHA DE  
CASCA DE JABUTICABA  
COM PROTEÍNA DE FEIJÃO-FAVA**

**NÁTALI SILVA TEIXEIRA**

*Sob orientação do Professor*  
**Dr. Amauri Rosenthal**

*e Coorientação das Professoras*  
**Dra. Rosires Deliza e Dra. Ana Carolina S. D. Chaves**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de **Doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos**, no Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, Área de Concentração em Tecnologia de Alimentos.

Seropédica, RJ  
Abril de 2024

Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro  
Biblioteca Central / Seção de Processamento Técnico

Ficha catalográfica elaborada  
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

T266a      Teixeira, Nátali Silva, 1992-  
Aplicação de homogeneização a alta pressão em sorvete plant-based de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava / Nátali Silva Teixeira. - Seropédica, 2024.  
145 f.: il.

Orientador: Amauri Rosenthal.  
Coorientadora: Rosires Deliza.  
Coorientadora: Ana Carolina Sampaio Doria Chaves.  
Tese(Doutorado). -- Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2024.

1. Proteína alternativa. 2. Feijão-fava. 3. Tecnologia emergente. 4. Características tecnológicas . 5. Estudo de consumidor. I. Rosenthal, Amauri , 1960 , orient. II. Deliza, Rosires, -, coorient. III. Chaves, Ana Carolina Sampaio Doria, -, coorient. IV Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Pós graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos. V. Título.

O presente trabalho foi realizado com o apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO  
UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO RIO DE JANEIRO  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE  
ALIMENTOS



ATA DE DEFESA DE TESE Nº 96/2024 - PPGCTA (12.28.01.00.00.00.41)

Nº do Protocolo: 23083.020751/2024-51

Seropédica-RJ, 25 de abril de 2024.

**NÁTALI SILVA TEIXEIRA**

Tese submetida como requisito parcial para obtenção do grau de doutora em Ciência e Tecnologia de Alimentos, no Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, área de Concentração em Ciência de Alimentos.

**TESE APROVADA EM 11/04/2024**

AMAURI ROSENTHAL, (Dr) EMBRAPA (orientador)

ELISA HELENA DA ROCHA FERREIRA, (Dra) UFRRJ

ELLEN MAYRA MENEZES AYRES,,(Dra) UNIRIO

MARIA IVONE MARTINS JACINTHO BARBOSA, (Dra) UFRRJ

FLAVIO DE SOUZA NEVES CARDOSO, (Dr) UNIRIO

*(Assinado digitalmente em 02/05/2024 19:04)*

ELISA HELENA DA ROCHA FERREIRA

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

DTA (12.28.01.00.00.00.46)

Matrícula: ###069#6

*(Assinado digitalmente em 26/04/2024 13:43)*

MARIA IVONE MARTINS JACINTHO BARBOSA

PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR

DTA (12.28.01.00.00.00.46)

Matrícula: ###243#8

*(Assinado digitalmente em 20/05/2024 16:11)*

ELLEN MAYRA MENEZES AYRES

ASSINANTE EXTERNO

CPF: ###.###.877-##

*(Assinado digitalmente em 08/05/2024 13:00)*

AMAURI ROSENTHAL

ASSINANTE EXTERNO

CPF: ###.###.978-##

*(Assinado digitalmente em 25/04/2024 17:16)*

FLAVIO DE SOUZA NEVES CARDOSO

ASSINANTE EXTERNO

CPF: ###.###.938-##

Visualize o documento original em <https://sipac.ufrrj.br/public/documentos/index.jsp> informando seu número: **96**, ano: **2024**, tipo: **ATA DE DEFESA DE TESE**, data de emissão: **25/04/2024** e o código de verificação: **5b71d7c370**

*Dedico minha tese à minha mãe Célia  
Maria, por sempre me incentivar a estudar.  
Te amo minha guerreira! E a mim mesma,  
muito orgulho de você, Natinha!*

## AGRADECIMENTO

A Deus, por tudo que és em minha vida, pois sem Ele nada posso fazer.

A mim mesma, por ser perseverante, resiliente, dedicada, ter força e fé para concluir esse trabalho diante de tantos desafios.

À minha mãe, Célia Maria, pelo seu amor, dedicação e incentivo, para minha formação. À minha irmã, Etiene e meus sobrinhos Gael e Ian por compreenderem a minha ausência, mesmo ainda sendo pequenos.

Aos meus avós, Noêmia e Otaviano (*In memoriam*), por serem a base de tudo em minha vida.

À UFRRJ, em particular ao PPGCTA.

À Capes pela bolsa concedida.

À empresa Ingredion, por fornecer generosamente a proteína vegetal para todo o trabalho.

À Embrapa Agroindústria de Alimentos, por disponibilizar suas instalações para o desenvolvimento da parte experimental deste trabalho. E aos funcionários e estagiários, por ajudarem na realização das análises.

Aos meus orientadores, Dr. Amauri Rosenthal, Dra Rosires Deliza e Dra Ana Carolina Chaves, por terem confiado no meu trabalho, pela paciência, disponibilidade e conhecimento, o qual fez toda a diferença na minha formação profissional e levarei por toda minha caminhada. A vocês todo meu carinho e admiração.

Ao pós-doc Davy Hidalgo, pela parceria, disponibilidade, contribuições e conhecimento, foi meu braço direito desde o projeto da tese, serei eternamente grata.

Aos funcionários das plantas I e II, que sempre me ajudaram em tudo que precisei, além de fornecer um ambiente agradável e divertido para se trabalhar. Em especial ao Filé, Agnelli, Érika e Chorão.

À equipe do Laboratório de Sensorial, Rodrigo, Inayara, Marcela, Gabriel e ao motorista Mazoleni.

À professora Ellen Menezes e seus alunos, por disponibilizar o laboratório de sensorial da Unirio e me ajudar durante a análise.

À professora Verônica Calado e sua aluna, por disponibilizar o laboratório e me auxiliar na análise de reologia.

Ao meu “paistor” Flaudízio Calazans, pelo apoio, incentivo e orações.

Aos meus amigos Milene Gomes, Priscila Galvão, Ramon Isidorio, Letícia Pedessani, Letícia Fraga, Lidiane Pires, Elaine “cabelão” e a Ale, por sempre me apoiarem e compreenderem a minha ausência. À minha amiga Aline Cascaes pelos conselhos e incentivo e a minha amiga Karen Elbert pelo companheirismo durante essa trajetória, minha eterna gratidão e... *“Long, long live the walls we crashed through”*.

*“Quem caminha sozinho pode até chegar mais rápido, mas aquele que vai acompanhado, com certeza vai mais longe.”*

Clarice Lispector  
**Muito obrigada!**

*“Porque dEle e por Ele, e para Ele, são todas as coisas; glória, pois, a Ele eternamente. Amém”.*  
*(Romanos 11:36).*

## RESUMO

TEIXEIRA, Nátali Silva. **Aplicação de homogeneização a alta pressão em sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava**. 2024. 145p. Tese. (Doutorado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ, 2024.

A demanda por produtos *plant-based* tem apresentado um crescimento global, oferecendo alimentos com propriedades nutricionais e tecnológicas únicas. Inicialmente voltados para consumidores veganos e vegetarianos, esse mercado expandiu-se para novos consumidores e produtos, como o segmento de sorvetes, que ganha destaque pela diversidade de sabores e ingredientes. Diante disso, o presente trabalho objetivou desenvolver um sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava homogeneizado por alta pressão, utilizando as características tecnológicas e sensoriais como norteadores do desenvolvimento e otimização. A pesquisa consistiu em quatro estudos distintos. No primeiro, foram exploradas as concepções e atitudes dos consumidores brasileiros em relação à sorvetes, com destaque para a aceitação da adição de proteína. A metodologia de associação de palavras revelou variações entre consumidores favoráveis e desfavoráveis à adição de proteína. A maioria dos participantes (88%) considerou positiva a adição de proteínas em sorvete, e mencionaram atributos sensoriais como "refrescante" e "cremoso". Os participantes também contribuíram para a decisão do sabor e da forma do sorvete, tendo escolhido o açaí e sorvete em massa, respectivamente, por julgarem que poderiam ter um efeito positivo na experimentação e no consumo. O segundo estudo envolveu a criação de oito formulações utilizando diferentes concentrações de preparado de açaí e farinha de casca de jabuticaba (25% - 40%), concentrado proteico de feijão-fava (8,5% - 20%) e óleo de coco (5% - 10%) e uma formulação controle (4% de proteína) com teor proteico equivalente ao sorvete lácteo comercial convencional. Formulações com concentrações elevadas de proteína de feijão-fava (20%) apresentaram maior resistência ao derretimento e dureza, enquanto as com concentrações moderadas, especialmente abaixo de 10%, apresentaram indicadores comparáveis ao sorvete controle, com 4% de proteína de feijão-fava. A formulação otimizada, alcançada por meio da função desejabilidade, incluiu preparado a base de açaí (40%), concentrado proteico de feijão-fava (8,5%) e óleo de coco (6,5%). O terceiro estudo partiu da formulação otimizada no capítulo 2, analisou as características físico-químicas e o efeito de diferentes tipos de homogeneização nas propriedades físicas do sorvete. Foram realizados cinco tratamentos na etapa de mistura/homogeneização: liquidificador industrial (LI), 0 MPa, 15 MPa (homogeneização convencional), 45 e 90 MPa, utilizando um homogeneizador de alta pressão industrial. A formulação otimizada apresentou teor proteico aumentado, contendo níveis elevados dos aminoácidos essenciais como leucina e lisina. A homogeneização a alta pressão (45 MPa e 90 MPa) impactou significativamente o tamanho das partículas e as propriedades reológicas, resultando em um menor *overrun* e uma maior resistência ao derretimento. No quarto estudo, foi avaliada a aceitação e a caracterização sensorial da formulação otimizada submetida a diferentes condições de mistura/homogeneização (liquidificador industrial e a HAP - 0 MPa, 15 MPa, 45 MPa e 90 MPa). A análise sensorial indicou que o produto não apresentou aceitação e intenção de compra elevadas, na média geral (n = 120). No entanto, uma análise detalhada revelou um grupo de 39 participantes que atribuíram notas  $\geq 6$ , indicando que esse segmento compreende potenciais consumidores desse produto. Adicionalmente, as amostras tratadas com homogeneização a alta pressão apresentaram modificações mais pronunciadas nas características sensoriais, destacando-se atributos como: "cor roxa", "aparência brilhosa", "doce", "sabor de açaí" e "cremosa". Estes resultados indicam que a etapa de homogeneização,

comumente realizada no processamento de sorvetes, pode aprimorar as características sensoriais dos sorvetes à base de proteína vegetal, quando aplicadas pressões mais elevadas, proporcionando melhorias perceptíveis aos consumidores, especialmente em termos de textura e sabor. Em síntese, este estudo contribui para o entendimento das interações complexas entre a composição e o efeito do processamento nas características físicas e sensoriais de sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava, visando aprimorar as propriedades tecnológicas e sensoriais.

**Palavras-chave:** Proteína alternativa; Feijão-fava; Tecnologia emergente; Características tecnológicas; Estudo de consumidor.

## ABSTRACT

TEIXEIRA, Nátali Silva. **Application of high-pressure homogenization in plant-based açai and jaboticaba peel flour ice cream with fava bean protein.** 2024. 145p. Thesis. (PhD in Food Science and Technology). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica/RJ, 2024.

The demand for plant-based products has shown global growth, offering foods with unique nutritional and technological properties. Initially aimed at vegan and vegetarian consumers, this market expanded to new consumers and products, such as the ice cream segment, which stands out for its diversity of flavors and ingredients. Therefore, the present work aimed to develop a plant-based ice cream made from açai and jaboticaba peel flour with fava bean protein homogenized by high pressure, using technological and sensory characteristics as guidelines for development and optimization. The research consisted of four distinct studies. In the first, the conceptions and attitudes of Brazilian consumers in relation to ice cream were explored, with emphasis on the acceptance of added protein. The word association methodology revealed variations between consumers favorable and unfavorable to adding protein. The majority of participants (88%) considered the addition of proteins to ice cream positive, and mentioned sensory attributes such as "refreshing" and "creamy". Participants also contributed to the decision on the flavor and shape of the ice cream, having chosen açai and bulk ice cream, respectively, as they believed they could have a positive effect on experimentation and consumption. The second study involved the creation of eight formulations using different concentrations of açai preparation and jaboticaba peel flour (25% - 40%), fava bean protein concentrate (8.5% - 20%) and coconut oil (5% - 10%) and a control formulation (4% protein) with a protein content equivalent to conventional commercial dairy ice cream. Formulations with high concentrations of faba bean protein (20%) showed greater resistance to melting and hardness, while those with moderate concentrations, especially below 10%, presented indicators comparable to the control ice cream, with 4% faba bean protein. The optimized formulation, achieved through the desirability function, included açai-based preparation (40%), fava bean protein concentrate (8.5%) and coconut oil (6.5%). The third study started from the optimized formulation in chapter 2, analyzing the physicochemical characteristics and the effect of different types of homogenizations on the physical properties of the ice cream. Five treatments were carried out in the mixing/homogenization stage: industrial blender (LI), 0 MPa, 15 MPa (conventional homogenization), 45 and 90 MPa, using an industrial high-pressure homogenizer. The optimized formulation showed increased protein content, containing high levels of essential amino acids such as leucine and lysine. High pressure homogenization (45 MPa and 90 MPa) significantly impacted particle size and rheological properties, resulting in lower overrun and greater melt resistance. In the fourth study, the acceptance and sensorial characterization of the optimized formulation subjected to different mixing/homogenization conditions (industrial blender and HAP - 0 MPa, 15 MPa, 45 MPa and 90 MPa) were evaluated. Sensory analysis indicated that the product did not show high acceptance and purchase intention, on average ( $n = 120$ ). However, a detailed analysis revealed a group of 39 participants who gave scores  $\geq 6$ , indicating that this segment comprises potential consumers of this product. Additionally, samples treated with high-pressure homogenization showed more pronounced changes in sensory characteristics, highlighting attributes such as: "purple color", "shiny appearance", "sweet", "açai flavor" and "creamy". These results indicate that the homogenization step, commonly carried out in ice cream processing, can improve the sensory characteristics of vegetable protein-based ice creams when higher pressures are applied, providing noticeable improvements to consumers, especially in terms of texture and flavor. In summary, this study contributes to the understanding of the complex interactions between the

composition and the effect of processing on the physical and sensorial characteristics of plant-based açai ice cream and jaboticaba peel flour with fava bean protein, aiming to improve the technological properties and sensory.

**Keywords:** Alternative protein; Fava bean; Emerging technology; Consumer study; Technological characteristics.

## PRODUÇÃO CIENTÍFICA

Capítulo	Tema	Periódico	Situação
I	<b>Atitudes e concepções dos consumidores brasileiros em relação a sorvetes e adição de proteínas</b>  <i>Attitudes and conceptions of Brazilian consumers toward ice cream and protein addition</i>	<i>Food Quality and Preference</i>	Publicado
II	<b>Sorvete <i>plant-based</i> de açaí e farinha de casca de jaboticaba com proteína de feijão-fava: otimização da formulação com base em características tecnológicas</b>  <i>Plant-based ice cream of the açaí and jaboticaba peel flour with fava bean protein: optimization of the formulation based on technological characteristics</i>	<i>Food Science and Technology International</i>	Submetido
III	<b>Avaliação do impacto da homogeneização a alta pressão em sorvete <i>plant-based</i> de açaí e farinha de casca de jaboticaba com proteína de feijão-fava</b>  <i>Evaluation of the impact of high-pressure homogenization on plant-based açaí and jaboticaba peel flour ice cream with fava bean protein</i>	-	Não Publicado
IV	<b>Efeito da homogeneização a alta pressão na aceitação e características sensoriais de sorvete <i>plant-based</i> de açaí e farinha de casca de jaboticaba com proteína de feijão-fava</b>  <i>Effect of high-pressure homogenization on acceptance and sensory characteristics of plant-based açaí and jaboticaba peel flour ice cream with fava bean protein</i>	-	Não Publicado

Ao longo da elaboração da tese, foram apresentados resumos em conferências nacionais e internacionais:

TEIXEIRA, N. S.; ROSENTHAL, A.; CHAVES, A. C. S. D.; ALCANTARA, M.; MARTINS, I. B. A.; DELIZA, R. Consumidor como cocriador no desenvolvimento de sorvete com alto teor proteico. In: I Congresso Latino-Americano De Ciências Sensoriais. Online, 2020.

TEIXEIRA, N. S.; ALCANTARA, M.; MARTINS, I. B. A.; CHÁVEZ, D. W. H.; ROSENTHAL, A.; CHAVES, A. C. S. D.; DELIZA, R. Exploratory study to understand consumer associations with ice cream: the role of physical activity. In: 14<sup>th</sup> Pangborn Sensory Science Symposium. Online: Live and On-demand, 2021.

CHAVES, A. C. S. D.; TEIXEIRA, N. S.; CHÁVEZ, D. W. H.; ROSENTHAL, A.; DELIZA, R. Vegan ice cream made with fava bean protein: melting rate and hardness. In: IX International Conference on Food Proteins and Colloids/IX Conferência Internacional de Proteínas e Coloides Alimentares, Rio de Janeiro, 2023.

## SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL .....	1
REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	5
1 SORVETE .....	6
1.1 Origem e evolução .....	6
1.2 Mercado nacional e internacional .....	6
1.3 Definição e estrutura .....	7
1.4 Composição.....	9
1.5 Processamento.....	11
1.6 Propriedades físicas ( <i>overrun</i> , derretimento, firmeza e reológicas) .....	13
2 AÇAÍ .....	16
3 FARINHA DA CASCA DE JABUTICABA .....	17
4 PROTEÍNAS ALTERNATIVAS: FEIJÃO-FAVA ( <i>VICIA FABA L</i> ) .....	18
5 AVALIAÇÃO SENSORIAL DE NOVOS PRODUTOS .....	20
6 HOMOGENEIZAÇÃO A ALTA PRESSÃO (HAP) .....	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	24
CAPÍTULO I Atitudes e concepções dos consumidores brasileiros em relação a sorvetes e adição de proteínas .....	35
CAPÍTULO II Sorvete <i>plant-based</i> de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava: otimização da formulação com base em características tecnológicas.....	50
CAPÍTULO III Avaliação do impacto da homogeneização a alta pressão em sorvete <i>plant-based</i> de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava.....	73
CAPÍTULO IV Efeito da homogeneização a alta pressão na aceitação e características sensoriais de sorvete <i>plant-based</i> de açaí e farinha da casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava.....	102
CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE PESQUISA .....	128
APÊNDICE I.....	131

## **INTRODUÇÃO GERAL**

As mudanças nos hábitos dos consumidores na busca por alimentos mais saudáveis e produzidos com ingredientes e processos sustentáveis, tem revertido na procura por produtos inovadores que satisfaçam tais necessidades e expectativas. Essas tendências tem ocasionado o crescimento global de produtos *plant-based*, que propõem entregar alimentos com características nutricionais e sensoriais específicas e benefícios a saúde, com menor impacto ambiental. Esse mercado, anteriormente focado apenas em consumidores veganos, vegetarianos e/ou com restrição alimentar, nos últimos anos têm se expandido para novos nichos de mercado e segmentos de produtos, destacando-se o de sorvete, pela sua elevada aceitação e versatilidade de sabores e ingredientes.

O sorvete é um produto refrescante e saboroso, apreciado mundialmente por diversos consumidores com diferentes perfis. Contém uma matriz complexa, obtida a partir de uma emulsão de gorduras e proteínas, com água, açúcar, estabilizantes e emulsificantes, a qual passa, geralmente, pelo processo de pasteurização, homogeneização, maturação, batimento e congelamento, em que ocorre simultaneamente a incorporação de ar. O valor nutricional e as características físicas e sensoriais podem variar de um produto para o outro, dependendo dos ingredientes utilizados na formulação. Por esse motivo, os sorvetes são considerados ótimos veículos para a incorporação de diferentes ingredientes, em especial, os nutritivos, sendo possível desenvolver produtos inovadores para esse mercado, estimulando o consumo de sorvete em diferentes momentos do dia.

O açai (*Euterpe oleracea*) é uma fruta da biodiversidade brasileira que vem se destacando por seus compostos bioativos e valor nutricional. Ele é amplamente utilizado como ingrediente em vários produtos, como sorvetes, geleias, iogurtes e bebidas, conferindo cor, aroma e sabor, além de possuir alta capacidade antioxidante devido ao elevado teor de antocianinas. Outra fruta proveniente da biodiversidade brasileira é a jabuticaba (*Plinia* sp.), que é rica em compostos fenólicos e antocianinas. Durante o processamento industrial para obtenção da polpa, são gerados co-produtos, como sementes e cascas, que geralmente são descartados, mas contêm altas concentrações de compostos fenólicos, fibras e vitaminas. Além de serem benéficos para a saúde, podem ser usados como corante natural em produtos alimentícios. Sendo assim, aproveitar integralmente as frutas pode reduzir o impacto ambiental e agregar valor aos subprodutos, podendo ser utilizados diretamente na formulação de alimentos.

Promover o maior consumo de proteínas de origem vegetal na alimentação humana é proposto como uma estratégia global para mitigar os efeitos no meio ambiente e as mudanças climáticas. Sendo assim, a utilização de proteínas alternativas como matéria-prima para produção de sorvetes pode ser uma forma de substituir o leite na elaboração de sorvetes veganos. As proteínas provenientes de matrizes vegetais, englobando as leguminosas, cereais e oleaginosas têm recebido considerável atenção devido à acessibilidade, benefícios para a saúde e questões éticas e ambientais. A maioria dos produtos alimentícios de origem vegetal, ricos em proteínas e processados, derivam da soja, que é reconhecida como uma das principais fontes de proteínas de origem vegetal em escala global. A proteína da soja se destaca pelas suas propriedades funcionais e valor nutricional, fornecendo todos os aminoácidos essenciais em sua composição. No entanto, preocupações relacionadas à alergenicidade, impacto ambiental e sustentabilidade têm impulsionado a busca por proteínas alternativas.

O feijão-fava (*Vicia faba* L.) é uma alternativa de proteína vegetal ainda pouco explorada, cultivada por milênios na Ásia, África e na região do Mediterrâneo. O feijão-fava apresenta uma composição rica em proteínas, carboidratos, fibras alimentares, vitamina B e minerais. No que se refere ao perfil de aminoácidos, destaca-se a alta concentração de lisina, um aminoácido frequentemente limitante em cereais, porém

apresentando baixa concentração de metionina, cisteína e triptofano. O teor de proteína no grão integral geralmente varia entre 26% e 31% em matéria seca. Após o processo de fracionamento a seco, obtém-se um concentrado proteico com 60 a 65% de proteína, com propriedades funcionais potenciais, como emulsificante, espumante, gelificantes e retenção de água. Dadas a estas propriedades tecnológicas e nutricionais, o concentrado de feijão-fava poderia potencialmente substituir a proteína láctea em sorvetes.

Simultaneamente à busca por produtos veganos, os produtos proteicos estão cada vez mais populares entre os consumidores, porém o aumento do teor proteico em sorvetes, principalmente de proteína vegetal, pode ser um desafio tecnológico e sensorial para a indústria. Os consumidores como cocriadores podem contribuir positivamente no processo de desenvolvimento do novo produto e, sendo assim, é oportuno compreender as atitudes dos consumidores em relação ao sorvete e a sua opinião sobre a adição de proteína em sorvetes, a fim de aumentar o potencial de sucesso no mercado.

Tecnologias emergentes têm sido utilizadas como uma estratégia para o aprimoramento das propriedades funcionais e da qualidade dos produtos alimentícios. Uma dessas tecnologias é a homogeneização a alta pressão (HAP), tecnologia de processamento contínuo semelhante a uma homogeneização tradicional, porém aplicando-se pressões mais elevadas. Na HAP, o fluido passa por uma pequena válvula experimentando altas pressões devido as forças como cisalhamento, cavitação e turbulência por um curto período de tempo, podendo ocasionar aumento da temperatura de aproximadamente 2 a 3 °C para cada 10 MPa de pressão de homogeneização. A HAP provoca a redução de tamanho dos glóbulos de gordura e a desnaturação proteica. A etapa de homogeneização é importante no processo convencional de fabricação de sorvetes, geralmente sendo realizada com aplicação de pressões que variam de 6 a 20 MPa em homogeneizadores industriais (HI). A substituição dos ingredientes lácteos pelos de origem vegetal é um desafio, em razão das propriedades tecnológicas e sensoriais, sendo necessários novos estudos que explorem diferentes tecnologias com potencial de melhorar as características dos sorvetes com proteína vegetal. Desse modo, o efeito do HAP nas características físicas e sensoriais de sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava, que não foi investigado até o presente, é objeto do presente estudo.

A composição e as etapas de processamento influenciam a formação da estrutura do sorvete e, conseqüentemente, os parâmetros de qualidade, como resistência ao derretimento, *overrun*, firmeza e propriedades reológicas, entre outras. Além disso, a aplicação da homogeneização a alta pressão pode supostamente melhorar as características sensoriais do produto e a aceitação pelos consumidores. Diante disso, para o sucesso de um novo produto no mercado vegano, especificamente na categoria de sorvetes proteicos, torna-se oportuno explorar os efeitos da adição gradual da proteína vegetal e da homogeneização a alta pressão nas características físicas e sensoriais do produto, a fim de promover melhorias no produto inovador, e contribuir para o incremento potencial do consumo de sorvete com diferencial de saudabilidade e sustentabilidade.

O presente trabalho teve como objetivo geral desenvolver um sorvete *plant-based* de açaí e farinha da casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava, com teor proteico aumentado e homogeneizado a alta pressão utilizando as características tecnológicas e sensoriais como norteadores do desenvolvimento. Os objetivos específicos foram:

- Explorar as conceituações de sorvete dos consumidores brasileiros e verificar como tais conceituações diferem entre os consumidores que têm atitudes favoráveis e desfavoráveis em relação à ideia de adição de proteína em sorvete;
- Definir a fruta tropical utilizada no sorvete por meio de um questionário *online* aplicado aos consumidores potenciais do produto;

- Desenvolver um sorvete *plant-based* com teor proteico aumentado em relação aos sorvetes lácteos, e definir a formulação ideal por meio de um planejamento de mistura, tendo como respostas principais as características tecnológicas do produto;
- Caracterizar a formulação otimizada do sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava quanto às suas características físico-químicas;
- Avaliar os efeitos da homogeneização a alta pressão no tamanho de partícula, nas propriedades reológicas e nas características tecnológicas do sorvete otimizado;
- Avaliar a aceitação e a caracterização sensorial do sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava, e verificar os efeitos da homogeneização a alta pressão na avaliação sensorial dos consumidores utilizando o método de RATA.

## **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

# 1 SORVETE

## 1.1 Origem e evolução

A origem exata do sorvete não é conhecida, mas historiadores reportam que há cerca de 3.000 anos, na China, um produto similar a uma sobremesa congelada era produzido a partir de uma pasta de arroz misturada com neve. Outros relatam que a origem ocorreu misturando-se bebidas e sucos de frutas com neve, na corte do imperador Nero, no século I (CLARKE, 2012).

No século XIII, o comerciante veneziano Marco Polo trouxe do Oriente receitas de sorvetes da China. A partir disso, o produto se espalhou por toda a Itália. Em 1533, quando Catherine de Médici casou-se com Henrique II na França, o sorvete passou a ser servido na corte francesa. No entanto, só após um século, quando Francesco Procópio abriu uma cafeteria em Paris, é que o público francês teve acesso às bebidas geladas e aos sorvetes do tipo *sorbet*. Desta forma, a popularidade dos gelados comestíveis foi aumentando por toda Europa. Nos Estados Unidos, a produção de sorvete se iniciou com os primeiros colonos ingleses, mas somente em 1851 foi criada a primeira fábrica de sorvetes, em Baltimore, Maryland, por Jacob Fussell (GOFF e HARTEL, 2013).

A origem do sorvete no Brasil ocorreu supostamente em 1834, quando um navio norte-americano vendeu a dois comerciantes cariocas 217 toneladas de gelo para fabricação de sorvetes com frutas brasileiras. O sorvete, nessa época, tinha que ser consumido logo após o preparo, pois não havia como conservar o produto congelado. Em 1941, foi fundada a primeira fábrica de sorvetes no Rio de Janeiro, a US Harkon, que se instalou no Brasil e passou a se chamar Kibon (GOFF e HARTEL, 2013).

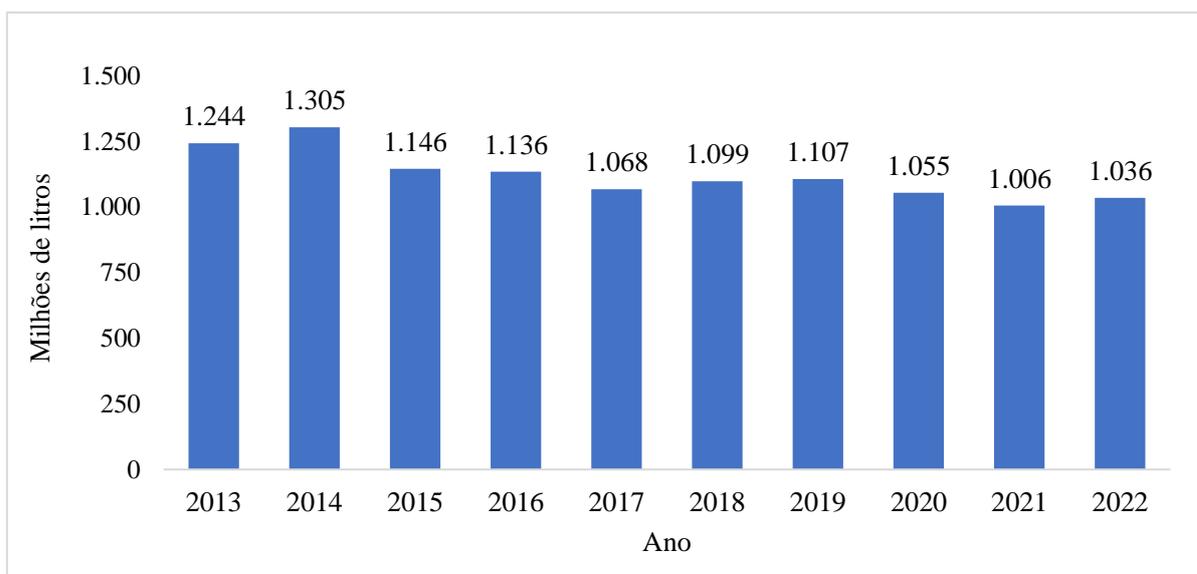
Durante a evolução da indústria de sorvetes, duas invenções foram de suma importância: a refrigeração mecânica e o freezer de expansão direta, que ocorreram em 1878 e em 1913, respectivamente (GOFF e HARTEL, 2013).

O surgimento do primeiro sorvete à base de vegetais remonta a 1899, quando Almeda Lambert, uma adventista, introduziu a inovação em seu livro de receitas vegetarianas com creme de castanhas, açúcar e baunilha. Outro marco ocorreu em 1918, quando um professor da Universidade de Massachusetts propôs a ideia do sorvete feito com soja em seu artigo "*Soy Beans As Human Food*". A primeira patente para sorvete de soja foi registrada em 1922. Em 1930, Jethro Kloss lançou o primeiro sorvete de soja adoçado com mel, nos sabores chocolate, morango e baunilha. Em 2001, a marca *Purely Decadent Soy Delicious* lançou o primeiro sorvete vegano premium que, em 2005, se transformou em *So Delicious Dairy Free* (LIVEKINDLY, 2019).

## 1.2 Mercado nacional e internacional

O mercado de sorvetes brasileiro é dividido em dois setores, os produtos processados em larga escala e aqueles produzidos artesanalmente (SILVA, SILVA, e TOZATO, 2007). Em termos globais, estima-se que o mercado de sorvetes tenha alcançado em 2023 cerca de 101,23 bilhões de dólares com aumento previsto para 125,93 bilhões de dólares até 2029. Este crescimento é projetado com uma taxa composta anual de crescimento (*Compound Annual Growth Rate - CAGR*) de 3,70% ao longo do período de 2023 a 2029 (MORDOR INTELLIGENCE, 2023).

Com relação ao consumo de sorvete no Brasil, nos últimos dez anos, observa-se uma queda a partir de 2015 (Figura 1), passando de 1.305 litros consumidos em 2014 para 1.036 litros em 2022, uma vez que o consumo de sorvete está diretamente relacionado com o desempenho da economia. Tal decréscimo se deve a outros fatores além do poder de compra da população, incluindo o clima e as tendências de consumo.



**Figura 1.** Consumo brasileiro de sorvetes em milhões de litros/ano.

Fonte: Adaptada de ABIS (2023).

Segundo a Associação Brasileira das Indústrias e Setor de Sorvetes (ABIS) (2023), em 2022 o brasileiro consumiu cerca de 4,99 *per capita* em litros/ano. O consumo *per capita* de sorvete por ano é substancialmente inferior no Brasil em comparação com países de clima mais frio. Nos Estados Unidos, por exemplo, a média anual é de 20,8 litros *per capita*, enquanto na Nova Zelândia, um dos principais mercados consumidores de sorvetes, a média atinge cerca de 28,4 litros por habitante ao ano (MORDOR INTELLIGENCE, 2023). Alguns fatores como, a cultura, hábitos alimentares, economia e saúde podem ser os motivos para esse cenário. O consumo de sorvete no Brasil é sazonal, ou seja, é muito grande durante o verão e tem uma redução drástica no inverno, uma vez que o brasileiro não considera o sorvete como um alimento, mas sim como uma sobremesa, uma indulgência (ABIS, 2017). Porém, o setor tem tentado mudar esse cenário de consumo sazonal introduzindo produtos diferenciados e com novos sabores, entre outras iniciativas (EUROMONITOR, 2018). Há um potencial para expansão do mercado, dependendo do poder aquisitivo da população e das inovações no setor.

### 1.3 Definição e estrutura

De acordo com a RDC N° 713, de 1° de julho de 2022 gelados comestíveis, são definidos como “produtos congelados, obtidos a partir de uma emulsão de gorduras e proteínas; ou de uma mistura de água e açúcar(es)”. Os gelados comestíveis podem ser adicionados de outro(s) ingrediente(s) desde que não descaracterize(m) o produto.”

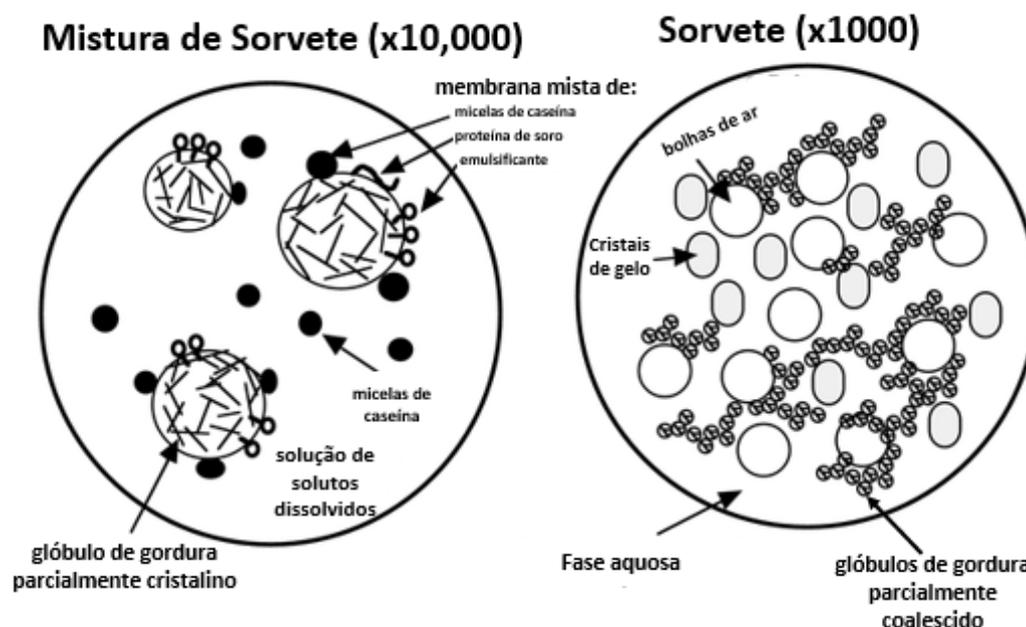
Apesar da Portaria N° 379 de 26 de abril de 1999, da ANVISA (BRASIL, 1999) ter sido revogada, a classificação dos gelados comestíveis estabelecida pode ser utilizada como referência pelo mercado. Nessa Portaria, os gelados comestíveis foram classificados quanto à composição básica em:

1. Sorvetes de creme: produtos elaborados basicamente com leite e/ou derivados lácteos e/ou gorduras comestíveis;
2. Sorvetes de leite: são produtos elaborados basicamente com leite e/ou derivados lácteos;

3. Sorvetes: são produtos elaborados basicamente com leite e/ou derivados lácteos e/ou outras matérias primas alimentares e nos quais os teores de gordura e/ou proteína são total ou parcialmente de origem não láctea;
4. *Sherbets*: são produtos elaborados basicamente com leite e/ou derivados lácteos e/ou outras matérias primas alimentares e que contém apenas uma pequena proporção de gorduras e proteínas, as quais podem ser total ou parcialmente de origem não láctea;
5. *Sorbets*: são produtos elaborados basicamente com polpas, sucos ou pedaços de frutas e açúcares;
6. Gelados: são produtos elaborados basicamente com açúcares, podendo ou não conter polpas, sucos, pedaços de frutas e outras matérias-primas.

Ainda segundo essa Portaria, os gelados comestíveis também podem ser classificados quanto ao processo de fabricação em: (1) sorvetes de massa ou cremosos, que são misturas homogêneas ou não de ingredientes alimentares, batidas e congeladas, resultando em uma massa aerada e (2) picolés, que são porções individuais de gelados comestíveis, geralmente suportadas por uma haste, obtidas por resfriamento até o congelamento da mistura, homogênea ou não, de ingredientes alimentares, com ou sem batimento.

Dentro do conceito da físico-química, o sorvete é uma matriz alimentar complexa, com glóbulos de gordura intactos e parcialmente coalescidos, cristais de gelo, bolhas de ar, proteína e/ou hidrocoloides e uma fase aquosa (chamada sêrum), onde estão dissolvidos: os açúcares, as proteínas solúveis e os minerais (GOFF e HARTEL, 2013). Todos estes contribuem para os elementos estruturais do sorvete (Figura 2).



**Figura 2.** Ilustração da estrutura da mistura de sorvete e sorvete.  
**Fonte:** Goff e Hartel, 2013.

Os glóbulos de gordura individuais ou parcialmente coalescidos são encontrados tanto na interface das bolhas de ar quanto dispersos na fase aquosa. Para reduzir a tensão interfacial entre a gordura/água são utilizados os emulsificantes, que tornam a adsorção

dos glóbulos de gordura mais eficiente durante o congelamento, resultando no deslocamento das proteínas na superfície do glóbulo (BOLLIGER *et al.*, 2000).

Durante o congelamento e batimento, ocorre a formação de uma rede tridimensional de gordura coalescida, de glóbulos de gordura homogeneizados junto com as bolhas de ar e com os cristais de gelo. O alto grau de desestabilização da gordura durante o congelamento tem efeitos importantes nos atributos físicos do sorvete, principalmente no derretimento e na textura do produto final (GOFF e HARTEL, 2013).

#### 1.4 Composição

A composição nutricional e o valor energético dependem dos ingredientes e das proporções utilizadas na formulação (DEOSARKAR *et al.*, 2016). Em geral, os sorvetes convencionais de base láctea apresentam em torno de 15% de carboidratos, de 10 a 16% de gordura, 11% dos sólidos não gordurosos lácteos (SNGL) e por volta de 0,3% de uma mistura de estabilizantes para sorvete (que em geral são misturas de diferentes espessantes e emulsificantes), podendo variar em função do tipo de sorvete (SYED *et al.*, 2018; AKBARI, ESKANDARI, DAVOUDIC, 2019).

Conforme relatado anteriormente, a gordura é importante para a textura e sabor, na percepção dos compostos voláteis, que conferem o sabor ao produto. Além de conferir a sensação na boca (*mouhtfeel*), cremosidade e reter a forma após o processo de congelamento, reduzindo o tempo de derretimento do sorvete (estabiliza os ingredientes e as bolhas de ar). Em sorvetes de base láctea, a principal gordura utilizada é o creme de leite, também é possível utilizar manteiga sem sal (AKBARI, ESKANDARI, DAVOUDIC, 2019). Outros tipos de gorduras utilizadas em sorvete são: óleo de palma, óleo de palmiste e óleo de coco, entre outros óleos vegetais. Óleos vegetais resultam comumente em uma boa estrutura e textura. O óleo de coco pode ser utilizado como substituto da gordura láctea para desenvolver sorvetes nutritivos com sabor agradável e com boa aceitação sensorial (CHOO, LEONG e LU, 2010; CORRADINI *et al.*, 2014).

Nos estudos mais recentes sobre sorvetes observa-se um crescente interesse na substituição e/ou redução do teor de gordura. Os fabricantes têm investido em produtos mais nutritivos, com menos gorduras e, conseqüentemente, menos calóricos (ISMAIL, AL-SALEH, METWALLI, 2013; SHARMA, SINGH, YADAV, 2017; JAVIDI e RAZAVI, 2018).

As funções dos açúcares são: conferir doçura, que é importante para aceitação sensorial, reduzir o ponto de congelamento da mistura, aumentar a viscosidade e o conteúdo de sólidos totais, que contribuem para a textura. A faixa ideal varia de 14 a 16%. Em excesso, o açúcar pode provocar defeitos como: mascarar o sabor desejado, reduzir a velocidade de congelamento e endurecimento do produto final (SYED *et al.*, 2018).

Os açúcares utilizados no processamento de sorvete formam uma solução concentrada (sérum) que contribui para que a água permaneça líquida mesmo no produto congelado. São utilizados diversos tipos de açúcares, sendo os mais comuns sacarose e glicose, além da lactose naturalmente presente no leite (SOUZA *et al.*, 2010). Em geral, se utiliza de 10 a 12% de sacarose e de 3 a 5% de glicose, que contribui para o aumento dos sólidos totais sem exceder a doçura. Outros açúcares que podem ser utilizados são: mel, açúcar invertido, frutose, melaço ou xarope de malte (SOUKOULIS e TZIA, 2018).

No sorvete, podem ser utilizadas proteínas de origem animal ou vegetal que têm a função de estabilizar inicialmente a emulsão lipídica, normalmente perfazendo teores de 3 a 4% da composição. Além disso, as proteínas também contribuem para aumentar a capacidade de retenção de água, aumentando a viscosidade. Quanto menor for a quantidade de água livre, menor será a quantidade e o tamanho dos cristais de gelo

formados. As proteínas podem contribuir também para o aumento do tempo de derretimento e na formação da espuma (SOUZA *et al.*, 2010).

A utilização de aditivos em sorvetes está pautada na Instrução Normativa N° 211, de 01 de março de 2023, que estabelece os limites máximos dos diversos aditivos permitidos. Dentre os aditivos que podem ser utilizados, os mais comuns são: emulsificantes, espessantes, estabilizantes, corantes e aromatizantes.

Segundo a legislação brasileira, emulsificante é a substância que torna possível a formação ou a manutenção de uma mistura uniforme de duas ou mais fases imiscíveis, mantendo as características físicas das emulsões (BRASIL, 2023). O papel dos emulsificantes na produção do sorvete é desenvolver um produto com uma textura mais macia, mais aerado e homogêneo (DEOSARKAR *et al.*, 2016).

Dentre os emulsificantes, os mais comumente utilizados são monoglicerídeos, diglicerídeos e polissorbatos, em geral em concentração variando de 0,1 a 0,4%. Também é possível utilizar emulsificantes naturais, como a gema de ovo (DEOSARKAR *et al.*, 2016).

Estabilizantes são substâncias que tornam possível a manutenção de uma dispersão uniforme de duas ou mais substâncias em um produto alimentício (BRASIL, 2023). Os estabilizantes se ligam com água, resultando em soluções coloidais, controlando, assim, a movimentação da água. Em sorvetes, têm a função de impedir a formação de grandes cristais de gelo e a recristalização que resultam em aumento do tamanho dos cristais de gelo, ocasionada por flutuações de temperatura e que resultam no defeito de arenosidade (SOUZA *et al.*, 2010).

Os estabilizantes mais comumente utilizados na fabricação de sorvete são alginato de sódio, carboximetilcelulose de sódio (CMC), goma guar, carragena, gelatina e pectina. Em geral, são utilizados na faixa de 0,2 a 0,3% (DEOSARKAR *et al.*, 2016). As principais funções são: evitar a formação e o crescimento dos cristais de gelo que ocasionam a arenosidade, aumentar a viscosidade e retardar o derretimento. Quando em excesso, pode resultar em uma estrutura “pesada” do sorvete, com baixa incorporação de ar (SYED *et al.*, 2018).

Nos sorvetes comerciais é muito comum a utilização de corantes e aromatizantes, os corantes são substâncias que conferem, intensificam e/ou restauram a cor de um alimento. Os aromatizantes apresentam propriedades aromáticas e/ou sápidas, capazes de conferir ou reforçar o aroma e/ou sabor dos alimentos (BRASIL, 2023). Estes aditivos podem ser naturais ou artificiais.

Durante o processamento do sorvete, o ar é incorporado na mistura para aumentar o volume e conferir a estrutura de espuma, característica do sorvete. Os glóbulos de gordura, os cristais de gelo e água formam a emulsão que aprisionam o ar na mistura. A quantidade de ar incorporada influencia a qualidade do sorvete, deixando-o mais leve e proporcionando a maciez desejada, além do rendimento. Porém, a quantidade de ar incorporada deve ser controlada para garantir a qualidade do produto final. Por lei, no Brasil o sorvete deve apresentar uma densidade aparente mínima de 475 g/L, enquanto que, nos Estados Unidos, esse limite inferior é de 530 g/L (BRASIL, 2022; USDA, 2011). A incorporação muita baixa de ar resulta em um produto inadequado, muito pesado e sem a cremosidade esperada e, quando ocorre uma incorporação de ar muito grande, também ocorrem defeitos, tais como: sensação estranha na boca (falta de preenchimento); tamanho reduzido dos cristais de gelo; redução do ponto de derretimento; baixa dureza do produto final (SYED *et al.*, 2018).

Os cristais de gelo devem ser suficientemente pequenos para derreter rapidamente e proporcionar uma sensação suave. O tamanho dos cristais de gelo deve variar entre 35 e 45  $\mu\text{m}$  para que o produto tenha a sensação de cremosidade adequada. No

batimento/congelamento, aproximadamente metade da água é congelada, dependendo do ponto de congelamento da mistura. Na etapa seguinte, de endurecimento (congelamento do produto já na embalagem final), de 75 a 80% da água encontra-se congelada, dependendo da temperatura de armazenamento. A quantidade e o tamanho dos cristais de gelo afetam a qualidade do sorvete, a dureza e o derretimento. O aumento do tamanho dos cristais de gelo pode ocorrer durante o congelamento ou no transporte e/ou armazenamento, devido à flutuação da temperatura (GOFF e HARTEL, 2013).

### 1.5 Processamento

As etapas de fabricação dos sorvetes são similares, na Figura 3 pode ser observado o fluxograma do processamento.



**Figura 3.** Fluxograma da fabricação de sorvete.

Fonte: GOFF, 2015.

Os processos e parâmetros podem variar conforme tipos de equipamentos e escala de produção, sendo descritos a seguir os processos industriais padrões. Após a seleção e pesagem, os ingredientes são misturados para produzir a “calda”, que é a mistura base para a produção dos gelados comestíveis. Os ingredientes secos são inicialmente misturados e, em seguida, os ingredientes líquidos são adicionados, sendo os estabilizantes previamente misturados com parte do açúcar, para facilitar a dispersão dos mesmos (GOFF, 2015).

A pasteurização da mistura pode ser lenta (70 °C por 30 min) ou rápida (80 °C por 25 seg), com o objetivo de destruir as bactérias patogênicas que possam estar presentes na mistura. Além disso, contribui na solubilização das proteínas e dos estabilizantes. Pode

ser utilizado um sistema de pasteurização em bateladas ou contínuo. Em batelada, a pasteurização é realizada em tachos encamisados, logo após a mistura dos ingredientes, utilizando-se vapor saturado ou água quente como fonte de calor. O produto é aquecido até 70 °C e mantido por 30 minutos para cumprir os requisitos legais de pasteurização.

A pasteurização contínua é realizada em trocador de calor, após a mistura de ingredientes ser realizada em tanque. No trocador de calor a temperatura mínima é de 80 °C e o tempo de processo de ao menos 25 segundos. Após a pasteurização, a mistura é resfriada à 4 °C ou temperatura inferior (DEOSARKAR *et al.*, 2016).

A etapa de homogeneização tem como principal objetivo uniformizar e reduzir o tamanho dos glóbulos de gordura para cerca de 2 µm ou menos, aumentando a área superficial e promovendo, em decorrência, a formação de uma nova membrana do glóbulo de gordura. Esta etapa também promove uma mistura adequada de todos os ingredientes utilizados no produto, uma textura uniforme e adequada. As proteínas, pela ação surfactante com possibilidade de interações lipofílicas e lipofóbicas, formam uma nova membrana nos glóbulos de gordura, resultando em uma maior estabilidade durante a maturação e melhor capacidade de batimento, suavidade e uniformidade do produto final (GOFF, 2015).

Geralmente, nas indústrias, são utilizados homogeneizadores com bombas do tipo pistão, que movimentam uma quantidade constante de líquido por pequeno (s) orifício(s) de uma ou duas válvulas, sob pressões em torno de 13,8 MPa, para misturas com 10% de gordura de leite (GOFF e HARTEL, 2013).

A maturação é uma etapa opcional, que depende dos ingredientes utilizados na formulação, devendo ser realizada por pelo menos 4 horas em temperatura de 2 a 4 °C, antes da etapa de batimento/congelamento. Na maturação ocorre a hidratação das proteínas e dos estabilizantes, a cristalização dos glóbulos de gordura e o rearranjo da membrana, permitindo a interação entre as proteínas, estabilizantes e emulsificantes. A maturação é realizada em tanques refrigerados sob lenta agitação. A temperatura da mistura deve ser mantida a mais baixa possível sem congelamento. Após a maturação da mistura, podem ser adicionados os corantes e aromatizantes e outros ingredientes, tais como: polpas ou pedaços de frutas, nozes, castanhas, pedaços de doces, chocolate etc (GOFF, 2015).

A etapa de congelamento/batimento é uma das mais importantes do processamento para o desenvolvimento da qualidade, palatabilidade e rendimento do sorvete. Em geral, o congelamento do produto ocorre em dois estágios distintos: (1) passagem da calda em trocador de calor tubular de superfície raspada onde a mistura é congelada rapidamente promovendo a formação dos cristais de gelo e ocorrendo a incorporação de ar; (2) congelamento final do sorvete já embalado para que ocorra o endurecimento do produto. Devido à incorporação de ar durante congelamento/batimento, a espuma é formada, ocorre a cristalização do gelo e a desestabilização parcial da emulsão da gordura (DEOSARKAR *et al.*, 2016).

O produto é embalado imediatamente, após o congelamento e direcionado para uma câmara de endurecimento (-18 °C ou menos), onde ocorre o congelamento final do produto embalado, para então ser encaminhado para o transporte e distribuição. Se o endurecimento for lento, pode ocorrer migração da água para os cristais já formados, aumentando o tamanho destes, o que leva a um grave defeito sensorial de arenosidade. Após o endurecimento rápido, o armazenamento de sorvete deve ocorrer em temperaturas baixas e constantes, geralmente -25 °C. Durante a distribuição, a temperatura deve ser controlada para proteger a estrutura e a textura. A vida útil do produto também depende das temperaturas de armazenamento e de distribuição (GOFF, 2015).

## 1.6 Propriedades físicas (*overrun*, derretimento, firmeza e reológicas)

A composição química do sorvete influencia diversas características físicas cruciais na produção de um produto final de qualidade, tais como a quantidade de ar incorporado, capacidade de resistir ao derretimento e textura, entre outros (GRANGER *et al.*, 2005). O sorvete ideal deve apresentar sabor característico, fresco, agradável e delicado, além de possuir uma textura cremosa e macia. Deve exibir resistência moderada, derretendo lentamente em forma de líquido, mantendo a aparência da mistura original, sem separações de fase. A coloração deve ser natural, com partículas distribuídas de maneira regular (MARSHALL, GOFF, HARTEL, 2003).

A densidade do produto, expressa como peso por unidade de volume, é uma característica física importante que impacta diretamente na qualidade do sorvete e pode ser um requisito regulatório mínimo. Ao adicionar ar em quantidade suficiente à uma mistura durante o processo de congelamento, resultando na duplicação do volume, alcança-se *overrun* de 100%. Portanto, uma mistura com densidade de 1,0 kg/L resultaria na produção de 2 litros de sorvete.

Segundo Roy *et al.* (2022), em sorvete de leite de búfala o valor de *overrun* foi de 94,9% para a amostra controle, contendo 4% de proteína. Esse valor diminuiu significativamente ( $p < 0,05$ ) para 60,5%, 44,3% e 33,9% conforme a concentração de proteína aumentou para 6%, 8% e 10%, respectivamente. Isso pode ser atribuído à capacidade de ligação das proteínas à água, ocasionando aumento da viscosidade (CHANG e HARTEL, 2002). O aumento da viscosidade da calda dificulta a distribuição de ar durante o batimento do sorvete (MOEENFARD e TEHRANI, 2008).

Sert, Mercan e Kiliñç (2021) observaram que o *overrun* de sorvete de leite de búfala diminuiu com o aumento da pressão durante a homogeneização, sendo o menor *overrun* ( $19,93\% \pm 1,32$ ) obtido no tratamento com a maior pressão aplicada (HAP-150) no estudo. Biasutti *et al.* (2013) observaram diminuição do *overrun* em sorvetes homogeneizados a alta pressão. Os autores relacionaram o nível de aeração do sorvete com a maior viscosidade das misturas, devido ao efeito da HAP nas macromoléculas.

Para os sorvetes *Super premium* (teor mais elevado de proteína >4%, teor de gordura de 15–18% e teor de sólidos totais >40%), o *overrun* pode chegar a 25%. Os sorvetes *super premium* são produtos de alta qualidade, conhecidos por seus ingredientes selecionados, textura cremosa e sabores intensos, frequentemente feitos com ingredientes como frutas frescas, chocolates finos e especiarias exóticas, resultando em uma textura mais densa e cremosa devido à menor quantidade de ar incorporado durante o processo de fabricação (GOFF e HARTEL, 2013).

A velocidade de derretimento é um importante indicador de qualidade para sorvetes. À medida que o sorvete derrete, ocorre a transferência de calor do ar circundante para o sorvete, promovendo o derretimento dos cristais de gelo. O derretimento do gelo ocorre na superfície externa do sorvete, resultando em um efeito de resfriamento local nas proximidades da área onde o gelo derrete. A água proveniente do gelo derretido se difunde na fase viscosa, formando uma solução diluída que, então, flui para baixo devido à gravidade. Este líquido percorre os componentes estruturais, incluindo glóbulos de gordura desestabilizados, as células de ar e os cristais de gelo remanescentes, levando ao derretimento (MUSE e HARTEL, 2004).

O derretimento do sorvete pode ser afetado por diversos fatores, tais como nível de *overrun*, emulsificante, teor de sólidos totais, dimensões dos cristais de gelo e concentrações de lipídios e proteínas (SOFJAN e HARTEL, 2004). Narala *et al.* (2022) observaram que com adição de 5% de proteína de ervilha foi possível prolongar o tempo inicial de gotejamento por cerca de 40 min e obter uma taxa de derretimento menor,

enquanto para sorvetes de base láctea, o tempo necessário para início do gotejamento foi menor do que 20 minutos. Dervisoglu; Yazici; Aydemir (2005) observaram que a adição de concentrado de proteína de soja (CPS) diminuiu a velocidade de derretimento. Devido à capacidade de ligação e de retenção de água das proteínas, conforme mencionado anteriormente, é formada uma matriz de gel estável na estrutura do sorvete que resulta em um derretimento mais lento.

Os atributos texturais do sorvete são os principais fatores que determinam o sucesso do produto no mercado (SYED *et al.*, 2018). A textura do sorvete é influenciada por diversos fatores, tais como: dimensões dos cristais de gelo, viscosidade da calda, presença de biopolímeros, quantidade de ar incorporada (*overrun*) e a instabilidade da gordura, entre outros. A firmeza do sorvete é avaliada como a capacidade do produto de resistir à deformação quando submetido a uma força externa (MUSE e HARTEL, 2004).

No desenvolvimento de um novo sorvete é importante analisar a firmeza instrumental, vários estudos avaliaram a firmeza de sorvetes devido às variações da formulação ou no processamento, a fim de desenvolver um produto com textura adequada (LIM *et al.*, 2008; SANTANA; RIBEIRO; IGUTI, 2011; BALTHAZAR *et al.*, 2017; DANESH, GOUDARZI, JOOYANDEH, 2017; JARDINES *et al.*, 2020; WANG *et al.*, 2022). Em sorvetes com teor proteico elevado, observou-se o aumento da viscosidade, diminuição do *overrun* e aumento da firmeza (ROY *et al.*, 2022).

O estudo da reologia tem como principal objetivo analisar como os materiais reagem quando uma força é aplicada (STEFFE, 1996). Na caracterização reológica são utilizados reômetros que medem as propriedades de fluxo de um material sob condições controladas de taxa de cisalhamento, temperatura e tempo (ROUT e SAHA, 2023). No setor de sorvetes, as características reológicas refletem o comportamento do fluxo e a sensação do produto na boca, após a exposição da calda a temperaturas variadas (durante a pasteurização ou congelamento), aos processos mecânicos (como homogeneização e batimento contínuo) e a interação entre os ingredientes do sorvete (KURT e ATALAR, 2018).

Em testes reológicos, as amostras são submetidas a diferentes taxas de deformação ou tensão de cisalhamento, resultando em curvas de fluxo que representam a viscosidade aparente em função da taxa de deformação. Os fluidos, de acordo com o comportamento reológico, são subdivididos em newtoniano e não-newtoniano, dependendo da relação que apresentam entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada. Os fluidos newtonianos, são identificados pela exibição de uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada, sendo essa relação influenciada unicamente pela temperatura e pela composição do fluido. Sistemas de dispersão mais concentrados, tanto coloidais quanto não-coloidais, apresentam propriedades de fluido não-newtoniano, demonstrando uma relação não linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada, e podem exibir dependência ou independência do tempo. Se o fluido apresenta uma redução na viscosidade aparente com o aumento das taxas de deformação, é designado como pseudoplástico; se a viscosidade do fluido aumenta com as taxas de deformação aplicadas, é denominado de dilatante. Os fluidos independentes do tempo não sofrem influência do histórico anterior de cisalhamento e são categorizados com base na variação da viscosidade aparente.

Nos fluidos sujeitos a influência do tempo, a viscosidade aparente é determinada pela duração da taxa de deformação. Alguns alimentos, como suspensões, emulsões e espumas são exemplos de fluidos dependentes do tempo, com comportamentos tixotrópicos ou reopéticos. Quando a temperatura, a composição e a taxa de deformação são mantidas constantes, os fluidos tixotrópicos e reopéticos revelam, respectivamente, diminuição e aumento na viscosidade aparente ao longo do tempo de cisalhamento. Tais

fenômenos podem ser classificados como irreversíveis, reversíveis ou parcialmente reversíveis (STEFFE, 1996).

A viscosidade mede a resistência de um fluido ao fluxo quando submetido a uma taxa de deformação. Na indústria alimentícia, a avaliação da viscosidade é crucial para garantir a qualidade das matérias-primas e entender as variações nas condições de processamento e nos produtos finais. Compreender a viscosidade é uma ferramenta valiosa para otimizar processos, reduzir custos de ingredientes e melhorar a consistência do produto (VENDRÚSCULO, 2005). Enquanto o termo "viscosidade" é comumente utilizado para fluidos newtonianos, para fluidos não-newtonianos a terminologia mais apropriada é "viscosidade aparente", determinada pela magnitude da taxa de deformação ou tensão de cisalhamento (STEFFE, 1996). A viscosidade aparente pode ser calculada usando a seguinte equação (1):

$$\eta = k\gamma^{n-1} \quad (1)$$

onde:

- $k$ : índice de consistência [P.s<sup>n</sup>]
- $n$ : índice de escoamento
- $\gamma$ : taxa de cisalhamento [s<sup>-1</sup>]

Os modelos reológicos são empregados para descrever o comportamento dos fluidos, estabelecendo uma relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação. Na literatura, diversos modelos reológicos foram propostos, e a seleção do modelo apropriado é determinada pelas características específicas do fluido em questão (RAO e ANANTHESWARAM, 1982). Os modelos mais utilizados para descrever o comportamento reológico dos fluidos devido à maior abrangência e facilidade de aplicação são Lei de Newton e Lei da Potência (Ostwald-de-Waelle). Alimentos mais complexos, geralmente, também apresentam tensão de escoamento ( $\tau_0$ ). Dessa forma, para abordar fenômenos mais complexos, são incorporados alguns parâmetros às equações de Newton ou à Lei da Potência, conforme indicado pelos modelos mais elaborados listados na Tabela 1.

**Tabela 1.** Modelos reológicos utilizados para descrever o comportamento de fluidos.

Nome do modelo	Código	Equação
<b>Newton</b>	Mod1	$\tau = (\dot{\gamma})$ (2)
<b>Ostwald-de-Waelle</b>	Mod2	$\tau = K(\dot{\gamma})^n$ (3)
<b>Herschel Bulkley</b>	Mod3	$\tau = \tau_0 + K_H(\dot{\gamma})^{n_H}$ (4)
<b>Casson</b>	Mod4	$(\tau)^{0.5} = K_{oc} + K_{cass}(\dot{\gamma})^{0.5}$ (5)
<b>Casson modificado</b>	Mod5	$(\tau)^{0.5} = (K_{oc})^{0.5} + K_{cass}(\dot{\gamma})^n$ (6)
<b>Sisko</b>	Mod6	$\tau = \mu_\infty \dot{\gamma} + K(\dot{\gamma})^n$ (7)
<b>Cross</b>	Mod7	$\mu = \mu_\infty + \frac{\mu_0 - \mu_\infty}{1 + (K_{cross} \dot{\gamma})^n}$ (8)
<b>Carreau</b>	Mod8	$\mu = \mu_\infty + (\mu_0 - \mu_\infty) [1 + (K_{Car} \dot{\gamma})^2]^{\frac{(n-1)}{2}}$ (9)
<b>Ellis</b>	Mod9	$\dot{\gamma} = K_1 \tau + K_2 \tau^n$ (10)

Onde  $\tau$  = Tensão de cisalhamento (Pa);  $\dot{\gamma}$  = Taxa de deformação (s<sup>-1</sup>);  $K$  = Índice de consistência de fluxo (Pa·s);  $n$  = Índice de comportamento do fluido;  $\tau_0$  = Tensão inicial de cisalhamento;  $K_H$  = Índice de consistência Herschel Bulkley;  $K_{oc}$  = Estresse inicial (Pa);  $K_{cass}$  = Viscosidade plástica de Casson (Pa·sn);

$\mu_{\infty}$  = Viscosidade de deformação infinita;  $\mu$  = Viscosidade absoluta;  $\mu_0$  = Viscosidade de deformação zero;  $K_{Cross}$  = Constante da Equação de Cross;  $K_{cass}$  = Constante da Equação de Carreau;  $K_1$  = Constante da Equação de Ellis;  $K_2$  = Constante da Equação de Ellis.

A avaliação do parâmetro  $n$  das equações define o comportamento do fluido em newtoniano ou não-newtoniano. Pode variar em:  $n = 1$  (newtoniano),  $n < 1$  ou  $n > 1$  para descrever os comportamentos de fluido pseudoplásticos ou dilatantes, respectivamente (STEFFE, 1996).

Geralmente o sorvete exibe um comportamento pseudoplástico devido à presença de macromoléculas de proteínas e polissacarídeos dispersas na solução. Conforme a taxa de cisalhamento aumenta, ocorre uma diminuição na viscosidade. Portanto, para descrever adequadamente o comportamento viscoso da calda de sorvete, é essencial considerar tanto a viscosidade intrínseca quanto a variação associada à taxa de deformação. Além disso, a mistura de sorvete apresenta tixotropia, ou seja, a viscosidade aparente diminui com o tempo de tensão de cisalhamento aplicada (GOFF e HARTEL, 2013). Os principais modelos utilizados para ajustar os dados de sorvetes são de Lei de Potência e Herschel Bulkley, mas é necessário avaliar os vários modelos para saber qual se ajusta melhor (LIM *et al.*, 2008; ROSSA, BURIN, BORDIGNON-LUIZ, 2012; KURT, CENGIZ, KAHYAOGU, 2016; DURMAZ *et al.*, 2020).

Hida *et al.* (2023) desenvolveram sorvetes à base de bebida de cânhamo com adição de concentrado de proteína de cânhamo (50% teor proteico), concentrado proteico de arroz (83,8% teor proteico), concentrado proteico de amêndoa (50% teor proteico) e concentrado proteico de nozes (45% teor proteico). Os dados obtidos no estudo foram ajustados para o modelo Herschel Bulkley, que foi o modelo mais adequado para descrever a reologia. O comportamento reológico das caldas de sorvete de base vegetal é influenciado pelo tipo de proteína utilizada. Ao observar o índice de comportamento e o perfil das curvas de fluxo, constatou-se que as amostras analisadas exibiam um comportamento de fluxo não-newtoniano, caracterizado como pseudoplástico ( $n < 1$ ). Conforme estudos anteriores, valores mais baixos do índice de comportamento de fluxo facilitam o processo de bombeamento da mistura, possibilitando que o produto final alcance a textura e o sabor desejados. Não há um valor ideal para a viscosidade da mistura, entretanto, valores muito baixos ou muito altos podem resultar em problemas. No congelamento rápido em equipamentos, uma viscosidade mais baixa é preferível. Em termos gerais, à medida que a viscosidade aumenta, a resistência ao derretimento e a dureza também aumentam, mas o *overrun* diminui (GOFF e HARTEL, 2013).

## 2 AÇAÍ

O açaí (*Euterpe oleracea Mart.*) é um fruto nativo da Amazônia que tem ganhado notoriedade mundial devido às suas propriedades nutricionais e suas aplicações na coloração e saborização de produtos alimentares, sendo nomeado também como “superfruta”, devido ao seu perfil nutricional que contém ácidos graxos essenciais, fibras e compostos antioxidantes, como a antocianina responsável pela cor arroxeada (SILVEIRA *et al.*, 2023). A polpa é extraída manualmente ou por meios mecânicos e consumida fresca ou na forma de polpa congelada em várias preparações, como sucos, licores, sorvetes, doces e vinhos (DA COSTA *et al.*, 2024).

Em 2022, a quantidade produzida de açaí foi de 1.699.588 toneladas. A principal área de ocorrência fica no leste da Amazônia brasileira, especialmente na região do estuário do rio Amazonas, considerado seu centro de origem. Sendo o Pará, o principal exportador, produtor e consumidor de açaí (IBGE, 2022). Embora existam várias cultivares de açaí, todos os frutos compartilham características físicas semelhantes:

formato globular, diâmetro entre 1 e 2 cm, peso de 0,8 a 2,3 g e composição de aproximadamente 90% de semente e 10% de polpa (BICHARA & ROGEZ, 2011).

Quanto às características químicas, a polpa de açaí apresenta baixos valores de pH e acidez titulável, o que a torna mais vulnerável ao crescimento de microrganismos, incluindo os patogênicos (MENEZES et al., 2008). Além disso, os baixos valores de sólidos solúveis revelam um baixo teor de açúcares. Já a quantidade de sólidos totais varia conforme a quantidade de água adicionada durante o processo de despulpamento. Portanto, a polpa de açaí deve seguir o PIQ - Programa de Identidade e Qualidade do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (INSTRUÇÃO NORMATIVA n° 1, de 7 de janeiro de 2000), que classifica o açaí em três tipos com base na quantidade de água adicionada: grosso ou especial (tipo A), com mais de 14% de sólidos totais e aparência muito densa; médio ou regular (tipo B), com 11% a 14% de sólidos totais e aparência densa; e fino ou popular (tipo C), com 8% a 11% de sólidos totais e aparência menos densa (BRASIL, 2000).

A polpa de açaí contém vitamina E, ácidos graxos essenciais, como ômega-6 e ômega-9, além de minerais como cálcio, fósforo, ferro, magnésio e zinco. É conhecido por seus compostos bioativos, com concentrações em torno de 55,4 mg 100 g<sup>-1</sup> de compostos fenólicos na polpa de frutas maduras. As antocianinas primárias presentes no açaí maduro foram identificadas como cianidina-3-glicosídeo (4,94 mg 100 g<sup>-1</sup>) e cianidina-3-rutinosídeo (17,9 mg 100 g<sup>-1</sup>) (SILVEIRA et al., 2023). As antocianinas são os pigmentos que conferem cor ao fruto (LAURINDO et al., 2023). Essas características ressaltam o uso do açaí como matéria-prima para aplicação em produtos alimentares.

Observa-se o uso da polpa de açaí no desenvolvimento de novos produtos em diferentes segmentos. Utilizando culturas de kefir para a produção de probióticos, Nogueira et al. (2016) desenvolveram uma bebida fermentada combinando leite integral e polpa de açaí (*Euterpe oleracea*). Os autores identificaram que as condições ideais para essa bebida envolviam uma mistura composta por 70% de leite e 30% de polpa de açaí, fermentada por 24 horas à temperatura ambiente (~25°C), sem controle de temperatura. Essas condições foram estabelecidas com base na pontuação global de aceitação de 7,05. Além disso, a alta concentração de polpa na formulação proporcionou uma cor mais intensa à bebida, o que foi associado a uma maior aceitação pelos consumidores.

Costa (2014) desenvolveu um sorvete simbiótico com polpa de açaí, utilizando o probiótico *L. rhamnosus*, inulina e proteína de soro de leite em diferentes proporções. O produto apresentou boa aceitabilidade sensorial ao longo do armazenamento, com nota máxima igual a 7,63 e foi relatado que os probióticos se mantiveram viáveis por 112 dias de armazenamento em - 18 °C, atingindo perto de 9 log UFC/g. Siqueira et al. (2018) investigaram sorbets desenvolvidos com polpas de açaí e juçara quanto o teor de compostos bioativos e suas propriedades reológicas e tecnológicas. O sorbets preservaram grande parte dos nutrientes e apresentaram uma cor muito intensa.

### 3 FARINHA DA CASCA DE JABUTICABA

A jabuticaba (família *Myrtaceae*) é uma baga brasileira roxa escura com teores relevantes de minerais, vitamina C, fibra solúvel e fenólicos compostos (especialmente antocianinas). Tais compostos podem ser usados como corante natural e possuem propriedades antioxidantes, com potenciais efeitos benéficos à saúde, como modulação do perfil lipídico e propriedades anti-inflamatórias e anti-aterogênicas (CIPRIANO, 2011 INADA et al., 2015). O A jabuticaba é consumida principalmente como fruta fresca, embora também seja industrializada processado para produzir sucos, geleias, xaropes,

licores, bebidas fermentadas, entre outros (BENVENUTTI, ZIELINSKI, FERREIRA, 2021).

Os frutos maduros são bagas esféricas de 2 a 4 cm de diâmetro, com uma polpa suculenta. Possuem um pericarpo fino e frágil, cuja coloração varia do vermelho ao roxo escuro. A fruta é levemente ácida (pH entre 3,45 e 3,74, acidez total de 14,7 a 26,8 g de ácido cítrico por 100 g), com um sabor adocicado e polpa gelatinosa branca, contendo quatro sementes em seu interior (GURAK et al., 2014).

Na indústria alimentícia, a casca da jabuticaba, juntamente com os caroços e sementes, é geralmente descartada, sendo considerados resíduos do processamento da fruta. No entanto, um dos principais interesses na jabuticaba reside nos compostos bioativos, como antocianinas, taninos e outros fenólicos, que estão presentes em maior concentração na casca. Por isso, a incorporação da casca de jabuticaba em alimentos tem sido estudada e/ou implementada como um complemento às características sensoriais dos produtos. A casca pode ser utilizada, por exemplo, como um corante natural com potencial antioxidante (ASCHERI, 2006; LEITE-LEGATTI et al., 2012). Mendonça et al. (2022) desenvolveram um sorvete utilizando extrato de soja, kefir de soja e casca de jabuticaba desidratada, com potencial antioxidante e probiótico, tendo obtido boa aceitação sensorial.

Pinho (2019) avaliou a influência da alta pressão hidrostática (APH) na elaboração de sorvetes com farinha da casca de jabuticaba (FCJ). Foram preparadas duas bases de sorvete, com e sem emulsificantes e estabilizantes comerciais, e adicionados 5% de FCJ. Seis formulações foram analisadas, incluindo controles e tratamentos com APH a 300 e 400 MPa. As análises microbiológicas, físico-químicas, de antocianinas, capacidade antioxidante, overrun, derretimento, aceitação sensorial, cor e textura mostraram que a incorporação da FCJ proporcionou coloração característica e altos teores de compostos fenólicos e antocianinas. O sorvete tratado com 400 MPa e aditivos teve a maior incorporação de ar (31%) e derreteu mais lentamente. A textura foi menos firme nas amostras pressurizadas. Sensorialmente, não houve diferenças significativas na aceitação global, mas os provadores identificaram diferenças nas características sensoriais.

#### **4 PROTEÍNAS ALTERNATIVAS: FEIJÃO-FAVA (*VICIA FABA* L)**

Atualmente estão sendo pesquisadas diferentes fontes de proteínas alternativas devido aos possíveis entraves na produção e disponibilidade de proteínas de origem animal para atender as necessidades da população em crescimento (KARABULUT *et al.*, 2023). Além disso, as mudanças nos hábitos alimentares dos consumidores também têm estimulado a busca por novas proteínas (GRASSO, ALONSO-MIRAVALLS, O'MAHONY, 2020).

A crescente demanda por produtos *plant-based* tem impulsionado a indústria alimentícia e grupos de pesquisas na procura de novos ingredientes que possam suprir esse mercado. Há uma previsão que, até 2025, o mercado de sorvetes veganos possa atingir US\$ 1,2 bilhão (BULLOCK, LAHNE, POPE, 2020) e, para fornecer ingredientes para essa produção, é necessário que sejam pesquisadas diferentes proteínas vegetais.

As proteínas de origem vegetal, leguminosas, grãos, sementes oleaginosas e nozes entre outras, têm atraído muita atenção, devido à acessibilidade, benefícios para a saúde e questões éticas (KARABULUT *et al.*, 2023). A maioria dos produtos alimentícios de origem vegetal, que são processados e têm alto teor de proteínas provêm da soja, uma das principais fontes globais de proteína vegetal. A soja é renomada por suas propriedades funcionais e valor nutricional, pois contém todos os aminoácidos essenciais em sua composição (WU *et al.*, 2018). Contudo, existem questões relacionadas à alergenicidade,

impacto ambiental e sustentabilidade que impulsionam a busca por alternativas (KYRIAKOPOULOU *et al.*, 2019).

As leguminosas, em geral, são fontes promissoras de proteínas alternativas devido ao elevado valor nutricional, as propriedades tecnológicas, além do custo acessível. As leguminosas, conhecidas também como *Pulses*, contêm de 10 a 30% de proteínas, porém apresentam deficiência em metionina e em cisteína (aminoácidos sulfurados) (COZZOLINO, 2020). A família *Leguminosae* (ou *Fabaceae*) abrange mais de 13.000 espécies diferentes de leguminosas (REBELLO GREENWAY, FINLEY, 2014). As *Pulses* são as sementes comestíveis secas das leguminosas com baixo teor de gordura, sendo que as mais conhecidas e exploradas atualmente são feijão, ervilha, lentilha e grão-de-bico. A palavra *pulse* vem do latim *Puls*, que significa “sopa grossa”, pois quando esses grãos são cozidos resultam em um caldo grosso (IBRAFE, 2019).

A maioria das proteínas encontradas nas sementes de *Pulses* apresenta-se na forma de proteínas classificadas como de armazenamento, abrangendo albuminas e globulinas. As proporções de albuminas e globulinas variam nos diferentes tipos de leguminosas mas, em geral, as globulinas representam cerca de 70% e as albuminas correspondem de 10 a 20% das proteínas das *Pulses*. Outras proteínas encontradas em quantidades menores são as glutelinas e as prolaminas, que representam cerca de 10 a 20% do total de proteína (BOYE, ZARE e PLETCH, 2010).

A qualidade nutricional das proteínas é determinada pela composição de aminoácidos essenciais e pela digestibilidade. Os níveis de aminoácidos das proteínas vegetais podem variar devido aos fatores: ambientais, variedade da leguminosa, localização geográfica, estação de crescimento, bem como devido a diferenças na etapa de extração das análises utilizadas (BOYE, ZARE e PLETCH, 2010; DAMODARAN e PARKIN, 2018).

O feijão-fava (*Vicia faba* L.) é uma alternativa de proteína vegetal pouco explorada, cultivada por milênios na Ásia, África e na região do Mediterrâneo. O maior produtor mundial é a China (33%), seguido pela Etiópia (18%), Austrália (9%) e Reino Unido (14%) (WARSAME, O’SULLIVAN, TOSI, 2018).

O teor de proteína no grão geralmente varia entre 26% e 31% em matéria seca, além de conter carboidratos, fibras alimentares, vitaminas do complexo B e minerais. Em relação ao perfil de aminoácidos, destaca-se pela alta concentração de lisina, um aminoácido frequentemente limitante em cereais, enquanto exibe baixas quantidades de metionina, cisteína e triptofano. Após o processo de fracionamento a seco, obtém-se comumente um concentrado proteico com 60-65% de proteína que apresenta uma variedade de propriedades funcionais, tais como capacidade emulsificante e espumante, retenção de água e viscosidade (LEVY *et al.*, 2021; DO CARMO *et al.*, 2023).

Os ingredientes à base de feijão-fava, como as farinhas, concentrados e isolados, apresentam grande potencial de aplicação na área de alimentos, sendo uma nova alternativa proteica para o mercado vegano. Os ingredientes produzidos a partir de feijão-fava têm sido amplamente estudados na literatura (ALAVI, CHEN, EMAM-DJOMEH, 2021; GANGOLA *et al.*, 2022; MA *et al.*, 2022; KARACA, LOW, NICKERSON, 2011; LABBA, FRØKLER, SANDBERG, 2021; LANGTON *et al.*, 2020; RAHATE, MADHUMITA, PRABHAKAR, 2021; SHARAN *et al.*, 2021; VOGELSANG-O’DWYER *et al.*, 2020) mas, comercialmente, ainda são pouco explorados. A Finlândia foi um dos primeiros países a incorporar a proteína de feijão-fava em produtos alimentícios, tais como análogos de carne marca Härkis® (BEANIT, 2023) e em sorvete à base de feijão-fava marca Härtelö® (AIM2FLOURISH, 2023).

Para uma aplicação eficiente de concentrados e isolados proteicos à base de vegetais, o conhecimento sobre as propriedades funcionais, como emulsificação e

formação de espuma, são imprescindíveis para determinar a utilização em produtos onde a aeração é necessária, como em sobremesas congeladas (SHEVKANI et al., 2015). Alguns estudos relataram propriedades emulsificantes e de capacidade de formação de espuma de concentrados proteicos de feijão-fava. Karaca, Low e Nickerson (2011) sugeriram que proteínas que são altamente solúveis na fase contínua são melhores emulsificantes, pois podem migrar facilmente para a interface óleo/água durante a emulsificação e pode levar à formação de gotículas menores. O concentrado proteico de feijão-fava é um ingrediente com potenciais propriedades espumantes, emulsificantes e gelificantes, podendo ser utilizados na produção de alternativas a produtos lácteos e cárneos (SHARAN et al., 2020).

## 5 AVALIAÇÃO SENSORIAL DE NOVOS PRODUTOS

Os consumidores estão cada vez mais conscientes e buscando alimentos que não apenas satisfaçam suas necessidades nutricionais, mas que também sejam benéficos para a saúde e, ao mesmo tempo, sustentáveis. Isso tem estimulado o desenvolvimento de novos produtos e reformulação das listas de ingredientes de produtos tradicionais, para que possam atender essas tendências (BANOVIĆ *et al.*, 2018).

Apesar da percepção positiva do consumidor sobre o uso de proteínas vegetais como ingrediente (ASCHEMANN-WITZEL e PESCHEL, 2019), para o desenvolvimento de novos produtos é necessário considerar o que os consumidores desejam e quais os fatores que levam à aceitação e à compra de produtos alimentícios. Estudos têm apontado que o envolvimento dos consumidores como cocriadores contribuí positivamente no desenvolvimento de novos produtos (BANOVIĆ *et al.*, 2016). Por esse motivo, estudar e identificar as preferências dos consumidores e as características sensoriais que motivam a aceitação ou rejeição são importantes para o desenvolvimento de novos produtos (MARTINS, 2016).

Para compreender a percepção do consumidor frente a um produto são utilizadas algumas técnicas qualitativas, como a de associação de palavras. Essa metodologia é amplamente utilizada nas áreas da sociologia e psicologia, permitindo a avaliação de conceitos, crenças e atitudes relacionadas ao comportamento humano (SCHMITT, 1998). A técnica se baseia na suposição que, ao apresentar um conceito ou objeto de estímulo e solicitar ao entrevistado que associe livremente, com as ideias que vêm à sua mente, obtêm-se acesso relativamente irrestrito às representações mentais do estímulo. Na área de produtos alimentícios, essas informações são relevantes no momento da escolha do consumidor e nas suas decisões relacionadas à compra do produto (ARES, GIMÉNEZ e GÁMBARO, 2008).

Da Silva *et al.* (2014) desenvolveram um estudo com objetivo de avaliar a relação entre a preocupação com a saúde e a intenção de compra dos seguintes sorvetes: tradicional, *light*, zero açúcar, zero gordura, enriquecido com fibra, enriquecido com proteínas bioativas e enriquecido com ômega 3, utilizando a metodologia de associação de palavras. Observou-se que o enriquecimento do sorvete provou ser uma estratégia eficaz para aumentar a percepção de saúde dos grupos estabelecidos na pesquisa e por manter a intenção de compra em relação ao sorvete tradicional. Por meio desse estudo, foi possível obter informações úteis para direcionar o mercado de sorvetes com relação à adição de nutrientes e/ou redução de calorias, e do mercado de produtos funcionais em geral.

Nas avaliações sensoriais, os testes afetivos são frequentemente realizados durante o desenvolvimento de novos produtos, pois é fundamental avaliar a aceitação pelo real ou potencial consumidor. Geralmente são utilizadas escalas hedônicas devido à praticidade e rapidez, podendo ser utilizados consumidores não treinados, que consomem

ou usam o produto em avaliação (PERYAM e PILGRIM, 1957; MEILGAARD *et al.*, 1999).

Concomitante aos testes afetivos, podem ser aplicadas outras metodologias (mais rápidas e práticas) que permitam a descrição sensorial do produto pelo consumidor. A análise sensorial descritiva é uma ferramenta amplamente empregada na ciência sensorial, sendo essencial tanto na indústria de alimentos e bebidas, quanto na pesquisa acadêmica. Essa abordagem facilita o desenvolvimento de produtos alinhados às expectativas dos consumidores, em conformidade com padrões de referência, permitindo a avaliação do impacto dos ingredientes ou processos, assegurando o controle de qualidade e possibilitando a correlação com medições instrumentais. Além disso, fornece informações importantes sobre as mudanças nas características sensoriais, como textura, sabor, aroma, estrutura e microestrutura (VARELA e ARES, 2012).

Nesse contexto, as perguntas de seleção múltipla "Check-All-That-Apply" (CATA) emergiram como um dos métodos mais utilizados para a caracterização sensorial, utilizando as respostas dos consumidores. Esse enfoque proporciona descrições confiáveis que se equiparam àquelas originadas por um painel de avaliadores treinados (ARES *et al.*, 2010). Contudo, a abordagem de resposta binária às perguntas CATA não possibilita uma avaliação direta da intensidade dos termos sensoriais em análise, o que dificulta a distinção entre produtos que compartilham propriedades sensoriais semelhantes (ARES *et al.*, 2014).

Por esse motivo, o método "Rate-All-That-Apply" (RATA) foi desenvolvido como uma variação e expansão das perguntas utilizadas no CATA. Essa metodologia possibilita uma discriminação mais eficaz entre produtos que compartilham características sensoriais semelhantes, mas que diferem em termos de intensidade (MEYNER; JAEGER; ARES, 2016). Nessa técnica, os participantes são solicitados a escolher os termos mais pertinentes para descrever um produto específico e, ao realizar essa seleção, são também orientados a avaliar a intensidade associada a cada termo escolhido (ARES *et al.*, 2014). O método RATA já foi utilizado por autores para auxiliar na descrição dos atributos sensoriais de novos produtos veganos. Sun e Ruiz-Carrascal (2023) desenvolveram nuggets veganos à base de proteína de soja com incorporação de *Tempeh* e os resultados indicaram que a incorporação de *Tempeh* teve pouco efeito na preferência geral, mas resultou em diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) na intensidade dos atributos “doce”, “amargo” e “sabor forte”.

## 6 HOMOGENEIZAÇÃO A ALTA PRESSÃO (HAP)

A alta pressão hidrostática é uma tecnologia que tem sido explorada pela indústria de alimentos nos últimos anos para processamento de sucos, molhos, produtos cárneos e frutos do mar, entre outros. Tem sido aplicada com o objetivo principal de inativar microrganismos indesejáveis e enzimas, tendo pouca interferência nas propriedades sensoriais e nutricionais (ABERA, 2019). Os estudos se iniciaram em 1899, quando Hite observou que a aplicação da alta pressão hidrostática (650 MPa) no leite ocasionou a redução significativa no número de microrganismos contaminantes, conforme citado por Zhu e Li (2019).

Existem dois processos nos quais são aplicadas altas pressões no processamento de alimentos: Alta Pressão Hidrostática (APH), no qual o alimento, previamente acondicionado em embalagem flexível e inserido dentro de um vaso hermético, e submetido à alta pressão variando de 100 MPa a 1000 MPa, utilizando um fluido (geralmente água), para transferir a pressão ao produto durante um tempo estabelecido. A homogeneização a alta pressão (HAP), que consiste na pressurização de um alimento fluido (pressões de até 350 MPa) visando a rápida passagem por uma válvula com estreito

orifício de homogeneização. Tal passagem através do orifício resulta em um aumento da velocidade potencial de escoamento do fluxo, dependendo das características dos mesmos, com conseqüente cavitação e alta tensão de cisalhamento. Dessa forma, as partículas, células e macromoléculas em suspensão no fluido sofrem com essa alta tensão mecânica, resultando em redução do tamanho de partículas e em uma distribuição mais homogênea (CAMPOS, DOSUALDO, CRISTIANINI, 2003).

A APH pode ser aplicada em matrizes líquidas, pastosas ou sólidas, em processamento em bateladas, conforme o tamanho do vaso de pressão, enquanto a HAP é empregada apenas para alimentos líquidos ou pastosos, em processamento contínuo. A homogeneização a alta pressão pode produzir diferentes efeitos nas macromoléculas dos alimentos, devido às forças envolvidas no processo. Com relação à gordura, ocorre a redução dos glóbulos e distribuição uniforme de tamanho, limitando a taxa de separação de fases em matrizes alimentícias ou emulsões. Em relação às proteínas, a alta pressão afeta a conformação tridimensional, levando-as à desnaturação, geleificação ou agregação nos tipos de processos. A homogeneização a alta pressão é também uma operação importante para obter emulsões estáveis e, como conseqüência, possibilita o desenvolvimento de novos produtos com textura modificada ou diferenciada (PATRIGNANI e LANCIOTTI, 2016).

A HAP tem sido utilizada para estabilizar produtos lácteos, tendo sido avaliada no processamento de sorvetes, com utilização de pressões superiores à homogeneização convencional da calda, comumente efetuada na faixa de 6 a 20 MPa, dependendo do teor de gordura do produto (CORTES-MUNOZ, CHEVALIER-LUCIA, DUMAY, 2009; INNOCENTE *et al.*, 2009; BIASUTTI *et al.*, 2010). Em um estudo desenvolvido por Hayes *et al.* (2003), foi observado redução no tamanho das gotículas de emulsão de 0,1 a 0,2  $\mu\text{m}$  utilizando pressões de 100 MPa, e os sorvetes com baixo teor de gordura apresentaram melhora nas características de textura e de derretimento. Biasutti *et al.* (2013) observaram no sorvete com 8% de gordura um menor *overrun*, maior firmeza e maior resistência ao derretimento, aplicando-se a homogeneização a alta pressão de 97 MPa.

No entanto, são necessárias pesquisas para entender como a homogeneização a alta pressão afeta as características físico-químicas de sorvetes à base de proteína vegetal, uma vez que os estudos já realizados enfocaram predominantemente sorvetes de base láctea.

As proteínas de leguminosas são maiores que as proteínas lácteas. As caseínas representam cerca de 80% do total de proteínas do leite bovino e as proteínas do soro cerca de 18%. As caseínas têm peso molecular entre 20–25 kDa (VINCENT *et al.*, 2016). No leite bovino, a beta-lactoglobulina ( $\beta\text{-Lg}$ ) representa aproximadamente 10% da proteína total do leite e aproximadamente 58% das proteínas do soro com peso molecular de 36 kDa (WARAKAULLE *et al.*, 2024). Já o peso molecular da legumina varia de 200 a 500 kDa e da vicilina é de 150 kDa, ambas proteínas características de leguminosas, também possuindo estruturas quaternárias e terciárias mais complexas, e certas modificações proteicas podem supostamente melhorar as propriedades de emulsificação (EL FIEL, EL TINAY e ELSHEIKH, 2002). Primozic *et al.* (2018) avaliaram os efeitos da homogeneização a alta pressão de soluções de isolados de proteína de lentilha (IPL) para o desenvolvimento de nanoemulsão. Foi verificado que o processamento modificou fisicamente as proteínas submetidas aos dois tratamentos (34,5 MPa e 103,4 MPa por 4 ciclos). Os tratamentos diminuíram significativamente o tamanho das partículas de proteína, a hidrofobicidade da superfície e melhoraram a dispersibilidade em soluções aquosas. A adição do IPL na solução aquosa diminuiu significativamente a tensão interfacial. As nanoemulsões com o IPL homogeneizado a alta pressão apresentaram

diminuição no diâmetro da gotícula (inferior à 200  $\mu\text{m}$ ), aumento da estabilidade durante o armazenamento e menor agregação de proteínas em comparação com as nanoemulsões sem homogeneização. Os resultados desta pesquisa mostram o potencial da utilização de isolado de proteína de lentilha homogeneizados à alta pressão como um emulsificante para aplicações em alimentos.

Donsi e colaboradores (2010) desenvolveram nanoemulsões estabilizadas com proteínas da ervilha, com tamanho de gotículas menor que 200  $\mu\text{m}$ . Verificou-se que a homogeneização a alta pressão com 300 MPa causou alterações na estrutura da proteína por rompimento das ligações dissulfeto, que afetaram a exposição dos grupos hidrofóbicos.

Fernández-Ávila, Escriu e Trujillo (2015) estudaram os efeitos da homogeneização por Ultra Alta Pressão (variando de 100 a 300 MPa) nas propriedades físico-químicas de emulsões óleo em água preparadas com 4,0% (p/v) de isolado de proteína de soja (IPS) e óleo de soja (10 e 20%, v/v) e compararam com as emulsões tratadas por homogeneização convencional (15 MPa). Foram observadas melhorias na estabilidade física das emulsões preparadas com o IPS aplicando a ultra alta pressão.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABERA, G. Review on high-pressure processing of foods. **Cogent Food Agriculture**, v. 5, 1568725, 2019. Disponível em: < 10.1080/23311932.2019.1568725>.

ABIS. Associação Brasileira das indústrias e do setor de sorvete. **Guia completo sobre o mercado de sobremesas geladas e indústrias de sorvetes**. Disponível em: <https://www.abis.com.br/industria-do-mercado-de-sorvetes/>. Acesso em: 03 dezembro de 2023.

ABIS. Associação Brasileira das indústrias e do setor de sorvete. **Mercado**. Disponível em: <https://www.abis.com.br/mercado/>. Acesso em: 03 dezembro de 2023.

AIM2FLOURISH. **Faba Beans Ice Cream: Sustainable & Delicious**. Disponível em: <https://aim2flourish.com/innovations/faba-beans-ice-cream-sustainable-delicious>. Acesso em: 15 dezembro de 2023.

AKBARI, M.; ESKANDARI, M. H.; DAVOUDIC, Z. Application and functions of fat replacers in low-fat ice cream: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 86, p. 34 - 40, 2019. Disponível em: < 10.1016/J.TIFS.2019.02.036>.

ALAVI, F.; CHEN, L.; EMAM-DJOMEH, Z. Effect of ultrasound-assisted alkaline treatment on functional property modifications of faba bean protein. **Food Chem.** v. 354, 2021. Disponível em: <10.1016/j.foodchem.2021.129494>.

ARES, G.; GIMÉNEZ, A.; GÁMBARO, A. Understanding consumers' perception of conventional and functional yogurts using word association and hard laddering. **Food Quality and Preference**, v. 19, p. 636-643, 2008. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2008.05.005>>.

ARES, G.; BARREIRO, C.; DELIZA, R.; GIMÉNEZ, A.; GÁMBARO, A. Application of a check-all-that-apply question to the development of chocolate milk desserts. **Journal of Sensory Studies**, 2010. Disponível em: <10.1111/j.1745-459x.2010.00290.x>.

ARES, G.; BRUZZONE, F.; VIDAL, L.; CADENA, R. S.; GIMÉNEZ, A.; PINEAU, B.; HUNTER, D. C.; PAISLEY, A. G.; JAEGER, S. R. Evaluation of a rating-based variant of check-all-that-apply questions: Rate-all-that-apply (RATA). **Food Quality and Preference**, v. 36, p. 87-95, 2014. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.03.006>>.

ASCHEMANN-WITZEL, J.; PESCHEL, A. O. Consumer perception of plant-based proteins: The value of source transparency for alternative protein ingredients. **Food Hydrocolloids**, v. 96, p. 20-28, 2019. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.006>>.

ASCHERI, D. P. R.; ASCHERI, J. L. R.; CARVALHO, C. W. P. Caracterização da farinha de bagaço de jabuticaba e propriedades funcionais dos extrusados. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 4, p. 897-905, 2006. Disponível em: < <https://doi.org/10.1590/S0101-20612006000400029>>.

BALTHAZAR, C. F.; SILVA, H. L. A.; CAVALCANTI, R. N.; ESMERINO, E. A.; CAPPATO, L. P.; ABUD, Y. K. D.; MORAES, J.; ANDRADE, M. M.; FREITAS, M.

Q.; SANT'ANNA, C.; RAICES, R. S. L.; SILVA, M. C.; CRUZ, A. G. Prebiotics addition in sheep milk ice cream: A rheological, microstructural and sensory study. **Journal of Functional Foods**, v. 35, p. 564-573, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.06.004>>.

BANOVIĆ, M.; KRYSTALLIS, A.; GUERRERO, L.; REINDERS, M. J. Consumers as cocreators of new product ideas: An application of projective and creative research techniques. **Food Research International**, v. 87, p. 211-223, 2016. Disponível em: <[10.1016/j.foodres.2016.07.010](https://doi.org/10.1016/j.foodres.2016.07.010)>.

BANOVIĆ, M.; ARVOLA, A. PENNANEN, K.; DUTA, D. E; BRUCKNER-GUHMANN, M.; LATEENMAKI, L.; GRUNERT, K. G. Food with increased protein content: A qualitative study on European consumer preferences and perceptions. **Appetite**, v. 125, p. 233-243, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.01.034>>.

BEANIT. (2023). **Härkis® Original**. Disponível em: <<https://www.beanit.fi/fi/tuotteet/harkis-original>>. Acesso em: 15 dezembro de 2023.

BENVENUTTI, L.; ZIELINSKI, A. A. F.; FERREIRA, S. R. S. Jaboticaba (*Myrtaceae cauliflora*) fruit and its by-products: Alternative sources for new foods and functional components. **Trends in Food Science and Technology**, v. 112, p. 118–136, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.044>>.

BIASUTTI, M.; VENIR, E.; MARCHESINI, G.; INNOCENTE, N. Rheological properties of model dairy emulsions as affected by high pressure homogenization. **Innovative Food Science and Emerging Technologies**, v. 11, p. 580-586, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ifset.2010.07.007>>.

BIASUTTI, M.; VENIR, E.; MARINO, M.; MAIFRENI, M. INNOCENTE, N. Effects of high-pressure homogenization of ice cream mix on the physical and structural properties of ice cream. **International Dairy Journal**, v. 32, n. 1, p. 40-45, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.03.007>>.

BICHARA, C. M. G.; ROGEZ, H. (2011). Açai (*Euterpe oleracea Martius*). In E. M. Yahia (Ed.), *Postharvest Biology and Technology of Tropical and Subtropical Fruits* (pp. 1-27e). Elsevier. Disponível em: <<https://doi.org/10.1533/9780857092762.1>>.

BOLLIGER, S.; KORNBRUST, B.; GOFF, H. D.; THARP B. W.; WINDHAB, E. J. Influence of emulsifiers on ice cream produced by conventional freezing and low temperature extrusion processing. **International Dairy Journal**, v. 10, p. 497-504, 2000.

BOYE, J.; ZARE, F.; PLETCH, A. Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. **Food Research International**, v. 43, p. 414-431, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.003>>.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria N° 379, de 26 de abril de 1999. Regulamento técnico: Gelados comestíveis, preparados, pós para o preparo e bases para gelados comestíveis. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Brasília, DF, de 29 abril de 1999.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa N° 01, de 07 de janeiro de 2000. Instrução Normativa aprova Regulamento Técnico Geral para fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para polpa de fruta. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, de 07 de janeiro de 2000.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC N° 713, de 1° de julho de 2022. Regulamento técnico: Requisitos sanitários dos gelados comestíveis e dos preparados para gelados comestíveis. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília**, DF, de 1° de julho de 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa N° 211, de 01 de março de 2023. Instrução Normativa Estabelece as funções tecnológicas, os limites máximos e as condições de uso para os aditivos alimentares e os coadjuvantes de tecnologia autorizados para uso em alimentos. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**. Brasília, DF, de 01 de março de 2023.

BULLOCK, K.; LAHNE, J.; POPE, L. Investigating the role of health halos and reactance in ice cream choice. **Food Quality and Preference**, v. 80, 103826, 2020. Disponível em: <10.1016/j.foodqual.2019.103826>.

CAMPOS, F.P.; DOSUALDO, G. L.; CRISTIANINI, M. Utilização de tecnologia de alta pressão no processamento de alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, p. 351-357, 2003.

CIPRIANO, P. A. **Antocianinas de Açaí (*Euterpe Oleracea* Mart.) e Casca de Jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) na Formulação de Bebidas Isotônicas**. 2011. 150p. Dissertação. Universidade Federal de Viçosa, 2011.

CHANG, Y.; HARTEL, R. W. Stability of air cells in ice cream during hardening and storage. **Journal of Food Engineering**, v. 55, n. 1, p. 59-70, 2002. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/S0260-8774(01)00242-4>.

CHOO, S. Y.; LEONG, S. K.; HENNA LU, F. S. Physicochemical and Sensory Properties of Ice-cream Formulated with Virgin Coconut Oil. **Food Science and Technology International**, v. 16, p. 531-541, 2010. Disponível em: <10.1177/1082013210367546>.

CLARKE, C. **The science of ice cream**. 2ª edição. Cambridge: Royal Society of Chemistry, pp. 213, 2012.

CORRADINI, S. A. S.; MADRONA, G.S.; VISENTAINER, J. V.; BONAFE, E. G. CARVALHO, C. B.; ROCHE, P. M.; PRADO, I. N. Sensorial and fatty acid profile of ice cream manufactured with milk of crossbred cows fed palm oil and coconut fat. **Journal Dairy Science**. v. 97 p. 6745-6753, 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.3168/jds.2014-8290>.

COSTA, M. G. M. **Desenvolvimento de sorvete simbiótico de açaí (*Euterpe oleracea*) com *Lactobacillus rhamnosus* GG e resistência do probiótico em um modelo de digestão gastrointestinal *in vitro***. 2014. 183p. Tese (Doutorado) Faculdade de Ciência Farmacêuticas Universidade de São Paulo, 2014.

CORTES-MUNOZ, M.; CHEVALIER-LUCIA, D.; DUMAY, E. Characteristics of submicron emulsions prepared by ultra-high-pressure homogenization: effect of chilled or frozen storage. **Food Hydrocolloids**, v. 23, p. 640-654, 2009. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.07.023>>.

COZZOLINO, S. M. F. **Biodisponibilidade de nutrientes**. 6ª edição. São Paulo: Manole, pp. 960, 2020.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. 5ª edição. Porto Alegre: Artmed, pp. 1120, 2018.

DANESH, E.; GOUDARZI, M.; JOOYANDEH, H. Short communication: Effect of whey protein addition and transglutaminase treatment on the physical and sensory properties of reduced-fat ice cream. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 7, p. 5206-5211, 2017. Disponível em: < [10.3168/jds.2016-12537](https://doi.org/10.3168/jds.2016-12537)>.

DA COSTA, D. S.; BRAGOTTO, A. P. A.; DE CARVALHO, L. M.; AMADO, L. L.; LIMA, R. R.; ROGEZ, H. Analysis of polyphenols, anthocyanins and toxic elements in Açai Juice (*Euterpe oleracea Mart.*): Quantification and in vivo assessment of the antioxidant capacity of clarified Açai juice. **Measurement: Food**, v. 14, 100149, 2024. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.meafoo.2024.100149>>.

DA SILVA, V. M.; MINIM, V. P. R.; FERREIRA, M. A. M.; SOUZA, P. H. DE P.; MORAES, L. E. DA S.; MINIM, L. A. O. Study of the perception of consumers in relation to different ice cream concepts. **Food Quality and Preference**, v. 36, p. 161–168. 2014. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.04.008>.

DEOSARKAR, S. S.; KALYANKAR, S. D.; PAWSHE, R. D.; KHEDKAR, C. D. (2016) Ice Cream: Composition and Health Effects. In: Caballero, B., Finglas, P., and Toldrá, F. (eds.) **The Encyclopedia of Food and Health** vol. 3, pp. 385-390. Oxford: Academic Press.

DERVISOGLU, M.; YAZICI, F.; AYDEMIR, O. The effect of soy protein concentrate addition on the physical, chemical, and sensory properties of strawberry flavored ice cream. **European Food Research and Technology**, v. 221, n. 3-4, p. 466-470, 2005. Disponível em: < <https://doi.org/10.1007/s00217-005-1207-3>>.

DO CARMO, C. S.; RIEDER, A.; VARELA, P.; ZOBEL, H.; DESSEV, T.; NERSTEN, S.; GABER, S. M.; SAHLSTROM, KNUTSEN, S. H Texturized vegetable protein from a faba bean protein concentrate and an oat fraction: Impact on physicochemical, nutritional, textural and sensory properties. **Future Foods**, v. 7, 2023. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100228>>.

DONSI, F.; SENATORE, B.; HUANG, Q.; FERRARI, G. Development of novel pea protein-based nanoemulsions for delivery of nutraceuticals. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. v. 58, p. 10653-10660, 2010. Disponível em: < <https://doi.org/10.1021/jf101804g>>.

DURMAZ, Y.; KILICLI, M.; TOKER, O. S.; KONAR, N. PALABIYIK, I.; TAMTÜRK, F. Using spray-dried microalgae in ice cream formulation as a natural colorant: Effect on physicochemical and functional properties. **Algal Research**, v. 47, 101811, 2020. Disponível em: < <https://doi.org/10.1016/j.algal.2020.101811>>.

EL FIEL, H. E. A.; EL TINAY, A. H.; ELSHEIKH, E. A. E. Effect of nutritional status of faba bean (*Vicia faba* L.) on protein solubility profiles. **Food Chemistry**, v. 76, p. 219-223, 2002. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0308-8146\(00\)00314-9](https://doi.org/10.1016/S0308-8146(00)00314-9)>.

EUROMONITOR. (2018). **Ice cream and frozen desserts in Brazil**. Disponível em: <<https://www.euromonitor.com/ice-cream-and-frozen-desserts-in-brazil/report>>. Acesso em: 06 novembro de 2023.

FERNÁNDEZ-ÁVILA, C.; ESCRIU, R.; TRUJILLO, A. J. Ultra-High-Pressure Homogenization enhances physicochemical properties of soy protein isolate-stabilized emulsions. **Food Research International**, v. 75, p. 357-366, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.026>>.

GANGOLA, M. P. RAMADOSS, B. R.; JAISWAL, S.; FABEK, H.; TULBEK, M.; ANDERSON, G. H.; CHIBBAR, R. N. Nutritional Composition and In Vitro Starch Digestibility of Concentrate, Protein Concentrate and Protein Isolate. **Foods**, v. 11, p. 645, 2022. Disponível em: <[10.3390/foods11050645](https://doi.org/10.3390/foods11050645)>.

GOFF, H. D.; HARTEL, R. W. **Ice Cream**. 7ª edição. New York: Springer Science & Business Media, pp. 477, 2013.

GOFF, H. D. Ice Cream and Frozen Desserts. **Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry**, p. 1–15, 2015. Disponível em: <[10.1002/14356007.a13\\_563.pub2](https://doi.org/10.1002/14356007.a13_563.pub2)>.

GRANGER, C.; SCHÖPPE, A.; LEGER, A.; BAREY, P.; CANSSELL, M. Influence of formulation on the thermal behavior of ice cream mix and ice cream. **Journal of the American Oil Chemists Society**, v.82, p. 427-431 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11746-005-1088-z>>.

GRASSO, N.; ALONSO-MIRAVALLÉS, L.; O'MAHONY, J. A. Composition, physicochemical and sensorial properties of commercial plant-based yogurts. **Foods**, v. 9, n. 3, p. 252, 2020. Disponível em: <[10.3390/foods9030252](https://doi.org/10.3390/foods9030252)>.

GURAK, P. D.; DE BONA, G. S.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Jaboticaba pomace powder obtained as a co-product of juice extraction: A comparative study of powder obtained from peel and whole fruit. **Food Research International**, v. 62, p. 786–792, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.042>>.

HAYES, M. G.; LEFRANÇOIS, A.; WALDRON, D. S.; GOFF, H. D.; KELLY, A. L. Influence of high pressure homogenization on some characteristics of ice cream. **Milk Science International**, n. 58, p. 519-523, 2003.

HIDAS, K. I.; NYULA-ZEKE, I. C.; SZEPESSY, A.; ROMVÁRI, V.; GERHART, K.; SURÁNYI, J.; LACZAY, P.; DARNAY, L. Physical properties of hemp drink-based ice cream with different plant proteins guar gum and microbial transglutaminase. **LWT**, v. 182, 114865, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.114865>>.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2022). Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/acai-cultivo/br>>. Acesso em: 02 de junho de 2024.

IBRAFE. Instituto Brasileiro do Feijão e dos Pulses. (2019). **O que são pulses?** Disponível em: <<http://www.ibrafe.org/o-que-sao-pulses/>>. Acesso em: 10 dezembro de 2023.

INADA, K. O. P.; OLIVEIRA, A. A.; REVORÊDO, T. B.; MARTINS, A. B. N.; LACERDA, E. C. Q.; FREIRE, A. S.; BRAZ, B. F.; SANTELLI, R. E.; TORRES, A. G.; PERRONE, D.; MONTEIRO, M. C. Screening of the chemical composition and occurring antioxidants in jaboticaba (*Myrciaria jaboticaba*) and jussara (*Euterpe edulis*) fruits and their fractions. **Journal of Functional Foods**, v. 17, p. 422–433, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jff.2015.06.002>>.

INNOCENTE, N.; BIASUTTI, M.; VENIR, E.; SPAZIANI, M.; MARCHESINI, G. Effect of high-pressure homogenization on droplet size distribution and rheological properties of ice cream mixes. **Journal Dairy Science**, v. 92, p. 1864-1875, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.3168/jds.2008-1797>>.

ISMAIL, E. A.; AL-SALEH, A. A.; METWALLI, A. M. Effect of inulin supplementation on rheological properties of low-fat ice cream. **Life Science Journal**, v. 10, p. 1742-1746, 2013. Disponível em: <[https://www.lifesciencesite.com/ljs/life1003/262\\_20422life1003\\_1742\\_1746.pdf](https://www.lifesciencesite.com/ljs/life1003/262_20422life1003_1742_1746.pdf)>.

JARDINES, A. P.; ARJONA-ROMÁN, J. L.; SEVERIANO-PÉREZ, P.; TOTOSAUS-SÁNCHEZ, A.; FISZMAN, S.; ESCALONA-BUENDÍA, H. B. Agave fructans as fat and sugar replacers in ice cream: Sensory, thermal and texture properties. **Food Hydrocolloids**, v. 108, p. 106032, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106032>>.

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**, v. 12, p. 1872-1884, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11694-018-9801-9>>.

KARABULUT, G.; KAHRAMAN, O.; PANDALANENI, K.; KAPOOR, R.; FENG, H. A comprehensive review on hempseed protein: Production, functional and nutritional properties, novel modification methods, applications, and limitations. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 253, 127240, 2023. Disponível em: <[10.1016/j.ijbiomac.2023.127240](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127240)>.

KARACA, A. C.; LOW, N.; NICKERSON, M. Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. **Food Research International**, v. 44, n. 9, p. 2742-2750, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.012>>.

KYRIAKOPOULOU, K.; DEKKERS, B.; VAN DER GOOT, A. J. **Plant-based meat analogues**. In C. M. Galanakis (Ed.). Sustainable meat production and processing (pp. 103–126). Cambridge, MA, USA: Academic Press. 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814874-7.00006-7>>.

KURT, A.; CENGİZ, A.; KAHYAĞLU, T. The effect of gum tragacanth on the rheological properties of salep based ice cream mix. **Carbohydrate Polymers**, v. 143, p. 116-123, 2016. Disponível em: <[10.1016/j.carbpol.2016.02.018](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.02.018)>.

KURT, A.; ATALAR, I. Effects of quince seed on the rheological, structural and sensory characteristics of ice cream. **Food Hydrocolloids**, v. 82, p. 186-195, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.011>>.

LABBA, I. M.; FRØKLÆR, H.; SANDBERG, A. Nutritional and antinutritional composition of fava bean (*Vicia faba* L., var. minor) cultivars. **Food Research International**. v. 140, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110038>>.

LANGTON, M.; EHSANZAMIR, S.; KARKEHABADI, S.; FENG, X.; JOHANSSON, M.; JOHANSSON, D. P. Food Hydrocolloids Gelation of faba bean proteins - Effect of extraction method, pH and NaCl. **Food Hydrocolloids**, v. 103, 105622, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105622>>.

LAURINDO, L.F.; Barbalho, S.M.; ARAÚJO, A.C.; GUIGUER, E.L.; MONDAL, A.; BACHTEL, G.; BISHAYEE, A. Açai (*Euterpe oleracea* Mart.) in health and disease: a critical review. **Nutrients**. v. 15, p. 989, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/nu15040989>>.

LEITE-LEGATTI, A. V.; BATISTA, Â. G.; DRAGANO, N. R. V.; MARQUES, A.C.; MALTA, L. G.; RICCIO, M. F.; EBERLIN, M.; MACHADO, A. R. T.; CARVALHO-SILVA, L. B.; RUIZ, A. L. T. G.; CARVALHO, J.; PASTORE, G.; JÚNIOR, M. R. M. Jaboticaba peel: Antioxidant compounds, antiproliferative and antimutagenic activities. **Food Research International**, v. 49, p. 596–603, 2012. Disponível em: <[10.1016/J.FOODRES.2012.07.044](https://doi.org/10.1016/J.FOODRES.2012.07.044)>.

LEVY, R.; OKUN, Z.; DAVIDOVICH-PINHAS, M.; SHPIGELMAN, A. Utilization of high-pressure homogenization of potato protein isolate for the production of dairy-free yogurt-like fermented product. **Food Hydrocolloids**, v. 113, 106442, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106442>>.

LIM, S. Y.; SWANSON, B.G.; ROSS, C.F.; CLARK, S. High hydrostatic pressure modification of whey protein concentrate for improved body and texture of lowfat ice cream. **Journal of Dairy Science**, v. 91, n. 4, p. 1308-1316, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.3168/jds.2007-0391>>.

LIVEKINDLY. **Cultura gastronomia el veganismo gana terreno a nível mundial**. 2019. Disponível em: <https://www.eltiempo.com>. Acesso em: 15 dezembro de 2023.

MA, K. K.; GROSSMANN, L.; NOLDEN, A. A.; McCLEMENTS, D. J.; KINCHLA, A. J. Functional and physical properties of commercial pulse proteins compared to soy derived protein. **Future Foods**, v. 6, p. 7, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100155>>.

MARSHALL, R. T.; GOFF, H. D.; HARTEL, R. W. **Ice cream**. 6ª Ed. New York: Kluwer Academic, Plenum Press, p. 139-143, 2003.

MARTINS, I. B. A. **Produção, avaliação físico-química, microbiológica e sensorial de queijo de cabra probiótico tipo “Boursin”**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, 2016.

MEILGAARD, M.; CIVILLE, G. V.; CARR, B. T. **Sensory evaluation techniques**. Boca Raton: CRC Press, v.2, p. 354, 1999.

MENEZES, E. M. S.; TORRES, A. T.; SRUR, A. U. S. Valor nutricional da polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.) liofilizada. *Acta Amazônica*, v. 38, n. 2, p. 311-316, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672008000200014>>.

MEYNER, M.; JAEGER, S. R.; ARES, G. On the analysis of Rate-All-That-Apply (RATA) data. *Food Quality and Preference*, v. 49, p. 1-10, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.11.003>>.

MOEENFARD, M.; TEHRANI, M. M. Effect of some stabilizers on the physicochemical and sensory properties of ice cream type frozen yogurt. *American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Science*, 4, 584-589, 2008. Disponível em: <[https://www.idosi.org/aejaes/jaes4\(5\)/10.pdf](https://www.idosi.org/aejaes/jaes4(5)/10.pdf)>.

MORDOR INTELLIGENCE. (2023). **Tamanho do mercado de sorvetes**. Disponível em: <https://www.mordorintelligence.com/pt/industry-reports/ice-cream-market>. Acesso em: 21 dezembro de 2023.

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. Disponível em: <[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73135-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73135-5)>.

NARALA, V. R.; ORLOVS, I.; JUGBARDE, M.A.; MASIN, M. Inulin as a fat replacer in pea protein vegan ice cream and its influence on textural properties and sensory attributes. *Applied Food Research*, v. 2, n. 1, p. 100066, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100066>>.

NOGUEIRA, L. K.; AGUIAR-OLIVEIRA, E.; KAMIMURA, E. S.; MALDONADO, R. R. Milk and açaí berry pulp improve sensorial acceptability of kefir-fermented milk beverage. *Acta Amazonica*, v. 46, p. 417–424, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1809-4392201600173>>.

PATRIGNANI, F.; LANCIOTTI, R. Applications of high and ultra-high-pressure homogenization for food safety. *Frontiers in Microbiology*, v. 7, p. 1132, 2016. Disponível em: <[10.3389/fmicb.2016.01132](https://doi.org/10.3389/fmicb.2016.01132)>.

PERYAM, D. R.; PILGRIM, F. J. Hedonic scale method of measuring food preferences. *Food Technology*, 11, Suppl., 9–14, 1957.

PINHO, G. DOS S. **Processamento de sorvete incorporado com farinha de casca da jabuticaba por alta pressão hidrostática**. 2019. 47p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

PRIMOZIC, M.; DUCHEK, A.; NICKERSON, M.; GHOSH, S. Formation, stability and in vitro digestibility of nanoemulsions stabilized by high-pressure homogenized lentil protein isolates. *Food Hydrocolloids*, v. 77, p. 126–141, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2017.09.028>>.

RAHATE, K. A.; MADHUMITA, M.; PRABHAKAR, P. K. Nutritional composition, anti-nutritional factors, pretreatments-cum-processing impact and food formulation potential of faba bean (*Vicia faba* L.): A comprehensive review. **LWT**, v. 138, p. 110796, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110796>>.

RAO, M.A.; ANANTHESWARAM, R.C. Rheology of fluids in food processing. **Food Technology**, v.36, n.2, p.116-26, 1982. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0101-20612008000300014>>.

REBELLO, C. J.; GREENWAY, F. L.; FINLEY, J. W. Whole Grains and Pulses: A Comparison of the Nutritional and Health Benefits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 62, p. 7029 - 7049, 2014. Disponível em: <10.1021/jf500932z>.

ROSSA, P. N.; BURIN, V. M.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Effect of microbial transglutaminase on functional and rheological properties of ice cream with different fat contents. **LWT - Food Science and Technology**, v. 48, n. 2, p. 224–230, 2012. Disponível em: <10.1016/J.LWT.2012.03.017>.

ROUT, P.; SAHA, S. Rheology of ice cream: From fundamentals to applications. **Innovations in Agriculture**, v. 6, p. 1–7, 2023. Disponível em: <10.25081/ia.2023-012>.

ROY, S.; HUSSAIN, S.A.; WRITDHAMA, G. P.; KHETRA, Y. Quality attributes of high protein ice cream prepared by incorporation of whey protein isolate. **Applied Food Research**, v. 2, n. 1, p. 100029, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100029>>.

SANTANA, I. A.; RIBEIRO, E. P.; IGUTI, A. M. Evaluation of green coconut (*Cocos nucifera* L.) pulp for use as milk, fat and emulsifier replacer in ice cream. **Procedia Food Science**, 2011. Disponível em: <10.1016/j.profoo.2011.09.214>.

SCHMITT, N. Quantifying word association responses: what is native-like? **System**, v. 26, p. 389-401, 1998. Disponível em: <[https://doi.org/10.1016/S0346-251X\(98\)00019-0](https://doi.org/10.1016/S0346-251X(98)00019-0)>.

SERT, D.; MERCAN, E.; KILINÇ, M. Development of buffalo milk ice-cream by high pressure-homogenization of mix: Physicochemical, textural and microstructural characterization. **Lwt**, v. 150, 112013, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112013>>.

SHARAN, S.; ZANGHELINI, G.; ZOTZEL, J.; BONERZ, D.; ASCHOFF, J.; SAIN-EVE, A.; MAILLARD, M. Fava bean (*Vicia faba* L.) for food applications: From seed to ingredient processing and its effect on functional properties, antinutritional factors, flavor, and color. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 1, p. 401–428, 2021. Disponível em: <10.1111/1541-4337.12687>.

SHARMA, M.; SINGH, A. K.; YADAV, D. N. Rheological properties of reduced fat ice cream mix containing octenyl succinylated pearl millet starch. **Journal of Food Science & Technology**, v. 54, p. 1638 - 1645, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s13197-017-2595-7>>.

SILVEIRA, J. T.; DA ROSA, A. P. C.; DA MORAIS, M. G.; DE VICTORIA, F. N.; COSTA, J. A. V. An integrative review of Açaí (*Euterpe oleracea* and *Euterpe*

*precatória*): Traditional uses, phytochemical composition, market trends, and emerging applications. **Food Research International**, v. 173, p. 113304, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113304>>.

SIQUEIRA, A. P. S.; DOS SANTOS, K. F.; BARBOSA, T. A.; FREIRE, L. A. S.; CAMÊLO, Y. A. Technological differences between açai and juçara pulps and their sorbets. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 21, 2018. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/1981-6723.4717>>.

SOFJAN, R. P.; HARTEL, R. W. Effects of overrun on structural and physical characteristics of ice cream. **International Dairy Journal**, v. 14, n. 3, p. 255–262, 2004. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2003.08.005>>.

SOUKOULIS, C.; TZIA, C. Grape, raisin and sugarcane molasses as potential partial sucrose substitutes in chocolate ice cream: A feasibility study. **International Dairy Journal**, v. 76, p. 18 - 29, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2017.08.004>>.

SOUZA, J. C. B.; COSTA, M. R.; DE RENSIS, C. M. V. B.; SIVIERI, K. Sorvete: composição, processamento e viabilidade da adição de probiótico. **Revista Alimentos e Nutrição**, vol. 21, p. 155 - 165, 2010. Disponível em: <<https://www.sindsorvete.com.br/wp-content/uploads/2021/02/SORVETE-COMPOSICAO-PROCESSAMENTO-E-PROBIOTICOS.pdf>>.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**. East Lansing, MI, USA: Freeman Press, pp. 418, 1996.

SUN, Y. T.; RUIZ-CARRASCAL, J. Home made vegan nuggets with texturized soy protein and tempeh as compared to chicken-based ones: Texture, consumer perception and environmental impact. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 33, n. May, p. 100748, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100748>>.

SYED, Q. A.; ANWAR, A.; SHUKAT, R.; ZAHOOR, T. Effects of different ingredients on texture of ice cream. **Journal of Nutritional Health & Food Engineering**, v. 8, n. 6, p. 422–435, 2018. Disponível em: <[10.15406/jnhfe.2018.08.00305](https://doi.org/10.15406/jnhfe.2018.08.00305)>.

SILVA, M. S.; SILVA, R.; TOZATO, R. C. **Dossiê técnico: sorvetes**. São Paulo: Agência USP de Inovação - USP/DT, 2007. Disponível em: <<https://sbprt.ibict.br/dossie-tecnico/downloadsDT/NTQ>>. Acesso em: 15 dezembro de 2023.

UNITED STATES DEPARTMENT OF AGRICULTURE (USDA), Economic Research Service: The economics of Food, Farming, Natural Resources and Rural America. 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: 10 novembro de 2023.

VARELA, P.; ARES, G. Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization. **Food Research International**, v. 48, p. 893-908, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.06.037>>.

VENDRÚSCULO, A.T. **Comportamento reológico e estabilidade física de polpa de carambola (Averrhoa carambola L.)**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

VOGELSANG-O'DWYER, M.; PETERSEN, I. L.; JOEHNKE, M. S.; SORENSEN J. C.; BEZ, J.; DETZEL, A.; BUSCH, M.; KRUEGER, M.; O'MAHONY, J. A.; ARENDT, E. K.; ZANNINI, E. Comparison of Faba Bean Protein Ingredients Environmental Performance. **Foods**, v. 9, p. 322, 2020. Disponível em: <10.3390/foods9030322>.

WANG, W.; LI, J.; WANG, M.; GU, L.; LIU, Z.; XU, C.; MA, J.; JIANG, L.; JIANG, Z.; HOU, J. Soybean-Oil-Body-Substituted Low-Fat Ice Cream with Different Homogenization Pressure, Pasteurization Condition, and Process Sequence: Physicochemical Properties, Texture, and Storage Stability. **Foods**, v. 11, n. 17, 2022. Disponível em: <10.3390/foods11172560>.

WARAKAULLE, S.; MOHAMED, H.; RANASINGHE.; SHAH, I.; YANYANG, X.; CHEN, G.; AYYASH, M. M.; VINCENT, D.; KAMAL-ELDIN, A. Advancement of milk protein analysis: From determination of total proteins to their identification and quantification by proteomic approaches. **Journal of Food Composition and Analysis**, v. 126, p. 105854, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jfca.2023.105854>>.

WARSAME, A. O.; O'SULLIVAN, D. M.; TOSI, P. Seed Storage Proteins of Faba Bean (*Vicia faba* L): Current Status and Prospects for Genetic Improvement. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 48, p. 12617–12626, 2018. Disponível em: <10.1021/acs.jafc.8b04992>.

ZHU, F.; LI, H. Effect of high hydrostatic pressure on physicochemical properties of quinoa flour. **LWT - Food Science and Technology**, v. 114, p. 108367, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108367>>.

**ATITUDES E CONCEPÇÕES DOS CONSUMIDORES  
BRASILEIROS EM RELAÇÃO A SORVETES E ADIÇÃO DE  
PROTEÍNAS<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Artigo publicado no periódico **Food Quality and Preference**, v. 108, 104881, 2023.

# ATTITUDES AND CONCEPTIONS OF BRAZILIAN CONSUMERS TOWARD ICE CREAM AND PROTEIN ADDITION

Nátali Silva Teixeira<sup>1</sup>, Marcela de Alcantara<sup>2</sup>, Inayara Beatriz Araujo Martins<sup>3</sup>, Davy William Hidalgo Chávez<sup>3</sup>, Amauri Rosenthal<sup>4</sup>, Ana Carolina Sampaio Doria Chaves<sup>4</sup>, Rosires Deliza<sup>4</sup>

<sup>1</sup>Food Technology Department - Technology Institute - Federal Rural University of Rio de Janeiro, Rodovia BR 456, km 7- Seropédica – RJ, Brazil.

<sup>2</sup>PDJ-CNPq/Embrapa Agroindústria de Alimentos, Av. das Américas, 29501, CEP 23.020-470 Rio de Janeiro/RJ, Brazil

<sup>3</sup>PDJ-FAPERJ /Embrapa Agroindústria de Alimentos, Av. das Américas, 29501, CEP 23.020-470 Rio de Janeiro/RJ, Brazil

<sup>4</sup>Embrapa Agroindústria de Alimentos, Av. das Américas, 29501, CEP 23.020-470 Rio de Janeiro/RJ, Brazil

## ABSTRACT

Ice cream is an excellent product for incorporating different ingredients, allowing various innovations, including the addition of protein. This study explored the conceptions of Brazilian consumers towards ice cream, and their attitude toward the addition of protein to ice cream. 1074 consumers participated in an online study using word association. In addition, data were collected on participant sociodemographic information, questions about ice cream consumption habits, the type of tropical fruits that they considered best when formulating high-protein ice cream, and their preferred product form, i.e. cream or popsicle. The word association task identified 3978 different terms that were associated with ice cream. Word associations differed between consumers who were favorable versus unfavorable toward the addition of protein. The majority of participants (88%) felt that adding protein to ice cream was a good idea, and these consumers cited words related to the sensory attributes of ice cream, such as “refreshing” and “creamy,” more often than participants who were indifferent and/or were unfavorable toward protein addition. These latter participants more frequently cited terms reflecting the negative caloric aspects of ice cream, such as “fat,” “sugar,” “calories,” and “overweight.” The data provide insights that can be used to develop ice cream that meets different consumer niches and that may foster greater ice cream consumption throughout the year.

**Key words:** Consumer study; Ice cream; Word association; High protein; Online questionnaire

## 1 INTRODUCTION

Ice cream is a product that is consumed and appreciated globally (GÓRAL *et al.*, 2018). The countries with the highest per capita ice cream consumption include New Zealand (28.3 L per capita/year), USA (20 L per capita/year), Norway and Finland (9.5 L per capita/year), and Denmark (6.5 L per capita/year) (USDA, 2022). In Brazil, ice cream consumption averages five liters per capita/year (ABIS, 2020), and is considered low compared to other countries. Although Brazil’s climate is favorable for consumption throughout the year, with a wide diversity of available flavors, consumption is still seasonal and increases significantly during the summer months (GODOI, FILHO, WANDER, 2019). Innovative formulations can be a strategy to overcome this seasonal obstacle and stimulate ice cream consumption at different times and in different market

segments (OZTÜRK, DEMIRCI, AKIN, 2018). According to the International Dairy Foods Association (2022), the trends guiding the worldwide ice cream market include natural, gourmet, nostalgic products, clean labels, convenience, and the appreciation of healthy products that contribute to improving health and well-being.

Ice cream is an excellent product for incorporating different ingredients, allowing innovations in this market (SOUKOULIS, FISK, BOHN, 2014). From this perspective, many studies have explored new ingredients to meet these demands, including probiotics (OZTÜRK, DEMIRCI, AKIN, 2018), natural dyes, plant extracts, fructooligosaccharides to make the product rich in antioxidants (GREMSKI *et al.*, 2019), fortification with calcium in prebiotic ice creams (SAREMNEZHAD, ZARGARCHI, KALANTARI, 2020) and natural sugars (OZDEMIR *et al.*, 2015).

Furthermore, high-protein ice creams have also been developed. Daw e Hartel (2015) evaluated the effects of increased protein contents on the rheological properties and physical parameters of ice cream, e.g., the overrun and melting rate. In another study, Roy *et al.* (2022) evaluated the same physical parameters of ice creams enriched with whey protein isolate, as well as its sensory attributes and observed melting rate. The results showed that an increase in protein significantly affected ice cream texture, but without causing rejection, thus supporting the idea that ice cream is a potential vehicle for protein addition. However, these studies did not include the opinion of consumers early in development as a way to analyze the potential market. Although the idea of adding protein to food products is promising, it is crucial to understand consumer attitudes toward this concept, and how conceptualizations of ice cream differ among consumers in order to increase potential market success.

Studies have frequently reported that involving consumers as co-creators contributes positively to new product development (ASCHEMANN-WITZEL e PESCHEL, 2019; BANOVIĆ *et al.*, 2016; BARONE *et al.*, 2021; GALLER *et al.*, 2022; JACOBSEN, TUDORAN, MARTINEZ, 2020). Different methodologies have been applied for that purpose, including projective techniques. Among these techniques, word association stands out. This technique requires that consumers freely associate the ideas and thoughts that come to mind when thinking about a stimulus object or food product. This information is relevant to understand consumers' choices and decisions related to purchasing the product (MESÍAS e ESCRIBANO, 2018). Da Silva *et al.* (2014) used the word association technique to evaluate consumer conceptualizations regarding seven different types of ice cream (traditional, light, sugar-free, fat-free, fiber-enriched, enriched with bioactive proteins, and enriched with omega 3). The results showed that enriched ice creams had a greater frequency of conceptualizations regarding the healthfulness of the product, suggesting that functional ice creams were considered to be viable options that can bring health benefits.

Investigating consumer concepts related to ice cream and favorable vs. unfavorable attitudes toward protein addition to ice cream can contribute to the development of strategies to improve ice cream consumption in the Brazilian population. From this perspective, this study aimed to explore Brazilian consumers' conceptualizations of ice cream and how these conceptualizations differ among consumers who have favorable versus unfavorable attitudes toward the idea of high-protein ice cream. Results may contribute to the development of strategies to stimulate ice cream consumption both to different consumer segments and during different times of the year.

## 2 MATERIAL AND METHODS

### 2.1 Participants

A total of 1074 consumers (18 to 65 years, 75% women) participated in the study, which applied a non-probability convenience sampling method, often used in exploratory research (KOLB, 2018). Recruitment was performed through different social media including Facebook, WhatsApp, Instagram, and by e-mail. The selection criteria were interest and availability to take part in the study. The participants received a link to access the questionnaire, which was developed using Compusense Cloud® (Compusense Inc., Canada). The study was approved by the Brazilian Research Ethics Committee (Plataforma Brasil – CAAE 50980921.8.0000.5284).

## **2.2 Experimental procedure**

Initially, participants read an informed consent statement and, after clicking on “I accept to participate” they participated in the word association task. For that purpose, they received the following instruction: “*Write down the first four words, associations, ideas, thoughts, or feelings that come to your mind when you think about ICE CREAM*”. This task was assigned before the other items of the questionnaire, allowing consumers to freely express their thoughts, conceptions, and feelings about ice cream.

Next, participants received the following information statement “*Protein is a nutrient for the muscle mass of our body,*” and were asked to answer what they thought about the idea of adding protein to ice cream, using a structured nine-point scale ranging from 1: “very bad idea” to 9: “excellent idea.” The study also investigated the preferred product form – as a cream or popsicle, and the tropical fruits that they considered most appropriate for high-protein ice cream. For this task, the participants received a list of 14 tropical fruits from different regions of Brazil: West Indian cherry, açaí, coconut, jaboticaba, mango, pineapple, passion fruit, yellow mombin, soursop, cupuaçu, guava, cashew, papaya, and banana, defined according to the Brazilian legislation (BRASIL, 2003). Finally, the participants answered socioeconomic questions and questions about their ice cream consumption habits.

## **2.3 Statistical analyses**

Data analysis was performed with the software R, version 4.0.5® (R Core Team, 2021) using a significance level of  $p \leq 0.05$ .

### **2.3.1. Segmentation of consumers regarding the idea of adding protein to ice cream**

The participants were split into two groups according to whether they considered the addition of protein to ice cream as a good or bad idea. Those unfavorable to the idea were defined as those who assigned ratings from 1 (very bad) to 5 (neither good nor bad) (Group 1). In contrast, those favorable to the idea were defined as those whose ratings ranged from 6 (slightly good) to 9 (excellent) (Group 2). The data from the word association task for each group were then compared.

### **2.3.2. Word association task**

The associations made by participants were analyzed qualitatively (GAMBARO, 2018; GUERRERO *et al.*, 2010), and all responses were considered, except meaningless words. The terms were grouped by semantic analysis based on the personal interpretation of three experienced researchers in this type of analysis and considering the meaning of the words and their synonyms. Words with similar meanings were grouped into categories and then into dimensions. After the individual classification, the three researchers

conducted a discussion to reach a consensus, and the counting was performed considering the number of participants who used the specific category to describe the ice-cream (DA SILVA *et al.* 2014). It was not taken into account whether the words were from the same or different participants (GUERRERO *et al.*, 2010). All categories were considered in the analysis to avoid losing information. The calculation of the number of mentions in each category was compared between the protein-favorable and unfavorable groups (Group 1 vs. 2).

The absolute frequency data on the categories and dimensions of each group as well as the socioeconomic characteristics were evaluated for the existence of statistical difference using the chi-squared test. The chi-squared test was also used per cell to identify the origin of the overall chi-square variation (SYMONEAUX, GALMARINI, MEHINAGIC, 2012).

### 3 RESULTS

#### 3.1. Profile of the participants and opinion about adding protein to ice cream

Table 1 shows the sociodemographic profile of participants who were either unfavorable or favorable to the idea of adding protein to ice cream. The data revealed that participants were mostly women, aged between 26 and 35 years, with graduate and post-graduate education levels, and of low income.

**Table 1:** Profile of the participants ( $n = 1074$ ) (To be continued).

Characteristics	Participants (%)		
	Total sample ( $n = 1074$ )	“Bad idea” - “Neither good nor bad” ( $n = 128$ ) Group 1	“Good idea” ( $n = 946$ ) Group 2
<b>Gender</b>			
Female	75	72	75
Male	25	28	25
$x^2$ (p_value)		0.5 (0.4546)	
<b>Age (years)</b>			
18 to 25	21	16	21
26 to 35	43	38	43
36 to 45	17	22	16
46 to 55	12	15	12
56 to 65	6	7	6
> 65	2	2	2
$x^2$ (p_value)		6.1 (0.2877)	
<b>Education level</b>			
Primary Education	2	3	2
High school	23	26	23
Graduation	28	30	28
Post-graduation	47	41	48
$x^2$ (p_value)		4.0 (0.4058)	

**Table 1. Continuation**

<b>Income*</b>			
Low (Class D)	52	48	53
Middle (Class B and C)	37	36	37
High (Class A)	10	16	10
$\chi^2$ (p_value)		3.7 (0.1563)	
<b>Ice cream liking</b>			
Yes	98	93	99
No	2	7	1
<b>Frequency of consumption of ice cream</b>			
Once a month or less	38	48	36
Twice a month	34	28	35
Once a week	18	16	18
Twice a week	7	5	7
3 to 6 times a week	2	2	2
Daily	1	0	1

<sup>1</sup> The income classification was according to the Brazilian institute of Geography and Statistics (IBGE) (2022).

There was no difference regarding the socio-demographic characteristics of the members of Groups 1 and 2 ( $p > 0.05$ ) nor regarding their ice cream consumption habits. The number of individuals in Groups 1 and 2 was skewed because most consumers (88%) approved of adding protein to ice cream. The majority of participants (98%) reported liking ice cream; however, a high number (72%) also reported low ice cream consumption (once or twice a week). When asked about the adding protein to ice cream, most consumers (88%) considered it to be a good idea, suggesting that developing a high-protein ice cream may be a promising alternative to the market.

### 3.2 Word association task

The word association task resulted in 3978 different terms used by consumers to describe ice cream. The words were grouped into 29 categories, which generated 11 dimensions: sensory attributes, positive associations, summer, ice cream flavor, food, negative associations, social interaction, childhood, product characteristics, commercial brands, and others. The dimensions “sensory attributes” and “positive associations” showed the highest number of mentions in the two groups (Table 2). The most often used words referred to sensory characteristics such as “refreshment,” “sweet,” “creamy,” positive hedonic emotions (“delicious,” “joy,” “happiness”) and well-being (“relaxing,” “reward”). The “summer” dimension was the third most cited, indicating that Brazilian consumers in both groups associated ice cream with hot environmental situations, e.g. “summer,” “heat,” “sun,” “tropical,” and “sunny days”.

Other conceptual dimensions had a relatively low number of mentions, but often referred to social interactions (“beach”, “vacations”, “friends”, “party”, “fun”), childhood (“child”, “son”), and commercial brands.

**Table 2.** Number of mentions (absolute frequencies), the dimensions, and categories identified in the word association for ice cream, and examples of words, for both Groups of consumers (those who were unfavorable and favorable toward protein addition) (To be continued).

Dimension	Category (most cited individual words)	Number of mentions	
		“Bad idea” – “Neither good nor bad” (n = 128) Group 1	“Good idea” (n = 946) Group 2
<b>Sensory attributes</b>		<b>152</b>	<b>1472</b>
	Refreshment (refreshing, cold)	77 (-)*	740 (+)*
	Texture (creamy, smooth, aerated)	27 (-)*	312 (+)*
	Sweet (sweet, sweetness, candy)	29	274
	Flavor (flavor, acid, bitter)	16	116
	Color (colorful, color, colors)	3	30
<b>Positive associations</b>		<b>118</b>	<b>868</b>
	Positive hedonic reactions (yummy, delicious)	64	528
	Well-being (Relaxing, reward)	33	181
	Positive emotions (joy, happiness, happy)	20	145
	Health and Nutrition (functional, nutritious)	1	14
<b>Summer</b>		<b>35</b>	<b>278</b>
	Summer (summer, heat, sun)	35	278
<b>Ice cream flavor</b>		<b>41</b>	<b>212</b>
	Chocolate (Chocolate)	17 (+)**	63 (-)**
	Other flavors (vanilla, cream, flakes)	15	76
	Fruit (fruit, strawberry)	9	73
<b>Food</b>		<b>26</b>	<b>197</b>
	Dessert (dessert, titbit)	15	87
	Side dish (cone, syrup)	6	67
	Milk and derivatives (Milk, dairy product)	4	32
	Food (Foods)	1	11

**Table 2. continuation**

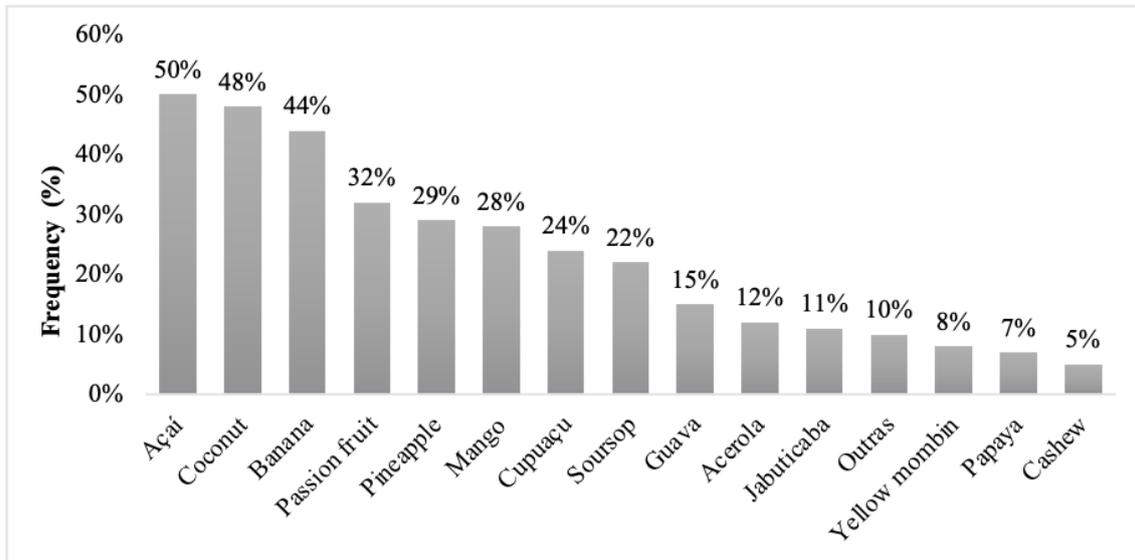
<b>Negative associations</b>	<b>48</b>	<b>179</b>
Fat (fat, bad fat)	13 (+)*	50 (-)*
Negative associations (guilt, diabetes)	13 (+)**	35 (-)**
Weight excess (fattening, calories, high-calorie food)	11	70
Sugar (sugar, too much sugar)	7 (+)*	19 (-)*
Additives and preservatives (artificial, emulsifiers)	4 (+)**	5 (-)**
<b>Social interaction</b>	<b>17</b>	<b>139</b>
Leisure (beach, fun, vacations)	9	88
Feast (family, friends, party)	8	51
<b>Others</b>	<b>8</b>	<b>59</b>
Others (price, value, satiety, accessible)	8	59
<b>Childhood</b>	<b>8</b>	<b>57</b>
Childhood (childhood, child, son)	8	57
<b>Product features</b>	<b>4</b>	<b>42</b>
Presentation (popsicle, potted, cream)	3	19
Technological qualities and properties (melting, quality)	1	23
<b>Commercial brands</b>	<b>3</b>	<b>15</b>
Brand (Kibon, McDonald's, Nestlé)	3	15

(+) or (-) indicates that the value observed is higher or lower than the expected value, \*\*\*p < 0.001, \*\*p < 0.01 and \*p < 0.05; chi-square effect per cell.

There were significant differences ( $p < 0.05$ ) between Groups 1 and 2 in some categories (Table 2). Those who were favorable to the idea of protein addition (Group 2) had a higher frequency of mentions in the “Refreshment” and “Texture” categories ( $p < 0.05$ ), while those unfavorable to protein addition (Group 1) had a higher frequency of mentions in the “Negative association,” “Fat,” “Sugar” and “Additives and preservatives” categories ( $p < 0.05$ ).

### 3.3 Fruit identification for developing protein ice cream

Fig. 1 shows the frequency of selection of the tropical fruits by participants when asked to indicate the fruits that would be most appropriate for high-protein ice cream. The most mentioned fruits were açai (50%), coconut (48%), and banana (44%). Regarding the product presentation form, 62% of participants preferred it as ice cream, whereas 38% as popsicles.



**Figure 1.** Frequency of mention of tropical fruits suggested for high-protein ice cream.

## 4 DISCUSSIONS

The results of this study showed that the concept of adding protein to ice cream was well received among this sample of Brazilian consumers (88%). This finding is consistent with the global study conducted by Kerry (2021) with more than 6,300 consumers from 12 countries of North America, Europe, Latin America, and the Asia-Pacific region, that found an increased acceptability toward adding proteins, not only to everyday foods and beverages, but also to indulgent products such as ice cream. Similarly, Banović *et al.* (2018) reported positive attitudes of European consumers (young and old) toward protein addition to foods, with consumers associating it with health benefits.

The present results also showed that the concept of “ice cream” is highly associated with such sensory-related attributes as texture (“aerated,” “smooth,” “soft,” “light,” and “creamy”), refreshment, and flavor. The diversity of the words associated with texture suggests that this attribute is an important driver of liking for the product, confirming work by Jardines *et al.* (2020), who found texture to be an important parameter of ice cream quality.

Developing high-protein ice cream requires the prioritization of the product’s sensory quality to ensure its acceptance. Da Silva *et al.* (2014) reported that consumers appreciated innovation in the ice cream market; however, they found that sensory alterations in ice creams through nutritional enrichment and reduced fat and sugar, resulted in fewer associations to “pleasure.” Sipple *et al.* (2022), who studied the concept of “Better for you” ice creams also reported that “flavor” was the most important factor for consumer purchase, even more than the healthiness of the product. The authors observed that, like traditional ice creams, the indulgence element of ice creams is critical even in the “Better for you” ice cream category. Thus, the challenge for the dairy industry

is to align the health and well-being needs of consumers to their sensory preferences and to the hedonic element during ice cream product development.

In spite of the positive emotional and hedonic associations to ice cream by participants in this study (Table 2), ice cream was also associated with well-being, as evidenced by frequent use of the words “relaxation” and “reward.” In addition, the fact that words related to seasonality were often mentioned, e.g., “summer”, “heat”, and “sun,” suggests the influence of the time of year on ice cream consumption in Brazil. Although ice cream is available throughout the year, Brazilian consumers still associate it with the summer and warmer weather. Based on this information, new strategies should be developed to increase ice cream consumption throughout the year to stimulate market growth. Toward this end, the local ice cream industry, along with ABIS, has fostered ice cream consumption throughout the year with the campaign “Sorvete pode sempre” (“Ice cream is always ok”) (ABIS, 2022).

As shown in Table 2, other conceptual dimensions had a low number of mentions, but often referred to social interactions (“beach”, “vacations”, “friends”, “party”, “fun”), childhood (“child”, “son”), and commercial brands. These associations appear to be related to the affective memory of participants, as ice cream may stimulate positive socialization memories of birthdays, holidays, and other childhood moments (ITAL, 2021). The relationship between memories and food choices has been studied previously in the assessment of the psychological and social benefits of certain foods, since such emotional memories can influence food choices more strongly than rational criteria (FOX e ALLDRED, 2019).

Words related to ice cream’s sensory attributes, e.g., “refreshment” and “creamy,” were associated significantly more often by participants favorable to protein addition. The creamy attribute is directly related to the acceptability of semi-solid dairy products, including ice cream, and is commonly used by consumers to describe several characteristics of this product (BALTHAZAR *et al.*, 2017). In contrast, the participants unfavorable to adding protein to ice cream mentioned more negative associations, with words such as “fat,” “sugar,” “calories,” and “overweight,” reflecting the high caloric density attributed to traditional ice creams due to their high fat and sugar contents (AKBARI, ESKANDARI, DAVOUDIC, 2019; OZDEMIR *et al.*, 2015).

The identification of açai as one of the most frequently cited fruit flavoring ingredients appropriate for use in high protein ice cream (50%) is important, since this fruit has a high nutrient value, due to the high content of anthocyanins and antioxidant capacity and its importance as a source of energy (SADOWSKA-KREPA *et al.*, 2015). When combined with protein enrichment, the addition of açai fruit could improve consumer acceptance of ice cream among the consumer segment likely to purchase protein-enhanced ice cream. It should also be noted that açai, despite being a regional culinary ingredient typical from the Amazon region, is consumed throughout Brazil and is also used to impart aroma, color and flavor in beverages, dairy products and sweets (SABBE *et al.*, 2009).

The results of this study show that consumers who hold different attitudes toward protein enrichment also have different conceptualizations about ice cream. These findings can be used to develop better marketing strategies to promote both traditional and high protein ice cream consumption among the Brazilian population by elaborating product package messaging linked to the specific associations of different consumer segments in order to promote trial and consumption or by using these associations in messaging that explains how ice cream is a good vehicle for added nutrients.

Finally, this study shows that using consumers in the initial stage of a project can provide important insights for product formulation and marketing, supporting the position

expressed by Banović *et al.* (2016) that consumers as co-creators can contribute positively to the product development process and assist in the marketing and development of creative sales campaigns, reducing marketing time and product development costs.

## 5 LIMITATIONS

Some limitations of the present study should be considered. Although the online questionnaire allowed us to reach a large number of participants, there was a prevalence of highly educated, low income, young consumers. Thus, there is a need for future studies that include a diverse sociodemographic sample. In addition, further studies should be planned to investigate other issues that influence consumer acceptance, such as the price of high protein ice cream. Although price was not associated with ice cream in the word association task, this may not be the case with “high protein ice cream.” if “high protein ice cream” were used, it is possible that associations related to price may have arisen. Thus, studies focusing on the intention to purchase high protein ice cream considering price should be performed.

## 6 CONCLUSIONS

The results of this research lead to the conclusion that high-protein ice cream is a concept that is well accepted by Brazilian consumers. In addition, the associations that consumers have about ice cream are different between those who are favorable vs. unfavorable toward protein enhancement. In terms of high protein ice cream product development, the use of acai fruit as a flavoring may have a positive effect on trial and consumption. These insights from consumer research can be used to better develop both traditional and high protein ice creams that meet the demands of different consumer segments and different situational contexts.

## ETHICAL STATEMENTS

Ethical approval for the involvement of human subjects in this study was granted by ESTÁCIO DE SÁ/ UNESA/RJ University Research Ethics Committee, Reference number CAAE 50980921.8.0000.5284, 24/09/ 2011. The study was carried out using an online questionnaire. Participants were informed that they would participate in the survey using their personal smartphone, that all data will be de-identified and only reported in the aggregate level. All participants acknowledged an informed consent statement in order to participate in the study.

## CREDIT AUTHORSHIP CONTRIBUTION STATEMENT

**Nátali Silva Teixeira:** Conceptualization, Methodology, Investigation, Formal analysis, Data curation, Writing – original draft. **Marcela de Alcantara:** Methodology, Data analysis, Correction. **Inayara Beatriz Araujo Martins:** Data curation, Correction. **Davy William Hidalgo Chávez:** Data curation, Correction. **Amauri Rosenthal:** Conceptualization, Project administration. **Ana Carolina Sampaio Doria Chaves:** Conceptualization, Project administration. **Rosires Deliza:** Conceptualization, Data curation, Project administration.

## DECLARATION OF COMPETING INTEREST

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

#### DATA AVAILABILITY

Data will be made available on request.

#### ACKNOWLEDGMENTS

We thank the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel – Brazil (CAPES) by the doctoral scholarship granted to Nátali Silva Teixeira. We acknowledge the financial support of CNPq and the technical support of Embrapa Food Technology.

#### REFERENCES

ABIS. (2020) Associação Brasileira das Indústrias e do setor de Sorvete. *O setor de sorvetes*. Retrieved from: <<https://www.abis.com.br/mercado>>. Accessed July 30, 2021.

ABIS. (2022) Associação Brasileira das Indústrias e do setor de Sorvete. *O movimento que a abis criou para você se engajar e alavancar suas vendas!* Retrieved from: <https://www.abis.com.br/sorvete-pode-sempre/>. Accessed May 10, 2022.

AKBARI, M.; ESKANDARI, M. H.; DAVOUDIC, Z. Application and functions of fat replacers in low-fat ice cream: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 86, p. 34 - 40, 2019. Retrieved from: <10.1016/J.TIFS.2019.02.036>.

ASCHEMANN-WITZEL, J.; PESCHEL, A. O. Consumer perception of plant-based proteins: The value of source transparency for alternative protein ingredients. **Food Hydrocolloids**, v. 96, p. 20–28, 2019. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.05.006>>.

BALTHAZAR, C. F.; SILVA, H. L. A.; CAVALCANTI, R. N.; ESMERINO, E. A.; CAPPATO, L. P.; ABUD, Y. K. D.; MORAES, J.; ANDRADE, M. M.; FREITAS, M. Q.; SANT'ANNA, C.; RAICES, R. S. L.; SILVA, M. C.; CRUZ, A. G. Prebiotics addition in sheep milk ice cream: A rheological, microstructural and sensory study. **Journal of Functional Foods**, v. 35, p. 564-573, 2017. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.06.004>>.

BANOVIĆ, M.; KRYSTALLIS, A.; GUERRERO, L.; REINDERS, M. J. Consumers as cocreators of new product ideas: An application of projective and creative research techniques. **Food Research International**, v. 87, p. 211-223, 2016. Disponível em: <10.1016/j.foodres.2016.07.010>.

BANOVIĆ, M.; ARVOLA, A. PENNANEN, K.; DUTA, D. E.; BRUCKNER-GUHMANN, M.; LATEENMAKI, L.; GRUNERT, K. G. Food with increased protein content: A qualitative study on European consumer preferences and perceptions. **Appetite**, v. 125, p. 233-243, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.appet.2018.01.034>>.

BARONE, A. M.; BANOVIĆ, M.; ASIOLI, D.; WALLACE, E.; RUIZ-CAPILLAS, C.; GRASSO, S. The usual suspect: How to co-create healthier meat products. **Food Research International**, v. 143, Article 110304, 2021. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110304>>.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 12, de 9 de setembro de 2003. Aprova o Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade Gerais para Suco Tropical. **Diário Oficial [da] União**, 09 de set. 2003. Seção 1, p. 2.

BRAZILIAN INSTITUTE OF GEOGRAPHY AND STATISTICS (IBGE). (2022). Retrieved from <https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>. Accessed May 10, 2022.

DA SILVA, V. M.; MINIM, V. P. R.; FERREIRA, M. A. M.; SOUZA, P. H. DE P.; MORAES, L. E. DA S.; MINIM, L. A. O. Study of the perception of consumers in relation to different ice cream concepts. **Food Quality and Preference**, v. 36, p. 161–168. 2014. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.04.008>>.

DAW, E.; HARTEL, R. W. Fat destabilization and melt-down of ice creams with increased protein content. **International Dairy Journal**, v. 43, p. 33–41, 2015. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.12.001>>.

FOX, N. J.; ALLDRED, P. The Materiality of Memory: Affects, Remembering and Food Decisions. **Cultural Sociology**, v. 13, p. 20–36, 2019. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1177/1749975518764864>>.

GALLER, M.; MYHRER, K. S.; ARES, G.; VARELA, P. Listening to children voices in early stages of new product development through co-creation – Creative focus group and online platform. **Food Research International**, v. 154, Article 111000, 2022. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111000>>.

GAMBARO, A. Projective techniques to study consumer perception of food. **Current Opinion in Food Science**, v. 21, p. 46–50, 2018. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.cofs.2018.05.004>>.

GODOI, C. N.; FILHO, B. A. DA C.; WANDER, A. E. Ice cream Made of Brazilian Native Fruits: Sustainable Development to Depressed and Biodiversity Areas. **International Journal of Advanced Engineering Research and Science**, v. 6, p. 150–161, 2019. Retrieved from: <<https://doi.org/10.22161/ijaers.6.5.20>>.

GÓRAL, M.; KOZŁOWICZ, K.; PANKIEWICZ, U.; GÓRAL, D.; KLUZA, F.; WOJTOWICZ, A. Impact of stabilizers on the freezing process, and physicochemical and organoleptic properties of coconut milk-based ice cream. **Lwt**, v. 92, p. 516–522, 2018. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.010>.

GREMSKI, L. A.; COELHO, A. L. K.; SANTOS, J. S.; DAGUER, H.; MOLOGNONI, L.; DO PRADO-SILVA, L.; SANT'ANA, A. S.; DA SILVA ROCHA, R.; DA SILVA, M. C.; CRUZ, A. G.; AZEVEDO, L.; DO CARMO, M. A. V.; WEN, M.; ZHANG, L.; GRANATO, D. Antioxidants-rich ice cream containing herbal extracts and fructooligosaccharides: Manufacture, functional and sensory properties. **Food Chemistry**, v. 298, Article 125098, 2019. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125098>>.

GUERRERO, L.; CLARET, A.; VERBEKE, W.; ENDERLI, G.; ZAKOWSKA-BIEMANS, S.; VANHONACKER, F.; ISSANCHOU, S.; SAJDAKOWSKA, M.; GRANLI, B. S.; SCALVEDI, L.; CONTEL, M.; HERSLETH, M. Perception of traditional food products in six European regions using free word association. **Food Quality and Preference**, v. 21, p. 225–233, 2010. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2009.06.003>>.

INTERNATIONAL DAIRY FOODS ASSOCIATION. (2022). *What's hot in ice cream. New product trends*. Retrieved from <https://www.idfa.org/news-views/media-kits/ice-cream/whats-hot-in-ice-cream>. Accessed May 20, 2022.

ITAL. (2021) Institute of Food Technology. *Sorvetes industrializados: alimentação, bem-estar e nutrição*. Retrieved from <<https://ital.agricultura.sp.gov.br/sorvetes/>>. Accessed May 25, 2022.

JACOBSEN, L. F.; TUDORAN, A. A.; MARTINEZ, M. G. Examining trust in consumers as new food co-creators: Does the communicator matter? **Food Quality and Preference**, v. 86, Article 104004, 2020. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2020.104004>>.

JARDINES, A. P.; ARJONA-ROMÁN, J. L.; SEVERIANO-PÉREZ, P.; TOTOSAUS-SÁNCHEZ, A.; FISZMAN, S.; ESCALONA-BUENDÍA, H. B. Agave fructans as fat and sugar replacers in ice cream: Sensory, thermal and texture properties. **Food Hydrocolloids**, v. 108, p. 106032, 2020. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106032>>.

KERRY. (2021). Protein mindset consumer research. Retrieved from: <https://www.kerry.com/insights/research/protein-mindset-consumer-research>. Accessed August 08, 2022.

KOLB, B. **Marketing research: A concise introduction** (2nd ed.). SAGE Publications Ltd, 2018.

MESÍAS, F. J.; ESCRIBANO, M. **Projective Techniques**. In *Methods in Consumer Research, Volume 1: New Approaches to Classic Methods* (Vol. 1). Elsevier Ltd, 2018. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/B978-0-08-102089-0.00004-2>>.

OZDEMIR, C.; ARSLANER, A.; OZDEMIR, S.; ALLAHYARI, M. (2015). The production of ice cream using stevia as a sweetener. **Journal of Food Science and Technology**, v. 52, p. 7545–7548, 2015. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1007/s13197-015-1784-5>>.

OZTÜRK, H. I.; DEMIRCI, T.; AKIN, N. Production of functional probiotic ice creams with white and dark blue fruits of *Myrtus communis*: The comparison of the prebiotic potentials on *Lactobacillus casei* 431 and functional characteristics. **LWT**, v. 90, p. 339–345, 2018. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.049>>.

R CORE TEAM. (2021). *R: A language and environment for statistical computing*. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

ROY, S.; HUSSAIN, S.A.; WRITDHAMA, G. P.; KHETRA, Y. Quality attributes of high protein ice cream prepared by incorporation of whey protein isolate. **Applied Food**

**Research**, v. 2, n. 1, p. 100029, 2022. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100029>>.

SABBE, S.; VERBEKE, W.; DELIZA, R.; MATTA, V.; VAN DAMME, P. Effect of a health claim and personal characteristics on consumer acceptance of fruit juices with different concentrations of açai (*Euterpe oleracea* Mart.). **Appetite**, v. 53, p. 84–92, 2009. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.appet.2009.05.014>

SADOWSKA-KRĘPA, E.; KŁAPCINSKA, B.; PODGORSKI, T.; SZADE, B.; TYL, K.; HADZIK, A. Effects of supplementation with acai (*Euterpe oleracea* Mart.) berry-based juice blend on the blood antioxidant defense capacity and lipid profile in junior hurdlers. A pilot study. **Biology of Sport**, v. 32, p. 161–168, 2015. Retrieved from: <<https://doi.org/10.5604/20831862.1144419>>.

SAREMNEZHAD, S.; ZARGARCHI, S.; KALANTARI, Z. N. Calcium fortification of prebiotic ice-cream. **Lwt**, v. 120, Article 108890, 2020. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108890>>.

SIPPLE, L. R.; RACETTE, C. M.; SCHIANO, A. N.; DRAKE, M. A. Consumer perception of ice cream and frozen desserts in the “better-for-you” category. **Journal of Dairy Science**, v. 105, p. 154–169, 2022. Retrieved from: <<https://doi.org/10.3168/jds.2021-21029>>.

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, p. 627–655, 2014. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12083>>.

SYMONEAUX, R.; GALMARINI, M. V.; MEHINAGIC, E. Comment analysis of consumer’s likes and dislikes as an alternative tool to preference mapping. A case study on apples. **Food Quality and Preference**, v. 24, p. 59–66, 2012. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.08.013>>.

USDA ERS (USDA Economic Research Service). 2022. Dairy data. Retrieved from: <<https://www.ers.usda.gov/data-products/dairy-data.aspx>>. Accessed January 31, 2022.

VINCENT, D.; ELKINS, A.; CONDINA, M. R.; EZERNIEKS, V.; ROCHFORT, S. Quantitation and identification of intact major milk proteins for high-throughput LC-ESI-Q-TOF MS analyses. **PLoS ONE**, v. 11, n. 10, p. 1–21, 2016. Disponível em: <[10.1371/journal.pone.0163471](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0163471)>.

**SORVETE *PLANT-BASED* DE AÇAÍ E FARINHA DA CASCA DE JABUTICABA COM PROTEÍNA DE FEIJÃO-FAVA: OTIMIZAÇÃO DA FORMULAÇÃO COM BASE NAS CARACTERÍSTICAS TECNOLÓGICAS<sup>2</sup>**

<sup>2</sup>Manuscrito submetido no periódico **Food Science and Technology International**.

# PLANT-BASED ICE CREAM OF THE AÇAÍ AND JABOTICABA PEEL FLOUR WITH FABIA BEAN PROTEIN: OPTIMIZATION OF THE FORMULATION BASED ON TECHNOLOGICAL CHARACTERISTICS

Nátali Silva Teixeira<sup>a1</sup>, Davy William Hidalgo Chávez<sup>b</sup>, Ana Carolina Sampaio Doria Chaves<sup>c</sup>, Rosires Deliza<sup>c</sup>, Amauri Rosenthal<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Graduate Program of Food Science and Technology Federal Rural University of Rio de Janeiro, Rodovia BR 456, km 7, Seropédica, RJ, Brazil

<sup>b</sup>PDJ-FAPERJ /Embrapa Agroindústria de Alimentos, Av. das Américas, 29501, CEP 23.020-470 Rio de Janeiro/RJ, Brazil

<sup>c</sup>Embrapa Agroindústria de Alimentos, Av. das Américas, 29501, CEP 23.020-470 Rio de Janeiro/RJ, Brazil

## ABSTRACT

Ice cream is appreciated worldwide by different consumer niches. The development of a plant-based ice cream using an alternative protein together with açai and jaboticaba peel flour is a way of meeting the demands for plant-based products, which have shown global growth and valuing the Brazilian biodiversity. The aim of the study was to investigate the effect of faba bean protein, açai preparation, and coconut oil on rheological and technological characteristics of a plant-based ice cream. Eight formulations were prepared using different concentrations of açai preparation (25% - 40%), faba bean protein concentrate (8.5% - 20%) and coconut oil (5% - 10%). The study revealed that all samples exhibited thixotropic and non-Newtonian pseudoplastic behavior, with protein concentration having a significant impact on rheological properties. Formulations with high faba bean protein concentrate presented resistance to melting, less overrun and increased the hardness. Results revealed that high faba bean protein values could harm these properties, while moderate levels, especially below 10%, presented characteristics equivalent to the control ice cream (4% faba bean protein), similar to the conventional commercial dairy ice cream. The desirability function (value of 0.89 was considered excellent) resulted in an optimized formulation with the 40% of açai preparation, 8.5% of protein concentrate faba bean and 6.5% coconut oil based on overrun, melting properties and hardness. These findings contribute to understand the complex interactions between the composition and physical characteristics of ice cream with faba bean protein and tropical fruits, aiming to improve its technological properties.

**Keywords:** alternative protein, dairy-free, rheology, overrun, melting, hardness

## 1 INTRODUCTION

Ice cream, an indulgent and popular dessert appreciated for its creaminess, flavor and refreshment, has a complex matrix, including fat, proteins, sugars, water, stabilizers, emulsifiers and flavorings. In addition, the process involves freezing while air is simultaneously incorporated (GOFF e HARTEL, 2013; SERT, MERCAN, KILINÇ, 2021).

In 2021, the global ice cream market was estimated at US\$ 71.52 billion with projections indicating growth to US\$ 97.95 billion by 2027 due to the increasing demand for indulgent and healthier products, making the ice cream sector, a promising market for developing healthy indulgences (FORTUNE BUSINESS INSIGHTS, 2022;

INTERNATIONAL DAIRY FOODS ASSOCIATION, 2022). Previous studies explored different ice cream formulations to meet the market demands, such as pre-and/or probiotics, low calorie content, reduced fat and sugar, and addition of plant extracts (BALTHAZAR *et al.*, 2017; DANESH, GOUDARZI, JOOYANDEH, 2017; GREMSKI *et al.*, 2019; HOSSAIN *et al.*, 2021; JARDINES *et al.*, 2020; ÖZTÜRK *et al.*, 2018; RORIZ *et al.*, 2018; SAREMNEZHAD, ZARGARCHI, KALANTARI, 2020).

Broaden understanding and research into the interaction between functional foods, combined with the technological requirement for innovations, can result in the development of new products, some of which have functional potential to promote human health (GRANATO *et al.*, 2018). The tropical fruits used, açai (*Euterpe oleracea*), have a high content of phenolic compounds with high antioxidant activity. They have been recognized as a “superfood” or “superfruit”, being a good option in the development of new products, including ice cream (SILVEIRA *et al.*, 2023).

The incorporation of protein into ice cream stands out with the aim of increasing the protein content (DAW e HARTEL, 2015; ROY *et al.*, 2022). In addition to being more nutritious, protein contribute to the development of the structure of the ice cream, acting in emulsification and in the water retention (NARALA *et al.*, 2022; ROY *et al.*, 2021, 2022). Protein is becoming increasingly popular among consumers, with a growing search for both plant and animal sources of this nutrient. This trend reflects a positive view regarding the importance of proteins in food (HERTZLER *et al.*, 2020). According to Teixeira *et al.* (2023), adding protein to ice cream was considered a good idea by consumers, suggesting that it could be successful on the market.

However, for a food product to receive the claims such as “high” or “source” of protein, it should contain at least 20% of the Recommended Daily Intake (RDI) in a serving. This means that the ice cream must have more than 10 g of protein in its serving size to be labeled as “High” in protein. And to be described as “good source” of protein, it must contain between 10% and 19% of the RDI in one serving (2/3 cup about 86 to 120 grams), which is equivalent to having between 5 g and 9.5 g of protein per serving (FDA, 2023).

According to the Brazilian Legislation (Normative Instruction No. 75, 08/10/2020) to be considered as a source of protein, a food product must contain at least 5 g of protein per portion, while products with high protein content must contain at least 10 g of protein per serving (BRASIL, 2020). There are some commercial brands of ice cream with high dairy protein content that meet these values (SIPPLE *et al.*, 2022). However, there are a few non-dairy protein ice cream alternatives aimed at consumers with specific diets or restrictions on dairy products.

According to Hertzler *et al.* (2020), the popularity of plant-based products is due to their nutritional and potential health benefits, concerns about excess consumption of animal protein, greater consumer recognition of the need for more sustainable food production and ethical issues. Such factors have influenced the emergence of a third niche of consumers who have not excluded animal protein-based products, but have significantly reduced their consumption, known as “flexitarians” (DERBYSHIRE, 2017; NOGUEROL *et al.*, 2021; RÉVILLION, *et al.*, 2020). Such trends generate an opportunity to expand alternative proteins as ingredients and new products in various food categories, such as ice cream.

Pulses protein concentrates (peas, lentils, beans and chickpeas, among others) have been explored as ingredients for various applications in the food industry, presenting interesting properties and good results in different food matrices (BOYE, ZARE e PLETCH, 2010; TOEWS e WANG, 2013). In the literature, there are publications on successful applications of pea protein concentrates and isolates in ice cream (GULER-

AKIN, AVKAN, AKIN, 2021; NARALA *et al.*, 2022). Sivasankari *et al.* (2019) increased the protein content of dairy ice cream using pulse protein concentrate (Bengal gram and Red gram), they reported that it was possible to increase the protein content of ice cream to 11.76%, compared to 4.90% of ice cream control (without vegetable protein). The protein-enriched ice cream presented lower overrun, slower melting and desirable sensory properties with commercial prospects.

Among the pulses, faba bean (*Vicia faba* L.) stands out, it has ~ 29% protein on a dry basis, around 80% of the protein are globulins such as legumin and vicilin, convicilin with ~ 20% being albumins. Like other pulses, faba bean contains high levels of lysine (VOGELSANG-O'DWYER *et al.*, 2020; WARSAME, O'SULLIVAN, TOSI, 2018). Faba bean proteins have foaming, emulsifying and gelling capacity, which are interesting properties as an alternative protein to dairy products (BOYE, ZARE e PLETCH, 2010; MULTARI, STEWART, RUSSELL, 2015). Due to these technological and nutritional properties, faba bean concentrate could potentially replace the dairy protein in ice cream (MULTARI, STEWART, RUSSELL, 2015; SHARAN *et al.*, 2021; VOGELSANG-O'DWYER *et al.*, 2020).

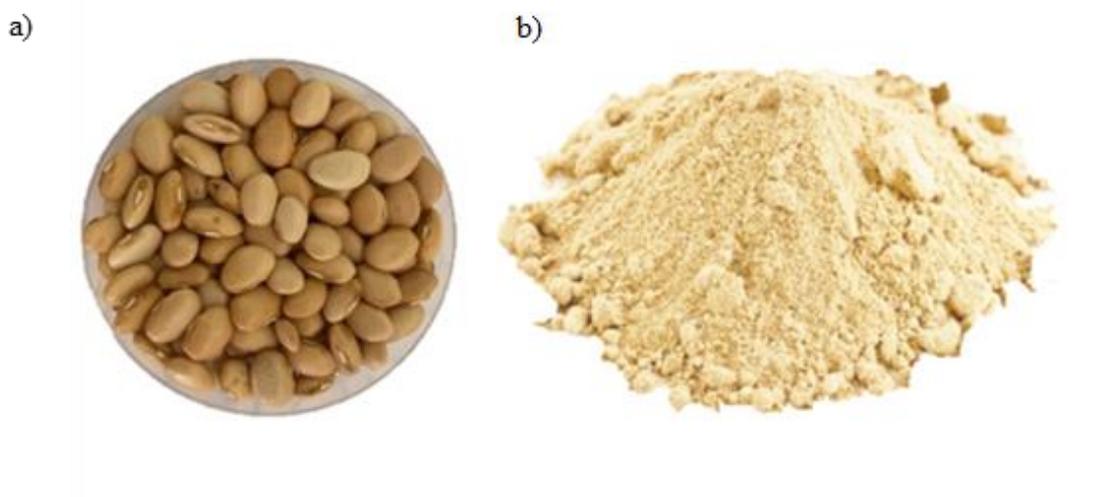
No studies have been found in the literature that investigated the effect of gradual increase of faba bean protein concentrate and added of açaí (superfruit) in ice creams, as an alternative to dairy protein. Given this, the objective of the study was to develop a plant-based ice cream with faba bean protein and açaí. To achieve this goal the addition of faba bean protein concentrate (FBPC), coconut fat (CO) and an açaí preparation (AP) were optimized to obtain a product with rheological and technological characteristics similar to commercial dairy ice creams.

## 2 MATERIAL AND METHODS

Ice cream processing and analyzes were carried out in the Pilot Plants and in the Laboratories of Embrapa Agroindústria de Alimentos in Rio de Janeiro, Brazil.

### 2.1 Material

The Faba bean protein concentrate (60%) (Figure 1b) was provided by the Ingredion<sup>®</sup> (São Paulo, Brazil), unflavored coconut oil (Copro<sup>®</sup>, Alagoas, Brazil), emulsifier (Emustab, Selecta<sup>®</sup>, Duas Rodas, Santa Catarina, Brazil), Super Liga Neutra (mix of guar gum, carboxymethylcellulose, tara gum, Selecta<sup>®</sup>, Duas Rodas, Santa Catarina, Brazil), were purchased at a local market in Rio de Janeiro.



**Figure 1.** Faba bean grains (a) and faba bean protein concentrate (b).

The açai (*Euterpe oleracea*) was used to impart aroma, flavor and color to the ice cream. The açai preparation was made from 50% açai pulp (with 8% total solids, Palamaz<sup>®</sup>, Pará, Brazil) purchased from the Supply Center of the State of Rio de Janeiro (CEASA/RJ), 31.25% sugar (Guarani<sup>®</sup>, São Paulo, Brazil), 6.25% of Sabará jabuticaba (*Plinia* sp) dried peel (obtained from pulping and drying the jabuticaba peel), 12.36% filtered water and 0.14% citric acid (Arcolor<sup>®</sup>, São Paulo). The mixture was pasteurized and concentrated until the reached 51 °Brix. The fruit preparation was packaged in airtight package and kept frozen at -18 °C until use. In Appendix I, the results of the ice cream with and without Sabará jabuticaba (*Plinia* sp) dried peel are presented.

## 2.2 Methods

### 2.2.1 Experimental design and ice cream formulation

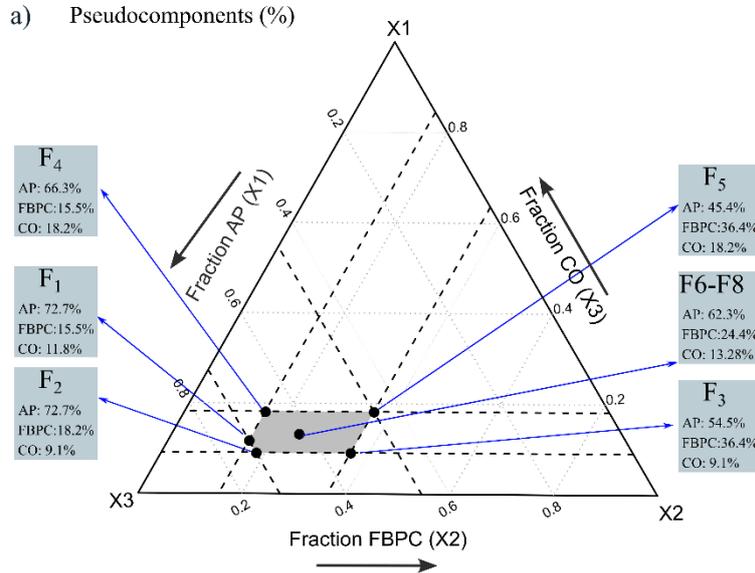
A Simplex-Centroid mixture design with restrictions and three repetitions of the central point was used (Table 1 and Figure 2) (CORNELL, 2002). The components were Açai preparation (AP: 25% to 40%), faba bean protein concentrate (FBPC: 8.5% to 20%) and coconut oil (CO: 5% to 10%), corresponding to 55% of the total ice cream formulation. The other ingredients were water 44%, emulsifier 0.5% and stabilizer 0.5%. The minimum and the maximum limits of the ingredients were determined through preliminary experiments. The response variables evaluated were overrun, melting rate, protein content and instrumental hardness. The control ice cream formulation had 4% faba bean concentrate, a protein concentration equivalent to the commercial dairy ice cream, 40% AP, 10% CO, 45% water, 0.5% emulsifier and 0.5% stabilizer.

**Table 1.** Mixture planning formulations and control formulation (to be continued).

Ingredients (% w/w)	Control	F1	F2	F3	F4	F5	F6	F7	F8
Açai preparation	40.0	40.0	40.0	30.0	36.5	25.0	34.3	34.3	34.3
Faba bean protein concentrate	4.0	8.5	10.0	20.0	8.5	20.0	13.4	13.4	13.4
Coconut oil	10.0	6.5	5.0	5.0	10.0	10.0	7.3	7.3	7.3
Water	45.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0	44.0

**Table 1. Continuation**

Stabilizer	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Emulsifier	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5



**Figure 2.** Experimental design of constrained mixture planning for ice cream formulation. AP: açai preparation; FBPC: faba bean protein concentrate; CO: coconut oil.

The results of the independent variables were adjusted to the linear polynomial model according to Eq 1:

$$Y = \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3 + \beta_{12} X_1 X_2 + \beta_{13} X_1 X_3 + \beta_{23} X_2 X_3 + \varepsilon \quad (1)$$

Where Y were the dependent variables (Protein content, overrun, melting, hardness),  $\beta_n$  are the regression coefficients,  $X_1$ ,  $X_2$  and  $X_3$  are the concentrations of AP, FBPC and CO, respectively;  $\varepsilon$  was the experimental error.

Was used the desirability function (DERRINGER e SUICH, 1980) to simultaneously optimize the concentrations of AP, FBPC and CO in function of physical parameters and protein content. In the desirability function, the values of the response variables were transformed into a dimensionless desirability scale that ranged from 0 (undesirable) to 1 (maximum desirability). The individual results of the responses were combined to obtain the global desirability D, defined as the geometric mean of the individual desirability. Finally, the function resulting from the D data was maximized (BEZERRA *et al.*, 2008).

### 2.2.2 Processing different formulations of plant-based ice cream with faba bean protein and açai

The formulations were processed in one-liter batches in a countertop ice cream producer (Gelato Express<sup>®</sup>, Tramontina, Rio Grande do Sul, Brazil) used according to the manufacturer's instructions.

The ingredients were weighed on a semi-analytical balance (Shimadzu<sup>®</sup>, São Paulo, Brazil), and the powder ingredients (FBPC and stabilizer) were mixed and dispersed in water. The ingredients were mixed vigorously in a domestic blender (Britânia<sup>®</sup>, São Paulo, Brazil) for one minute.

The mixture was pasteurized (80 °C for 15 minutes) under constant stirring. The mixture was cooled in a refrigerator at 4 °C. Subsequently, the emulsifier and coconut oil were added and mixed in a blender for another three minutes. The mixture was matured at 4 °C for 4h. Then the açai preparation was added and transferred to the ice cream producer (Gelato Express®, Tramontina, Rio Grande do Sul, Brazil), where freezing occurred simultaneously with aeration lasting about 40 minutes at -40 °C. The ice cream was placed in plastic pots with cover (6 cm x 4.2 cm) and stored in a freezing chamber (-18 °C) until the final analyses. Samples with 80 ± 5 g of ice cream were also stored in plastic pots (7 cm x 5 cm) for the melting test.

## 2.2.3 Analyses

### 2.2.3.1 Rheological properties of ice cream mixture

Viscosity was determined in triplicate with a HAAKE Mars II® Rheometer (Thermo Electron Corporation, Karlsruhe, Germany), according to Kurt, Cengiz, Kahyaoglu (2016). A plate-plate geometry was used (with a diameter of 35 mm), with a controlled temperature (4 °C) on the lower plate using a “Peltier” thermostat. The shear stress - shear stress  $\tau$  (Pa) and apparent viscosity of the formulations were determined as a function of the shear rate - shear rate  $\dot{\gamma}$  ( $s^{-1}$ ) in the range from 0 to 300  $s^{-1}$  (rising curve for 30 s), followed by a return from 300 to 0  $s^{-1}$  (descending curve for 30 s).

The data of shear rate  $\dot{\gamma}$  ( $s^{-1}$ ) vs shear stress (Pa) was fitted to the Newton, Ostwald-de-Waele, Herschel Bulkley, Casson, modified Casson, Sisko, Cross, Carreau and Ellis models, used Eqs (2)-(10) (Table 2) to identify the one whose data would fit best (Tadini *et al.*, 2016). Analyzes were performed in triplicate.

**Table 2.** Rheological models used to describe the behavior of fluids.

Name of model	Code	Equation	
Newton	Mod1	$\tau = (\gamma)$	(2)
Ostwald-de-Waele	Mod2	$\tau = K(\dot{\gamma})^n$	(3)
Herschel Bulkley	Mod3	$\tau = \tau_o + K_H(\dot{\gamma})^{n_H}$	(4)
Casson	Mod4	$(\tau)^{0.5} = K_{oc} + K_{cass}(\dot{\gamma})^{0.5}$	(5)
Casson modificado	Mod5	$(\tau)^{0.5} = (K_{oc})^{0.5} + K_{cass}(\dot{\gamma})^n$	(6)
Sisko	Mod6	$\tau = \mu_\infty \dot{\gamma} + K(\dot{\gamma})^n$	(7)
Cross	Mod7	$\mu = \mu_\infty + \mu_0 - \mu_\infty / 1 + (K_{Cross} \dot{\gamma})^n$	(8)
Carreau	Mod8	$\mu = \mu_\infty + (\mu_0 - \mu_\infty) [1 + (K_{Car} \dot{\gamma})^2]^{(n-1)/2}$	(9)
Ellis	Mod9	$\dot{\gamma} = K_1 \tau + K_2 \tau^n$	(10)

Where  $\tau$  = Shear stress (Pa);  $\dot{\gamma}$  = Shear or deformation rate ( $s^{-1}$ );  $K$  = Flow consistency index (Pa•s);  $n$  = Flow behavior index;  $\tau_o$  = Initial shear stress;  $K_H$  = Herschel Bulkley consistency index;  $K_{oc}$  = Initial stress (Pa);  $K_{cass}$  = Casson plastic viscosity (Pa•sn);  $\mu_\infty$  = Infinite deformation viscosity;  $\mu$  = Absolute viscosity;  $\mu_0$  = Zero strain viscosity;  $K_{Cross}$  = Cross Equation Constant;  $K_{cass}$  = Constant of the Carreau Equation;  $K_1$  = Constant of the Ellis Equation;  $K_2$  = Constant of the Ellis Equation.

### 2.2.3.2 Effect of independent variables (AP, FBPC and CO) on protein content, overrun, melting and hardness

#### Protein content

Nitrogen determination was carried out using the Kjeldahl method according to AOAC (2010). Was used the conversion factor of soybean (5.75), due to the lack of a specific one for faba bean (MARIOTTI, TOME, MIRAND, 2008). All determinations were carried out in triplicate.

#### *Overrun*

It was determined the weight of a fixed volume (50 ml) of the ice cream mixture mass before and after the ice cream production. The overrun (%) was determined as described by Goff e Hartel (2013) and calculated according to the Eq 11:

$$\text{Overrun (\%)} = (\text{Ice cream mixture mass} - \text{Ice cream mass} \times 100) / \text{Ice cream mass} \quad (11)$$

#### *Melting test*

During the melting test no ice cream dripping was observed and for this reason, it was determined the relative height of the ice cream sample over time, according to the methodology proposed by Kaleda *et al.* (2018) with modifications. Ice cream samples of  $80 \pm 5$ g were removed from the plastic pots and placed on a wire mesh supported by a Becker in a B.O.D incubator (SL-200, Solab<sup>®</sup>, Brazil) at 25 °C. The initial relative height was measured ( $T_0 = 0$  min), and it was repeated every 20 minutes during 120 minutes. The analysis was performed in duplicate.

To evaluate the complete melting kinetics of different formulations, the data was plotted as relative height vs. time, and to construct the melting curves, the relative height over the 120 min was used for statistical optimization analyses. The melting rate of the formulations were calculated by choosing the 40 min period in which the most pronounced decrease in ice cream relative height occurred (Eq 12).

$$\text{Melting rate} = RH_{40} - RH_{t_F} / t_F - t_{40} \quad (12)$$

Where  $RH_{40}$  is the relative height (%) in 40 min,  $RH_{t_F}$  is the relative height (%) in the final time,  $t_F$  is the final time (120 minutes) and  $t_{40}$  is the time of greatest decrease observed.

#### *Hardness*

The instrumental hardness of the ice creams was determined using a texturometer model TA XT Plus<sup>®</sup> (Stable MicroSystems<sup>®</sup>, Surrey, England), as described by Kurt e Atalar (2018). Measurements were performed at 20 °C after 10 minutes of removing the samples from the freezer. It was used a cylindrical stainless-steel probe of 5 mm diameter with a 5 kg load. The compression was 10 mm at a speed of 1 mm/s. Hardness corresponds to the maximum compression force (N) during the sample compression. The Exponent Lite<sup>®</sup> program (Stable MicroSystems Ltda) was used to collect the data.

### **2.2.4 Statistical analysis**

Analysis of variance (ANOVA) and Tukey's test were performed for multiple comparisons of means with 5% significance. For comparison with the control, was used the Dunnett test. To evaluate the effects of the açai preparation, faba bean protein concentrate and coconut oil, a linear and quadratic model were tested. For each response variable, was selected the model with the highest adjusted  $R^2$  value and absence of lack of fit. The simultaneous optimization of the different response variables was carried out using the Desirability Function (DERRINGER e SUICH, 1980).

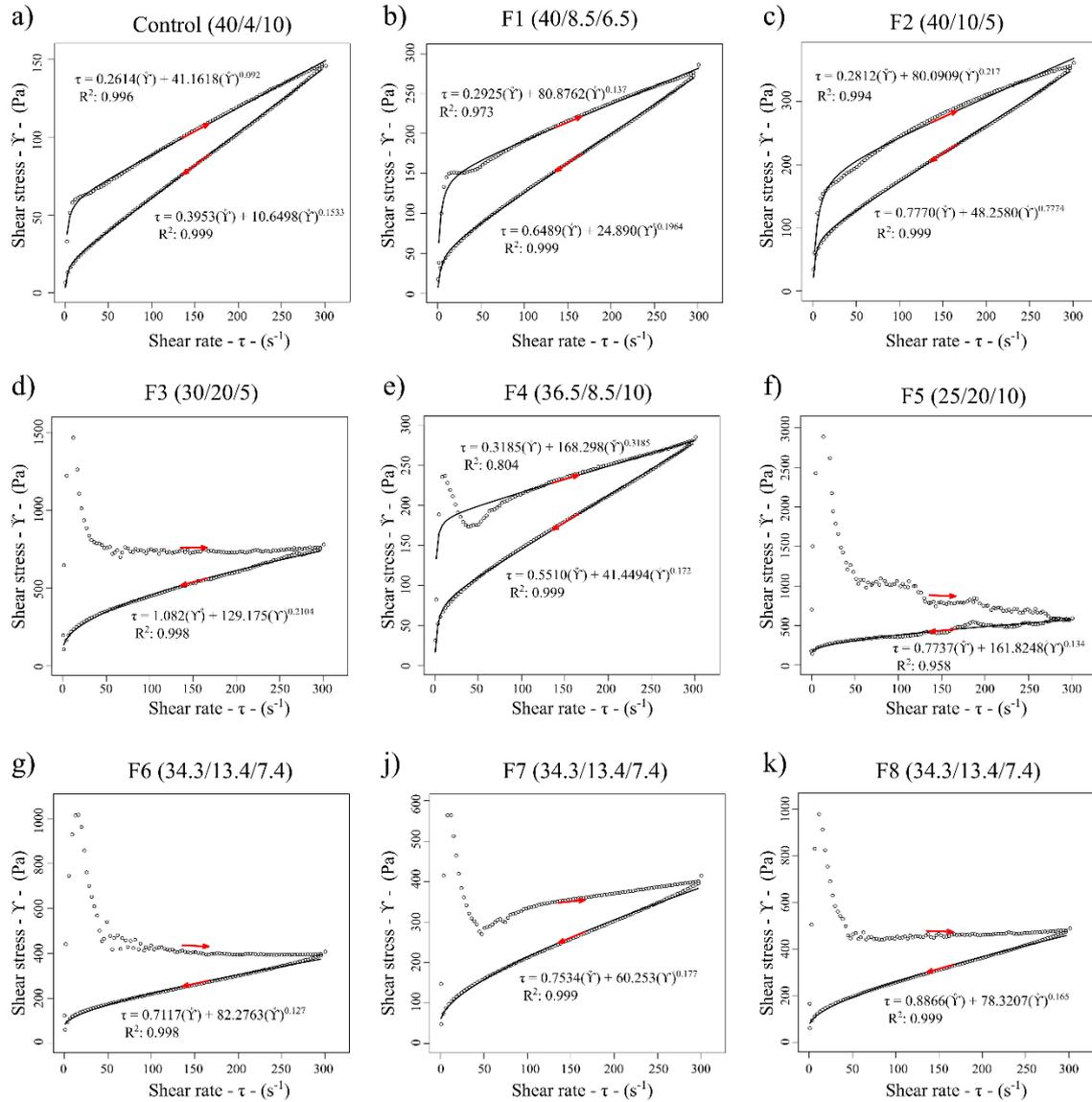
To describe the rheological behavior of the formulations, the shear rate and shear stress values were adjusted to several mathematical models (Table 2). The best fit of the models considers the highest  $R^2$  values and lowest AIC (Akaike Information Criterion - AIC) and RMSE (Root Mean Square Error – RMSE).

The software R, version 4.0.5<sup>®</sup> (R Core Team, 2021) was used for the data analysis.

### 3 RESULTS AND DISCUSSION

#### 3.1 Rheological Properties of Ice Cream Mixture

The formulations showed the behavior of thixotropic fluids (Figure 3), and the maximum shear stress values varied from 150 (Pa) to ~3000 (Pa), which correspond to the control and F5 with the lowest and highest percentage of FBPC, respectively. Most of the shear rate vs. shear stress curves had a better fit with the Sisko model (Figure 3). In the formulation with FBPC higher than 10% was observed an increase around 20 times in shear stress, the protein content had an important effect on the rheological profile of the ice creams (RAMASWAMY; GUNDURAO, 2019). Therefore, the formulations F3, F5, F6, F7 and F8 showed a prominent peak in the ascending curves from the beginning of the cycle until reaching a shear rate of around  $\sim 50$  ( $s^{-1}$ ), making it difficult to model these ascending curves, especially F5, which contained 20% FBPC. Formulation F5 presented the highest shear stress, followed by F8, which have 20% and 13.4% of protein concentrate, respectively. Formulations F1 and control showed the lowest shear stress and similar flow behavior (Figure 3). The amount of protein added (control = 4% and F1 = 8.5%) positively influenced the consistency of the ice cream mixture in a similar way, considering that both contained 40% AP and the lowest levels of FBPC. Roy *et al.* (2022) reported that increasing the protein content have limited water movement due to the increasing of the ice cream mixtures viscosity.



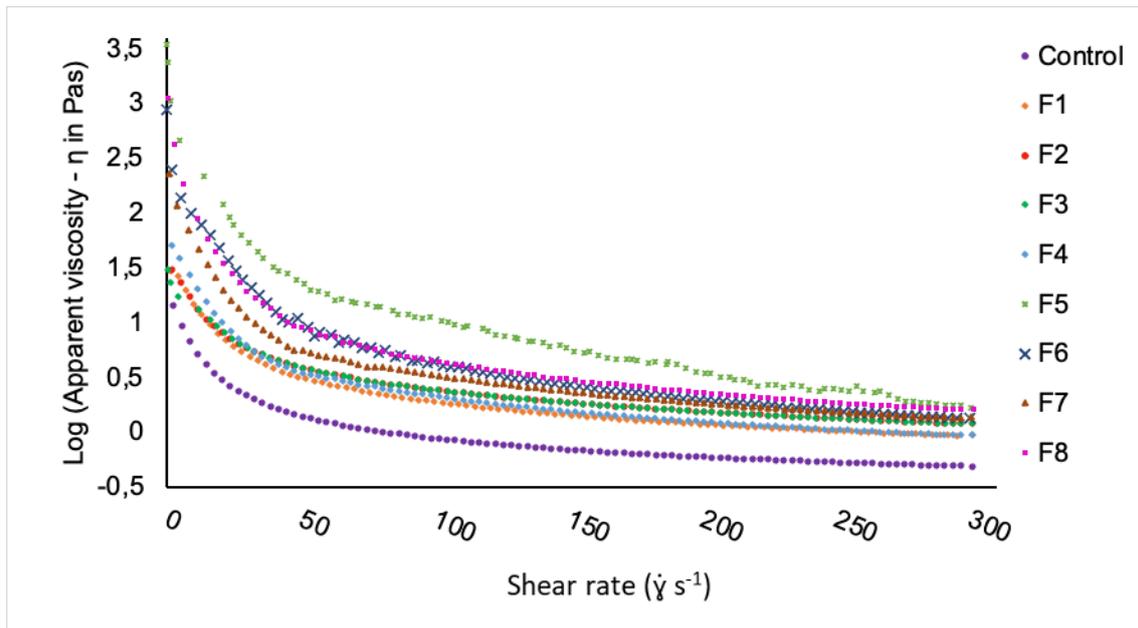
**Figure 3.** Rheological profile of shear rate vs shear stress of ice cream with faba bean protein. The values in parentheses correspond to the concentrations of açai preparation, faba bean protein concentrate and coconut oil, respectively.

The flow behavior index ( $n$ ) of the ice cream mixture varied between 0.092 (ascending curve for control) and 0.77 (descending curve for F2), indicating a pseudoplastic non-Newtonian behavior ( $n < 1$ ), which is characteristic of ice cream mixture (GOFF e HARTEL, 2013). This behavior has also been reported for plant-based walnut milk ice creams (BEKIROGLU *et al.*, 2022), chia (VELOTTO *et al.*, 2021), coconut and soy “milk” (ABOULFAZLI, BABA, MISRAN, 2014), as well as in cow and sheep’s milk ice creams (BALTHAZAR *et al.*, 2017; DANESH GOUDARZI, JOOYANDEH, 2017).

The flow behavior index increased subtly from the control ice cream to those with higher concentrations of faba bean protein, similar to what happened with shear stress. According to Tadini *et al.* (2016) and MOSTAFAVI, TEHRANI, MOHEBBI, (2017), lower values of  $n$  indicate a Newtonian behavior, resulting in greater pseudoplasticity of the samples.

When subjected to the same strain rates, there was a decrease in apparent viscosity values with increasing strain rate, being similar in all formulations (Figure 4). Sim, Hua,

Henry, (2020) reported that faba bean-based yogurts exhibited shear-dependent behavior, possibly due to disruption of the protein network and realignment of protein aggregates and oil droplets that increase shear rate.



**Figure 4.** Apparent viscosity curves as a function of deformation rate of different ice cream mixtures. Control = 40% AP/4% FBPC/10% CO, F1 = 40% AP/8.5% FBPC/6.5% CO, F2 = 40% AP/10% FBPC/5% CO, F3 = 30% AP/20% FBPC/5% CO, F4 = 36.5% AP/8.5% FBPC/10% CO, F5 = 25% AP/20% FBPC/10% CO), F6, F7, F8 = 34.3% AP/13.4% FBPC/7.3% CO.

Formulation F5 showed the highest apparent viscosity (Figure 4) due to the higher concentration of FBPC (20%), lower AP content (25%) and 10% CO, suggesting that the variations of the three components and mainly the increase in FBPC influenced the viscosity of the ice cream mixture. In the production of ice cream, several physical, chemical and molecular changes occur, including the interaction of proteins with other ingredients. When incorporated into the ice cream mixture formulation, proteins initially have the function of stabilizing the lipid emulsion. After homogenization of the ice cream mixture, the protein forms a new layer adsorbed at the interface of the fat globule, acting as an emulsifier, preventing the coalescence of the fat (DICKINSON, 2003). Furthermore, proteins also contribute to increase water retention capacity, improving the viscosity. High protein levels (~20%) increases the viscosity of the ice cream mixture and influenced the melting rate and the air incorporation. Concentrations lower than 10% seem to be adequate, which was observed in the control ice creams (4%) or in formulations with 8.5%.

### 3.2 Effect of Independent Variables (AP, FBPC and CO) on Protein Content, Overrun, Melting Rate and Instrumental Hardness

In Table 3 and Figure 5 can be observed the results of the experimental design. The model for protein content presented an  $R^2 \text{ adj} = 0.9922$ . As expected, by increasing FBPC, the protein content of the formulation increased proportionally. Guler-akin, Avkan, Akin (2021) gradually replaced powdered milk with pea protein isolate (with 85% protein) obtaining formulations ranging from 0 to 100% of isolate and, as a consequence, was observed a gradual increase in protein content. The ice cream with 100% of powdered milk presented  $3.99\% \pm 0.03$  of protein, while the formulation with 100% of isolate had

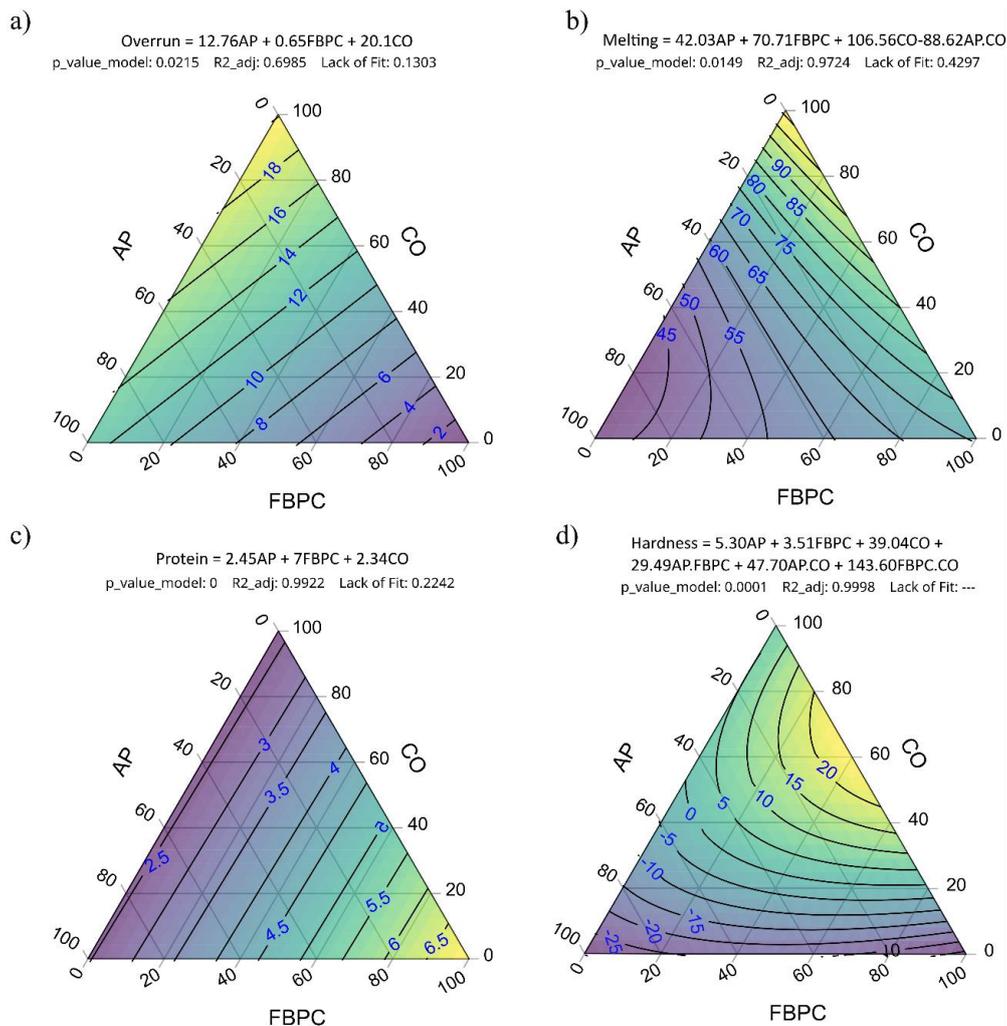
9.53% ± 0.09 of protein, providing more than twice the protein content by replacing powdered milk with pea protein isolate.

**Table 3.** Protein content, overrun, melting, instrumental hardness of ice cream with faba bean protein.

<b>Formulations</b>	<b>Protein (g/60g)**</b>	<b>Overrun (%)</b>	<b>Hardness (N)</b>	<b>Melting (Relative height %)</b>
F1 (40/8.5/6.5)	2.48 ± 0.19 <sup>cd*</sup>	14.55 ± 0.83 <sup>a*</sup>	5.21 ± 1.08 <sup>e</sup>	38.1 ± 3.37 <sup>d</sup>
F2 (40/10/5)	2.84 ± 0.07 <sup>c*</sup>	8.64 ± 0.08 <sup>bc*</sup>	7.57 ± 1.38 <sup>de</sup>	46.5 ± 0.00 <sup>cd*</sup>
F3 (30/20/5)	5.50 ± 0.02 <sup>a*</sup>	4.20 ± 0.86 <sup>c*</sup>	10.28 ± 1.20 <sup>cd*</sup>	62.2 ± 1.72 <sup>b*</sup>
F4 (36.5/8.5/10)	2.27 ± 0.09 <sup>d*</sup>	13.96 ± 1.35 <sup>ab*</sup>	1.93 ± 0.17 <sup>f*</sup>	44.0 ± 5.05 <sup>cd*</sup>
F5 (25/20/10)	5.62 ± 0.29 <sup>a*</sup>	5.13 ± 0.06 <sup>c*</sup>	20.94 ± 4.13 <sup>a*</sup>	81.4 ± 3.29 <sup>a*</sup>
F6 (34.3/13.4/7.3)	3.93 ± 0.04 <sup>b*</sup>	11.77 ± 1.64 <sup>ab*</sup>	13.21 ± 1.54 <sup>b*</sup>	51.2 ± 1.77 <sup>bcd*</sup>
F7 (34.3/13.4/7.3)	3.84 ± 0.07 <sup>b*</sup>	10.65 ± 2.37 <sup>ab*</sup>	13.14 ± 1.98 <sup>bc*</sup>	54.7 ± 6.73 <sup>bc*</sup>
F8 (34.3/13.4/7.3)	3.79 ± 0.09 <sup>b*</sup>	12.66 ± 1.91 <sup>ab*</sup>	13.29 ± 2.58 <sup>b*</sup>	51.1 ± 3.29 <sup>bcd*</sup>
Control (40/4/10)	1.16 ± 0.00	27.50 ± 2.12	6.18 ± 0.70	28.60 ± 6.73

The values in parentheses correspond to the concentrations of açai preparation, faba bean protein concentrate and coconut oil, respectively. Mean ± SD, (n=3).

Different letters in the same column indicate a significant difference between the formulations,  $p \leq 0.05$ ), using the Tukey test. In the same column, (\*) indicates a significant difference with respect to the control, using the Dunnett test ( $p \leq 0.05$ ). \*\*60 g of ice cream is one scoop.



**Figure 5.** Contour plot of the effects of overrun (a), melting (b), protein content (c), and hardness (d) on ice cream. AP: açai preparation; FBPC: faba bean protein concentrate; CO: coconut oil.

In this study, the protein content in 60 g of ice cream (which is equivalent to a scoop, conventionally accepted as a standard portion of ice cream) (BRASIL, 2020) varied between  $2.27 \text{ g} \pm 0.09$  and  $5.65 \text{ g} \pm 0.29$ . Formulations 3 and 5 with the highest protein content had  $5.50 \pm 0.02$  and  $5.65 \pm 0.29$ , respectively, with no significant difference ( $p > 0.05$ ). According to FDA regulations (2023), formulations 3 and 5 could be considered as “Good source of protein” or in Brazilian Legislation (2020) to be considered as a “Source of protein”. The mixture planning formulations presented higher protein contents compared to the control formulation ( $p \leq 0.05$ ), whose protein content is equivalent to commercial dairy ice cream (with around 1.5 g protein/60 g ice cream, information taken from the nutrition label of Kibon<sup>®</sup> ice cream brand)

The use of protein concentrates and isolates (animal and vegetable origin) in food products is an efficient way to promote protein enrichment, improving nutritional properties (SARAIVA *et al.*, 2020). Soft ice creams were enriched with whey protein concentrate and isolate (DAW e HARTEL, 2015). Saraiva and collaborators (2020) used protein-rich brewing waste to increase the protein content of chocolate ice cream. Different types of plant proteins were added to ice creams, such as soy protein (GUO *et al.*, 2018), pea protein (GULER-AKIN, AVKAN, AKIN, 2021; NARALA *et al.*, 2022) and other pulses (SIVASANKARI *et al.*, 2019). Therefore, faba bean protein concentrate

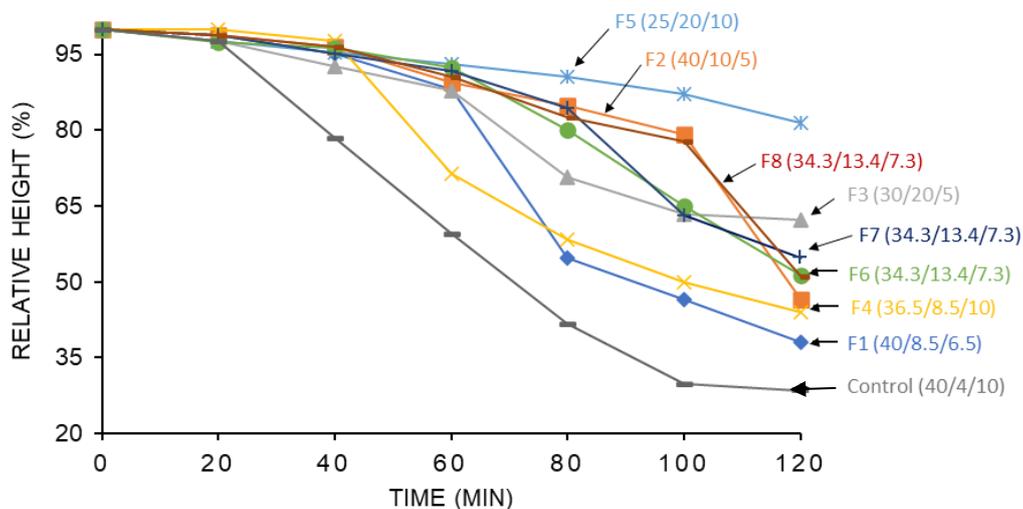
can be an alternative protein for plant-based ice creams, but, like other proteins, high concentrations can negatively influence the technological aspects.

The mathematical model for overrun presented an  $R^2 \text{ adj} = 0.6985$ , considered low, but it was significant ( $p \leq 0.05$ ), meaning the model was considered reasonable to explain the results. The overrun of the formulations varied between 4.20% and 14.55% ( $p \leq 0.05$ ), while the control formulation had 27.5% (Table 3). In general the overrun was low, i.e., there was little incorporation of air during the beating/freezing. Guler-akin, Avkan, Akin (2021) also observed a low overrun, around 16% in ice cream with addition of pea protein.

Formulation 1 (40% AP/8.5% FBPC/6.5% CO) presented the highest overrun ( $14.55\% \pm 0.83$ ), while F3 had the lowest value (30% AP/20% FBPC/5% oil of coconut) it was  $4.20\% \pm 0.86$  and for F5 (25% AP/20% FBPC/10% CO) was  $5.13 \pm 0.06$ . The increase in protein concentrate contributed to reduce the air incorporation. Roy *et al.* (2022) observed a similar behavior in ice cream made with whey protein isolate. Therefore, it is clear that there is little air incorporation in the ice cream formulation with high protein concentration, regardless of whether the protein used is vegetable or animal. High concentration of protein increase the viscosity of the ice cream mixture, resulting in low overrun. Low overrun means that little amount of air was incorporated into the ice cream, that results in a denser ice cream (GOFF e HARTEL, 2013).

The melting behaviour was evaluated by determining the reduction in the relative height of the ice cream samples (Table 3 and Figure 6), during two hours. The formulations with the lowest protein content and the highest amount of açai preparation (F1 and F4) showed a faster melting over time, unlike F5, which remained more stable. Kaleda *et al.* (2018) observed, after 90 minutes of testing, the difference between the control ice cream (without the antifreeze proteins), which presented only 47% of its initial height, and the formulation with antifreeze proteins maintained 72% of the initial height, i.e., the addition of protein impacted in the melting rate, decreasing it. According to Roy *et al.* (2022) and Muse e Hartel (2004), the melting rate of ice cream is extremely important for the quality of the final product, and several factors can influence it, such as the ingredients and concentrations used in the formulation.

In Figure 6 it is possible to observe the melting behavior (relative height x time), and in Figure 7 it is shown the photographs of the ice cream along 120 minutes of the melting test.



**Figure 6.** Relative height measured during the melting of ice cream. The concentrations of the ingredients are in parentheses in the following order: FBPC/AP/CO.



**Figure 7.** Photos of different ice cream formulations during the melting test over 120 minutes.

The formulation F3 and F5 with the highest percentage of FBPC (20%) presented the lowest melting rates, being  $0.38\% \text{ min}^{-1}$  and  $0.17\% \text{ min}^{-1}$ , respectively ( $p \leq 0.05$ ). The high protein content resulted in formulation more stable; it decreases the meltdown and, as a consequence resulted in the highest percentages of final relative height (F3 ~62% and F5 ~80%), thus helped maintaining the shape retention. The formulations with 8.5% and 10% of FBPC had a more pronounced melting rate, F1 =  $0.71\% \text{ min}^{-1}$ , F2 =  $0.62\% \text{ min}^{-1}$  and F4 =  $0.67\% \text{ min}^{-1}$ , and the central point formulations (F6, F7 and F8), with intermediate concentrations, showed intermediate melting rates ranging from 0.50 and  $0.57\% \text{ min}^{-1}$ .

The high protein content resulted in low melting rates due to the formation of a strong and stable protein network, which stabilizes the structure of the ice cream. The protein has the ability to absorb water molecules, forming a three-dimensional network that surrounds the fat, and stabilizes the air bubbles in the ice cream (CHEN *et al.*, 2019; NARALA *et al.*, 2022). Other studies reported the resistance to melting of ice creams as the protein content increased, e.g. Guler-akin, Avkan, Akin (2021) reported that ice cream formulations with 9% of pea protein isolate remained stable until to 105 minutes of test.

Narala *et al.* (2022) found that ice cream with 5% of pea protein isolate was observed the onset of melting only after 40 minutes.

The control formulation (40% AP/ 4% FBPC/10% CO) presented  $28.6\% \pm 6.73$  final relative height (Table 3), being the lowest and the melting rate was  $0.69\% \text{ min}^{-1}$ , higher than the other formulations, except in relation to F1, which was  $0.71\% \text{ min}^{-1}$ . Daw e Hartel (2015) reported higher melting rates in dairy-based ice creams with 4 to 10% protein content. The concentration and type of protein influence in the destabilization of fat and in the rate of melting. Therefore, the use of plant protein concentrate can result in a formulation with greater resistance to melting, with slow and adequate melting rate. The results suggest that the FBPC concentration should not exceed 8.5%.

The instrumental hardness values of the ice cream formulations ranged from 1.93 to 20.94 N. Formulation F1 ( $5.21 \pm 1.08$ ) and F2 ( $7.57 \pm 1.38$ ) did not differ from the control ( $6.18 \pm 0.70$ ), but there were differences between the other formulations ( $p \leq 0.05$ ). The ice creams with 13.4% (F6, F7 and F8) and 20% (F3 and F5) of FBPC presented the highest hardness ranging between  $13.21 \pm 1.54$  and  $20.94 \pm 4.13$  N, while those with 8.5% (F1 and F4) and 10% (F2) of FBPC had the lowest hardness (ranged from  $1.93 \pm 0.17$  to  $7.57 \pm 1.38$  N). The contour graph (Figure 5d) showed the influence of the three components (açai preparation, faba bean protein concentrate and coconut oil) on the hardness. Regarding the adjustment of this parameter, the three components showed a linear effect on hardness. There were also a quadratic interaction effects between AP vs. FBPC, AP vs. CO and FBPC vs. CO, the model presented  $R^2 \text{ adj}$  of 0.9998. Coconut oil had the greatest influence in reducing the hardness. The fat content in ice cream contributes to a smooth texture, lubricate the palate, improves the flavor and reduces the sensation of cold in the mouth, which are all important properties to please the consumer (AZARI-ANPAR *et al.*, 2017).

### 3.3 Optimization of Ice Cream Formulation

The desirability function was the tool used to optimize the ice cream formulation it was focused on the overrun maximization and to minimize the melting rate and the hardness. The protein content was minimized, since higher levels of protein harmed the rheology and technological properties. The minimum concentration of protein evaluated in this study could be consider appropriate in nutrition terms, being higher than commercial dairy ice creams. However, according to Brazilian legislation, it cannot have the claim of "source of protein".

Thus, the desirability function resulted in a formulation with 40% of açai preparation, 8.5% of faba bean protein concentrate and 6.5% of coconut oil, with a desirability index of 0.89. According to Joyce (1984) a desirability function ranging from 0.8 to 1.0 is considered excellent. The sum of these three components represents 55% of the formulation which, added to the other ingredients (water 44%, stabilizer 0.5% and emulsifier 0.5%), totalizes 100% of the ice cream formulation.

## 4 CONCLUSIONS

The results of this research provided valuable information about the complex relationship between the composition of ice cream formulations, rheological properties and physical characteristics. The protein content of the faba bean played a crucial role in the rheological properties and technological properties of the ice cream. The formulations showed thixotropic and non-Newtonian pseudoplastic behavior ( $n < 1$ ), common in ice cream mixture. Most of the shear rate vs shear stress curves of the formulations fitted better to the modified Sisko and Casso model. The increase in protein caused a significant

enhance in shear stress, increasing approximately 20 times. Formulations with more than 10% FBPC, especially F5 with 20% FBPC, showed peaks in the ascending curves, making it difficult to model these curves.

Therefore, moderate levels of faba bean protein (around 10%) contributed to improving the nutritional properties of ice cream, without compromising the aforementioned properties.

Furthermore, the overrun directly influenced the texture and stability of the ice cream. This study showed that the increase in protein concentrate reduced the incorporation of air, due to the greater viscosity of the mixture, resulting in less overrun and, consequently, in a denser ice cream.

Formulations with higher concentration of açai preparation and coconut oil decreased the melting resistance, while faba bean protein concentrate increased the instrumental hardness and increased the melting resistance and shape retention.

Finally, the desirability function highlighted the importance of balancing various ice cream characteristics, such as overrun, hardness, and melting rate, to create an ideal formulation that might potentially meet both sensory acceptance and nutritional requirements. Based on these results, the ideal formulation would have 40% of açai preparation, 8.5% of faba bean protein concentrate and 6.5% of coconut oil. Preliminary tests have demonstrated the potential to achieve adequate sensory characteristic. However, further studies are required to investigate sensory characteristics and consumer acceptance of the ice cream formulation.

The results contributed to the development of a tropical superfruit (açai) ice cream with a new alternative protein, with appropriate technological characteristics that meets consumer demands for a healthy and sustainable product.

#### **CREDIT AUTHORSHIP CONTRIBUTION STATEMENT**

**Nátali Silva Teixeira:** Conceptualization, Methodology, Investigation, Statistical data analyses, Writing – original draft. **Davy William Hidalgo Chávez:** Statistical data analyses, Correction. **Ana Carolina Sampaio Doria Chaves:** Conceptualization, Correction, Project administration, Supervision. **Rosires Deliza:** Conceptualization, Correction, Project administration, Supervision. **Amauri Rosenthal:** Conceptualization, Correction, Project administration, Supervision.

#### **DECLARATION OF COMPETING INTEREST**

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

#### **ACKNOWLEDGMENTS**

We thank the Coordination for the Improvement of Higher Education Personnel – Brazil (CAPES) by the doctoral scholarship granted to Nátali Silva Teixeira.

We acknowledge the financial support of CNPq and the technical support of Embrapa Food Technology.

## REFERENCES

- ABOULFAZLI, F.; BABA, A. S.; MISRAN, M. Effect of vegetable milks on the physical and rheological properties of ice cream. **Food Science and Technology Research**, v. 20, p. 987-996, 2014. Retrieved from: <<https://doi.org/10.3136/fstr.20.987>>.
- AOAC. Official Methods of Analysis. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemist, 2010.
- AZARI-ANPAR, M.; KHOMEIRI, M.; GHAFOURI-OSKUEI, H.; AGHAJANI, N. Response surface optimization of low-fat ice cream production by using resistant starch and maltodextrin as a fat replacing agent. **Journal of Food Science and Technology**, v. 54, p. 1175-1183, 2017. Retrieved from: <https://doi.org/10.1007/s13197-017-2492-0>.
- BALTHAZAR, C. F.; SILVA, H. L. A.; CAVALCANTI, R. N.; ESMERINO, E. A.; CAPPATO, L. P.; ABUD, Y. K. D.; MORAES, J.; ANDRADE, M. M.; FREITAS, M. Q.; SANT'ANNA, C.; RAICES, R. S. L.; SILVA, M. C.; CRUZ, A. G. Prebiotics addition in sheep milk ice cream: A rheological, microstructural and sensory study. **Journal of Functional Foods**, v. 35, p. 564-573, 2017. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.06.004>>.
- BEKIROGLU, H.; GOKTAS, H.; KARAIBRAHIM, D.; BOZKURT, F.; SAGDIC, O. Determination of rheological, melting and sensorial properties and volatile compounds of plant-based ice cream produced with fresh and dried walnut milk. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 28, Article 100521, 2022. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100521>>.
- BEZERRA, M. A.; SANTELLI, R. E.; OLIVEIRA, E. P.; VILLAR, L. S.; ESCALEIRA, L. A. Response surface methodology (RSM) as a tool for optimization in analytical chemistry. **Talanta**, v. 76, p. 965-977, 2008. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.talanta.2008.05.019>>.
- BIASUTTI, M.; VENIR, E.; MARINO, M.; MAIFRENI, M. INNOCENTE, N. Effects of high-pressure homogenization of ice cream mix on the physical and structural properties of ice cream. **International Dairy Journal**, v. 32, n. 1, p. 40-45, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.03.007>>.
- BOYE, J.; ZARE, F.; PLETCH, A. Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. **Food Research International**, v. 43, p. 414-431, 2010. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.003>>.
- BRASIL. (2020). Ministry of Health/National Health Surveillance Agency. Normative Instruction No. 75, October 8, 2020. Establishes the technical requirements for declaring nutritional labeling on packaged foods. Official Gazette [of] the Union, October 9th. 2019. Section 1, p. 113.
- CHEN, M. ; LU, J. ; LIU, F. ; NSOR-ATINDANA, J. ; XU, F.; GOFF, H. D.; MA, J.; ZHONG, F. Study on the emulsifying stability and interfacial adsorption of pea proteins. **Food Hydrocolloids**, v. 88, p. 247-255, 2019. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.003>>.

CORNELL, J. A. (2002). **Experiments with Mixtures: Designs, Models, and the Analysis of Mixture Data** (3th ed.). John Wiley & Sons, Inc., New York.

DANESH, E.; GOUDARZI, M.; JOOYANDEH, H. Short communication: Effect of whey protein addition and transglutaminase treatment on the physical and sensory properties of reduced-fat ice cream. **Journal of Dairy Science**, v. 100, n. 7, p. 5206-5211, 2017. Retrieved from: <10.3168/jds.2016-12537>.

DAW, E.; HARTEL, R. W. Fat destabilization and melt-down of ice creams with increased protein content. **International Dairy Journal**, v. 43, p. 33–41, 2015. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2014.12.001>>.

DERBYSHIRE, E. J. Flexitarian Diets and Health: A Review of the Evidence-Based Literature. **Frontiers in Nutrition**, v. 3, p. 1-8, 2017. Retrieved from: <<https://doi.org/10.3389/fnut.2016.00055>>.

DERRINGER, G.; SUICH, R. Simultaneous Optimization of Several Response Variables. **Journal of Quality Technology**, v. 12, p. 214-219, 1980. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1080/00224065.1980.11980968>>.

DICKINSON, E. (2003). **Interfacial, Emulsifying and Foaming Properties of Milk Proteins**. In: Fox, P.F., McSweeney, P.L.H. (eds) *Advanced Dairy Chemistry—1 Proteins*. Springer, Boston, MA. Retrieved from: <[https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8602-3\\_33](https://doi.org/10.1007/978-1-4419-8602-3_33)>.

FDA (2023). Food and Drug Administration. Specific Requirements for Nutrient Content Claims. Retrieved from <https://www.accessdata.fda.gov/scripts/cdrh/cfdocs/cfcfr/CFRSearch.cfm?CFRPart=101&showFR=1&subpartNode=21:2.0.1.1.2.4>. Accessed May 20, 2023.

FORTUNE BUSINESS INSIGHTS (2022). The global ice cream market is projected to grow from \$73.61 billion in 2022 to \$104.96 billion by 2029, at a CAGR of 5.20% in forecast period, 2022-2029. Retrieved from <https://www.fortunebusinessinsights.com/ice-cream-market-104847>. Accessed May 10, 2023.

GOFF, H. D.; HARTEL, R. W. **Ice Cream**. 7<sup>a</sup> edição. New York: Springer Science & Business Media, pp. 477, 2013.

GRANATO, D.; SANTOS, J. S.; SALEM, R. D.; MORTAZAVIAN, A. M.; ROCHA, R. S.; CRUZ, A. G. Effects of herbal extracts on quality traits of yogurts, cheeses, fermented milks, and ice creams: a technological perspective. **Current Opinion in Food Science**, v. 19, p. 1-7, 2018. Retrieved from: <https://doi.org/10.1016/j.cofs.2017.11.013>

GREMSKI, L. A.; COELHO, A. L. K.; SANTOS, J. S.; DAGUER, H.; MOLOGNONI, L.; DO PRADO-SILVA, L.; SANT'ANA, A. S.; DA SILVA ROCHA, R.; DA SILVA, M. C.; CRUZ, A. G.; AZEVEDO, L.; DO CARMO, M. A. V.; WEN, M.; ZHANG, L.; GRANATO, D. Antioxidants-rich ice cream containing herbal extracts and fructooligosaccharides: Manufacture, functional and sensory properties. **Food Chemistry**, v. 298, Article 125098, 2019. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2019.125098>>.

GULER-AKIN, M. B.; AVKAN, F.; AKIN, M. S. A novel functional reduced fat ice cream produced with pea protein isolate instead of milk powder. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 45, p. 1-11, 2021. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1111/jfpp.15901>>

GUO, Y.; ZHANG, X.; HAO, W.; XIE, Y.; CHEN, L.; LI, Z.; ZHU, B.; FENG, X. Nano-bacterial cellulose/soy protein isolate complex gel as fat substitutes in ice cream model. **Carbohydrate Polymers**, v. 198, p. 620-630, 2018. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2018.06.078>>.

HERTZLER, S. R. ; LIEBLEIN-BOFF, J. C. ; WEILER, M.; ALLGEIER, C. Plant proteins: Assessing their nutritional quality and effects on health and physical function. **Nutrients**, v. 12, p. 1-27, 2020. Retrieved from: <<https://doi.org/10.3390/nu12123704>>.

HOSSAIN, M. K. ; PETROV, M. ; HENSEL, O. ; DIAKITE, M. Microstructure and physicochemical properties of light ice cream: Effects of extruded microparticulated whey proteins and process design. **Foods**, v. 10, p. 1433, 2021. Retrieved from: <<https://doi.org/10.3390/foods10061433>>.

INTERNATIONAL DAIRY FOODS ASSOCIATION. (2022). What's hot in ice cream. New product trends. Retrieved from: <<https://www.idfa.org/news-views/media-kits/ice-cream/whats-hot-in-ice-cream>>. Accessed May 10, 2023.

JARDINES, A. P.; ARJONA-ROMÁN, J. L.; SEVERIANO-PÉREZ, P.; TOTOSAUS-SÁNCHEZ, A.; FISZMAN, S.; ESCALONA-BUENDÍA, H. B. Agave fructans as fat and sugar replacers in ice cream: Sensory, thermal and texture properties. **Food Hydrocolloids**, v. 108, p. 106032, 2020. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106032>>.

JOYCE, R. M. Experiment optimization in chemistry and chemical engineering, S. Akhnazarova and V. Kafarov, Mir Publishers, Moscow and Chicago, 1982, 312 pp. Price: \$9.95. **Journal of Polymer Science. Polymer Letters Edition**, v. 22, p. 372, 1984. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1002/pol.1984.130220614>>.

KALEDA, A.; TSANEV, R.; KLESMENT, T.; VILU, R.; LAOS, K. Ice cream structure modification by ice-binding proteins. **Food Chemistry**, v. 246, p. 164-171, 2018. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.152>>.

KURT, A.; CENGIZ, A.; KAHYAOGU, T. The effect of gum tragacanth on the rheological properties of salep based ice cream mix. **Carbohydrate Polymers**, v. 143, p. 116-123, 2016. Retrieved from: <[10.1016/j.carbpol.2016.02.018](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.02.018)>.

KURT, A.; ATALAR, I. Effects of quince seed on the rheological, structural and sensory characteristics of ice cream. **Food Hydrocolloids**, v. 82, p. 186-195, 2018. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.011>>.

MARIOTTI, F. ; TOME, D. ; MIRAND, P. P. Converting nitrogen into protein - Beyond 6.25 and Jones' factors. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 48, p. 177-184, 2008. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1080/10408390701279749>>.

MOSTAFAVI, F. S.; TEHRANI, M. M.; MOHEBBI, M. Rheological and sensory properties of fat reduced vanilla ice creams containing milk protein concentrate (MPC).

**Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, p. 567-575, 2017. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1007/s11694-016-9424-y>>.

MULTARI, S.; STEWART, D.; RUSSELL, W. R. Potential of Fava Bean as Future Protein Supply to Partially Replace Meat Intake in the Human Diet. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, p. 511-522, 2015. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12146>>.

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. Retrieved from: <[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(04\)73135-5](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(04)73135-5)>.

NARALA, V. R.; ORLOVS, I.; JUGBARDE, M.A.; MASIN, M. Inulin as a fat replacer in pea protein vegan ice cream and its influence on textural properties and sensory attributes. **Applied Food Research**, v. 2, n. 1, p. 100066, 2022. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100066>>.

NOGUEROL, A. T.; PAGÁN, M. J.; GARCÍA-SEGOVIA, P.; VARELA, P. Green or clean? Perception of clean label plant-based products by omnivorous, vegan, vegetarian and flexitarian consumers. **Food Research International**, v. 149, Article 110652, 2021. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2021.110652>>

ÖZTÜRK, H. İ.; DEMIRCI, T.; AKIN, N. Production of functional probiotic ice creams with white and dark blue fruits of *Myrtus communis*: The comparison of the prebiotic potentials on *Lactobacillus casei* 431 and functional characteristics. **LWT**, v. 90, p. 339-345, 2018. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.049>>.

RAMASWAMY, H. S.; GUNDURAO, A. Effect of soluble solids and high pressure treatment on rheological properties of protein enriched mango puree. **Foods**, v. 8, p. 1-13, 2019. Retrieved from: <https://doi.org/10.3390/foods8010039>

R CORE TEAM. (2021). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

RÉVILLION, J. P. P.; KAPP, C.; BADEJO, M. S.; DIAS, V. V. O mercado de alimentos vegetarianos e veganos: características e perspectivas. *Cadernos de Ciência & Tecnologia*, 37, Article e26603, 2020. Retrieved from: <<https://doi.org/10.35977/0104-1096.cct2020.v37.26603>>.

RORIZ, C. L.; BARREIRA, J. C. M.; MORALES, P.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R. *Gomphrena globosa* L. as a novel source of food-grade betacyanins: Incorporation in ice-cream and comparison with beet-root extracts and commercial betalains. **Lwt**, v. 92, p. 101-107, 2018. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.009>>.

ROY, S.; HUSSAIN, S. A.; PRASAD, W. G.; KHETRA, Y. Effect of emulsifier blend on quality attributes and storage of high protein buffalo milk ice cream. **Lwt**, v. 150, Article 111903, 2021. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.111903>>

ROY, S.; HUSSAIN, S.A.; WRITDHAMA, G. P.; KHETRA, Y. Quality attributes of high protein ice cream prepared by incorporation of whey protein isolate. **Applied Food Research**, v. 2, n. 1, p. 100029, 2022. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.afres.2021.100029>>.

SARAIVA, B. R.; DA SILVA, L. H. M.; ANJO, F. A.; VITAL, A. C. P.; DA SILVA, J. B.; BRUSCHI, M. L.; MATUMOTO PINTRO, P. T. Technological and sensorial properties of liquid nitrogen ice cream enriched with protein from brewing waste (trub). **International Journal of Food Science and Technology**, v. 55, p. 1962-1970, 2020. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1111/ijfs.14484>>.

SAREMNEZHAD, S.; ZARGARCHI, S.; KALANTARI, Z. N. Calcium fortification of prebiotic ice-cream. **Lwt**, v. 120, Article 108890, 2020. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2019.108890>>.

SERT, D.; MERCAN, E.; KILINÇ, M. Development of buffalo milk ice-cream by high pressure-homogenization of mix: Physicochemical, textural and microstructural characterization. **Lwt**, v. 150, 2021. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112013>>.

SHARAN, S.; ZANGHELINI, G.; ZOTZEL, J.; BONERZ, D.; ASCHOFF, J.; SAIN-EVE, A.; MAILLARD, M. Fava bean (*Vicia faba* L.) for food applications: From seed to ingredient processing and its effect on functional properties, antinutritional factors, flavor, and color. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 1, p. 401–428, 2021. Retrieved from: <[10.1111/1541-4337.12687](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12687)>.

SILVEIRA, J. T.; DA ROSA, A. P. C.; DA MORAIS, M. G.; DE VICTORIA, F. N.; COSTA, J. A. V. An integrative review of Açaí (*Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria*): Traditional uses, phytochemical composition, market trends, and emerging applications. **Food Research International**, v. 173, p. 113304, 2023. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113304>>.

SIM, S. Y. J.; HUA, X. Y.; HENRY, C. J. A novel approach to structure plant-based yogurts using high pressure processing. **Foods**, v. 9, Article 1126, 2020. Retrieved from: <<https://doi.org/10.3390/foods9081126>>.

SIPPLE, L. R.; RACETTE, C. M.; SCHIANO, A. N.; DRAKE, M. A. Consumer perception of ice cream and frozen desserts in the “better-for-you” category. **Journal of Dairy Science**, v. 105, p. 154–169, 2022. Retrieved from: <<https://doi.org/10.3168/jds.2021-21029>>.

SIVASANKARI, R.; HEMALATHA, G.; AMUTHA, S.; MURUGAN, M.; VANNIARAJAN, C.; UMAMAHESWARI, T. Physical and Sensory Properties of Ice Cream as Influenced by Pulse Protein Concentrates. **European Journal of Nutrition & Food Safety**, v. 9, 322-328, 2019. Retrieved from: <<https://doi.org/10.9734/ejnfs/2019/v9i430079>>.

TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N.; MEIRELLES, A. J. A.; PESSÔA FILHO, P. A. (2016). **Operações unitárias na indústria de alimentos** (1st ed.). LTC (Chapter 3).

TEIXEIRA, N. S.; ALCANTARA, M.; DE MARTINS, I. B. A.; CHÁVEZ, D. W. H.; ROSENTHAL, A.; CHAVES, A. C. S. D.; DELIZA, R. Attitudes and conceptions of Brazilian consumers toward ice cream and protein addition. **Food Quality and Preference**, v. 108, Article 104881, 2023. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2023.104881>>.

TOEWS, R.; WANG, N. Physicochemical and functional properties of protein

concentrates from pulses. **Food Research International**, v. 52, p. 445-451. 2013. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.12.009>>.

VELOTTO, S.; PARAFATI, L.; ARIANO, A.; PALMERI, R.; PESCE, F.; PLANETA, D.; ALFEO, V.; TODARO, A. Use of stevia and chia seeds for the formulation of traditional and vegan artisanal ice cream. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 26, Article 100441, 2021. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2021.100441>>.

VOGELSANG-O'DWYER, M.; PETERSEN, I. L.; JOEHNKE, M. S.; SORENSEN J. C.; BEZ, J.; DETZEL, A.; BUSCH, M.; KRUEGER, M.; O'MAHONY, J. A.; ARENDT, E. K.; ZANNINI, E. Comparison of Faba Bean Protein Ingredients Environmental Performance. **Foods**, v. 9, p. 322, 2020. Retrieved from: <[10.3390/foods9030322](https://doi.org/10.3390/foods9030322)>.

WARSAME, A. O.; O'SULLIVAN, D. M.; TOSI, P. Seed Storage Proteins of Faba Bean (*Vicia faba* L): Current Status and Prospects for Genetic Improvement. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 48, p. 12617–12626, 2018. Retrieved from: <[10.1021/acs.jafc.8b04992](https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b04992)>.

WU, M.; SUN, Y.; BI, C.; JI, F.; LI, B.; XING, J. Effects of extrusion conditions on the physicochemical properties of soy protein/gluten composite. v. 11, n. 4, p. 230–237, 2018. Disponível em: <[10.25165/j.ijabe.20181104.4162](https://doi.org/10.25165/j.ijabe.20181104.4162)>.

## **CAPÍTULO III**

---

### **AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA HOMOGENEIZAÇÃO A ALTA PRESSÃO EM SORVETE *PLANT-BASED* DE AÇAÍ E FARINHA DE CASCA DE JABUTICABA COM PROTEÍNA DE FEIJÃO-FAVA**

# AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA HOMOGENEIZAÇÃO A ALTA PRESSÃO EM SORVETE *PLANT-BASED* DE AÇAÍ E FARINHA DE CASCA DE JABUTICABA COM PROTEÍNA DE FEIJÃO-FAVA

Nátali Silva Teixeira<sup>a\*</sup>, Davy William Hidalgo Chávez<sup>b</sup>, Ana Carolina Sampaio Doria Chaves<sup>c</sup>, Rosires Deliza<sup>c</sup>, Amauri Rosenthal<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Rodovia BR 456, km 7, Seropédica, RJ, Brasil

<sup>b</sup>PDJ-FAPERJ /Embrapa Agroindústria de Alimentos, Av. das Américas, 29501, CEP 23.020-470 Rio de Janeiro/RJ, Brasil

<sup>c</sup>Embrapa Agroindústria de Alimentos, Av. das Américas, 29501, CEP 23.020-470 Rio de Janeiro/RJ, Brasil

## RESUMO

Este estudo investigou os impactos da homogeneização a alta pressão como uma possível solução para o melhoramento da estrutura e consequentemente das propriedades físicas do sorvete à base de proteína vegetal. As características físico-químicas da formulação otimizada também foi avaliada. A calda do sorvete foi submetida a cinco diferentes tratamentos na etapa de mistura/homogeneização, em uma porção foi utilizado um liquidificador industrial (LI) e nas outras quatro porções um homogeneizador de alta pressão modelo industrial em diferentes níveis de pressões. Os níveis de pressão do delineamento foram 0, 15 45 e 90 MPa. A formulação final apresentou um teor proteico aumentado, contendo quantidade relevante dos aminoácidos essenciais, incluindo leucina e lisina, e menor quantidade de gordura em relação aos sorvetes veganos comercializados no mercado. A homogeneização a alta pressão alterou significativamente o tamanho de partículas e as propriedades reológicas da calda resultou em um *overrun* menor e uma maior resistência ao derretimento e firmeza do sorvete, evidenciando desta forma impacto da homogeneização a alta pressão nas propriedades tecnológicas do sorvete.

**Palavras-chave:** proteína alternativa, tecnologias emergentes, HAP, derretimento, tamanho de partículas

## 1 INTRODUÇÃO

O sorvete é um produto com uma matriz complexa composta por bolhas de ar dispersas, glóbulos de gordura, cristais de gelo, proteínas, açúcares dissolvidos, emulsificantes e saborizantes, que podem ser naturais ou artificiais (GOFF e HARTEL, 2013). A composição e processamento influenciam na formação da estrutura do sorvete e, consequentemente, nas suas propriedades físicas, como o derretimento, *overrun*, dureza e reológicas, entre outras (SERT, MERCAN, KILINÇ, 2021).

Devido à crescente demanda por produtos *plant-based*, a indústria alimentícia e grupos de pesquisas vêm buscando alternativas de novos ingredientes que possam atender aos consumidores de tais produtos. Há uma previsão que, até 2025, esse mercado possa atingir mundialmente US\$ 1,2 bilhão (BULLOCK, LAHNE, POPE, 2020) e, para fornecer matéria-prima para esses produtos é necessário que sejam exploradas diferentes proteínas vegetais e que as aplicações sejam pesquisadas. A substituição de proteínas lácteas por de origem vegetal é um desafio, em razão das propriedades tecnológicas e

sensoriais específicas da proteína animal, sendo necessários estudos que explorem as propriedades tecnológicas das proteínas vegetais em diferentes matrizes alimentícias.

Entre as proteínas vegetais recentemente estudadas, o feijão-fava (*Vicia faba* L.) se destaca pela capacidade de cultivo em uma ampla variedade de regiões (LABBA, FRØKIÆR, SANDBERG, 2021), devido a adaptação às diversas condições ambientais. É uma leguminosa promissora, como proteína alternativa para produtos alimentícios (MULTARI, STEWART, RUSSELL, 2015). O maior produtor mundial é a China (33%), seguido pela Etiópia (18%), Austrália (9%) e Reino Unido (14%) (WARSAME, O'SULLIVAN, TOSI, 2018). O grão de feijão-fava contém teor elevado de proteínas, variando de 26 a 39% (YANG *et al.*, 2018). Além do elevado teor de proteínas, essa leguminosa contém fibras, amido, vitaminas e minerais, que conferem valor nutritivo aos ingredientes e produtos derivados (WARSAME, O'SULLIVAN, TOSI, 2018).

A proteína de feijão-fava apresenta propriedades semelhantes às proteínas da soja (MA *et al.*, 2022; LANGTON *et al.*, 2020; MULTARI, STEWART, RUSSELL, 2015). Uma vantagem relevante da proteína de feijão-fava em comparação com as de soja e de leite, é não ser alergênica (FAO/WHO, 2020). Nesse contexto, os ingredientes à base de proteína de feijão-fava, como farinhas, concentrados e isolados, podem apresentar grande potencial de aplicação na área de alimentos, sendo uma nova alternativa proteica para o mercado. Os ingredientes produzidos a partir de feijão-fava têm sido amplamente estudados na literatura (ALAVI, CHEN, EMAM-DJOMEH, 2021; GANGOLA *et al.*, 2022; MA *et al.*, 2022; KARACA, LOW, NICKERSON, 2011; LABBA, FRØKIÆR, SANDBERG, 2021; LANGTON *et al.*, 2020; RAHATE, MADHUMITA, PRABHAKAR, 2021; SHARAN *et al.*, 2021; VOGELSANG-O'DWYER *et al.*, 2020), mas, comercialmente, ainda foi pouco explorado. A Finlândia foi um dos primeiros países a incorporar a proteína de feijão-fava em produtos alimentícios, como em produtos análogos as carnes Hårkis® (BEANIT, 2023) e no sorvete à base de feijão-fava Härtelö® (AIM2FLOURISH, 2023).

A fim de agregar benefícios à saúde, tem sido incorporado frutas em novas formulações de sorvetes, uma vez que ele pode ser considerado um ótimo veículo de ingredientes de alto valor nutritivo (DE PAULA *et al.*, 2020; CRUXEN *et al.*, 2017; FERNANDINO *et al.*, 2021; SOUKOULIS, FISK, BOHN, 2014). O açaí (*Euterpe oleracea*), é uma fruta originária da Amazônia, cuja visibilidade tem crescido significativamente nos últimos anos devido ao seu reconhecimento como um "superalimento" ou "superfruta" (SILVEIRA *et al.*, 2023). O desenvolvimento de sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava é uma possibilidade de atender tanto a demanda por uma nova alternativa proteica como fornecer os benefícios conferidos pela fruta.

As tecnologias emergentes de processamento de alimentos apresentam potenciais alterações relevantes nas propriedades funcionais, nutricionais, atributos sensoriais e vida útil dos produtos (BOGHOSSIAN *et al.*, 2023; HURTADO *et al.*, 2019; OSORIO-ARIAS, VEGA-CASTRO, MARTINEZ-MONTEAGUDO, 2020; SOTELO-LARA *et al.*, 2023; TIMMERMANS *et al.*, 2022). A homogeneização por alta pressão (HAP) é um exemplo destas tecnologias que vem sendo estudada para várias aplicações na área de alimentos (AMADOR ESPEJO *et al.*, 2014; HAYES, FOX, KELLY, 2005; HAYES e KELLY, 2003; HEBISHY *et al.*, 2017; MESA *et al.*, 2020; RODARTE *et al.*, 2018; ZAMORA *et al.*, 2007, 2012). Durante o processo HAP ocorre a passagem rápida de um fluido por uma válvula de homogeneização por orifícios estreitos, a pressão usualmente pode atingir até 300 MPa, ocorrendo a combinação de três fenômenos: cisalhamento, cavitação e turbulência (MERCAN, SERT, AKIN, 2018; OSORIO-ARIAS, VEGA-CASTRO, MARTINEZ-MONTEAGUDO, 2020). Dessa forma, as partículas, células e

macromoléculas em suspensão no fluido podem sofrer com a elevada tensão mecânica, causando reduções e/ou deformações, gerando uma distribuição mais homogênea do tamanho das partículas (CAMPOS, DOSUALDO, CRISTIANINI, 2003). Com relação às proteínas, a HAP pode afetar a conformação tridimensional, levando à desnaturação e mudanças nas propriedades tecnológicas (LEVY, OKUN, SHPIGELMAN, 2020). A HAP pode produzir emulsões estáveis e, como consequência, possibilitar o desenvolvimento de novos produtos com textura modificada ou aprimorada (FERNÁNDEZ-ÁVILA, ESCRIBU e TRUJILLO, 2015; PATRIGNANI e LANCIOTTI, 2016).

A homogeneização convencional (HC) é comumente empregada no processamento de sorvetes, com pressões variando entre 6 e 20 MPa, dependendo do teor de gordura da formulação (BIASUTTI *et al.*, 2013; CORTÉS-MUNOZ, CHEVALIER-LUCIA, DUMAY, 2009; INNOCENTE *et al.*, 2009). Biasutti *et al.* (2013) observaram que aplicando HAP com pressão de 97 MPa no sorvete com 8% de gordura, ocorreu um menor *overrun* e aumento da firmeza e da resistência ao derretimento. Outros estudos utilizando HAP em sorvetes de leite de búfala (SERT, MERCAN, KILINÇ, 2021) e de ovelha (SERT e MERCAN, 2021), verificaram que o tamanho médio das partículas do sorvete tratado com HAP diminuiu em relação ao controle (sem HAP), a firmeza e a resistência ao derretimento aumentaram. A HAP influenciou na estrutura e nas propriedades físicas dos sorvetes.

Portanto, é relevante investigar como a homogeneização a alta pressão pode impactar na estrutura e, conseqüentemente, das propriedades físicas do sorvete à base de proteína vegetal. Ressalta-se que até o momento não foram encontrados estudos publicados que tenham avaliado o efeito da HAP em sorvetes com proteínas vegetais. Diante disso, o objetivo do estudo foi estudar o impacto da HAP nas propriedades físicas do sorvete com proteína de feijão-fava e açaí.

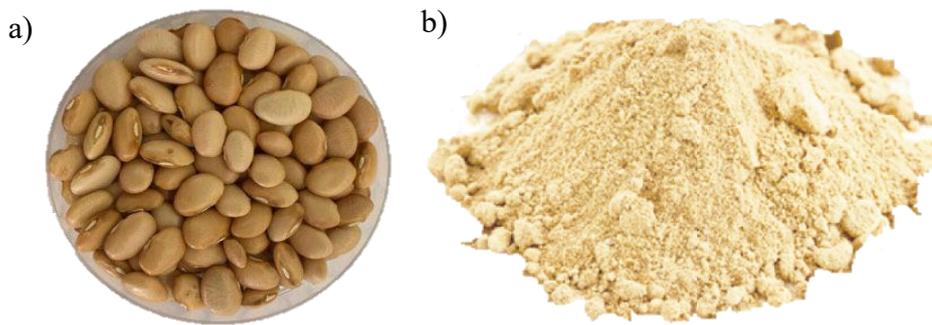
## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

O processamento e as análises dos sorvetes foram realizados nas Plantas Piloto Laboratórios da Embrapa Agroindústria de Alimentos, no Rio de Janeiro, Brasil.

### 2.1 Materiais

O concentrado proteico de feijão-fava comercial (Figura 1b) foi cedido pela empresa Ingredion® (São Paulo, Brasil), com 59,5% proteína, 13,4% fibras, 12,5% carboidratos, 5,7% cinzas, 5,2% umidade e 3,7% gordura. O óleo de coco sem sabor (Cupra®, Alagoas, Brasil), emulsificante (Emustab, Selecta®, Duas Rodas, Santa Catarina, Brasil), Super Liga Neutra (mistura de goma guar, carboximetilcelulose, goma tara, Selecta®, Duas Rodas, Santa Catarina, Brasil), foram comprados no comércio varejista na cidade do Rio de Janeiro (RJ, Brasil).

O preparado de açaí foi produzido a partir de 50% de polpa de açaí com 8% de sólidos totais (Palamaz®, Pará, Brasil), 31,25% de açúcar (Guarani®, São Paulo, Brasil), 6,25% de farinha da casca de jabuticaba (produzida na Embrapa Agroindústria de Alimentos), 12,36% de água filtrada e 0,14% de ácido cítrico (Arcolor®, São Paulo, Brasil). Os ingredientes foram misturados e submetidos ao aquecimento em uma panela de aço inox sob agitação, até atingir 51 °Brix, subsequentemente foi envasado em embalagem plástica e armazenado sob congelamento a -18 °C, até a utilização no preparo do sorvete. Éter de petróleo da marca Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, USA), Ácido sulfúrico concentrado p.a., Hidróxido de sódio, Ácido ortobórico, Ácido clorídrico, Ácido fórmico, Metanol e Acetonitrila.



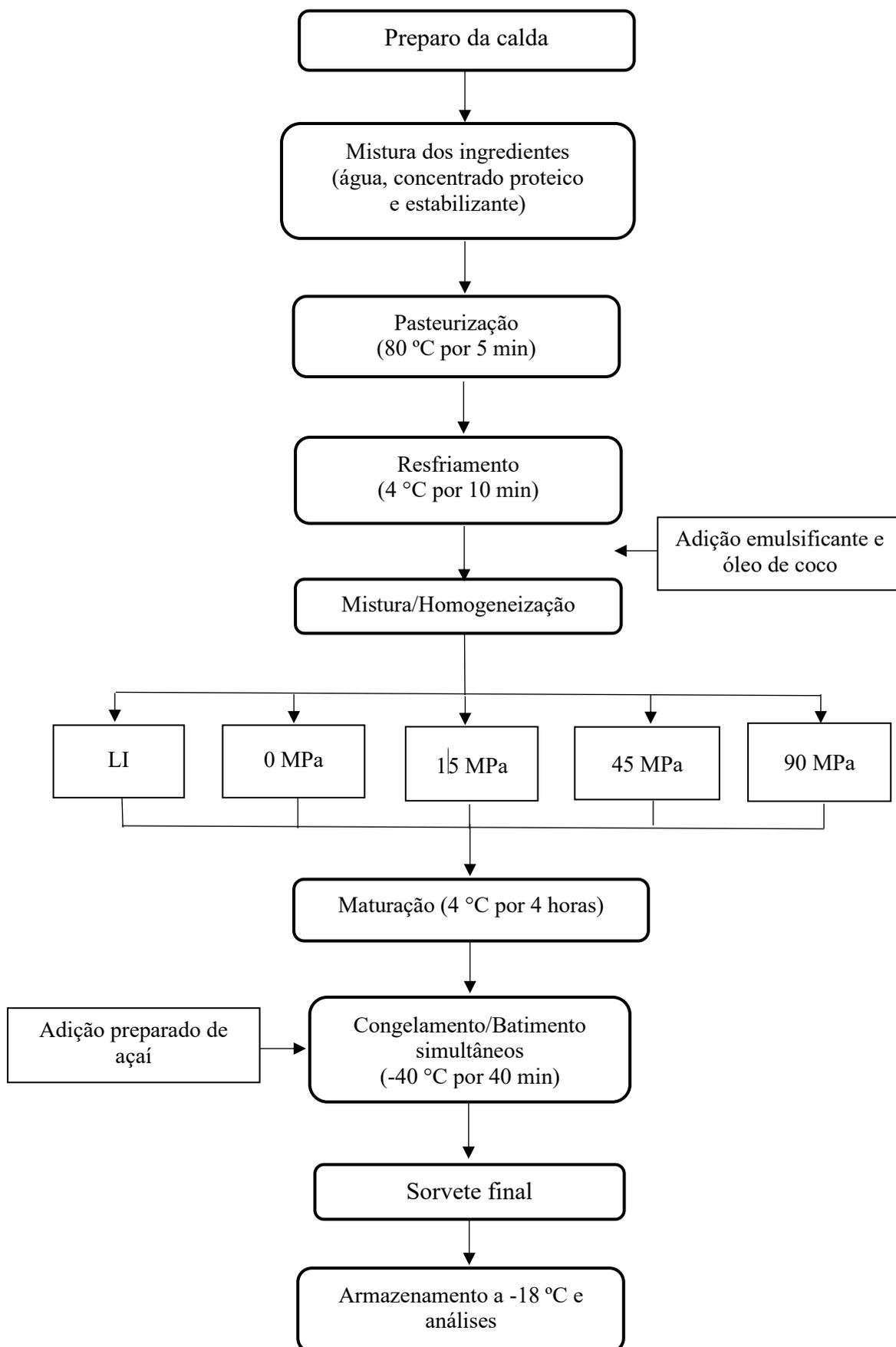
**Figura 1.** a) Grãos de feijão-fava; b) Concentrado proteico de feijão-fava.

## **2.2 Processamento do sorvete**

### **2.2.1 Preparação da calda do sorvete**

A formulação do sorvete foi otimizada anteriormente através de um planejamento de mistura com restrições (Capítulo II), o qual definiu as proporções: 40% preparado de açaí, 8,5% do concentrado proteico de feijão-fava, 6,5% óleo de coco, 44% água, 0,5% emulsificante e 0,5% estabilizante. A mistura do sorvete antes da etapa de congelamento/batimento é chamada de “calda”.

O processamento seguiu as etapas descritas na Figura 2. Inicialmente, o concentrado proteico foi misturado com água e estabilizante em um liquidificador industrial (Poli LB-25, Skymesen®, Santa Catarina, Brasil), durante 1 minuto. Posteriormente, foi realizado o tratamento térmico, sendo a mistura pasteurizada à 80 °C por 5 minutos com agitação contínua. Após a pasteurização, foram adicionados o emulsificante e o óleo de coco à calda, que em seguida foi resfriada por 10 minutos a 4 °C.



**Figura 2.** Fluxograma do processamento do sorvete. LI = Liquidificador industrial. 0, 15, 45 e 90 MPa = nível de pressão aplicado em cada amostra.

### **2.2.3 Homogeneização da calda do sorvete**

A calda foi fracionada em cinco porções iguais e cada porção foi submetida a diferentes tratamentos nesta etapa de mistura/homogeneização, uma porção foi tratada em liquidificador industrial (Poli LB-25, Skymesen, Santa Catarina, Brasil) e as outras quatro porções em diferentes níveis de pressões, utilizando um homogeneizador de alta pressão modelo industrial (APL-300, IBH Artepeças, São Paulo, Brasil). Os níveis de pressão foram: 0 MPa, (valor registrado na válvula de controle de pressão do equipamento), 15 MPa, (equivalente a homogeneização convencional utilizada na indústria) e a 45 e 90 MPa, homogeneização a alta pressão. Em média, a temperatura de entrada da calda do sorvete foi de 35 °C e de saída foi de 50 °C. No decorrer do texto, as amostras de sorvete preparadas a partir da calda misturada/homogeneizada nos diferentes tratamentos foram abreviadas para: LI (misturado em liquidificador industrial), 0 MPa, 15 MPa, 45 MPa e 90 MPa.

### **2.2.4 Produção do sorvete**

Após a homogeneização, as caldas foram submetidas a maturação por 4 h a 4 °C em uma BOD (Solab<sup>®</sup>, São Paulo, Brasil). Após a maturação, foi adicionado o preparado de açaí à calda, misturados, e iniciou-se a etapa de batimento e congelamento simultâneos em uma produtora de sorvete de bancada (Gelato Express<sup>®</sup>, Tramontina, Rio Grande do Sul, Brasil), sendo o tempo do processo em torno de 40 minutos a -40 °C, para cada amostra. Decorrida essa etapa, o sorvete foi acondicionado em potes e armazenado a -18 °C, para o endurecimento final e conservação das amostras até as análises laboratoriais.

## **2.3 Caracterização físico-química, quantificação das antocianinas e perfil de aminoácidos da formulação de sorvete otimizada**

### **2.3.1 Análises físico-químicas**

O pH foi determinado por meio de um potenciômetro (785 DMP Titrino, Metrohm, São Paulo, Brasil), calibrado com soluções tampão pH 4,0 e pH 7,0. O teor de sólidos solúveis foi determinado em °Brix com auxílio de refratômetro digital (Pal-3, Atago, São Paulo, Brasil) (AOAC, 2005).

A acidez total titulável foi determinada por método titulométrico (AOAC, 2005), em titulador automático (785 DMP Titrino, Metrohm, São Paulo, Brasil), e os resultados foram expressos em mg de ácido cítrico por 100g de amostra. Todas as análises foram realizadas em triplicata.

O teor de umidade foi determinado de acordo com método 925.09. O teor de gordura foi calculado seguindo o método 945.38 utilizado éter de petróleo, como solvente. O conteúdo total de proteína foi determinado com base no método 2001.11 (Kjedahl), utilizando o fator de conversão proteica para soja (5,75), devido a inexistência de um fator específico para o feijão-fava (MARIOTTI, TOME, MIRAND, 2008). O teor de cinzas foi determinado pelo método de incineração em mufla a 550°C e o teor de carboidratos totais foi calculado pela diferença. Todas as análises foram realizadas em triplicata de acordo com a AOAC (2010).

Para estimar o valor energético total do sorvete, utilizou-se para o cálculo os teores (em gramas) de carboidratos, lipídeos e proteínas das amostras, sendo utilizados como fatores de conversão para carboidratos e proteínas 4 Kcal/g e para os lipídeos 9 Kcal/g (BRASIL, 2003).

### 2.3.2 Perfil de aminoácidos

Na determinação do perfil de aminoácidos segundo AOAC 994.12, foi realizada a hidrólise ácida (HCL 6M) das proteínas para a determinação de 15 aminoácidos resistentes (AOAC, 2000).

### 2.3.3 Quantificação de antocianinas

A quantificação das antocianinas foi determinada utilizando o método descrito por De Brito *et al.* (2007), adaptado por Santiago *et al.* (2010). As antocianinas foram extraídas com solução ácido fórmico 10% em metanol, levou-se ao banho ultrassônico por 10 minutos com posterior centrifugação até descoloração da solução. A solução passou por uma microcentrifugação, em seguida, uma alíquota do extrato foi seca sob ar comprimido e posteriormente ressuspensa em metanol e ácido fórmico para análise cromatográfica. A análise cromatográfica foi realizada em um equipamento de cromatografia líquida de alta eficiência Waters® Alliance modelo 2690/5, com detector de arranjo de fotodiodos Waters® modelo 2996, software Empower®, coluna Symmetry® C18 (4,6 x 150 mm, 3,5 µm), fluxo de 1,0 mL/min e 50 µL de injeção, temperatura da coluna de 30 °C. Modo de eluição gradiente com acetonitrila e ácido fórmico. A análise foi realizada em duplicata. A quantificação das antocianinas foi realizada por padronização externa, com base nas curvas de calibração feitas com padrões analíticos e foram expressas como mg de equivalente de cianidina-3-*O*-glicosídeo por 100 g.

## 2.4 Análises físicas

Foram analisados os efeitos dos diferentes tipos de homogeneização nas propriedades físicas do sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava, descritas a seguir.

### 2.4.1 Tamanho de partícula da calda do sorvete

Foi utilizado o equipamento SDC – Microtrac S3500 (Microtrac, Montgomery Ville, USA), com água destilada como meio de dispersão segundo o método proposto por Voronin *et al.* (2020), com modificações. Amostras dos diferentes tratamentos foram dispersas e submetidas a três leituras de distribuição de tamanho de partícula. Os resultados foram expressos com base na Teoria de Mie, onde  $D [3,2]$  é o diâmetro médio da área superficial;  $D [4,3]$  é o diâmetro médio do volume e  $d (0,1)$ ,  $d (0,5)$  e  $d (0,9)$  que representam respectivamente que 10%, 50% e 90% das partículas que estão abaixo deste diâmetro.

### 2.4.2 Propriedades reológicas da calda do sorvete

As propriedades reológicas das diferentes caldas foram determinadas utilizando-se o Reômetro ARES-G2 (TA instruments, New Castle, USA) de acordo com a metodologia utilizada por Kurt, Cengiz e Kahyaoglu (2016). Foi utilizada uma geometria placa-placa jateada (diâmetro: 40 mm) à temperatura controlada (4 °C) e gap de 1 mm. O comportamento reológico foi determinado variando a taxa de deformação de 0,1 a 300 s<sup>-1</sup> (na curva ascendente) e de 300 a 0,1 s<sup>-1</sup> (na curva descendente), o tempo de cada medida experimental foi de 10 minutos.

Os dados de taxa de cisalhamento (shear rate, s<sup>-1</sup>) vs tensão de cisalhamento (Shear stress -  $\tau$ , Pa) foram ajustados aos modelos de Newton, Ostwald-de-Waele, Herschel

Bulkley, Casson, Casson modificado, Sisko, Cross, Carreu e Ellis, utilizando Equações 1- 9 (Tabela 1). Os tratamentos foram analisados em triplicata.

**Tabela 1.** Modelos reológicos utilizados para descrever o comportamento das diferentes caldas.

Nome do modelo	Código	Equação
Newton	Mod1	$\tau = (\dot{\gamma})$ (1)
Ostwald-de-Waele	Mod2	$\tau = K(\dot{\gamma})^n$ (2)
Herschel Bulkley	Mod3	$\tau = \tau_o + K_H(\dot{\gamma})^{n_H}$ (3)
Casson	Mod4	$(\tau)^{0.5} = K_{oc} + K_{cass}(\dot{\gamma})^{0.5}$ (4)
Casson modificado	Mod5	$(\tau)^{0.5} = (K_{oc})^{0.5} + K_{cass}(\dot{\gamma})^n$ (5)
Sisko	Mod6	$\tau = \mu_{\infty}\dot{\gamma} + K(\dot{\gamma})^n$ (6)
Cross	Mod7	$\mu = \mu_{\infty} + \frac{\mu_0 - \mu_{\infty}}{1 + (K_{Cross}\dot{\gamma})^n}$ (7)
Carreu	Mod8	$\mu = \mu_{\infty} + (\mu_0 - \mu_{\infty})[1 + (K_{Car}\dot{\gamma})^2]^{\frac{(n-1)}{2}}$ (8)
Ellis	Mod9	$\dot{\gamma} = K_1\tau + K_2\tau^n$ (9)

Onde  $\tau$  = Tensão de cisalhamento (Pa);  $\dot{\gamma}$  = Taxa de deformação ( $s^{-1}$ );  $K$  = Índice de consistência (Pa·s);  $n$  = Índice de comportamento do fluido;  $\tau_o$  = Tensão inicial de cisalhamento;  $K_H$  = Índice de consistência Herschel Bulkley;  $K_{oc}$  = Estresse inicial (Pa);  $K_{cass}$  = Viscosidade plástica de Casson (Pa·sn);  $\mu_{\infty}$  = Viscosidade de deformação infinita;  $\mu$  = Viscosidade absoluta;  $\mu_0$  = Viscosidade de deformação zero;  $K_{Cross}$  = Constante da Equação de Cross;  $K_{cass}$  = Constante da Equação de Carreu;  $K_1$  = Constante da Equação de Ellis;  $K_2$  = Constante da Equação de Ellis.

### 2.4.3 Overrun

A quantidade de ar incorporada no produto (*overrun*) foi determinada de acordo com o método descrito por Marshall, Goff, Hartel (2003). Foi determinada a massa de um volume fixo de 50 ml antes (calda) e após o batimento/congelamento do sorvete. A análise foi realizada em triplicata. O *overrun* foi calculado de acordo com a seguinte Equação 10:

$$Overrun (\%) = \frac{\text{massa da mistura} - \text{massa do sorvete} \times 100}{\text{massa do sorvete}} \quad (10)$$

### 2.4.4 Taxa de Derretimento

A resistência ao derretimento foi determinada adaptando os métodos descritos por Kaleda *et al.* (2018) e por Granger *et al.* (2005). Uma amostra de sorvete de  $80 \pm 5g$  foi retirada de um pote descartável (6 cm x 4.2 cm) e colocada em uma tela de arame sustentada por um Becker (todo o sistema foi previamente pesado). A altura relativa da amostra de sorvete e a massa de sorvete derretida foram determinadas inicialmente (Tempo zero =  $T_0$ ) e depois a cada 20 minutos, ao longo de duas horas de teste, o sistema todo foi colocado dentro de uma BOD (Solab<sup>®</sup>) e o teste realizado em temperatura controlada de 25 °C. O derretimento das amostras foi avaliado durante duas horas ou até o derretimento completo das amostras. A análise foi realizada em duplicata. Os dados foram plotados como altura relativa vs tempo, para construir as curvas de derretimento. A taxa de derretimento das amostras de sorvete foi calculada de acordo com a Equação 11.

$$\text{Taxa de derretimento} = \frac{AR_{t_0} - AR_{t_{120}}}{t_{120} - t_0} \quad (11)$$

Onde  $AR_{t_0}$  é a altura relativa (%) no tempo inicial (equivalente a 100% para o tempo inicial),  $AR_{t_{120}}$  é a altura relativa (%) no tempo final,  $t_0$  é tempo inicial e  $t_{120}$  é o tempo final (120 minutos).

#### 2.4.5 Textura instrumental

Para determinar a textura instrumental dos sorvetes, foi utilizado um texturômetro modelo TA XT Plus<sup>®</sup> (Stable MicroSystems, Surrey, Inglaterra), conforme descrito por Kurt e Atalar (2018). As determinações foram realizadas a 20 °C, 10 minutos após retirada das amostras do freezer e mantidos em temperatura de 25 °C. Foram realizadas 10 repetições em cada amostra, na determinação da firmeza instrumental foi utilizada uma sonda cilíndrica em aço inoxidável de 5 mm de diâmetro, com 5 Kg de carga, a compressão ocorreu a uma velocidade de 1 mm/s com 10 mm. A firmeza instrumental, é a força máxima de compressão (N) durante a penetração da amostra. Os dados foram coletados pelo programa Exponent Lite (Stable MicroSystems Ltda<sup>®</sup>).

#### 2.5 Análises estatísticas

Foi aplicado a análise de variância (ANOVA) seguido pelo teste de Tukey a 5% de significância. Com respeito a reologia, os valores de Shear rate vs. Shear stress foram ajustados aos modelos matemáticos (Tabela 1) para descrever o comportamento reológico das amostras. O ajuste dos modelos matemáticos foi avaliado mediante ao  $R^2$ , critério de Akaike (Akaike Critério de Informação – AIC) e desvio quadrático médio (Root Mean Square Error – RMSE). Os modelos com os maiores valores de  $R^2$  e menores AIC e RMSE foram considerados como sendo os melhores. A análise dos dados foi realizada por meio do *software Statistica*<sup>®</sup> 10.0 (Statsoft Inc., Tulsa, USA) e o *software R* foi utilizado para estatística computacional, versão 3.2.4 (Core Team, 2021).

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização físico-química, quantificação das antocianinas e perfil de aminoácidos da formulação de sorvete otimizada

O sorvete com proteína de feijão-fava e açaí apresentou valores de pH  $4,99 \pm 0,01$  e de acidez total  $0,36 \pm 0,00 \text{ g}^{-1}$  em ácido cítrico (Tabela 2). Sorvetes à base de frutas reportaram valores próximos aos encontrados neste estudo (CRUXEN *et al.*, 2017; KOWALCZYK, ZNAMIROWSKA, BUNIOWSKA, 2021; ÖZTÜRK, DEMIRCI, AKIN 2018; RORIZ *et al.*, 2018). O teor de sólidos totais do sorvete foi de 33,44%. Em geral, os sorvetes apresentam de 31 a 43 % de sólidos totais, pH variando entre 4,7 e 6,61 e acidez total entre 0,07 e 0,56 g 100 g<sup>-1</sup> ácido láctico (ATALLAH e BARAKAT, 2017; BEKIROGLU *et al.*, 2022; EL-ZEINI *et al.*, 2018).

**Tabela 2.** Características físico-químicas do sorvete com proteína de feijão-fava e açaí (Continua).

Parâmetros	Sorvete com proteína de feijão-fava e açaí (g.100 g <sup>-1</sup> )
<b>Físico-químicos</b>	
pH	4,99 ± 0,01

**Tabela 2. Continuação**

Acidez total em ácido cítrico (g)	0,36 ± 0,00
Teor de sólidos solúveis (°Brix)	17,3 ± 0,15
Sólidos Totais (%)	33,44 ± 0,05
Carboidrato (g)	17,96 ± 0,00
Proteína (g)	5,03 ± 0,01
Gordura (g)	9,70 ± 0,02
Cinzas (g)	0,76 ± 0,01
Valor energético (Kcal)	179,22 ± 0,00
<b>Antocianinas monoméricas</b>	
Delfinidina-3-O-glicosídeo (mg.100 g <sup>-1</sup> )	0,48 ± 0,01
Cianidina-3-O-glicosídeo (mg.100 g <sup>-1</sup> )	7,02 ± 0,02
Cianidina-3-O-rutenosídeo (mg. 100 g <sup>-1</sup> )	2,30 ± 0,01

Os dados apresentados são a média das triplicatas ± desvio padrão.

A porção de referência para sorvetes é uma bola de sorvete, que corresponde a 60g do produto (BRASIL, 2020). O teor de gordura no sorvete otimizado ficou em torno de 9,7 g.100 g<sup>-1</sup>, ou seja, 5,8 g/60 g de sorvete, valor inferior aos sorvetes veganos disponíveis no mercado brasileiro, como o sorvete Ben & Jerry<sup>®</sup> com leite de amêndoas com 9,7 g de gordura/60 g de sorvete, e Magnum vegano<sup>®</sup> com proteína de ervilha 13 g de gordura/60 g de sorvete). A formulação otimizada apresentou uma redução de gordura significativa, que foi de 123,7% em comparação ao Magnum vegano<sup>®</sup> e de 67% em relação ao Ben & Jerry<sup>®</sup>. Esse resultado sugere que o sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava desenvolvido pode ser uma opção menos calórica para esse mercado.

A formulação de sorvete otimizada desenvolvida apresentou 5,0 g.100 g<sup>-1</sup> de proteína, proveniente do concentrado proteico de feijão-fava utilizado no processamento do sorvete. Comparando-se o teor de proteína desta formulação, observou-se que ela tem o dobro do encontrado em sorvetes convencionais de base láctea como Kibon<sup>®</sup> (com cerca de 2,5 g.100 g<sup>-1</sup>), e de sorvetes de extrato de nozes (BEKIROGLU *et al.*, 2022). Também com concentrações maiores que sorvetes de base vegetal como o com extrato de coco (2,2 g.100 g<sup>-1</sup>) (GÓRAL *et al.*, 2018) e de sorvete de farinhas de arroz, lentilha e grão de bico (3,5 g.100 g<sup>-1</sup>) (PONTONIO *et al.*, 2022). A porção do sorvete com proteína de feijão-fava apresentou 3,0 g de proteína/60g de sorvete. De acordo com a legislação brasileira (2020), o produto não pode ser considerado “fonte” ou “alto” em proteína. Contudo, a porção do sorvete apresentou teor superior de proteínas quando comparado aos sorvetes veganos comercializados pela Ben & Jerry<sup>®</sup> (2,6 g de proteína/60 g de sorvete) e o Magnum<sup>®</sup> (1,9 g de proteína/60 g de sorvete). A substituição da proteína láctea por concentrado proteico de feijão-fava (8,5%) pode ter contribuído para esse resultado.

Os carboidratos presentes no sorvete de feijão-fava e açaí (17,96 g/ 100 g) são provenientes do preparado de açaí que contém o açúcar refinado e da frutose oriunda do açaí, e da casca de jabuticaba (que foi utilizada como um corante natural). O desenvolvimento de sorvetes com corantes naturais oriundos de frutas tem se mostrado uma boa opção para a substituição de corantes artificiais, contribuindo ainda com o aumento valor nutricional (GÓRAL *et al.*, 2018; MARINHO *et al.*, 2019; ÖZTÜRK, DEMIRCI, AKIN, 2018).

Quanto ao valor calórico, uma porção de sorvete (uma bola de 60 g) fornece aproximadamente 107,5 kcal, que corresponde à 5% do valor diário para uma dieta de 2000 kcal (BRASIL, 2020). Em estudo realizado no Brasil, foram avaliadas 180 amostras

de sorvetes industrializados e, por meio de uma análise comparativa da composição nutricional e dos ingredientes, e somente 21 marcas de sorvete apresentaram até 100 kcal por porção de 60 g, que é um valor próximo ao valor energético do sorvete desenvolvido neste estudo (ITAL, 2021).

A polpa de açaí e a farinha da casca de jabuticaba incorporadas no preparado, contribuíram para a presença de compostos fenólicos no sorvete. As antocianinas representam uma grande parte dos compostos fenólicos presentes no açaí e na jabuticaba (PALUDO *et al.*, 2019; SILVEIRA *et al.*, 2023). Como observado na Tabela 2, as antocianinas majoritárias foram detectadas por cromatografia líquida de alta eficiência e com um total de 9,79 mg/100g de sorvete. As antocianinas, além das propriedades antioxidantes, também podem atuar como corantes naturais (BÖGER *et al.*, 2019). Portanto, ressalta-se que o sorvete pode ser um veículo apropriado para a incorporação de preparados de frutas ricas em substâncias com atividade antioxidante e ainda são pigmentos contribuem para conferir uma coloração atrativa.

Na Tabela 3 podem ser observados o conteúdo de aminoácidos da formulação de sorvete otimizada e as recomendações diárias dos aminoácidos para adultos (FAO/OMS/UNU, 2007).

**Tabela 3.** Teor de aminoácidos do sorvete com proteína de feijão-fava e açaí, expresso em mg de aminoácidos em 100 g de sorvete. E as recomendações diárias para adultos de acordo com a FAO/OMS/UNU, 2007.

<b>Aminoácidos</b>	Teor de aminoácidos no sorvete com proteína de feijão-fava e açaí (mg/100 g)	Recomendação diária (mg/g de proteína)*
<b><i>Aminoácidos Essenciais</i></b>		
Isoleucina	120 ± 0,01	30
Leucina	223 ± 0,02	59
Lisina	200 ± 0,02	45
Fenilalanina	160 ± 0,01	38
Treonina	120 ± 0,01	23
Valina	130 ± 0,01	39
Histidina	73 ± 0,01	15
<b><i>Aminoácidos Não Essenciais</i></b>		
Alanina	120 ± 0,01	-
Arginina	300 ± 0,03	-
Ácido aspártico	290 ± 0,03	-
Ácido glutâmico	473 ± 0,04	-
Glicina	160 ± 0,01	-
Prolina	140 ± 0,00	-
Serina	180 ± 0,01	-
Tirosina	120 ± 0,01	-

Os dados são expressos como as médias da triplicata ± desvio padrão. \* Recomendações de aminoácidos expressas em mg/g de proteína consumida para adultos de acordo com FAO/OMS/UNU, 2007.

A quantidade de aminoácidos essenciais ultrapassou as recomendações diárias para um adulto, sendo que a leucina e lisina tiveram destaque. E com relação aos aminoácidos não-essenciais, os dominantes foram arginina, ácido aspártico e ácido glutâmico. Esses resultados são consistentes com pesquisas anteriores que analisaram o

perfil de aminoácidos totais do feijão-fava (única fonte de proteína da formulação). Geralmente as proteínas de leguminosas contêm teores elevados de leucina, lisina, arginina, ácido aspártico e ácido glutâmico e são deficientes em aminoácidos contendo enxofre, como a metionina e cisteína (BOYE, ZARE e PLETCH, 2010; LABBA, FRØKIÆR, SANDBERG, 2021; SHARAN *et al.*, 2021). Os aminoácidos essenciais, triptofano, metionina e cisteína não foram quantificados neste estudo, mas com base nos dados da USDA (2021), a quantidade deles em 100g de sorvete seria em torno de 28,39 mg de cisteína, 20 mg de triptofano e 18,10 mg de metionina. Em contrapartida, a maioria dos grãos de cereais apresentam baixo teor de lisina e teores maiores de aminoácidos sulfurados. Assim, uma opção para melhorar o perfil de aminoácidos no produto, seria a combinação com proteínas de cereais, como a proteína de arroz, por exemplo (SHARAN *et al.*, 2021).

### 3.2 Tamanho de partícula da calda do sorvete

Os parâmetros de dimensão de partícula do sorvete dizem respeito aos diâmetros das partículas de gordura (SERT e MERCAN, 2021). Observamos que para os diferentes tratamentos os valores de D [3,2] variaram entre  $267,54 \pm 46,88$  a  $398,14 \pm 62,11$   $\mu\text{m}$  e para D [4,3] os valores foram de  $344,76 \pm 70,23$  e de  $490,71 \pm 82,93$   $\mu\text{m}$ , para as amostras homogeneizadas a 90 MPa e 15 MPa, respectivamente (Tabela 4).

**Tabela 4.** Tamanho de partícula da calda do sorvete com proteína de feijão-fava e açaí homogeneizada por diferentes tratamentos (valores em  $\mu\text{m}$ ).

Amostras	D [3,2]	D [4,3]	d (0,1)	d (0,5)	d (0,9)
<b>LI</b>	$354,74^{ab} \pm 34,68$	$438,83^{ab} \pm 40,3$	$4,82^{bc} \pm 0,04$	$19,19^b \pm 0,24$	$128,70^b \pm 9,62$
<b>0 MPa</b>	$369,4^{ab} \pm 63,51$	$452,84^{ab} \pm 82,1$	$4,82^{bc} \pm 0,08$	$19,32^b \pm 0,85$	$150,73^{ab} \pm 14,46$
<b>15 MPa</b>	$398,14^a \pm 62,11$	$490,71^a \pm 82,93$	$4,37^c \pm 0,38$	$19,22^b \pm 2,77$	$162,18^a \pm 24,41$
<b>45 MPa</b>	$304,97^{bc} \pm 18,24$	$384,07^{ab} \pm 25,87$	$5,08^b \pm 0,39$	$24,48^b \pm 5,26$	$152,92^{ab} \pm 30,16$
<b>90 MPa</b>	$267,54^c \pm 46,88$	$344,76^b \pm 70,23$	$7,54^a \pm 0,74$	$59,09^a \pm 6,97$	$177,35^a \pm 10,95$

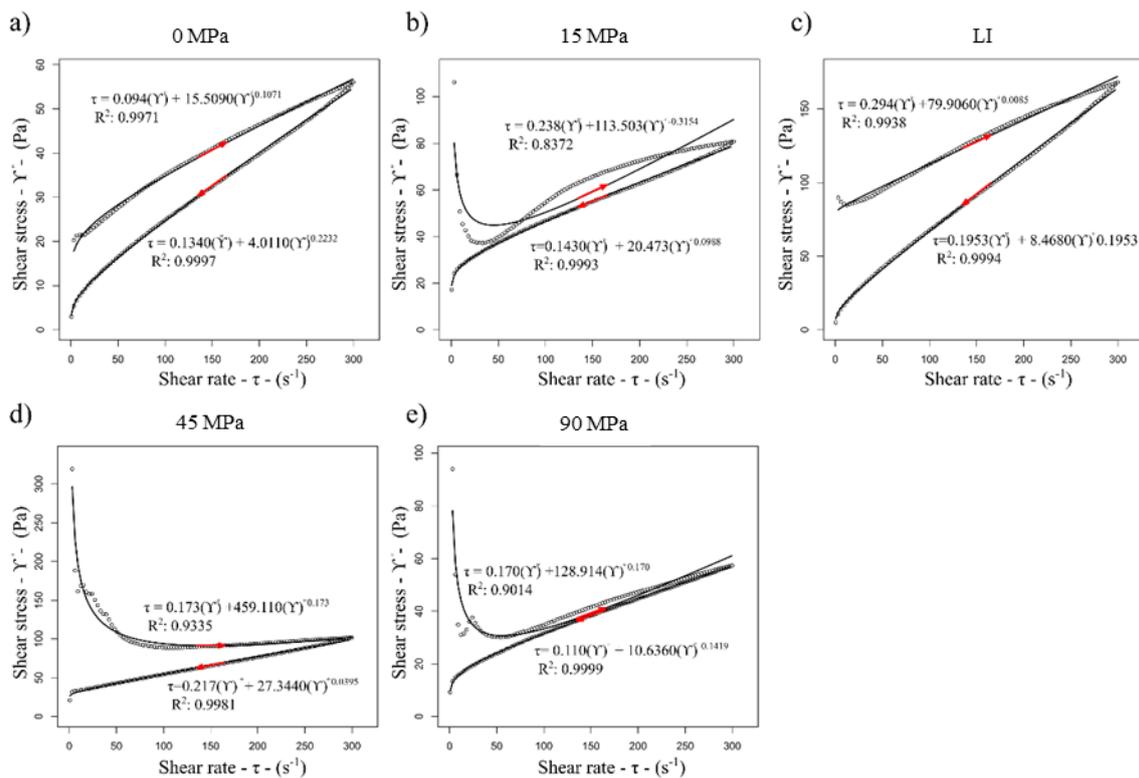
Média  $\pm$  SD, (n=3). Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre os tratamentos  $p \leq 0,05$ , pelo teste de Tukey. LI = Liquidificador industrial. 0, 15, 45 e 90MPa = nível de pressão aplicado em cada tratamento.

Os tratamentos apresentaram efeito significativo com relação aos valores D [3,2] e D [4,3] das partículas da mistura ( $p \leq 0,05$ ). O tratamento com 90 MPa resultou em menor valor de D [3,2] e D [4,3] em comparação com 15 MPa ( $p \leq 0,05$ ). A amostra 15 MPa não apresentou diferença com relação ao D [4,3] em comparação com as amostras LI, 0 MPa e 45 MPa. Ao contrário dos valores de D [3,2] e D [4,3], que apresentaram um aumento nos valores de d (0,1), d (0,5) e d (0,9) nos tratamentos com maiores níveis de pressão. A partir desses resultados, observou-se que o aumento da pressão na HAP ocasionou uma diminuição gradual no diâmetro das partículas da calda. Wang *et al.* (2022) reportaram a redução no diâmetro das partículas em sorvete com baixo teor de gordura com substituição por óleo de soja e homogeneizado com pressões entre 10 e 30 MPa. Outros estudos observaram efeitos semelhantes em sorvetes lácteos (SERT e MERCAN, 2021; VORONIN *et al.*, 2020) e em emulsões com proteína vegetal e isolados proteicos (LEVY *et al.*, 2021; SONG *et al.*, 2013; ZHAO *et al.*, 2023). A diminuição no diâmetro e mudanças na distribuição do tamanho de partículas podem ter sido ocasionado pelas forças mecânicas geradas no processo de homogeneização por alta pressão, resultando em uma emulsão mais uniforme e com tamanho de partícula reduzido (ZHAO,

LIU, XUE, 2023). Esse processo pode levar à quebra dos agregados, dissociação e rearranjo de partículas de proteína, além de afetar na formação dos cristais de gelo e aumentar a coalescência da gordura (KOT, KAMIŃSKA-DWÓRZNICKA, JAKUBCZYK, 2022). A homogeneização por alta pressão em sorvetes com proteína vegetal pode resultar em uma estrutura mais estável, com partículas menores, influenciando no sabor e na textura do produto (WANG *et al.*, 2022).

### 3.3 Propriedades reológicas da calda do sorvete

O modelo matemático de Sisko foi o mais apropriado para descrever as curvas do perfil reológico (Figura 3) com valores do coeficiente de determinação  $R^2 > 0,9$ , exceção da amostra 15 MPa que apresentou um  $R^2$  de 0,84, porém ainda sendo considerado satisfatório. O índice de comportamento do fluido ( $n$ ) da calda de sorvete variou entre -0,3154 e 0,2232. O fato dos valores de  $n$  serem menores que um para todos os tratamentos indica um comportamento não-newtoniano e de natureza pseudoplástica dessas formulações. Os tratamentos 15 MPa, 45 MPa e 90 MPa apresentaram os menores valores de  $n$ . Quanto menor o índice de comportamento do fluido, mais afastado do comportamento newtoniano e, assim, maior a pseudoplasticidade (TADINI *et al.*, 2016; MOSTAFAVI, TEHRANI, MOHEBBI, 2017).



**Figura 3.** Perfil reológico das caldas do sorvete homogeneizadas por diferentes condições HAP. Os pontos representam os dados experimentais e as linhas representam o modelo ajustado de Sisko. As setas a direita e esquerda indicam os sentidos de ida e volta no teste reológico. LI = Liquidificador industrial. 0, 15, 45 e 90 MPa = nível de pressão aplicado em cada amostra.

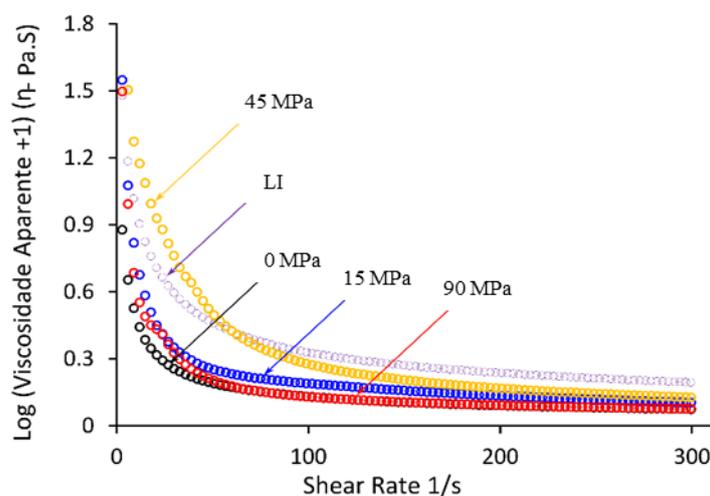
No presente estudo, foi observado que o coeficiente de consistência ( $K$ ) calculado no modelo Sisko foi mais elevado em todos os tratamentos quando comparados ao 0 MPa, sendo os maiores valores obtidos para 45 MPa ( $K = 459,110$ ) e 90 MPa ( $K = 128,914$ ). A

passagem pela válvula do homogeneizador em níveis mais altos de pressão resultou em sorvetes com maior coeficiente de consistência e menores índice de comportamento do fluido, indicando que a calda do sorvete ficou mais viscosa (VORONIN *et al.*, 2021).

Ainda na Figura 3, observa-se que os valores máximos de tensão de cisalhamento variaram de cerca de 60 Pa até 300 Pa, correspondendo às amostras 0 MPa e 45 MPa, respectivamente. Os tratamentos 15 MPa, 45 MPa e 90 MPa apresentaram um pico proeminente nas etapas iniciais da curva ascendente, que pode ser atribuído às mudanças na microestrutura da calda após a aplicação da pressão, mesmo que ainda baixas, como a 15 MPa (SERT, MERCAN, KILINÇ, 2021).

Nesta figura também se observa que as curvas de ida (seta para direita) ficaram acima das curvas de volta (seta para esquerda), o que indica que todas as amostras tiveram comportamento tixotrópico, ou seja, apresentaram características dependentes do tempo resultante da quebra estrutural do fluido durante o ciclo de cisalhamento. De acordo com Goff *et al.* (1994) o comportamento do fluxo tixotrópico é identificado pelas diferenças entre a curva ascendente e descendente em relação taxa de cisalhamento/tensão. Segundo JAVIDI e RAZAVI (2018), o comportamento tixotrópico é comum em suspensões coloidais, esse conhecimento da estrutura do produto é importante para a melhoria do processo como nas etapas de homogeneização e bombeamento. Os resultados desta pesquisa foram semelhantes aos observados em estudos anteriores de sorvetes que apresentaram comportamento tixotrópico (JAVIDI e RAZAVI, 2018; ROSSA, BURIN, BORDIGNON-LUIZ, 2012; TSEVDOU *et al.*, 2019).

A Figura 4 mostra a viscosidade aparente da calda do sorvete em função da taxa de cisalhamento, variando entre 0,1 a 300 s<sup>-1</sup>. Observa-se que a viscosidade aparente de todos tratamentos diminuíram com o aumento da taxa de cisalhamento, devido às mudanças estruturais influenciadas pelos diferentes tratamentos.



**Figura 4.** Curvas da viscosidade aparente em função da taxa de deformação da calda do sorvete. LI = Liquidificador industrial. 0, 15, 45 e 90 MPa = nível de pressão aplicado em cada amostra.

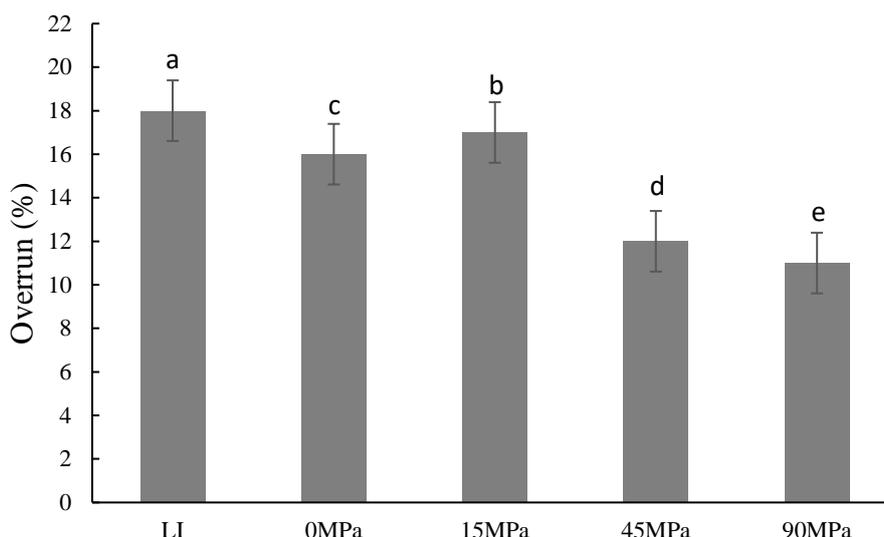
Os tratamentos 0 MPa e 45 MPa apresentaram a menor e a maior viscosidade aparente respectivamente. A HAP foi capaz de diminuir o tamanho de partículas, o que pode ter levado ao aumento da superfície de contato interfacial. Além disso, pode ter ocasionado mudanças na estrutura da proteína, como maior exposição tanto dos grupos polares, quanto dos apolares, levando à formação de novas ligações químicas aumento da capacidade de retenção de água (D’ALESSIO *et al.*, 2023), devido ao incremento da

capacidade emulsificante da proteína, podendo resultar no aumento da viscosidade da mistura.

São poucos os estudos que avaliaram a influência da homogeneização por alta pressão em sorvetes, mas em um estudo pioneiro feito por Innocente *et al.* (2009) observou-se um aumento da viscosidade aparente no sorvete homogeneizado por alta pressão (97/3 MPa), em comparação ao não processado (0 MPa), semelhante ao verificado no presente trabalho. Esses resultados demonstram que o processamento (mesmo sem aplicação de pressões elevadas) pode influenciar nas interações entre as macromoléculas da calda do sorvete, modificando a estrutura e as propriedades físicas.

### 3.4 *Overrun*, taxa de derretimento e firmeza instrumental do sorvete

O *overrun* das amostras estudadas variou entre 11 e 18% (Figura 5). De forma geral, observou-se valores baixos *overrun* devido ao elevado teor de proteína da formulação e ao equipamento de batimento/congelamento utilizado (uma processadora de sorvete de bancada), que não tem opção de injetar ar no produto. De acordo com classificação de Goff e Hartel (2013), esses sorvetes obtidos se enquadrariam na categoria de Super premium, devido ao fato do *overrun* ser inferior à 25%.



**Figura 5.** *Overrun* (%) do sorvete com proteína de feijão-fava e açaí, submetido a diferentes níveis de pressão. LI = Liquidificador industrial. 0, 15, 45 e 90 MPa = nível de pressão aplicado em cada amostra.

A capacidade de aeração do sorvete pode ser afetada pelo tipo de processo, de equipamento e devido aos ingredientes da formulação. Para as amostras submetidas ao HAP, os valores do *overrun* diminuíram com o aumento da pressão. Isso pode ser atribuído ao aumento da viscosidade da calda que pode ter influenciado na incorporação de ar durante o batimento/congelamento.

Estudos anteriores avaliando a homogeneização a alta pressão, também relacionaram baixo *overrun* com elevada viscosidade da calda (BIASUTTI *et al.*, 2013; SERT, MERCAN, KILINÇ, 2021; SERT e MERCAN, 2021). Esses estudos reportaram que a homogeneização em diferentes níveis de pressão diminuiu a incorporação de ar nos sorvetes de leite de vaca, búfala e ovelha, de forma similar ao que foi observado neste

estudo. No entanto, Wang *et al.* (2022) observaram que em sorvete com baixo teor de gordura submetido a HAP, conforme a pressão aumentou, o tamanho das partículas foi reduzido, resultando em partículas uniformes que podem ter levado à maior incorporação de ar durante o batimento, resultando em aumento do *overrun*.

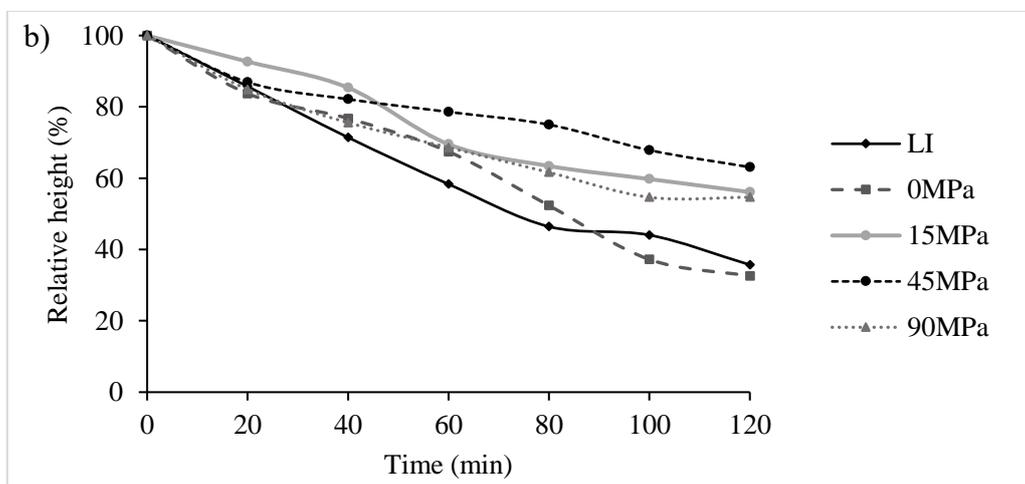
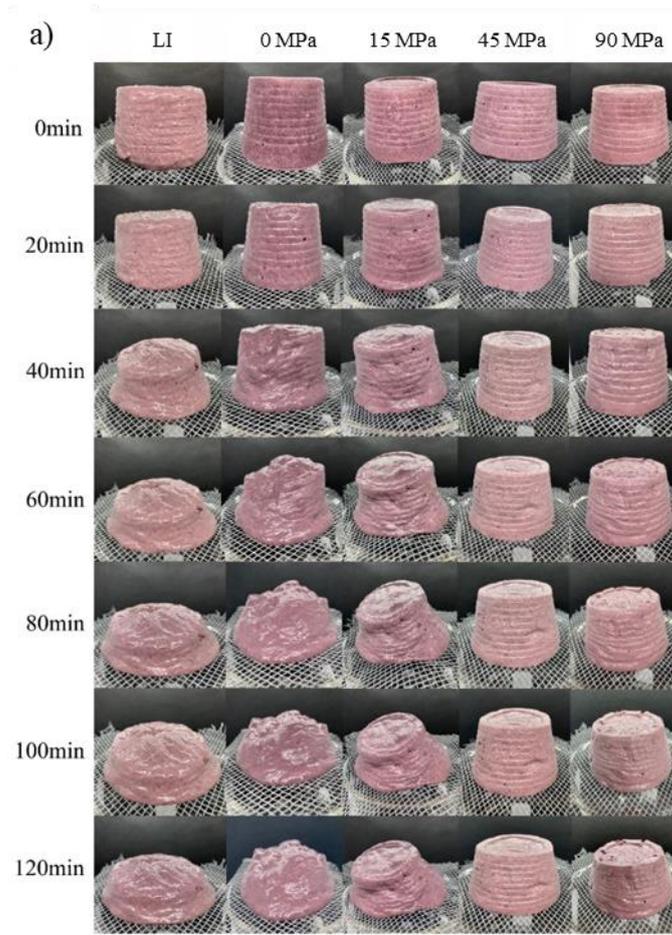
O *overrun* é influenciado pela viscosidade da calda que depende do tipo de processo e dos ingredientes e das concentrações de cada um na formulação (ADAPA *et al.*, 2000). De acordo com Biasutti *et al.* (2013), a viscosidade elevada da calda pode levar a uma baixa incorporação de ar durante o batimento. Como mencionado anteriormente, um baixo *overrun* não necessariamente é um defeito, a adição de ingredientes como o concentrado proteico, que pode elevar a qualidade tanto nutricional quanto tecnológica do sorvete que seria classificado com *Super Premium* (no mercado americano).

A estabilidade do sorvete frente ao derretimento ou a velocidade de derretimento também de suma importância na qualidade do produto. Os cinco tratamentos apresentaram derretimento lento durante as 2 horas de análise (Tabela 5 e Figura 6), sendo as amostras 45 MPa e 90 MPa as mais resistentes ao derretimento.

**Tabela 5.** Taxa de derretimento e textura instrumental (firmeza) do sorvete homogeneizado por diferentes tratamentos.

<b>Amostra</b>	<b>Altura Relativa final (%)</b>	<b>Taxa de derretimento (redução da altura relativa em %.min)</b>	<b>Firmeza (N)</b>
LI	35,7 <sup>b</sup> ± 3,39	0,54 <sup>b</sup> ± 0,03	25,88 <sup>b</sup> ± 3,2
0 MPa	32,6 <sup>b</sup> ± 0,00	0,56 <sup>b</sup> ± 0,00	27,02 <sup>b</sup> ± 3,31
15 MPa	56,1 <sup>a</sup> ± 0,00	0,37 <sup>a</sup> ± 0,00	32,74 <sup>a</sup> ± 2,13
45 MPa	63,1 <sup>a</sup> ± 5,09	0,31 <sup>a</sup> ± 0,04	36,10 <sup>a</sup> ± 2,89
90 MPa	54,6 <sup>a</sup> ± 1,63	0,38 <sup>a</sup> ± 0,01	35,75 <sup>a</sup> ± 2,39

Média ± SD, (n = 3). Letras diferentes na mesma coluna indicam diferença significativa entre as formulações  $p \leq 0,05$ , pelo teste de Tukey. LI = Liquidificador industrial. 0, 15, 45 e 90 MPa = nível de pressão aplicado em cada tratamento.



**Figura 6.** Fotografias dos sorvetes durante o teste de derretimento ao longo de 120 minutos (a) e gráfico da altura relativa ao longo do tempo (b). LI = Liquidificador industrial. 0, 15, 45 e 90 MPa = nível de pressão aplicado em cada amostra.

A altura relativa final (%) foi diferente ( $p \leq 0,05$ ) entre as amostras de sorvetes, assim como, a taxa de derretimento (%.min). As amostras 45 MPa e 90 MPa apresentaram uma maior resistência ao derretimento, associada com uma menor taxa de derretimento. Na literatura observou-se que o HAP diminuiu a taxa de derretimento de sorvete, o que pode estar relacionado com o aumento da viscosidade da calda e da capacidade de retenção de água. Biasutti *et al.* (2013) também relataram que sorvetes com HAP de 97

MPa apresentam demais resistência ao derretimento em sorvetes lácteos, devido ao aumento da viscosidade da calda.

Diferente da alta pressão hidrostática, durante o processo de homogeneização por alta pressão, as macromoléculas (proteínas, glóbulos de gordura e polissacarídeos) não sofrem apenas com a pressão elevada, mas também pelas forças combinadas de cavitação, cisalhamento, turbulência e de aquecimento moderado (YANG *et al.*, 2018). Tais fenômenos podem modificar a estrutura dos ingredientes, influenciando no derretimento do produto (COMUZZO e CALLIGARIS, 2019). Segundo Yan *et al.* (2021), os glóbulos de gordura homogeneizados são mais propensos a coalescerem parcialmente, formando uma rede tridimensional contínua durante o congelamento/batimento do sorvete, além de ter o tamanho reduzido o que confere maior estabilidade física (MESA *et al.*, 2020).

A resistência ao derretimento é uma característica desejável em sorvetes, uma vez que proporcionar estabilidade do produto durante transporte, distribuição e o consumo, além de permitir que o sorvete possa ser utilizado em preparações por chefs de cozinha. No Japão, foi desenvolvido um tipo de sorvete que “não derrete”, produzido com um polifenol líquido extraído de morango, que evita a separação da água e óleo, mantendo o formato do sorvete por várias horas, mas ainda proporcionando a sensação de refrescância na boca (YIRKA, 2017). Contudo, sorvetes com derretimento muito lento são incomuns e pode indicar defeitos na formulação e/ou no processamento. Desse modo, é necessário avaliar a finalidade este produto e como será apresentado.

Com relação à textura instrumental do produto, com relação a firmeza (N), observou-se uma variação entre  $25,88 \pm 3,3$  e  $36,1 \pm 2,89$  (Tabela 5). A homogeneização aumentou significativamente a firmeza dos sorvetes ( $p \leq 0,05$ ), mas não houve diferença significativa entre as diferentes pressões utilizadas no HAP. A maior firmeza instrumental pode estar associada ao aumento de viscosidade da calda que resultou em um *overrun* baixo ocasionados pela homogeneização a alta pressão (BIASUTTI *et al.*, 2013). Sert, Mercan, Kiliç (2021) reportaram que o tratamento por HAP aumentou a firmeza, consistência, coesividade e viscosidade dos sorvetes de leite de búfala e reduziu o *overrun*, resultados similares aos observados neste estudo.

A interação entre as macromoléculas (proteínas, polissacarídeos e gordura) e a água pode influenciar a textura do sorvete. A força mecânica pode modificar, a estrutura das proteínas, acarretando mudanças na capacidade de retenção de água, de formação de espuma e de capacidade de geleificação (GOFF e HARTEL, 2013; DAMODARAN e PARKIN, 2018). Para o consumo, sorvetes com taxas de derretimento baixas e maior firmeza podem ser interessantes, pois, esses produtos são mais estáveis durante o transporte, armazenamento, distribuição e consumo, se houver oscilação de temperatura, entre outros diferenciais.

#### 4 CONCLUSÕES

Foi possível desenvolver uma formulação de sorvete com proteína de feijão-fava e açaí com incremento no teor proteico e redução no teor de gordura em comparação aos sorvetes lácteos tradicionais e aos veganos comercializados. O produto apresentou quantidades relevantes de leucina e lisina e potencial antioxidante, por apresentar em sua composição antocianinas oriundas do preparado de açaí e jabuticaba.

A etapa de mistura/homogeneização da calda do sorvete utilizando diferentes processos alterou significativamente o tamanho de partículas, acarretando aumento da estabilidade da emulsão e impactando nas propriedades reológicas. O aumento da viscosidade da calda resultou em diminuição do *overrun* e em aumento da resistência ao derretimento e da firmeza instrumental, evidenciando o impacto da homogeneização por alta pressão nas propriedades físicas do sorvete.

Por fim, a formulação de sorvete desenvolvida pode ser considerada como uma alternativa promissora e inovadora para a indústria de sorvetes de base vegetal.

## REFERÊNCIAS

ADAPA, S.; DINGELDEIN, H.; SCHMIDT, K.; HERALD, T. Rheological properties of ice cream mixes and frozen ice cream containing fat and fat replacers. **Journal of Dairy Science**, v. 83, p. 2224-2229, 2000. Disponível em: <[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(00\)75106-X](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(00)75106-X)>.

AIM2FLOURISH. **Faba Beans Ice Cream: Sustainable & Delicious**. Disponível em: <https://aim2flourish.com/innovations/faba-beans-ice-cream-sustainable-delicious>. Acesso em: 15 de dezembro de 2023.

ALAVI, F.; CHEN, L.; EMAM-DJOMEH, Z. Effect of ultrasound-assisted alkaline treatment on functional property modifications of faba bean protein. **Food Chem**. v. 354, 2021. Disponível em: <[10.1016/j.foodchem.2021.129494](https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.129494)>.

AMADOR ESPEJO, G. G.; HERNÁNDEZ-HERRERO, M. M.; JUAN, B.; TRUJILLO, A. J. Inactivation of Bacillus spores inoculated in milk by Ultra High Pressure Homogenization. **Food Microbiology**, v. 44, p. 204–210, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fm.2014.06.010>>.

AOAC. Official Methods of Analysis. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemist, 2010.

AOAC. Official Methods of Analysis. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemist, 2005.

AOAC. Official Methods of Analysis. Arlington, VA, USA: Association of Official Analytical Chemist, 2000.

ATALLAH, A. A.; BARAKAT, H. Preparation of Non-Dairy Soft Ice Milk with Soy Milk. **Advances in Dairy Research**, v. 05, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.4172/2329-888x.1000172>>.

BEANIT. (2023). **Härkis® Original**. Disponível em: <<https://www.beanit.fi/fi/tuotteet/harkis-original>>. Acesso em: 15 dezembro de 2023.

BEKIROGLU, H.; GOKTAS, H.; KARAIBRAHIM, D.; BOZKURT, F.; SAGDIC, O. Determination of rheological, melting and sensorial properties and volatile compounds of plant-based ice cream produced with fresh and dried walnut milk. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 28, Article 100521, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2022.100521>>.

BIASUTTI, M.; VENIR, E.; MARINO, M.; MAIFRENI, M. INNOCENTE, N. Effects of high-pressure homogenization of ice cream mix on the physical and structural properties of ice cream. **International Dairy Journal**, v. 32, n. 1, p. 40-45, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.03.007>>.

BÖGER, B.; LEAL, A.; LUCCHETTA, L.; PORTO, E. Use of jabuticaba (*Plinia cauliflora*) skin in the processing of ice creams. **Rev Chil Nutr**, v. 46, p. 154-159, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.4067/S0717-75182019000200154>>.

BOGHOSSIAN, M.; BRASSESCO, M. E.; MILLER, F. A.; SILVA, C. L. M.; BRANDÃO, T. R. S. Thermosonication Applied to Kiwi Peel: Impact on Nutritional and Microbiological Indicators. **Foods**, v. 12, p. 622, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/foods12030622>>.

BOYE, J.; ZARE, F.; PLETCH, A. Pulse proteins: Processing, characterization, functional properties and applications in food and feed. **Food Research International**, v. 43, p. 414-431, 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2009.09.003>>.

BRASIL. (2003). Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução RDC Nº 359, de 23 de dezembro de 2003. Regulamento Técnico De Porções De Alimentos Embalados Para Fins De Rotulagem Nutricional. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília**, DF, de 23 de dezembro de 2003.

BRASIL. (2020). Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa Nº 75, de 8 de outubro de 2020. Estabelece os requisitos técnicos para declaração de rotulagem nutricional em alimentos embalados. **Diário Oficial [da] União**, 9 de outubro. 2019. Seção 1, p. 113.

BULLOCK, K.; LAHNE, J.; POPE, L. Investigating the role of health halos and reactance in ice cream choice. **Food Quality and Preference**, v. 80, 103826, 2020. Disponível em: <[10.1016/j.foodqual.2019.103826](https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2019.103826)>.

CAMPOS, F.P.; DOSUALDO, G. L.; CRISTIANINI, M. Utilização de tecnologia de alta pressão no processamento de alimentos. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 6, p. 351-357, 2003.

COMUZZO, P.; CALLIGARIS, S. Potential Applications of High Pressure Homogenization in Winemaking: A Review. **Beverages**, v. 5, p. 56, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/beverages5030056>>.

CORTÉS-MUNOZ, M.; CHEVALIER-LUCIA, D.; DUMAY, E. Characteristics of submicron emulsions prepared by ultra-high pressure homogenisation: Effect of chilled or frozen storage. **Food Hydrocolloids**, v. 23, p. 640–654, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2008.07.023>>.

D’ALESSIO, G.; FLAMMINI, F.; FAIETA, M.; PRETE, R.; DI MICHELE, A.; PITTIA, P.; DI MATTIA, C. D. High pressure homogenization to boost the technological functionality of native pea proteins. **Current Research in Food Science**, v. 6, 100499, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100499>>.

DAMODARAN, S.; PARKIN, K. L. **Química de alimentos de Fennema**. 5ª edição. Porto Alegre: Artmed, pp. 1120, 2018.

DE BRITO, E.S.; DE ARAÚJO, M.C.P.; ALVES, R.E.; CARKEET, C.; CLEVIDENCE, B.A.; NOVOTNY, J.A. Anthocyanins Present in Selected Tropical Fruits: Acerola, Jambolão, Jussara, and Guajiru. **J. Agric. Food Chem**, v. 55, p. 9389–9394, 2007. Disponível em: <[10.1021/jf0715020](https://doi.org/10.1021/jf0715020)>.

DE PAULA, C. M.; DOS SANTOS, K. M. O.; OLIVEIRA, L. S.; OLIVEIRA, J. DA S.; BURITI, F. C. A.; SAAD, S. M. I. Fat substitution by inulin in goat milk ice cream

produced with caja (*Spondias mombin*) pulp and probiotic cultures: Influence on composition, texture, and acceptability among consumers of two Brazilian regions. **Emirates Journal of Food and Agriculture**, v. 32, p. 140–149, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.9755/ejfa.2020.v32.i2.2074>>.

CRUXEN, C. E. S.; HOFFMANN, J. F.; ZANDONÁ, G. P.; FIORENTINI, Â. M.; ROMBALDI, C. V.; CHAVES, F. C.; Probiotic butiá (*Butia odorata*) ice cream: Development, characterization, stability of bioactive compounds, and viability of *Bifidobacterium lactis* during storage. **LWT**, v. 75, p. 379–385. 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2016.09.011>>.

EL-ZEINI, H. M. M.; ALI, A.-R. A.-A.; AWAD, R. A.; EL-GHANY, Y. F. H. A. Texture evaluation of whey protein concentrate incorporated ice cream by Back Extrusion technique. **International Journal of Environment, Agriculture and Biotechnology**, v. 3, p. 6–13, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.22161/ijeab/3.1.2>>.

FAO/WHO (2007). Amino Acid Requirements in Human. Protein and amino acid requirements in human nutrition: report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. Geneva: N., Food, Agriculture Organization of the United, N., World Health Organization.

FAO/WHO (2020). Code Of Practice On Food Allergen Management For Food Business Operators. Disponível em: [https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/shroxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXC%2B80-2020%252FCXC\\_080e.pdf](https://www.fao.org/fao-who-codexalimentarius/shroxy/en/?lnk=1&url=https%253A%252F%252Fworkspace.fao.org%252Fsites%252Fcodex%252Fstandards%252FCXC%2B80-2020%252FCXC_080e.pdf). Acesso em: 09 fevereiro, 2023.

FERNÁNDEZ-ÁVILA, C.; ESCRIU, R.; TRUJILLO, A. J. Ultra-High-Pressure Homogenization enhances physicochemical properties of soy protein isolate-stabilized emulsions. **Food Research International**, v. 75, p. 357-366, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.026>>.

FERNANDINO, C. M.; NEPOMUCENO, A. T.; FONSECA, H. C.; BASTOS, R. A.; LIMA, J. P. Propriedades físico-químicas da polpa de tamarillo (*Solanum betaceum*) e sua aplicabilidade na elaboração de sorvetes. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 24, p. 1–11, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/1981-6723.09020>>.

GANGOLA, M. P. RAMADOSS, B. R.; JAISWAL, S.; FABEK, H.; TULBEK, M.; ANDERSON, G. H.; CHIBBAR, R. N. Nutritional Composition and In Vitro Starch Digestibility of Concentrate, Protein Concentrate and Protein Isolate. **Foods**, v. 11, p. 645, 2022. Disponível em: <[10.3390/foods11050645](https://doi.org/10.3390/foods11050645)>.

GOFF, H. D.; HARTEL, R. W. **Ice Cream**. 7ª edição. New York: Springer Science & Business Media, pp. 477, 2013.

GÓRAL, M.; KOZŁOWICZ, K.; PANKIEWICZ, U.; GÓRAL, D.; KLUZA, F.; WOJTOWICZ, A. Impact of stabilizers on the freezing process, and physicochemical and organoleptic properties of coconut milk-based ice cream. **Lwt**, v. 92, p. 516–522, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.03.010>>.

GRANGER, C.; SCHÖPPE, A.; LEGER, A.; BAREY, P.; CANSELL, M. Influence of formulation on the thermal behavior of ice cream mix and ice cream. **Journal of the**

**American oil Chemists Society**, v.82, p. 427-431 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11746-005-1088-z>>.

HAYES, M. G.; KELLY, A. L. High pressure homogenisation of raw whole bovine milk (a) effects on fat globule size and other properties. **Journal of Dairy Research**, v. 70, p. 297–305, 2003. <https://doi.org/10.1017/S0022029903006320>

HAYES, M. G.; FOX, P. F.; KELLY, A. L. Potential applications of high pressure homogenisation in processing of liquid milk. **Journal of Dairy Research**, v. 72, p. 25–33, 2005. Disponível em: <<https://doi.org/10.1017/S0022029904000524>>.

HEBISHY, E.; ZAMORA, A.; BUFFA, M.; BLASCO-MORENO, A.; TRUJILLO, A. J. Characterization of whey protein oil-in-water emulsions with different oil concentrations stabilized by ultra-high pressure homogenization. **Processes**, v. 5, p. 1–18, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/pr5010006>>.

HURTADO, A.; GUÀRDIA, M. D.; PICOUET, P.; JOFRÉ, A.; BAÑÓN, S.; ROS, J. M. Shelf-life extension of multi-vegetables smoothies by high pressure processing compared with thermal treatment. Part II: Retention of selected nutrients and sensory quality. **Journal of Food Processing and Preservation**, v. 43, p. 1–9, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/jfpp.14210>>.

INNOCENTE, N.; BIASUTTI, M.; VENIR, E.; SPAZIANI, M.; MARCHESINI, G. Effect of high-pressure homogenization on droplet size distribution and rheological properties of ice cream mixes. **Journal Dairy Science**, v. 92, p. 1864-1875, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.3168/jds.2008-1797>>.

ITAL. Instituto de Tecnologia de Alimentos. *Sorvetes industrializados: alimentação, bem-estar e nutrição*, 2021. Disponível em: <<https://ital.agricultura.sp.gov.br/sorvetes/>>. Acesso em: 25 fevereiro de 2023.

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**, v. 12, p. 1872-1884, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11694-018-9801-9>>.

KALEDA, A.; TSANEV, R.; KLESMENT, T.; VILU, R.; LAOS, K. Ice cream structure modification by ice-binding proteins. **Food Chemistry**, v. 246, p. 164-171, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2017.10.152>>.

KARACA, A. C.; LOW, N.; NICKERSON, M. Emulsifying properties of chickpea, faba bean, lentil and pea proteins produced by isoelectric precipitation and salt extraction. **Food Research International**, v. 44, n. 9, p. 2742-2750, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2011.06.012>>.

KOT, A.; KAMIŃSKA-DWÓRZNICKA, A.; JAKUBCZYK, E. Study on the Influence of Ultrasound Homogenisation on the Physical Properties of Vegan Ice Cream Mixes. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 12, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/app12178492>>.

KOWALCZYK, M.; ZNAMIROWSKA, A.; BUNIEWSKA, M. Probiotic sheep milk ice cream with inulin and apple fiber. **Foods**, v. 10, p. 678, 2021. Disponível em:

<<https://doi.org/10.3390/foods10030678>>.

KURT, A.; CENGIZ, A.; KAHYAOGU, T. The effect of gum tragacanth on the rheological properties of salep based ice cream mix. **Carbohydrate Polymers**, v. 143, p. 116-123, 2016. Disponível em: <[10.1016/j.carbpol.2016.02.018](https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2016.02.018)>.

KURT, A.; ATALAR, I. Effects of quince seed on the rheological, structural and sensory characteristics of ice cream. **Food Hydrocolloids**, v. 82, p. 186-195, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.04.011>>.

LABBA, I. M.; FRØKIÆR, H.; SANDBERG, A. Nutritional and antinutritional composition of fava bean (*Vicia faba* L., var. minor) cultivars. **Food Research International**, v. 140, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2020.110038>>.

LANGTON, M.; EHSANZAMIR, S.; KARKEHABADI, S.; FENG, X.; JOHANSSON, M.; JOHANSSON, D. P. Food Hydrocolloids Gelation of faba bean proteins - Effect of extraction method, pH and NaCl. **Food Hydrocolloids**, v. 103, 105622, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2019.105622>>.

LEVY, R.; OKUN, Z.; SHPIGELMAN, A. High-Pressure Homogenization: Principles and Applications Beyond Microbial Inactivation. **Food Engineering Reviews**, v. 13, p. 490–508, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12393-020-09239-8>>.

LEVY, R.; OKUN, Z.; DAVIDOVICH-PINHAS, M.; SHPIGELMAN, A. Utilization of high-pressure homogenization of potato protein isolate for the production of dairy-free yogurt-like fermented product. **Food Hydrocolloids**, v. 113, 106442, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106442>>.

MA, K. K.; GROSSMANN, L.; NOLDEN, A. A.; McCLEMENTS, D. J.; KINCHLA, A. J. Functional and physical properties of commercial pulse proteins compared to soy derived protein. **Future Foods**, v. 6, p. 7, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fufo.2022.100155>>.

MARINHO, J. F. U.; DA SILVA, M. P.; MAZZOCATO, M. C.; TULINI, F. L.; FAVARO-TRINDADE, C. S. Probiotic and Synbiotic Sorbets Produced with Jussara (*Euterpe edulis*) Pulp: Evaluation Throughout the Storage Period and Effect of the Matrix on Probiotics Exposed to Simulated Gastrointestinal Fluids. **Probiotics and Antimicrobial Proteins**, v. 11, p. 264–272, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12602-017-9346-y>>.

MARIOTTI, F. ; TOME, D. ; MIRAND, P. P. Converting nitrogen into protein - Beyond 6.25 and Jones' factors. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 48, p. 177-184, 2008. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/10408390701279749>>.

MARSHALL, R. T.; GOFF, H. D.; HARTEL, R. W. **Ice cream**. 6ª edição. New York: Kluwer Academic, Plenum Press, p. 139-143, 2003.

MERCAN, E.; SERT, D.; AKIN, N. Determination of powder flow properties of skim milk powder produced from high-pressure homogenization treated milk concentrates during storage. **LWT**, v. 97, p. 279–288, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.002>>.

MESA, J.; BARRERA, C.; BETORET, E.; BETORET, N. High Homogenization Pressures to Improve Food. **Molecules**, v. 25, p. 1–19, 2020. Disponível em: <10.3390/molecules25143305>.

MOSTAFAVI, F. S.; TEHRANI, M. M.; MOHEBBI, M. Rheological and sensory properties of fat reduced vanilla ice creams containing milk protein concentrate (MPC). **Journal of Food Measurement and Characterization**, v. 11, p. 567-575, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11694-016-9424-y>>.

MULTARI, S.; STEWART, D.; RUSSELL, W. R. Potential of Fava Bean as Future Protein Supply to Partially Replace Meat Intake in the Human Diet. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 14, p. 511-522, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12146>>.

OSORIO-ARIAS, J. C.; VEGA-CASTRO, O.; MARTINEZ-MONTEAGUDO, S. I. Fundamentals of High-Pressure Homogenization of Foods. **Innovative Food Processing Technologies: A Comprehensive Review**, p. 244–273, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/b978-0-08-100596-5.23021-7>>.

ÖZTÜRK, H. İ.; DEMIRCI, T.; AKIN, N. Production of functional probiotic ice creams with white and dark blue fruits of *Myrtus communis*: The comparison of the prebiotic potentials on *Lactobacillus casei* 431 and functional characteristics. **LWT**, v. 90, p. 339-345, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2017.12.049>>.

PALUDO, M. C.; COLOMBO, R. C.; FILHO, J. T. HERMOSÍN-GUTIÉRREZ, I. BALLUSE, C. A.; GODOY, H. T. Optimizing the Extraction of Anthocyanins from the Skin and Phenolic Compounds from the Seed of Jaboticaba Fruits (*Myrciaria jaboticaba* (Vell.) O. Berg) with Ternary Mixture Experimental Designs. **J. Braz. Chem. Soc.**, v. 30, p. 1506-1514, 2019. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21577/0103-5053.20190047>>.

PATRIGNANI, F.; LANCIOTTI, R. Applications of high and ultra-high-pressure homogenization for food safety. **Frontiers in Microbiology**. v. 7, p. 1132, 2016. Disponível em: <10.3389/fmicb.2016.01132>.

Pontonio, E., Montemurro, M., Dingo, C., Rotolo, M., Centrone, D., Emanuele, V., & Giuseppe, C. (2022). Design and characterization of a plant-based ice cream obtained from a cereal / legume yogurt-like. *LWT*, 161(February), 113327. <https://doi.org/10.1016/j.lwt.2022.113327>

R CORE TEAM. (2021). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

RAHATE, K. A.; MADHUMITA, M.; PRABHAKAR, P. K. Nutritional composition, anti-nutritional factors, pretreatments-cum-processing impact and food formulation potential of faba bean (*Vicia faba* L.): A comprehensive review. **LWT**, v. 138, p. 110796, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2020.110796>>.

RODARTE, D.; ZAMORA, A.; TRUJILLO, A. J.; JUAN, B. Effect of ultra-high pressure homogenization on cream: Shelf life and physicochemical characteristics. **Lwt**, v. 92, p. 108–115, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.020>>

RORIZ, C. L.; BARREIRA, J. C. M.; MORALES, P.; BARROS, L.; FERREIRA, I. C. F. R. Gomphrena globosa L. as a novel source of food-grade betacyanins: Incorporation in ice-cream and comparison with beet-root extracts and commercial betalains. **Lwt**, v. 92, p. 101-107, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.009>>.

ROSSA, P. N.; BURIN, V. M.; BORDIGNON-LUIZ, M. T. Effect of microbial transglutaminase on functional and rheological properties of ice cream with different fat contents. **LWT - Food Science and Technology**, v. 48, n. 2, p. 224–230, 2012. Disponível em: <[10.1016/J.LWT.2012.03.017](https://doi.org/10.1016/J.LWT.2012.03.017)>.

SANTIAGO, M.C.P.D.A.; GOUVÊA, A.C.M.S.; GODOY, R.L.D.O.; NETO, J.O.; PACHECO, S.; ROSA, J.S.D. Adaptação de um Método por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência Para Análise de Antocianinas em Suco de Açaí (*Euterpe oleracea* Mart.); Comunicado Técnico; Embrapa Agroindústria de Alimentos: Rio de Janeiro, Brazil, 2010.

SERT, D.; MERCAN, E. High-pressure homogenisation of sheep milk ice cream mix: Physicochemical and microbiological characterisation. **Lwt**, v. 151, p. 0–5, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112148>>.

SERT, D.; MERCAN, E.; KILINÇ, M. Development of buffalo milk ice-cream by high pressure-homogenization of mix: Physicochemical, textural and microstructural characterization. **Lwt**, v. 150, 112013, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112013>>.

SHARAN, S.; ZANGHELINI, G.; ZOTZEL, J.; BONERZ, D.; ASCHOFF, J.; SAIN-EVE, A.; MAILLARD, M. Fava bean (*Vicia faba* L.) for food applications: From seed to ingredient processing and its effect on functional properties, antinutritional factors, flavor, and color. **Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety**, v. 20, n. 1, p. 401–428, 2021. Disponível em: <[10.1111/1541-4337.12687](https://doi.org/10.1111/1541-4337.12687)>.

SILVEIRA, J. T.; DA ROSA, A. P. C.; DA MORAIS, M. G.; DE VICTORIA, F. N.; COSTA, J. A. V. An integrative review of Açaí (*Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria*): Traditional uses, phytochemical composition, market trends, and emerging applications. **Food Research International**, v. 173, p. 113304, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113304>>.

SONG, X.; ZHOU, C.; FU, F.; CHEN, Z.; WU, Q. Effect of high-pressure homogenization on particle size and film properties of soy protein isolate. **Industrial Crops and Products**, v. 43, p. 538–544, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2012.08.005>>.

SOTELO-LARA, D. M.; AMADOR-ESPEJO, G. G.; ZAMORA-GASGA, V. M.; GUTIÉRREZ-MARTÍNEZ, P.; VELÁZQUEZ-ESTRADA, R. M. Effect of thermosonication on bioactive compounds, enzymatic and microbiological inactivation in nectar with strawberry by-products. **Journal of Food Science and Technology**, v. 60, p. 1580–1589, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s13197-023-05700-8>>.

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, p. 627–655, 2014. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1111/1541-4337.12083>>.

TADINI, C. C.; TELIS, V. R. N.; MEIRELLES, A. J. A.; PESSÔA FILHO, P. A. (2016). **Operações unitárias na indústria de alimentos** (1st ed.). LTC (Chapter 3).

TIMMERMANS, R. A. H.; ROLAND, W. S. U.; VAN KEKEM, K.; MATSER, A. M.; VAN BOEKEL, M. A. J. S. Effect of Pasteurization by Moderate Intensity Pulsed Electric Fields (PEF) Treatment Compared to Thermal Treatment on Quality Attributes of Fresh Orange Juice. **Foods**, v. 11, p. 3360, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/foods11213360>>.

TSEVDOU, M.; APREA, E.; BETTA, E.; KHOMENKO, I.; MOLITOR, D.; BIASIOLI, F.; GAIANI, C.; GASPERI, F.; TAOUKIS, P.; SOUKOULIS, C. Rheological, Textural, Physicochemical and Sensory Profiling of a Novel Functional Ice Cream Enriched with Muscat de Hamburg (*Vitis vinifera* L.) Grape Pulp and Skins. **Food and Bioprocess Technology**, v. 12, p. 665–680, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11947-019-2237-3>

VOGELSANG-O'DWYER, M.; PETERSEN, I. L.; JOEHNKE, M. S.; SORENSEN J. C.; BEZ, J.; DETZEL, A.; BUSCH, M.; KRUEGER, M.; O'MAHONY, J. A.; ARENDT, E. K.; ZANNINI, E. Comparison of Faba Bean Protein Ingredients Environmental Performance. **Foods**, v. 9, p. 322, 2020. Disponível em: <[10.3390/foods9030322](https://doi.org/10.3390/foods9030322)>.

VORONIN, G. L.; ROBERTS, R.; FELIX, T. L.; COUPLAND, J. N.; HARTE, F. M. Effect of high-pressure-jet processing on the physicochemical properties of low-fat ice cream mix. **Journal of Dairy Science**, v. 103, p. 6003–6014, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.3168/jds.2019-17814>>.

VORONIN, G. L.; NING, G.; COUPLAND, J. N.; ROBERTS, R.; HARTE, F. M. Freezing kinetics and microstructure of ice cream from high-pressure-jet processing of ice cream mix. **Journal of Dairy Science**, v. 104, p. 2843–2854, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.3168/jds.2020-19011>>.

WANG, W.; LI, J.; WANG, M.; GU, L.; LIU, Z.; XU, C.; MA, J.; JIANG, L.; JIANG, Z.; HOU, J. Soybean-Oil-Body-Substituted Low-Fat Ice Cream with Different Homogenization Pressure, Pasteurization Condition, and Process Sequence: Physicochemical Properties, Texture, and Storage Stability. **Foods**, v. 11, n. 17, 2022. Disponível em: <[10.3390/foods11172560](https://doi.org/10.3390/foods11172560)>.

WARSAME, A. O.; O'SULLIVAN, D. M.; TOSI, P. Seed Storage Proteins of Faba Bean (*Vicia faba* L): Current Status and Prospects for Genetic Improvement. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 66, n. 48, p. 12617–12626, 2018. Disponível em: <[10.1021/acs.jafc.8b04992](https://doi.org/10.1021/acs.jafc.8b04992)>.

YAN, L.; YU, D.; LIU, R.; JIA, Y.; ZHANG, M.; WU, T.; SUI, W. Microstructure and meltdown properties of low-fat ice cream: Effects of microparticulated soy protein hydrolysate/xanthan gum (MSPH/XG) ratio and freezing time. **Journal of Food Engineering**, v. 291, p. 110291, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jfoodeng.2020.110291>>.

YANG, J.; LIU, G.; ZENG, H.; CHEN, L. Effects of high pressure homogenization on faba bean protein aggregation in relation to solubility and interfacial properties. **Food Hydrocolloids**, v. 83, p. 275–286, 2018. Disponível em:

<<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.020>>.

YIRKA, B. (2017). **Japanese scientists create ice cream that doesn't melt**. Disponível em: <<https://phys.org/news/2017-08-japanese-scientists-ice-cream-doesnt.html>>. Acesso em: 13 junho de 2023.

ZAMORA, A.; FERRAGUT, V.; JARAMILLO, P. D.; GUAMIS, B.; TRUJILLO, A. J. Effects of ultra-high pressure homogenization on the cheese-making properties of milk. **Journal of Dairy Science**, v. 90, p. 13–23, 2007. Disponível em: <[https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302\(07\)72604-8](https://doi.org/10.3168/jds.S0022-0302(07)72604-8)>.

ZAMORA, A.; FERRAGUT, V.; GUAMIS, B.; TRUJILLO, A. J. Changes in the surface protein of the fat globules during ultra-high pressure homogenisation and conventional treatments of milk. **Food Hydrocolloids**, v. 29, p. 135–143, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2012.02.012>>.

ZHAO, X.; LIU, X.; XUE, F. Effects of high-pressure homogenization treatment on physiochemical properties of novel plant proteins. **Applied Food Research**, v. 3, 100285, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.afres.2023.100285>>.

**EFEITO DA HOMOGENEIZAÇÃO A ALTA PRESSÃO NA  
ACEITAÇÃO E CARACTERÍSTICAS SENSORIAIS DE SORVETE  
*PLANT-BASED* DE AÇAÍ E FARINHA DA CASCA DE  
JABUTICABA COM PROTEÍNA DE FEIJÃO-FAVA**

# Efeito da homogeneização a alta pressão na aceitação e características sensoriais de sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava

Nátali Silva Teixeira<sup>a\*</sup>, Inayara Beatriz Araujo Martins<sup>b</sup>, Ellen Mayra Menezes Ayres<sup>c</sup>, Amauri Rosenthal<sup>d</sup>, Ana Carolina Sampaio Doria Chaves<sup>d</sup>, Rosires Deliza<sup>d</sup>

<sup>a</sup>Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rodovia BR 456, km 7, Seropédica, RJ, Brazil

<sup>b</sup>PDJ-FAPERJ /Embrapa Agroindústria de Alimentos, Av. das Américas, 29501, CEP 23.020-470, Rio de Janeiro/RJ, Brasil

<sup>c</sup> Departamento de Nutrição Fundamental, Escola de Nutrição, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Av. Pasteur, 296 - Urca. Rio de Janeiro, 22290-240, Brasil

<sup>d</sup> Embrapa Agroindústria de Alimentos, Av. das Américas, 29501, CEP 23.020-470, Rio de Janeiro/RJ, Brasil

## RESUMO

Substituir proteínas lácteas por de origem vegetal em sorvetes pode ser um desafio para a indústria devido às mudanças na textura, sabor e cor, afetando sua aceitação. Diante disso, investigar os efeitos de uma tecnologia emergente promissora na aceitação e características sensoriais pode ser uma estratégia crucial para o sucesso no mercado. O objetivo deste estudo foi avaliar a aceitação da formulação otimizada de sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava submetido a diferentes condições de homogeneização a alta pressão na etapa de mistura/homogeneização da calda e como essas percepções diferem entre consumidores com diferentes níveis de aceitação do novo produto. A mistura com preparado de açaí e farinha da casca de jabuticaba (40%), concentrado proteico de feijão-fava (8,5%), óleo de coco (6,5%), água (44%), estabilizante (0,5%) e emulsificante (0,5%), após a pasteurização e resfriamento foi submetida a cinco diferentes tratamentos de mistura/homogeneização: liquidificador industrial (LI), 0 MPa, 15 MPa (homogeneização convencional), 45 e 90 MPa. Essa mistura é chamada de “calda” e foi levada ao congelamento/incorporação de ar na processadora de sorvete. Os consumidores analisaram os sorvetes por meio de um teste de aceitação, utilizando uma escala hedônica de nove pontos, intenção de compra do produto também foi avaliada utilizando escala estruturada de sete pontos. Em seguida foram solicitados a descrever as amostras marcando os termos RATA (Rate-All-That-Apply) e respectivas intensidades usando escalas estruturadas de 3 pontos. Participaram do estudo 120 consumidores de sorvete, que foram segmentados em três grupos de acordo com a nota de aceitação: "baixa aceitação" (notas  $\leq 4$ ), "média aceitação" (notas entre 4,1 e 5,9) e "alta aceitação" (notas  $\geq 6$ ). Embora a média geral de aceitação tenha sido considerada baixa (em torno de 5,0), cerca de um terço dos participantes ( $n = 39$ ) atribuíram notas elevadas ( $\geq 6$ ), sugerindo que houve efeito dos tratamentos realizados. Os resultados mostraram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) na percepção de 13 dos 17 termos avaliados por meio do Rate-All-That-Apply (RATA), sugerindo que os consumidores conseguiram identificar diferenças nas características sensoriais dos sorvetes. As amostras tratadas com HAP a 45 MPa e 90 MPa obtiveram as maiores médias de aceitação, destacando-se nos atributos "cor roxa", "aparência brilhosa", "gosto doce", "sabor de açaí" e "cremosa". Também se observou que os cinco tratamentos receberam notas relacionadas ao sabor vegetal, gosto residual de proteína vegetal e sabor estranho, mas nos tratamentos LI, 45 MPa e 90 MPa tais médias foram significativamente inferiores ( $p \leq 0,05$ ), exceto para “sabor vegetal”, não apresentou diferença significativa entre as cinco amostras ( $p > 0,05$ ). Os resultados

identificaram uma parcela do público potencial ("alta aceitação") para o sorvete com proteína de feijão-fava e açaí, especialmente quando submetidos às pressões mais elevadas durante a homogeneização (a partir de 45 MPa). Destaca-se o caráter inovador desse estudo o qual utilizou o açaí e a farinha da casca de jabuticaba (duas frutas nativas da biodiversidade brasileira com elevadas concentrações de antocianinas), além de fonte alternativa de proteína vegetal que, combinados com a aplicação de tecnologia não convencional busca atender as demandas do consumidor.

**Palavras-chave:** Rate-all-that-apply (RATA); Estudo com consumidor; *Plant-based*; Sorvete; Homogeneização a alta pressão; Inovação

## 1 INTRODUÇÃO

A alimentação sustentável tem sido pauta frequente de artigos científicos, na mídia, nos fóruns e eventos internacionais, devido à preocupação com a saúde única. Em 2023, na 28ª Conferência das Partes (COP28) foi anunciado que 134 líderes mundiais assinaram uma declaração histórica sobre agricultura, alimentação e ação climática (COP28, 2023). Essa e outras mobilizações fazem parte das estratégias de órgãos, governo e indústrias para conseguir responder uma pergunta que tem repercutido em várias esferas: “Como alimentar 10 bilhões de pessoas em 2050?”, visto que a população global prevista deva atingir tal estimativa e, conseqüentemente, incrementar a procura por alimentos seguros e saudáveis (ONU, 2020). O efeito da produção de proteína animal nas mudanças climáticas, a preocupação do bem-estar animal e a disponibilidade podem representar obstáculos para atender às demandas da população em crescimento, sendo necessário a exploração de fontes proteicas alternativas e ecologicamente sustentáveis (KARABULUT *et al.*, 2023), atendendo igualmente, as mudanças nos hábitos alimentares dos consumidores (GRASSO, ALONSO-MIRAVALLÉS, O’MAHONY, 2020).

A maioria dos produtos alimentícios de origem vegetal, provêm da soja, uma das principais fontes de proteína vegetal do mundo. A soja é reconhecida por suas propriedades funcionais e valor nutricional, pois contém todos os aminoácidos essenciais (WU *et al.*, 2018). Contudo, as preocupações relacionadas à alergenicidade e o sabor residual pronunciado da soja em produtos *plant-based*, tem impulsionado a busca por fontes de proteínas alternativas (SUN e RUIZ-CARRASCAL, 2023).

O feijão-fava (*Vicia faba* L.) é uma leguminosa cultivada por milênios na Ásia, África e na região do Mediterrâneo. Contém proteínas, carboidratos, fibras alimentares, vitamina B e minerais. Com relação ao perfil de aminoácidos, se destaca pela alta concentração de lisina, um aminoácido frequentemente limitante em cereais, enquanto exibe quantidades baixas de metionina, cisteína e triptofano. O teor de proteína no grão integral varia entre 26 e 31% em matéria seca propiciando a obtenção de concentrado proteico com de 60 a 65% de proteína. A proteína apresenta diferentes propriedades tecnológicas, tais como capacidade emulsificante e espumante, aumento da retenção de água e da viscosidade, sendo apropriadas para o desenvolvimento do sorvete (LEVY *et al.*, 2021; DO CARMO *et al.*, 2023) cuja matriz alimentícia é bastante versátil para adição ou substituição dos diferentes ingredientes. É um produto obtido a partir de uma emulsão de gorduras e proteínas, com água, açúcar, estabilizantes e emulsificantes (GOFF e HARTEL, 2013). No Brasil, o sorvete é considerado como uma indulgência ou sobremesa, sendo apreciado por diferentes faixas etárias e classes sociais. O consumo *per capita* no Brasil em 2022 foi de 4,99 litros, sendo considerado baixo, em especial, quando

comparado com Nova Zelândia, EUA, Austrália e Suécia, que registram consumos *per capita* de 28,3 litros, 20,8 litros, 18,1 litros e 14,3 litros, respectivamente (ABIS, 2022).

Os sorvetes de base láctea, em geral, têm grande quantidade de gordura e de colesterol, que é prejudicial para a saúde (SALEM, FATHI, AWAD, 2005). Nos últimos anos têm sido incorporadas diferentes proteínas vegetais de desenvolvimento de novos sorvetes, além de ingredientes à base de frutas para obter produtos com mais saudabilidade e sustentáveis, a fim de atender as demandas dos consumidores e promover um maior engajamento no consumo de sorvetes.

Dentre as frutas nativas brasileiras, o açaí (*Euterpe oleracea*) merece destaque devido aos compostos bioativos e tem sido utilizado como ingrediente em diversos produtos, como sorvetes, geleia, iogurtes, bebidas entre outros, conferindo cor aroma e sabor, além da capacidade antioxidante devido ao alto teor de antocianinas (SILVEIRA *et al.*, 2023). Outra fruta originária da biodiversidade brasileira é a jabuticaba (*Plinia sp.*) rica em compostos fenólicos e antocianinas. Do processamento industrial para obtenção da polpa, obtêm-se os co-produtos, que geralmente são descartados: sementes e cascas que apresentam concentração elevada de compostos fenólicos, fibras e vitaminas (GURAK *et al.*, 2014). O aproveitamento integral das frutas pode minimizar o impacto ambiental e, simultaneamente, agregar valor aos subprodutos, incluindo a utilização direta na formulação de alimentos (MARQUETTI *et al.*, 2018). Segundo Benvenuti, Zielinski, Ferreira (2021), em 100g da casca de jabuticaba desidratada existe cerca de 33 g de fibras e 2252 mg de compostos fenólicos (antocianinas), que além de serem benéficos para saúde, podem ser utilizados como corante natural em produtos alimentícios.

Mendonça *et al.* (2022) desenvolveram um sorvete utilizando extrato de soja, kefir de soja e casca de jabuticaba desidratada, com potencial antioxidante e probiótico, tendo obtido boa aceitação sensorial. Abdallahwahab, Mohammed e Omer (2017) desenvolveram sorvete utilizando extrato de gergelim, enquanto Bisla *et al.* (2012) utilizaram extrato de soja e semente de abóbora na formulação de sorvetes com boa aceitação sensorial. A utilização de ingredientes naturais, como por exemplo açaí e a casca de jabuticaba desidratada no desenvolvimento de sorvete com proteína vegetal pode contribuir para aumentar aceitação do produto final (SADOWSKA-KREPA *et al.*, 2015; SILVEIRA *et al.*, 2023).

A etapa de homogeneização é fundamental no processamento de sorvete, influenciando diretamente na estrutura do produto. O objetivo primordial da homogeneização consiste em diminuir o tamanho dos glóbulos de gordura para menos de aproximadamente 2  $\mu\text{m}$ , o que resulta em uma maior estabilidade dos mesmos durante o processo de maturação da calda. Adicionalmente, há uma diminuição do risco de agitação da gordura quando armazenada no congelador. Geralmente é realizada aplicando-se pressões que variam de 6 a 20 MPa em homogeneizadores industriais (HI) (BIASUTTI *et al.*, 2013). Contudo, diferentes tecnologias emergentes têm sido utilizadas para aprimorar as propriedades e a qualidade dos produtos alimentícios. Uma dessas tecnologias é a homogeneização a alta pressão (HAP), método contínuo semelhante à homogeneização tradicional, porém com pressões mais elevadas. É utilizado para processamento de alimentos líquidos e semissólidos, diferindo da alta pressão hidrostática, que é um processamento em batelada (MERCAN, SERT, AKIN, 2018). Na HAP, o fluido é bombeado, forçado a passar por espaços restritos dentro de uma válvula, resultando em aumento da pressão devido às forças de cisalhamento, cavitação e turbulência por um curto período de tempo, podendo resultar em aumento da temperatura de 2 a 3 °C para cada 10 MPa de pressão (MESA *et al.*, 2020).

Biasutti *et al.* (2013) e Innocente *et al.* (2009) investigaram o efeito da HAP em sorvetes de base láctea. Recentemente, Sert, Mercan, Kilinç (2021) avaliaram o impacto

do tratamento HAP nas características físico-químicas, na textura e na microestrutura do sorvete de leite de búfala. A aplicação de HAP resultou em um aumento da firmeza e consistência das misturas, enquanto provocou uma diminuição na coesividade e nos valores do índice de viscosidade. Adicionalmente, o uso da HAP promoveu uma melhora na luminosidade das misturas. Em relação ao tamanho médio das partículas das amostras misturadas tratadas com HAP, observou-se uma redução em comparação ao controle, com exceção a amostra HAP-150. Destaca-se que a HAP contribuiu significativamente para a resistência ao derretimento do sorvete. Análises por microscopia eletrônica de varredura revelaram que a presença de HAP resultou na redução do tamanho das bolhas de ar. Tais resultados revelam a importância de avaliar as características sensoriais do sorvete.

A análise sensorial descritiva é uma ferramenta amplamente empregada na ciência sensorial, sendo essencial tanto na indústria de alimentos e bebidas, quanto na pesquisa acadêmica. Essa abordagem facilita o desenvolvimento de produtos alinhados às expectativas dos consumidores, em conformidade com padrões de referência, permitindo avaliar o impacto de ingredientes ou processos, assegurando o controle de qualidade e possibilitando a correlação com medições instrumentais. Além disso, fornece insights cruciais sobre as mudanças nas características sensoriais (VARELA e ARES, 2012). Nesse contexto, a metodologia denominada "Check-All-That-Apply" (CATA) emerge como uma das ferramentas mais importantes para a caracterização sensorial pelo consumidor. Esse enfoque proporciona descrições confiáveis que se equiparam àquelas originadas por um painel de avaliadores treinados (ARES e JAEGER, 2015). Contudo, a abordagem de resposta binária às perguntas CATA não possibilita uma avaliação direta da intensidade dos termos sensoriais em análise, o que dificulta a distinção entre produtos que compartilham propriedades sensoriais semelhantes (ARES *et al.*, 2014).

Dessa forma, o método "Rate-All-That-Apply" (RATA) foi desenvolvido como uma variação e expansão das perguntas CATA, possibilitando a discriminação entre produtos que compartilham características sensoriais semelhantes, mas que diferem em termos de intensidade (MEYNER, JAEGER, ARES, 2016). O método RATA pode ser utilizado na descrição dos atributos sensoriais de novos produtos *plant-based* (SUN e RUIZ-CARRASCAL, 2023).

A substituição das proteínas lácteas por proteínas vegetais no processamento de sorvete é um grande desafio tecnológico para a indústria, pois influenciaram a textura, sabor, cor e, conseqüentemente, na aceitação do produto. Sendo assim, investigar as diferenças na aceitação em função do perfil dos consumidores, além de considerar os hábitos de consumo de sorvete e produtos *plant-based*, pode ser estratégia adequada para o sucesso desse novo produto no mercado.

Até o momento, não foram publicados estudos de caracterização sensorial de sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava processado por HAP. Desse modo, o objetivo deste estudo foi avaliar a aceitação e a caracterização sensorial do sorvete com proteína de feijão-fava e açaí submetido a diferentes condições de HAP na etapa de mistura/homogeneização da calda e como essas percepções diferem entre consumidores com diferentes níveis de aceitação do novo produto.

## 2 MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Materiais

O concentrado proteico de feijão-fava comercial (Figura 1b) foi cedido pela empresa Ingredion® (São Paulo, Brasil), e contém 59,5% proteína, 13,4% fibras, 12,5% carboidratos, 5,7% cinzas, 5,2% umidade e 3,7% gordura. O óleo de coco sem sabor

(Copra<sup>®</sup>, Alagoas, Brasil), emulsificante (Emustab, Selecta<sup>®</sup>, Duas Rodas, Santa Catarina, Brasil), Super Liga Neutra (mistura de goma guar, carboximetilcelulose, goma tara, Selecta<sup>®</sup>, Duas Rodas, Santa Catarina, Brasil), foram comprados em mercado local, situado na cidade do Rio de Janeiro (RJ, Brasil).

a)



b)



**Figura 1.** Grãos de feijão-fava (a) e concentrado proteico de feijão-fava (b).

O preparado de açaí foi produzido a partir de 50% de polpa de açaí com 8% de sólidos totais (Palamaz<sup>®</sup>, Pará, Brasil), 31,25% de açúcar (Guarani<sup>®</sup>, São Paulo, Brasil), 6,25% de casca de jabuticaba desidratada em pó (produzida na Embrapa Agroindústria de Alimentos), 12,36% de água filtrada e 0,14% de ácido cítrico (Arcolor<sup>®</sup>, Brasil).

Os ingredientes foram misturados e concentrados (no fogão em fogo brando, sob agitação constante) até atingir 51 °Brix, subsequentemente, foi envasado em embalagem plástica e armazenado à -18 °C, até a utilização no preparo do sorvete.

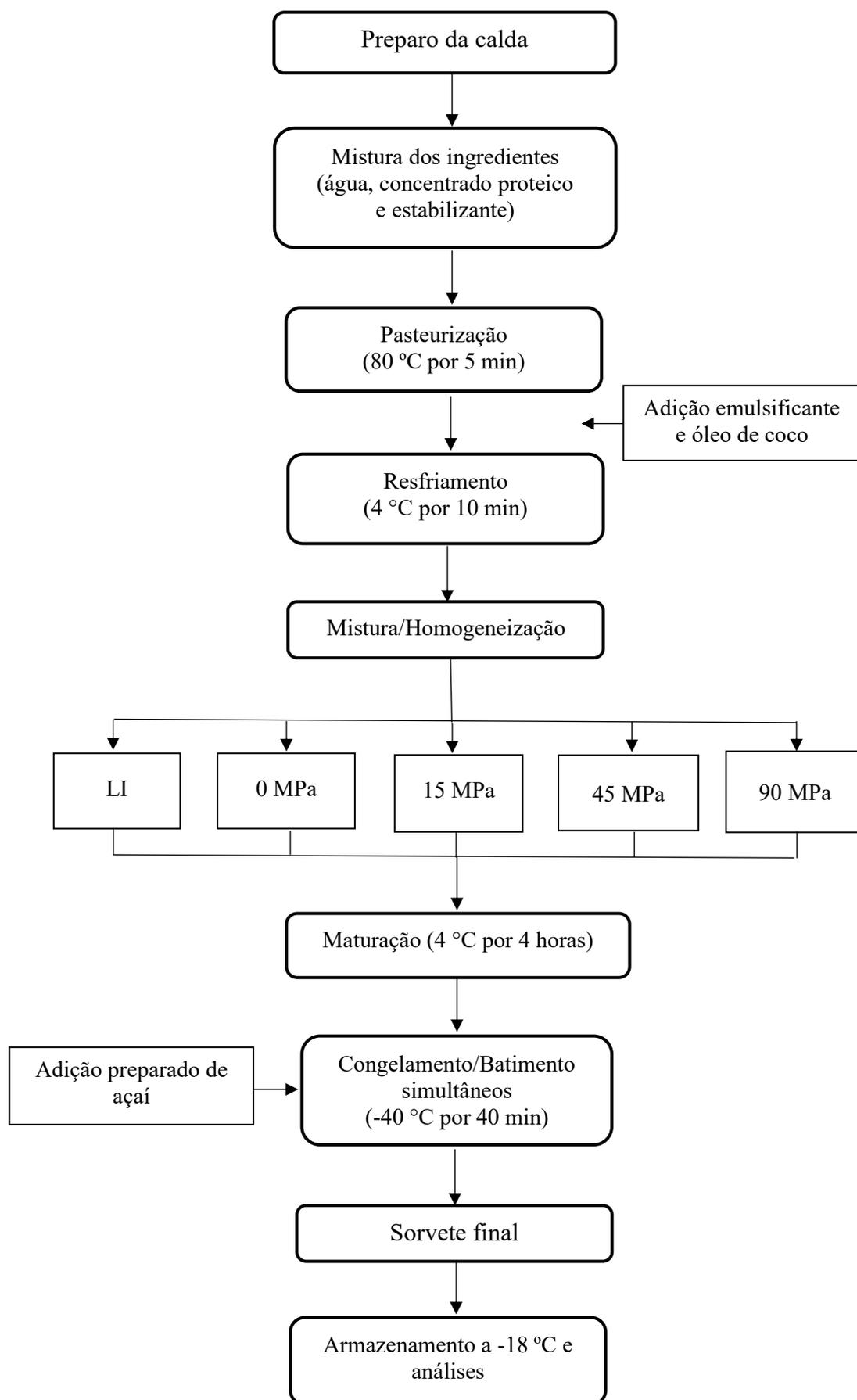
## 2.2 Processamento do sorvete

O processamento do sorvete foi realizado na Planta Piloto e laboratórios da Embrapa Agroindústria de Alimentos, no Rio de Janeiro/RJ, Brasil.

### 2.2.1 Preparação da calda do sorvete

A formulação do sorvete foi otimizada (Capítulo II) anteriormente por meio de um planejamento experimental que definiu as proporções dos ingredientes: 40% preparado de açaí, 8,5% concentrado proteico de feijão-fava, 6,5% óleo de coco, 44% água, 0,5% emulsificante e 0,5% estabilizante. A mistura do sorvete antes da etapa de congelamento/batimento é chamada de “calda”.

O processamento seguiu as etapas descritas na Figura 2. Inicialmente, o concentrado proteico foi misturado com água e estabilizante em um liquidificador industrial (Poli LB-25, Skymesen<sup>®</sup>, Brasil), por um minuto. Posteriormente, foi realizada a pasteurização à 80 °C durante 5 minutos com agitação contínua. Após a pasteurização, foram adicionados o emulsificante e o óleo de coco, a mistura foi realizada em liquidificador industrial (Poli LB-25, Skymesen, Brasil) que em seguida foi resfriada até 4 °C.



**Figura 2.** Fluxograma do processamento de sorvete. LI = Liquidificador industrial. 0, 15, 45 e 90MPa = nível de pressão aplicado em cada amostra.

### **2.2.3 Homogeneização da calda do sorvete**

A calda foi fracionada em cinco porções iguais e submetidas aos diferentes tratamentos na etapa de mistura ou homogeneização, uma porção foi tratada em liquidificador industrial (LI) (Poli LB-25, Skymesen, Brasil) e as outras quatro submetidas a diferentes níveis de pressão, utilizando um homogeneizador de alta pressão modelo industrial (APL-300, IBH Artepeças, Brasil). Os níveis de pressão utilizados foram: 0 MPa, (pressão registrada na válvula de controle de pressão do equipamento), 15 MPa, equivalente a homogeneização convencional utilizada na indústria e a 45 e 90 MPa. Em média, a temperatura de entrada da calda no homogeneizador foi de 35 °C e de saída foi de 50 °C.

### **2.2.4 Produção do sorvete**

Após a mistura ou homogeneização, as diferentes caldas de sorvetes foram submetidas à maturação por quatro horas a 4 °C em uma BOD (Solab<sup>®</sup>, Brasil). Em sequência, foi misturada à calda 40% do preparado de açaí e, em seguida, iniciou-se a etapa de batimento/congelamento a -40 °C em uma processadora de sorvete (Gelato Express<sup>®</sup>, Tramontina, Brasil), com duração em torno de 40 minutos. Em seguida, as amostras foram acondicionadas em potes plásticos com tampas e mantidas à -18 °C para ocorrer o congelamento e endurecimento final e armazenadas até as análises.

## **2.3 Análises microbiológicas**

Antes da análise sensorial, as amostras foram avaliadas com relação à segurança e qualidade microbiológica seguindo a Instrução Normativa N° 161 (Brasil, 2022). Foram realizadas as seguintes análises microbiológicas: determinação da contagem de *Escherichia coli* (UFC/g), detecção e contagem de *Estafilococcus coagulase positiva* e *Salmonella spp* em 25g, segundo as metodologias estabelecidas pelo Compendium of Methods for the Microbiological Examination of foods (APHA, 2001).

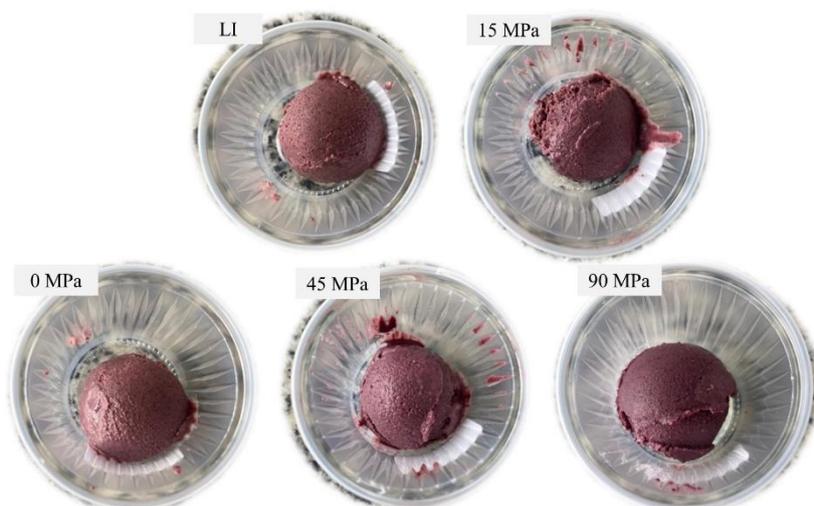
## **2.4 Análise sensorial do sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jaboticaba com proteína de feijão-fava**

### **2.4.1 Procedimento experimental**

Um total de 120 consumidores de sorvete foram recrutados no Campus universitário da Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro - UNIRIO (Rio de Janeiro, RJ, Brasil) por meio de folhetos, das redes sociais e convites via e-mail, incluindo estudantes, professores e funcionários. Como critérios, foi estabelecido idade mínima de 18 anos e ser consumidor de sorvete. Foi solicitada a leitura e assinatura do Termo de Consentimento Livre e Esclarecido. O estudo foi aprovado pelo Comitê Brasileiro de Ética em Pesquisa (Plataforma Brasil – CAAE 50980921.8.0000.5284).

Os consumidores analisaram os sorvetes por meio de um teste de aceitação, utilizando uma escala hedônica de nove pontos, variando de 1 - desgostei extremamente a 9 - gostei extremamente. A intenção de compra do produto também foi avaliada utilizando escala estruturada de sete pontos (1 - certamente não compraria, 4-talvez comprasse/talvez não comprasse, 7-certamente compraria) (PERYAM e PILGRIM, 1957). As amostras congeladas à -18 °C foram retiradas do freezer e mantidas em caixas de isopor com placas de gelo reutilizáveis por 10 minutos em temperatura de -4 °C ± 2 °C e, em seguida servidas de forma monádica, em porções de aproximadamente 10 g em

copos descartáveis transparentes (50 mL) (Figura 3), codificados com números de três dígitos, em ordem de apresentação balanceada para cada consumidor. Água mineral em temperatura ambiente foi disponibilizada para lavar a boca entre as amostras. O teste foi realizado em cabines individuais do Laboratório de Ciências Sensoriais e do Consumidor (LASEN) da Escola de Nutrição – UNIRIO, sob iluminação artificial tipo luz do dia e temperatura controlada (23 °C), utilizando o programa Compusense Cloud (Compusense® Inc., Guelph, Canadá).



**Figura 3.** Fotografias das amostras avaliadas na análise sensorial. LI = Liquidificador industrial. 0, 15, 45 e 90 MPa = nível de pressão aplicado em cada amostra.

Em seguida foram solicitados a descrever as amostras marcando os termos RATA (Rate-All-That-Apply) e respectivas intensidades usando escalas estruturadas de 3 pontos (1: 'baixo', 2: 'médio' e 3: 'alto'). Os termos descritivos foram previamente identificados em estudo realizado com um grupo de seis avaliadores não treinados familiarizados com a metodologia. Para essa etapa, as amostras foram apresentadas de forma monádica, na mesma ordem para todos os participantes, que foram instruídos a descrever as características sensoriais quanto à aparência, aroma, sabor, textura e sabor residual. Após a avaliação de todas as amostras, os termos foram discutidos e, por consenso entre os participantes foram decididos quais seriam incluídos nas perguntas do questionário RATA, totalizando 17 termos (Tabela 1) (ARES *et al.*, 2014).

**Tabela 1.** Termos descritivos utilizados no teste RATA.

<b>Aparência</b>	<b>Sabor</b>	<b>Textura</b>	<b>Residual</b>
Cor roxa	Gosto doce	Cremosa	Residual amargo
Quebradiça	Gosto ácido	Arenosa	Residual gordura
Brilhosa	Sabor de açaí	Firme	Residual de terra
Esbranquiçada	Sabor vegetal		Residual de proteína vegetal
	Sabor estranho		
	Sabor de leite/creme de leite		

## 2.4.2 Questionário sobre hábitos alimentares do consumidor e interesse no consumo de produtos *plant-based*

Após o teste sensorial, os participantes responderam perguntas relacionadas aos hábitos de consumo de sorvete e questões relacionadas ao consumo de produtos *plant-based* (Quadro 1). E também foram coletadas informações sobre o perfil socioeconômico dos participantes.

**Quadro 1.** Perguntas do questionário sobre os hábitos de consumo de sorvete, de produtos *plant-based*, tipo de dieta, barreiras e motivações para consumo de produtos *plant-based*.

Nº	Questões	Opções de respostas
Q1	“O quanto você gosta de sorvete?”	Escala hedônica 9 - pontos 1 - “desgosto extremamente” a 9 - “gosto extremamente”
Q2	“Você consome sorvete?”	Não consumo; raramente consumo; sim, somente em dias quentes (verão e primavera); sim, em qualquer época do ano (independente da temperatura)
Q3	“Com qual frequência você consome sorvete?”	1 - 3 vezes ao mês; 1 - 2 vezes na semana; 3 - 4 vezes na semana; 5 ou mais vezes na semana; mais de uma vez por dia
Q4	“Ideia de selecionar um sorvete com proteína vegetal quando fosse comprar sorvete”	Escala hedônica 9 - pontos 1 - “extremamente ruim” a 9 - “extremamente boa”
Q5	“Indique qual termo melhor descreve sua dieta atual”	Onívora; flexitariana; vegetariana; vegana
Q6	“Você tem intolerância à lactose e/ou alergia à proteína do leite de vaca?”	Sim ou não
Q7	“Com que frequência você consome produtos <i>plant-based</i> (tofu, análogos de carne, queijo vegetal, “leites” vegetais, sorvete, iogurte, salgadinhos)?”	Nunca; raramente; 1 - 3 vezes ao mês; 1 - 2 vezes na semana; 3 - 4 vezes na semana; 5 ou mais vezes na semana; mais de uma vez por dia
Q8	“Quais barreiras te impedem de consumir esses produtos? Você pode marcar quantas opções desejar.”	Preço elevado; restrição alimentar; falta de familiaridade; aparência, aroma, sabor e textura diferentes dos produtos com ingrediente de origem animal; disponibilidade onde faço compras; prefiro os produtos originais; outra
Q9	“Qual razão/motivo te levou ou te levaria a consumir produtos <i>plant-based</i> ?”	Mudança no estilo de vida; preocupações ambientais, morais e éticas; alergias e intolerância; desejo de experimentar novos produtos; sabor e textura; valor nutricional; não me vejo consumindo produtos <i>plant-based</i> num futuro próximo, outra

## 2.5 Análises estatísticas

A análise dos dados foi realizada no software R<sup>®</sup>, versão 4.0.5 (R Core Team, 2021) utilizando nível de significância  $p \leq 0,05$ .

### 2.5.1 Segmentação dos consumidores quanto à aceitação

Os consumidores foram divididos em grupos de acordo com a aceitação e foram identificados três segmentos. O grupo “baixa aceitação” compreendeu os consumidores que atribuíram notas  $\leq 4$  ( $n = 41$ ), o segundo grupo nomeado “média aceitação”, atribuíram notas entre 4,1 a 5,9 ( $n = 40$ ); e o terceiro grupo, denominado “alta aceitação”, atribuíram notas  $\geq 6$  ( $n = 39$ ).

Os resultados do teste de aceitação e de intenção de compra foram analisados com a análise de variância de duas vias (Two way ANOVA), para estudar o efeito dos tratamentos e os grupos formados por níveis de aceitação, bem como as suas possíveis interações, seguido pelo teste de comparação múltipla de Tukey onde foi detectado diferenças. As análises estatísticas foram realizadas com um nível de 5% de significância.

Os dados do perfil socioeconômico e do questionário sobre os hábitos de consumo (Quadro 1) de cada grupo foram utilizados para verificação da existência de diferença estatística por meio do teste qui-quadrado. O teste qui-quadrado por célula também foi empregado para identificar a origem da variação (SYMONEAUX, GALMARINI, MEHINAGIC, 2012).

### 2.5.2 Análise Rate-all-that-apply (RATA)

As médias do RATA foram calculadas seguida da análise de variância e o teste de Fisher ( $p \leq 0,05$ ) para avaliar a diferença entre elas.

Os valores aritméticos médios dos escores RATA foram utilizados para a Análise de Componentes Principais (PCA) (MEYNER, JAEGER, ARES, 2016; VIDAL *et al*, 2018), considerando apenas os termos que discriminaram ( $p \leq 0,05$ ) as amostras.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises microbiológicas dos sorvetes revelaram que todas amostras estavam dentro dos padrões estabelecidos pela Instrução Normativa N° 161 (BRASIL, 2022), ou seja, foram consideradas seguras, aptas para consumo e seguiram para a análise sensorial.

### 3.1 Perfil dos consumidores e hábitos de consumo de sorvete

Dentre os 120 participantes (Tabela 2), 85% eram do sexo feminino, predominantemente jovens entre 18 e 25 anos (87%) com ensino superior (53%). Não foi observado diferença significativa no perfil sociodemográfico e os hábitos de consumo de sorvete entre os grupos identificados no estudo de acordo com a aceitação (baixa, média e alta) ( $p > 0,05$ ). A homogeneidade nestes resultados era esperada, pois o estudo foi conduzido no campus universitário da UNIRIO. A maioria dos participantes declarou gostar de sorvete (98%). No entanto, a frequência do consumo foi relativamente baixa (58% mensalmente). Em relação à quando consumiam sorvete, 64% afirmaram que consumiam em qualquer época do ano, 19% consumiam raramente, enquanto 17% apenas nos dias quentes, como verão e primavera. Esses achados indicam que, embora o público que participou do estudo informou gostar de sorvete e consumir em qualquer época do

ano, a maioria não tem o hábito de consumir no dia a dia. Tais resultados estão alinhados com os reportados por Teixeira *et al.* (2023), os quais relataram que para os 1074 consumidores brasileiros (18 a 65 anos, 75% mulheres), a maioria dos participantes (98%) relatou gostar de sorvete; no entanto, assim como no presente estudo, a frequência de consumo foi baixa, sendo uma ou duas vezes por semana. Um dos desafios da indústria de sorvetes brasileira é tornar o sorvete um produto alimentício que possa contribuir para o aporte nutricional diário do consumidor, uma vez que isso poderia estimular o crescimento do mercado. No entanto, são necessárias estratégias que possam melhorar esses resultados, não apenas modificando as formulações, mas também investigando outras questões como o preço e a disponibilidade de produtos com qualidade sensorial e nutricional.

**Tabela 2.** Perfil sociodemográfico dos participantes ( $n = 120$ ).

	Porcentagem de participantes (%)			
	Total amostra ( $n = 120$ )	Baixa aceitação ( $n = 41$ )	Média aceitação ( $n = 40$ )	Alta aceitação ( $n = 39$ )
<b>Gênero</b>				
Feminino	85	83	90	82
Masculino	14	15	10	18
$\chi^2$ (p valor)		1,044 (0,5933)		
<b>Idade</b>				
18 a 25	87	93	95	72
26 a 35	9	2	5	21
36 a $\geq 55$	4	5	0	7
$\chi^2$ (p valor)		13,827 (0,0316)		
<b>Escolaridade</b>				
Médio completo	42	39	35	51
Superior Completo	53	56	63	38
Pós-graduação	6	5	3	10
$\chi^2$ (p valor)		5,8218 (0,2129)		
<b>Renda*</b>				
Baixa (Classe D)	52	49	48	59
Média e Alta (Classes A, B e C)	48	51	53	41
$\chi^2$ (p valor)		1,2489 (0,5356)		
<b>Frequência de consumo de sorvete</b>				
Mensalmente	58	66	63	46
Raramente	19	10	23	26
Semanalmente	23	24	15	28
$\chi^2$ (p valor)		6,1168 (0,1906)		

\*A classificação da renda foi de acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) (2022).

### 3.2 Aceitação e intenção de compra do sorvete com proteína de feijão-fava e açaí

A média ( $n = 120$ , Tabela 3) da aceitação das cinco amostras variou entre 4,5 a 5,2, ou seja, de “desgostei ligeiramente” a “nem gostei/nem desgostei” na escala utilizada, sugerindo que, no geral, os consumidores foram indiferentes ao sorvete. Esse resultado pode ser atribuído ao sabor desagradável das leguminosas, devido à utilização do feijão-

fava (SHARAN *et al.*, 2022) como ingrediente na formulação. Segundo Lee, Leong, Oey (2024), apesar do aumento da popularidade dos produtos *plant-based*, as características sensoriais desagradáveis percebidas pelos consumidores, como sabor estranho de leguminosas, levam à rejeição do produto, principalmente quando os consumidores não estão familiarizados com produtos. Esse foi o caso do presente estudo, no qual 72% dos participantes nunca tinham experimentado sorvete de base vegetal. Estes resultados são similares ao relatados por Narala *et al.* (2022) na aceitação de sorvete com proteína de ervilha e baixo teor de gordura e reportaram pontuações médias em torno de 5,0, equivalente à “não gostei e nem desgostei”. Os autores atribuíram a baixa aceitação dos sorvetes aos compostos aromáticos da proteína de ervilha à textura do produto.

A segmentação dos participantes de acordo com a aceitação das amostras identificou três grupos, cujas médias podem ser observadas na Tabela 3. O primeiro segmentou compreendeu os consumidores que atribuíram notas  $\leq 4$ , nomeado como “baixa aceitação” ( $n = 41$ ); o segundo nomeado de “média aceitação” ( $n = 40$ ), com notas entre 4,1 a 5,9; e os integrantes do terceiro segmento, denominado “alta aceitação” ( $n = 39$ ), atribuíram notas  $\geq 6$ . A partir dessa segmentação, foi possível observar que, apesar da média global em torno de 5,0, cerca de um terço dos participantes atribuíram notas altas e o grupo “média aceitação” foi o único que percebeu diferença entre os tratamentos, atribuindo notas maiores para as amostras tratadas por HAP (Tabela 3).

**Tabela 3.** Aceitação<sup>§</sup> do sorvete com proteína de feijão-fava e açaí.

Tratamentos	Total amostra ( $n = 120$ )	Baixa aceitação ( $n = 41$ )	Média aceitação ( $n = 40$ )	Alta aceitação ( $n = 39$ )
<b>LI</b>	4,7 <sup>ab</sup> $\pm$ 2,26	2,8 <sup>a:C</sup> $\pm$ 1,66	4,6 <sup>ab:B</sup> $\pm$ 1,60	6,7 <sup>a:A</sup> $\pm$ 1,42
<b>0 MPa</b>	4,5 <sup>b</sup> $\pm$ 2,34	2,6 <sup>a:C</sup> $\pm$ 1,55	4,3 <sup>b:B</sup> $\pm$ 1,66	6,7 <sup>a:A</sup> $\pm$ 1,70
<b>15 MPa</b>	5,2 <sup>a</sup> $\pm$ 2,46	2,9 <sup>a:C</sup> $\pm$ 1,77	5,5 <sup>a:B</sup> $\pm$ 1,77	7,3 <sup>a:A</sup> $\pm$ 1,41
<b>45 MPa</b>	5,1 <sup>a</sup> $\pm$ 2,47	2,8 <sup>a:C</sup> $\pm$ 1,81	5,5 <sup>a:B</sup> $\pm$ 1,66	7,2 <sup>a:A</sup> $\pm$ 1,72
<b>90 MPa</b>	5,2 <sup>a</sup> $\pm$ 2,51	2,9 <sup>a:C</sup> $\pm$ 1,87	5,3 <sup>a:B</sup> $\pm$ 1,72	7,5 <sup>a:A</sup> $\pm$ 1,34

\*Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença entre os tratamentos ( $p \leq 0,05$ ) dentro do mesmo grupo. \*\*Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença entre os grupos ( $p \leq 0,05$ ) dentro do mesmo tratamento. §avaliada em escala hedônica de nove pontos (1: desgostei extremamente a 9: gostei extremamente). LI = Liquidificador industrial. 0, 15, 45 e 90 MPa = nível de pressão aplicado em cada amostra.

Quando avaliado o efeito dos diferentes tratamentos, tanto na média global quanto no grupo “média aceitação”, os sorvetes processados por HAP (15, 45 e a 90 MPa) diferiram significativamente da amostra 0 MPa ( $p \leq 0,05$ ). Esse dado mostra que a aplicação da pressão mais elevada pode melhorar a homogeneização da calda do sorvete em comparação ao tratamento homogeneização sem aumento da pressão (0 MPa). Em um estudo com iogurte de leite de cabra foi observada maior aceitação nas amostras com 90 e 150 MPa, com média de  $7,4 \pm 0,25$  na aceitabilidade geral (MA *et al.*, 2023).

As notas médias de intenção de compra indicaram que os participantes “provavelmente não comprariam” (nota entre 3,0 e 4,0) (Tabela 4). Contudo, os grupos “média aceitação” e “alta aceitação” tenderam a dar notas maiores às amostras com pressões elevadas e a 15 MPa, tendo diferença apenas entre a amostra 90 MPa e a 0 MPa ( $p \leq 0,05$ ). Esses resultados sugerem que os consumidores destes grupos podem ser potenciais compradores do sorvete com feijão-fava e açaí, principalmente, se tratado à HAP.

**Tabela 4.** Intenção de compra<sup>§</sup> do sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava.

Tratamentos	Total amostra (n = 120)	Baixa aceitação (n = 41)	Média aceitação (n = 40)	Alta aceitação (n = 39)
<b>LI</b>	3,1 <sup>bc</sup> ± 1,71	1,8 <sup>a;C</sup> ± 1,01	3,1 <sup>bc;B</sup> ± 1,31	4,4 <sup>b;A</sup> ± 1,60
<b>0 MPa</b>	3,0 <sup>c</sup> ± 1,76	1,8 <sup>a;C</sup> ± 1,01	2,8 <sup>c;B</sup> ± 1,39	4,6 <sup>b;A</sup> ± 1,50
<b>15 MPa</b>	3,6 <sup>a</sup> ± 2,00	1,9 <sup>a;C</sup> ± 1,26	3,9 <sup>ab;B</sup> ± 1,57	5,3 <sup>ab;A</sup> ± 1,48
<b>45 MPa</b>	3,5 <sup>ab</sup> ± 1,98	1,8 <sup>a;C</sup> ± 1,06	3,8 <sup>ab;B</sup> ± 1,55	5,1 <sup>ab;A</sup> ± 1,65
<b>90 MPa</b>	3,8 <sup>a</sup> ± 2,07	1,9 <sup>a;C</sup> ± 1,16	4,0 <sup>a;B</sup> ± 1,51	5,6 <sup>a;A</sup> ± 1,35

\*Letras minúsculas diferentes na mesma coluna indicam diferença entre os tratamentos ( $p \leq 0,05$ ) dentro do mesmo grupo. \*\*Letras maiúsculas diferentes na mesma linha indicam diferença entre os grupos ( $p \leq 0,05$ ) dentro do mesmo tratamento. <sup>§</sup>avaliada em escala de sete pontos (1: certamente não compraria, 4: talvez comprasse/talvez não comprasse, 7: certamente compraria). LI = Liquidificador industrial. 0, 15, 45 e 90 MPa = nível de pressão aplicado em cada amostra.

### 3.3 Características sensoriais do sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava

Dos 17 termos sensoriais utilizados neste estudo, 13 apresentaram diferenças significativas ( $p \leq 0,05$ ) (Tabela 5), sugerindo que os consumidores ( $n = 120$ ) perceberam diferenças nas características sensoriais das amostras do sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava.

A aparência do produto foi caracterizada pela cor roxa proveniente do preparado feito com polpa de açaí e casca de jabuticaba desidratada em pó. As amostras 45 MPa e 90 MPa foram percebidas com maior intensidade para “cor roxa” e “brilhosa” e intensidade baixa para “esbranquiçada” ( $p \leq 0,05$ ) que os sorvetes LI, 0 MPa e 15 MPa. Apesar do preparado de açaí e casca de jabuticaba ter sido adicionado após a etapa de homogeneização, como ocorre comumente no processamento de sorvetes na indústria, pode-se supor que a HAP influenciou na coloração do produto, intensificando a cor roxa do açaí e da casca de jabuticaba desidratada em pó, devido a redução do tamanho das partículas e a maior homogeneidade, melhorando a dispersão de pigmentos e corantes naturais, resultando em uma cor mais vibrante e consistente (LEVY, OKUN, SHPIGELMAN, 2020). Levy e colaboradores (2021) sugeriram que a mudança no tamanho das partículas afeta a transmitância e a dispersão da luz.

A pressão influenciou a percepção dos atributos relacionados ao sabor, os consumidores perceberam com maior intensidade os descritores “doce”, “ácido” e “sabor de açaí” nas amostras pressurizadas 15 MPa, 45 MPa e 90 MPa ( $p \leq 0,05$ ) em comparação com as amostras LI e 0 MPa. Em um estudo desenvolvido por Pinho (2019), foi reportado que sorvete de jabuticaba processado por alta pressão hidrostática (300 MPa) apresentou uma maior frequência para o termo “muito doce” em relação ao controle não pressurizado (sem aditivo e sem pressurização). A HAP possivelmente influenciou na interação entre açúcares e outros ingredientes, como estabilizantes e emulsificantes, o que pode ter afetado a percepção de doçura. No processo da HAP, o fluido é submetido a estresse mecânico (incluindo cisalhamento, efeitos hidrodinâmicos e cavitação) e a um aumento de temperatura (efeito térmico) de aproximadamente 2-3 °C para cada 10 MPa de pressão de homogeneização. Essas alterações podem influenciar a estrutura e as propriedades do fluido, bem como as de seus componentes (como partículas, moléculas, glóbulos, gotículas, agregados, grânulos, etc.) (LEVY, OKUN, SHPIGELMAN, 2020).

O atributo “sabor vegetal” variou de 0,91 a 1,08 e não apresentou diferença entre as amostras ( $p > 0,05$ ), indicando que apesar de ter sido percebido pelos consumidores, o atributo “sabor vegetal” (esperado em produtos *plant-based*) teve uma intensidade baixa e os consumidores não identificaram diferença entre os tratamentos. Os produtos *plant-based*, em geral, apresentam um *off-flavor* indesejado devido aos compostos aromáticos presentes nas proteínas vegetais. Estudos têm investigado os efeitos de processamento e de adição de ingredientes que os reduzam ou mascarem esse sabor residual característico e indesejável (PEREIRA *et al.*, 2011; SHARAN *et al.*, 2022). No presente estudo os tratamentos 15 MPa, 45 MPa e 90 MPa receberam notas relativamente menores que os demais ( $p \leq 0,05$ ) para os atributos “sabor estranho” e “residual de proteína vegetal”, sugerindo que houve um efeito positivo da aplicação de níveis de pressão maiores na redução dos referidos atributos comumente percebido nos produtos *plant-based* (ALONSO-MIRAVALLÉS, O’MAHONY, 2018).

Considerando as características de textura, o sorvete 45 MPa foi percebido como o mais cremoso ( $p \leq 0,05$ ); porém, não diferiu do processado pelo LI. A cremosidade é um importante parâmetro para avaliar a qualidade dos sorvetes, a qual é afetada pela interação entre os componentes, principalmente, entre gorduras e proteínas, assim como pelo processamento (AKBARI, ESKANDARI, DAVOUDIC, 2019; BALTHAZAR *et al.*, 2017). Tal efeito foi reportado em vários estudos (D’ALESSIO *et al.*, 2023; FERNÁNDEZ-ÁVILA, ESCRIBU e TRUJILLO, 2015; RODARTE *et al.*, 2018; WANG *et al.*, 2020; WU *et al.*, 2023; YANG *et al.*, 2018).

Os sorvetes também foram caracterizados pelos atributos “firme” (relacionado ao derretimento) e “arenoso”. A arenosidade poderia ser atribuída às frutas adicionadas na formulação (polpa de açaí e casca de jabuticaba desidratada). A firmeza do sorvete pode ser explicada pela utilização da proteína vegetal na formulação. Essa proteína provavelmente aumentou o teor de sólidos no sorvete, resultando em uma textura mais firme. Durante a maturação do sorvete, as proteínas se ligam às moléculas de água livre na mistura, formando uma rede proteica forte e estável. Esse processo é crucial para estabilizar a estrutura do sorvete. A quantidade de sólidos na mistura é importante, pois pode influenciar na textura final, tornando-a mais cremosa e consistente (“firme”), conforme observado pelos consumidores neste estudo (CHEN *et al.*, 2019; NARALA *et al.*, 2022).

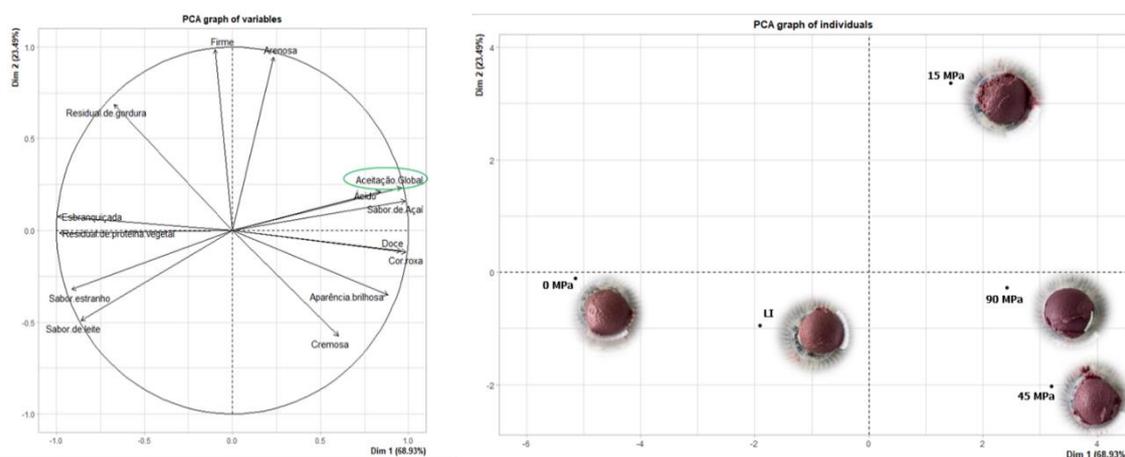
**Tabela 5.** Médias e desvios padrão (entre colchetes) da intensidade<sup>§</sup> dos termos do questionário Rate-all-that-apply (RATA) para o sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava.

Atributos	TRATAMENTOS				
	LI	0 MPa	15 MPa	45 MPa	90 MPa
Cor roxa*	1,21 (±1,16) <sup>c</sup>	0,91 (±1,02) <sup>d</sup>	1,59 (±1,23) <sup>b</sup>	1,99 (±1,22) <sup>a</sup>	1,93 (±1,20) <sup>a</sup>
Esbranquiçada*	0,65 (±1,00) <sup>b</sup>	1,16 (±1,30) <sup>a</sup>	0,36 (±0,75) <sup>c</sup>	0,13 (±0,48) <sup>d</sup>	0,25 (±0,64) <sup>cd</sup>
Aparência brilhosa*	0,42 (±0,87) <sup>b</sup>	0,33 (±0,77) <sup>b</sup>	0,53 (±0,96) <sup>b</sup>	0,93 (±1,23) <sup>a</sup>	0,90 (±1,16) <sup>a</sup>
Aparência quebradiça	0,16 (±0,58) <sup>a</sup>	0,16 (±0,55) <sup>a</sup>	0,15 (±0,50) <sup>a</sup>	0,13 (±0,54) <sup>a</sup>	0,18 (±0,59) <sup>a</sup>
Doce*	0,75 (±1,00) <sup>c</sup>	0,64 (±0,92) <sup>c</sup>	1,04 (±1,17) <sup>b</sup>	1,20 (±1,21) <sup>ab</sup>	1,29 (±1,20) <sup>a</sup>
Ácido*	0,15 (±0,48) <sup>b</sup>	0,07 (±0,31) <sup>b</sup>	0,28 (±0,74) <sup>a</sup>	0,29 (±0,75) <sup>a</sup>	0,18 (±0,50) <sup>a</sup>
Sabor de açaí*	0,76 (±0,93) <sup>b</sup>	0,57 (±0,89) <sup>b</sup>	0,98 (±1,14) <sup>a</sup>	1,00 (±1,12) <sup>a</sup>	1,03 (±1,12) <sup>a</sup>
Sabor vegetal	1,03 (±1,24) <sup>a</sup>	1,08 (±1,26) <sup>a</sup>	0,91 (±1,20) <sup>a</sup>	0,96 (±1,26) <sup>a</sup>	0,94 (±1,27) <sup>a</sup>
Sabor de leite/creme de leite*	0,35 (±0,86) <sup>ab</sup>	0,48 (±1,00) <sup>a</sup>	0,22 (±0,67) <sup>b</sup>	0,29 (±0,77) <sup>b</sup>	0,34 (±0,76) <sup>ab</sup>
Sabor estranho*	1,03 (±1,28) <sup>ab</sup>	1,16 (±1,32) <sup>a</sup>	0,83 (±1,20) <sup>b</sup>	0,86 (±1,24) <sup>b</sup>	0,80 (±1,23) <sup>b</sup>
Cremosa*	1,82 (±1,28) <sup>ab</sup>	1,58 (±1,36) <sup>b</sup>	1,74 (±1,32) <sup>b</sup>	2,07 (±1,20) <sup>a</sup>	1,71 (±1,31) <sup>b</sup>
Arenosa*	0,81 (±1,10) <sup>bc</sup>	0,88 (±1,14) <sup>bc</sup>	1,23 (±1,28) <sup>a</sup>	0,76 (±1,10) <sup>c</sup>	1,03 (±1,17) <sup>ab</sup>
Firme*	0,86 (±1,22) <sup>b</sup>	1,03 (±1,31) <sup>ab</sup>	1,30 (±1,39) <sup>a</sup>	0,76 (±1,14) <sup>b</sup>	0,89 (±1,24) <sup>b</sup>
Residual amargo	0,55 (±0,99) <sup>a</sup>	0,60 (±1,03) <sup>a</sup>	0,64 (±1,04) <sup>a</sup>	0,54 (±0,97) <sup>a</sup>	0,37 (±0,85) <sup>a</sup>
Residual de gordura*	0,32 (±0,80) <sup>abc</sup>	0,40 (±0,89) <sup>a</sup>	0,37 (±0,83) <sup>ab</sup>	0,19 (±0,61) <sup>c</sup>	0,22 (±0,63) <sup>bc</sup>
Residual de terra	0,68 (±1,14) <sup>a</sup>	0,64 (±1,06) <sup>a</sup>	0,59 (±1,04) <sup>a</sup>	0,58 (±1,05) <sup>a</sup>	0,43 (±0,90) <sup>a</sup>
Residual de proteína vegetal*	0,78 (±1,20) <sup>ab</sup>	0,87 (±1,13) <sup>a</sup>	0,64 (±1,07) <sup>bc</sup>	0,53 (±1,01) <sup>c</sup>	0,63 (±1,09) <sup>bc</sup>

\*Médias com as mesmas letras minúsculas na mesma linha não são significativamente diferentes ( $p > 0,05$ ) pelo teste de Fisher. LI = Liquidificador industrial. 0, 15, 45 e 90 MPa = nível de pressão aplicado em cada amostra. <sup>§</sup> Avaliados em escala de 3 pontos (1: baixo, 2: médio e 3: alto).

A Figura 2 exibe os resultados da Análise de Componentes Principais (PCA) com base na intensidade média dos termos (RATA) que diferiram entre as amostras ( $p \leq 0,05$ ). As duas primeiras dimensões explicaram 92,42% da variância. A 1ª. dimensão (68.9%) separou os sorvetes de acordo com o processamento empregado e dois grupos de sorvetes foram identificados: os produtos submetidos à HAP (45 MPa e 90 MPa) e, à esquerda no gráfico, as amostras 0 MPa e LI. A 2ª. dimensão (23.5%) separou a amostra 15 MPa das demais.

O grupo composto pelas amostras 45 MPa e 90 MPa foram descritos como “cor roxa”, “aparência brilhosa”, “cremosa”, “doce”, “sabor de açaí” e “ácido”. Além disso, as amostras do segundo grupo foram posicionadas próximas às amostras mais aceitas pelos consumidores, confirmando os resultados da aceitação sensorial reportados na seção anterior. O grupo localizado à esquerda (0 MPa e LI) foram caracterizados principalmente pelos termos “sabor de leite”, “sabor estranho”, “esbranquiçado”, “residual de proteína vegetal” e “residual de gordura”. Por fim, o grupo com a amostra 15 MPa foi descrita como “firme” e “arenosa”. Esses resultados sugerem que a aplicação de níveis de pressão mais elevados na etapa de homogeneização resultou em efeito positivo nas características sensoriais e na aceitação do sorvete com proteína de feijão-fava e açaí. São resultados promissores para promover o aumento da aceitação dos sorvetes *plant-based*.



**Figura 2.** Representação da Análise de componentes principais a partir das questões do Rate-all-that-apply (RATA) do sorvete com proteína de feijão-fava e açaí. LI = Liquidificador industrial. 0, 15, 45 e 90MPa = nível de pressão aplicado em cada amostra.

### 3.4 Hábitos alimentares dos consumidores e o interesse no consumo de produtos *plant-based*

No geral, a maioria dos participantes deste estudo se identificou como consumidor de uma dieta onívora (73%), 18% sendo flexitariano, 9% vegetariano/vegano. Não apresentaram intolerância à lactose ou alergia à proteína do leite, apenas 9% relataram apresentar essas condições. Não houve diferença entre os segmentos identificados de acordo com a aceitação (baixa, média e alta) quanto aos hábitos alimentares ( $p > 0,05$ ) (Tabela 6).

**Tabela 6.** Hábitos alimentares e opinião sobre o consumo de sorvete *plant-based* dos consumidores segmentados de acordo com a aceitação (Continua).

Porcentagem de participantes (%)			
Total participantes (n = 120)	Baixa aceitação (n = 41)	Média aceitação (n = 40)	Alta aceitação (n = 39)

**Tabela 6. Continuação**

<b>Tipo de dieta</b>				
Onívora	73	78	65	74
Flexitariana	18	10	20	23
Vegetariana/vegana	9	12	13	3
$\chi^2$ (p valor)		7,4938 (0,2776)		
<b>Intolerância à lactose ou alergia à proteína do leite</b>				
Sim	9	7	13	8
Não	91	93	88	92
$\chi^2$ (p valor)		0,8040 (0,669)		
<b>Frequência de consumo produtos <i>plant-based</i></b>				
Semanalmente	19	20	20	18
Raramente	43	56	23	51
Mensalmente	21	10	30	23
Nunca	17	15	27	8
$\chi^2$ (p valor)		5,3401 (0,0657)		
<b>Ideia de consumir sorvete <i>plant-based</i></b>				
Péssima ideia	12	32 (+)***	2 (-)*	0
Nem boa, nem ruim	4	12 (+)**	0	0
Ótima ideia	84	56 (-)***	98 (+)**	100 (+)***
$\chi^2$ (p valor)		37,024 (0,0000)		

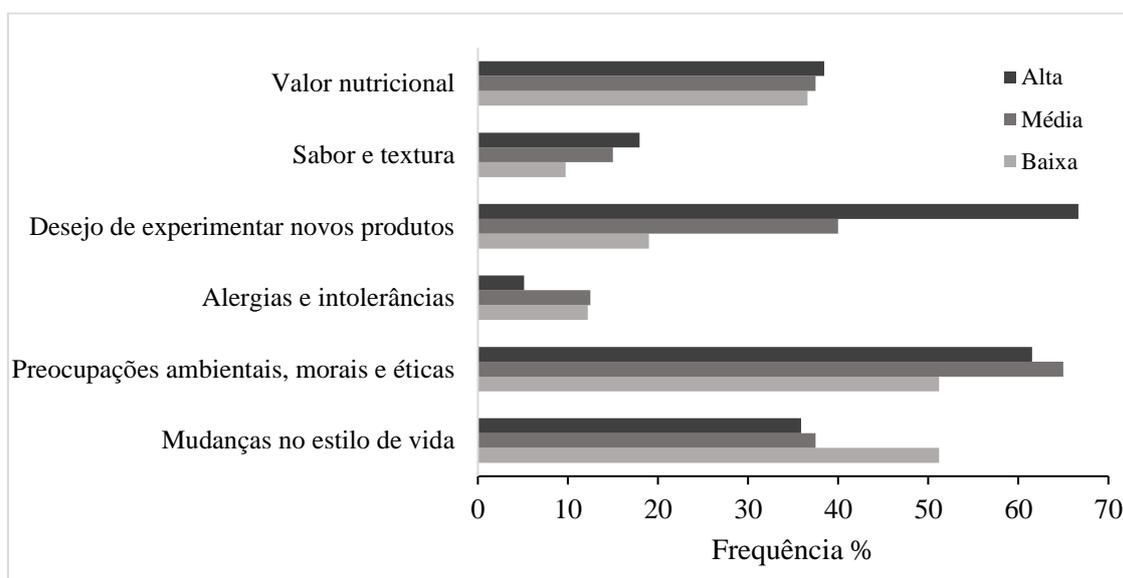
Essa amostragem de participantes representa um padrão alimentar brasileiro ainda prevalente, que é o de consumo de alimentos de origem animal (BOSCARDIN *et al.*, 2023). Apesar da popularidade das dietas à base de vegetais, no Brasil, a dieta onívora ainda se destaca devido à cultura alimentar, o que pode ser o motivo de relutância para adotar para dietas mais flexíveis, ou até novos produtos (BOSCARDIN *et al.*, 2023). Entretanto, a adesão ao vegetarianismo está em ascensão no Brasil, percebida predominantemente como um movimento contracultural (PORTELA *et al.*, 2023), o qual atinge uma população aproximada de 30 milhões de indivíduos, de acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Opinião Pública e Estatística (IBOPE, 2018), ou seja, a dieta vegetariana já pertence ao hábito alimentar de 14% dos brasileiros.

Neste trabalho foi observado que os consumidores já haviam consumido produtos *plant-based* (tofu, análogos de carne, queijo vegetal, “leites” vegetais, sorvete, “iogurte”, salgadinhos), onde 43% consumia raramente, 21% mensalmente, 19% semanalmente e apenas 17% nunca consumiu produtos *plant-based*. Esse dado aponta para um outro nicho que tem crescido entre os brasileiros, os flexitarianos (TEIXEIRA *et al.*, 2024) ou seja, estilo alimentar, à base de cereais integrais e produtos derivados, vegetais, frutas, quantidade limitada de ovos, laticínios e peixes e, ocasionalmente, pequenas quantidades de carne vermelha ou aves.

No presente estudo, quando se perguntou sobre a disposição em consumir sorvete *plant-based*, a maioria dos participantes (84%) consideraram a ideia “extremamente boa”, com diferença significativa entre os três grupos ( $p \leq 0,05$ ). Os participantes do grupo “baixa aceitação” não acharam a ideia muito boa, enquanto o grupo “alta aceitação” demonstrou estar muito dispostos (100% dos participantes) a experimentar sorvetes *plant-based*, sugerindo que são potenciais consumidores do produto. De acordo com a ABIS (2023), os jovens da geração Z buscam alimentos mais saudáveis e com funcionalidades

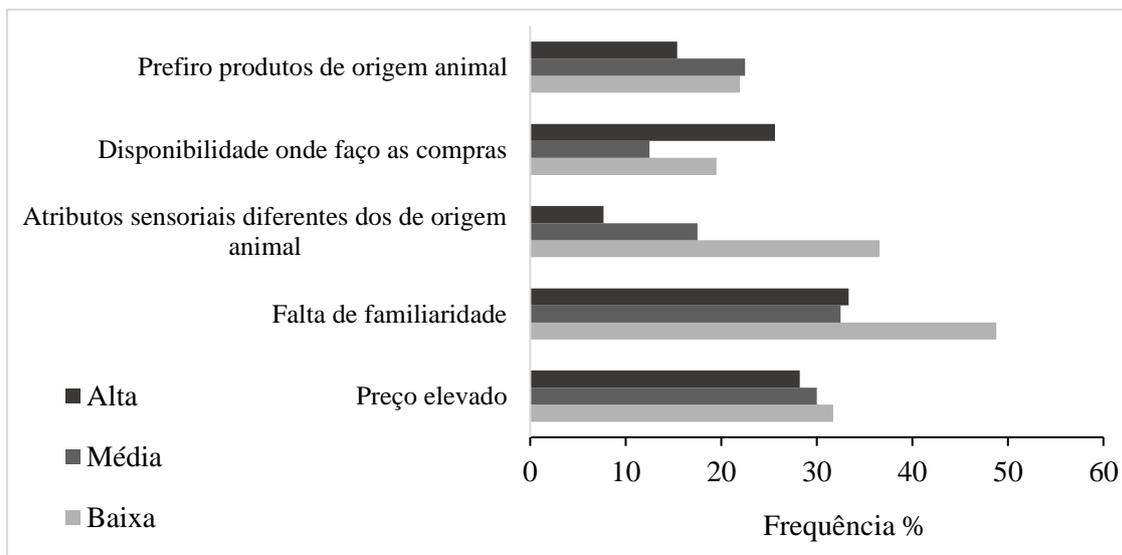
diversas, mas não abrem mão da indulgência, sugerindo que, para alcançar tais consumidores faz-se necessário disponibilizar sabores intensos, exclusivos e inovadores.

A Figura 3 mostra que dentre as razões ou motivos que os participantes consumiriam produtos *plant-based*, as mais prevalentes foram o desejo de experimentar novos produtos seguido das preocupações ambientais, morais e éticas. Pointke *et al.* (2022) reportaram que consumidores com diferentes estilos alimentares consideraram aspectos como bem-estar animal e ambientais os principais motivos para consumir produtos alternativos à base de plantas.



**Figura 3.** Razão/motivo do consumo de produtos *plant-based* de acordo com os grupos de consumidor segmentados pela aceitação do sorvete (baixa, média e alta).

A Figura 4 mostra que, em geral, as barreiras mais fortes que podem impedir o consumo de produtos *plant-based* são a falta de familiaridade, seguida dos atributos sensoriais diferentes dos sorvetes de origem animal, e o preço elevado. A “disponibilidade onde faço compras” e “prefiro produtos de origem animal” também foram selecionadas. Para os participantes a falta de oferta dos produtos *plant-based* nos locais onde fazem compras é uma barreira que os impedem de consumir, assim como a falta de familiaridade e o preço elevado. Recentemente, Onwezen e colaboradores (2021) reportaram que as principais razões ou obstáculos associados ao uso de proteínas alternativas à base de plantas envolvem considerações éticas, ambientais, aspectos de saúde, nutrição e preferências sensoriais, juntamente com a influência da familiaridade e experiências prévias com os produtos. Além disso, fatores psicológicos para a aceitação das alternativas à carne incluíram atitudes e crenças dos consumidores em relação aos produtos, bem como a aversão à novidade alimentar (neofobia alimentar).



**Figura 4.** Barreiras que impedem o consumo de produtos *plant-based*.

É importante considerar que as motivações e obstáculos associados ao consumo de proteína vegetal podem variar entre os indivíduos. Isso implica que uma intervenção eficaz para um grupo de consumidores pode não ser igualmente bem-sucedida em outro segmento. Portanto, pode ser útil realizar uma segmentação baseada nos níveis socioeconômicos, culturais e faixa etária dos consumidores e, em seguida, explorar as disparidades entre esses segmentos.

#### 4 CONCLUSÃO

Embora os produtos não tenham alcançado notas altas de aceitação e intenção de compra, a segmentação dos consumidores baseada nas notas da aceitação revelou que cerca de um terço do total deram notas elevadas, acima de 6, especialmente quando o produto foi submetido às pressões mais elevadas durante a homogeneização (a partir de 45 MPa), apresentando melhorias nas características sensoriais. Esses resultados indicam que o grupo “alta aceitação” seria o potencial nicho consumidor deste produto, além do fato de eles considerarem uma ideia “extremamente boa” escolher sorvete com proteína vegetal.

O estudo revelou efeito positivo dos níveis mais elevados de pressão no tratamento HAP nas características sensoriais, contribuindo para aumento da aceitação do sorvete de proteína de feijão-fava, confirmando a importância da tecnologia e da formulação no desenvolvimento de novos produtos, uma vez que as amostras HAP a 45 MPa e 90 MPa receberam as maiores notas no teste de aceitação e maiores intensidades nos atributos “cor roxa”, “aparência brilhosa”, “doce”, “sabor de açaí” e “cremosa”.

Os resultados indicam que uma forma de estimular o consumo de sorvete *plant-based* é desenvolver produtos que atendam as demandas dos consumidores que acham uma ótima ideia reduzir o consumo de produtos de origem animal e estão abertos a consumir sorvete *plant-based*.

## REFERÊNCIAS

ABDALLWAHAB, A. A.; MOHAMMED, E. H.; OMER, S. H. **Production and Sensory Evaluation of Ice Cream from Sesame Milk**. Tese (Doutorado). Universidade de Ciência e Tecnologia do Sudão. 2017. Disponível em: <<http://repository.sustech.edu/handle/123456789/20132>>.

ABIS. (2022) Associação Brasileira das Indústrias e do setor de Sorvete. **O setor de sorvetes**. Disponível em: <<https://www.abis.com.br/mercado>>. Acesso em: 7 dezembro, 2023.

ABIS. (2023) Associação Brasileira das Indústrias e do setor de Sorvete. **O que importa para a geração z e como a indústria de alimentos pode surpreendê-la**. Disponível em: <<https://www.abis.com.br/o-que-importa-para-a-geracao-z>>. Acesso em: 7 dezembro de 2023.

AKBARI, M.; ESKANDARI, M. H.; DAVOUDIC, Z. Application and functions of fat replacers in low-fat ice cream: A review. **Trends in Food Science & Technology**, v. 86, p. 34 - 40, 2019. Disponível em: <[10.1016/J.TIFS.2019.02.036](https://doi.org/10.1016/J.TIFS.2019.02.036)>.

ALONSO-MIRAVALLÉS, L.; O'MAHONY, J. A. Composition, protein profile and rheological properties of pseudocereal-based protein-rich ingredients. **Foods**, v. 7, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/foods7050073>>.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. Compendium of Methods for the Microbiological Examination for Foods, 4<sup>th</sup> ed.; American Public Health Association: Washington, DC, USA, 2001.

ARES, G.; BRUZZONE, F.; VIDAL, L.; CADENA, R. S.; GIMÉNEZ, A.; PINEAU, B.; HUNTER, D. C.; PAISLEY, A. G.; JAEGER, S. R. Evaluation of a rating-based variant of check-all-that-apply questions: Rate-all-that-apply (RATA). **Food Quality and Preference**, v. 36, p. 87–95, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2014.03.006>>.

ARES, G.; JAEGER, S. R. Check-all-that-apply (CATA) questions with consumers in practice: experimental considerations and impact on outcome. In: DELARUE; LAWLOR, *et al* (Ed.). **Rapid Sensory Profiling Techniques and Related Methods**. Sawston, Cambridge: Elsevier Ltd., v.1, 2015. cap. 11, p.584.

BALTHAZAR, C. F.; SILVA, H. L. A.; CAVALCANTI, R. N.; ESMERINO, E. A.; CAPPATO, L. P.; ABUD, Y. K. D.; MORAES, J.; ANDRADE, M. M.; FREITAS, M. Q.; SANT'ANNA, C.; RAICES, R. S. L.; SILVA, M. C.; CRUZ, A. G. Prebiotics addition in sheep milk ice cream: A rheological, microstructural and sensory study. **Journal of Functional Foods**, v. 35, p. 564-573, 2017. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jff.2017.06.004>>.

BARBOSA, G. J.; ARRIEL, N. H. C. Feijão-fava e a agricultura familiar de Serraria, Paraíba, Brasil. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 35, n. 3, p. 387-403, 2018. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/189650/1/Feijao-fava-e-a-agricultura-familiar.pdf>>.

BENVENUTTI, L.; ZIELINSKI, A. A. F.; FERREIRA, S. R. S. Jaboticaba (*Myrtaceae cauliflora*) fruit and its by-products: Alternative sources for new foods and functional components. **Trends in Food Science and Technology**, v. 112, p. 118–136, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.03.044>>.

BIASUTTI, M.; VENIR, E.; MARINO, M.; MAIFRENI, M. INNOCENTE, N. Effects of high-pressure homogenization of ice cream mix on the physical and structural properties of ice cream. **International Dairy Journal**, v. 32, n. 1, p. 40-45, 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.idairyj.2013.03.007>>.

BISLA, G.; VERMA, A.; VERMA, P.; SHARMA, S. Development of ice creams from Soybean milk & Watermelon seeds milk and evaluation of their acceptability and nourishing potential. **Advances in Applied Science Research**, v. 3, p. 371–376, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.5958/j.2231-1750.3.1.001>>.

BOSCARDIN, M.; DORR, A. C.; BREITENBACH, R.; BRANDÃO, J. B. O que influencia os flexitarianos a reduzir o consumo de carne no Brasil? **Estudos Avançados**, v. 37, p. 109, 2023. Disponível em: <[10.1590/s0103-4014.2023.37109.015](https://doi.org/10.1590/s0103-4014.2023.37109.015)>.

BRASIL. (2022). Ministério da Saúde/Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Instrução Normativa nº 161, de 6 de julho de 2022. Estabelece os padrões microbiológicos dos alimentos. **Diário Oficial [da] União**, 6 de jul. 2022.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2022). Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/pt/inicio.html>>. Acesso em: 12 de outubro de 2023.

CHEN, M. ; LU, J. ; LIU, F. ; NSOR-ATINDANA, J. ; XU, F.; GOFF, H. D.; MA, J.; ZHONG, F. Study on the emulsifying stability and interfacial adsorption of pea proteins. **Food Hydrocolloids**, v. 88, p. 247-255, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.09.003>>.

COP28. (2023) 28ª Conferência das Partes. **COP28 UAE Declaration on sustainable agriculture, resilient food systems and climate action**. Disponível em: <<https://www.cop28.com/en/news/2023/12/COP28-UAE-Presidency-puts-food-systems-transformation>>. Acesso em: 7 dezembro de 2023.

D’ALESSIO, G.; FLAMMINII, F.; FAIETA, M.; PRETE, R.; DI MICHELE, A.; PITTIA, P.; DI MATTIA, C. D. High pressure homogenization to boost the technological functionality of native pea proteins. **Current Research in Food Science**, v. 6, 100499, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.crfs.2023.100499>>.

DO CARMO, C. S.; RIEDER, A.; VARELA, P.; ZOBEL, H.; DESSEV, T.; NERSTEN, S.; GABER, S. M.; SAHLSTROM, KNUTSEN, S. H Texturized vegetable protein from a faba bean protein concentrate and an oat fraction: Impact on physicochemical, nutritional, textural and sensory properties. **Future Foods**, v. 7, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.fufo.2023.100228>>.

DUTCOSKY, S.D., 2013. Análise sensorial de alimentos, 4º ed. Champagnat, Curitiba, pp. 423, 2013.

FERNÁNDEZ-ÁVILA, C.; ESCRIU, R.; TRUJILLO, A. J. Ultra-High-Pressure Homogenization enhances physicochemical properties of soy protein isolate-stabilized emulsions. **Food Research International**, v. 75, p. 357-366, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2015.05.026>>.

GOFF, H. D.; HARTEL, R. W. **Ice Cream**. 7ª edição. New York: Springer Science & Business Media, pp. 477, 2013.

GRASSO, N.; ALONSO-MIRAVALLÉS, L.; O'MAHONY, J. A. Composition, physicochemical and sensorial properties of commercial plant-based yogurts. **Foods**, v. 9, n. 3, p. 252, 2020. Disponível em: <[10.3390/foods9030252](https://doi.org/10.3390/foods9030252)>.

GURAK, P. D.; DE BONA, G. S.; TESSARO, I. C.; MARCZAK, L. D. F. Jaboticaba pomace powder obtained as a co-product of juice extraction: A comparative study of powder obtained from peel and whole fruit. **Food Research International**, v. 62, p. 786–792, 2014. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2014.04.042>>.

INSTITUTO BRASILEIRO DE OPINIÃO PÚBLICA E ESTATÍSTICA, IBOPE. **14% da população se declara vegetariana**. (2018). Disponível em: <<http://www.ibopeinteligencia.com/noticias-epesquisas/14-da-populacao-se-declara-vegetariana>>. Acesso em: 8 de novembro de 2023.

INNOCENTE, N.; BIASUTTI, M.; VENIR, E.; SPAZIANI, M.; MARCHESINI, G. Effect of high-pressure homogenization on droplet size distribution and rheological properties of ice cream mixes. **Journal Dairy Science**, v. 92, p. 1864-1875, 2009. Disponível em: <<https://doi.org/10.3168/jds.2008-1797>>.

KARABULUT, G.; KAHRAMAN, O.; PANDALANENI, K.; KAPOOR, R.; FENG, H. A comprehensive review on hempseed protein: Production, functional and nutritional properties, novel modification methods, applications, and limitations. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 253, 127240, 2023. Disponível em: <[10.1016/j.ijbiomac.2023.127240](https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2023.127240)>.

LEE, P. Y.; LEONG, S. Y.; OEY, I. Trends in Food Science & Technology The role of protein blends in plant-based milk alternative: A review through the consumer lens. **Trends in Food Science & Technology**, v. 143, p. 104268, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.tifs.2023.104268>>.

LEVY, R.; OKUN, Z.; SHPIGELMAN, A. High-Pressure Homogenization: Principles and Applications Beyond Microbial Inactivation. **Food Engineering Reviews**, v. 13, p. 490–508, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12393-020-09239-8>>.

LEVY, R.; OKUN, Z.; DAVIDOVICH-PINHAS, M.; SHPIGELMAN, A. Utilization of high-pressure homogenization of potato protein isolate for the production of dairy-free yogurt-like fermented product. **Food Hydrocolloids**, v. 113, 106442, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2020.106442>>.

MA, J.; WANG, Q.; DOU, N.; LI, Y.; MA, Y.; LIU, Y.; WU, M.; WEI, X.; MIAO, Y.; CHEN, L.; XU, D.; HOU, J.; JIANG, Z. Evaporative concentration and high-pressure homogenization for improving the quality attributes and functionality of goat milk yogurt. **Lwt**, v. 184, 115016, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2023.115016>>.

MARQUETTI, C.; DOS SANTOS, T. B.; KAIPERS, K. F. C.; BÖGER, B. R.; TONIAL, I. B.; WAGNER JUNIOR, A.; LUCCHETTA, L.; DO PRADO, N. V. Jaboticaba skin flour: Analysis and sustainable alternative source to incorporate bioactive compounds and increase the nutritional value of cookies. **Food Science and Technology**, v. 38, p. 629–638, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/fst.06717>>.

MERCAN, E.; SERT, D.; AKIN, N. Determination of powder flow properties of skim milk powder produced from high-pressure homogenization treated milk concentrates during storage. **LWT**, v. 97, p. 279–288, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.07.002>>.

MESA, J.; BARRERA, C.; BETORET, E.; BETORET, N. High Homogenization Pressures to Improve Food. **Molecules**, v. 25, p. 1–19, 2020. Disponível em: <[10.3390/molecules25143305](https://doi.org/10.3390/molecules25143305)>.

MEYNERS, M.; JAEGER, S. R.; ARES, G. On the analysis of Rate-All-That-Apply (RATA) data. **Food Quality and Preference**, v. 49, p. 1-10, 2016. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2015.11.003>>.

NARALA, V. R.; ORLOVS, I.; JUGBARDE, M.A.; MASIN, M. Inulin as a fat replacer in pea protein vegan ice cream and its influence on textural properties and sensory attributes. **Applied Food Research**, v. 2, n. 1, p. 100066, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.afres.2022.100066>>.

ONWEZEN, M. C.; BOUWMAN, E. P.; REINDERS, M. J.; DAGEVOS, H. A systematic review on consumer acceptance of alternative proteins: Pulses, algae, insects, plant-based meat alternatives, and cultured meat. **Appetite**, v. 159, 105058, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.appet.2020.105058>>.

ONU. (2020). Organização das Nações Unidas. **Como alimentar 10 bilhões de pessoas até 2050**. Disponível em: <<https://www.unep.org/pt-br/noticias-e-reportagens/reportagem/como-alimentar-10-bilhoes-de-pessoas-ate-2050>>. Acesso em: 7 de December 7, 2023.

PEREIRA, G. DAS G.; DE RESENDE, J. V.; DE ABREU, L. R.; DE OLIVEIRA GIAROLA, T. M.; PERRONE, I. T. 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, p. 1093–1102, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00217-011-1483-z>>.

PERYAM, D. R.; PILGRIM, F. J. Hedonic scale method of measuring food preferences. **Food Technology**, 11, Suppl., 9–14, 1957.

PINHO, G. DOS S. **Processamento de sorvete incorporado com farinha de casca da jaboticaba por alta pressão hidrostática**. 2019. 47p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia de Alimentos). Instituto de Tecnologia, Departamento de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Seropédica, RJ, 2019.

POINTKE, M.; OHLAU, M.; RISIUS, A.; PAWELZIK, E. Plant-Based Only: Investigating Consumers' Sensory Perception, Motivation, and Knowledge of Different Plant-Based Alternative Products on the Market. **Foods**, v. 11, p. 2339, 2022. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/foods11152339>>.

PORTELA, D. H. M.; DO NASCIMENTO, G. R.; SANTOS, S. S.; BENEVIDES, S. D.; DE SOUSA, P. H. M.; WURLITZER, N. J. Product *vatapá* type (plant-based) with cashew fiber: Market research, chemical characterization and sensorial profile. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 33, 100800, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100800>>.

R CORE TEAM. (2021). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria: R Foundation for Statistical Computing.

RODARTE, D.; ZAMORA, A.; TRUJILLO, A. J.; JUAN, B. Effect of ultra-high pressure homogenization on cream: Shelf life and physicochemical characteristics. **Lwt**, v. 92, p. 108–115, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2018.02.020>>

SADOWSKA-KRĘPA, E.; KŁAPCINSKA, B.; PODGORSKI, T.; SZADE, B.; TYL, K.; HADZIK, A. Effects of supplementation with acai (*Euterpe oleracea* Mart.) berry-based juice blend on the blood antioxidant defense capacity and lipid profile in junior hurdlers. A pilot study. **Biology of Sport**, v. 32, p. 161–168, 2015. Disponível em: <<https://doi.org/10.5604/20831862.1144419>>.

SALEM, M. M.; FATHI, F. A.; AWAD, R. A. Production of probiotic ice cream. **Polish Journal of Food and Nutrition Sciences**, v. 14, p. 267, 2005.

SERT, D.; MERCAN, E.; KILINÇ, M. Development of buffalo milk ice-cream by high pressure-homogenization of mix: Physicochemical, textural and microstructural characterization. **Lwt**, v. 150, 112013, 2021. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.lwt.2021.112013>>.

SHARAN, S.; ZANGHELINI, G.; PERNIN, A.; DESCHARLES, N.; ZOTZEL, J.; BONERZ, D.; ASCHOFF, J.; MAILLARD, M. N.; SAINT-EVE, A. Flavor of fava bean (*Vicia faba* L.) ingredients: Effect of processing and application conditions on odor-perception and headspace volatile chemistry. **Food Research International**, v. 159, 11582, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.foodres.2022.111582>.

SILVEIRA, J. T.; DA ROSA, A. P. C.; DA MORAIS, M. G.; DE VICTORIA, F. N.; COSTA, J. A. V. An integrative review of Açai (*Euterpe oleracea* and *Euterpe precatoria*): Traditional uses, phytochemical composition, market trends, and emerging applications. **Food Research International**, v. 173, p. 113304, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2023.113304>>.

SUN, Y. T.; RUIZ-CARRASCAL, J. Home made vegan nuggets with texturized soy protein and tempeh as compared to chicken-based ones: Texture, consumer perception and environmental impact. **International Journal of Gastronomy and Food Science**, v. 33, n. May, p. 100748, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.ijgfs.2023.100748>>.

SYMONEAUX, R.; GALMARINI, M. V.; MEHINAGIC, E. Comment analysis of consumer's likes and dislikes as an alternative tool to preference mapping. A case study on apples. **Food Quality and Preference**, v. 24, p. 59–66, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2011.08.013>>.

TEIXEIRA, N. S.; ALCANTARA, M.; DE MARTINS, I. B. A.; CHÁVEZ, D. W. H.; ROSENTHAL, A.; CHAVES, A. C. S. D.; DELIZA, R. Attitudes and conceptions of

Brazilian consumers toward ice cream and protein addition. **Food Quality and Preference**, v. 108, Article 104881, 2023. Retrieved from: <<https://doi.org/10.1016/J.FOODQUAL.2023.104881>>.

TEIXEIRA, C. D.; MARCHIONI, D. M.; MOTTA, V. W. DE L.; CHAVES, V. M.; GOMES, S. M.; JACOB, M. C. M. Flexitarians in Brazil: Who are they, what do they eat, and why? **Appetite**, v. 192, 107093 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.appet.2023.107093>>.

VARELA, P.; ARES, G. Sensory profiling, the blurred line between sensory and consumer science. A review of novel methods for product characterization. **Food Research International**, v. 48, p. 893-908, 2012. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodres.2012.06.037>>.

VIDAL, L.; ARES, G.; HEDDERLEY, D. I.; MEYNER, M.; JAEGER, S. R. Comparison of rate-all-that-apply (RATA) and check-all-that-apply (CATA) questions across seven consumer studies. **Food Quality and Preference**, v. 67, p. 49–58, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodqual.2016.12.013>>.

WANG, C.; WANG, J.; ZHU, D.; HU, S.; KANG, Z.; MA, H. Effect of dynamic ultra-high-pressure homogenization on the structure and functional properties of whey protein. **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, p. 1301–1309, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s13197-019-04164-z>>.

WU, M.; HE, X.; FENG, D.; LI, H.; HAN, D.; LI, Q.; ZHAO, B.; LI, N.; LIU, T.; WANG, J. The Effect of High-Pressure Homogenization on the Structure of Dual-Protein and Its Emulsion Functional Properties. **Foods**, v. 12, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.3390/foods12183358>>.

YANG, J.; LIU, G.; ZENG, H.; CHEN, L. Effects of high pressure homogenization on faba bean protein aggregation in relation to solubility and interfacial properties. **Food Hydrocolloids**, v. 83, p. 275–286, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.foodhyd.2018.05.020>>.

## **CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES DE PESQUISA**

Os estudos conduzidos nesta tese permitiram desenvolver, com diferencial de abordagem e avanço científico e tecnológico, na fronteira do conhecimento, um sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava com o teor proteico aumentado, e a avaliação da aplicação da homogeneizado a alta pressão nas características tecnológicas e sensoriais, como norteadores do desenvolvimento e otimização do produto. O estudo contemplou as diferentes etapas do desenvolvimento do novo produto, desde a avaliação da opinião do consumidor em relação ao sorvete e a adição de proteína nesse produto, a escolha da fruta que seria utilizada no sorvete, o desenvolvimento da formulação por meio de um planejamento de mistura, a composição nutricional e as características físico-químicas da formulação ideal, a avaliação dos efeitos de um processo inovador para melhorar as características tecnológicas e sensoriais do produto, até a avaliação da aceitação e intenção de compra dos consumidores, as quais são de suma importância para caracterizar a qualidade e sucesso potencial do produto no mercado consumidor, como evidenciar o benefício potencial da tecnologia na melhoria do produto. .

Os resultados apresentados no capítulo I mostraram que o sorvete é um produto bastante apreciado e bem aceito por diferentes públicos, dentre 1074 consumidores que responderam ao questionário online, 98% responderam que gostavam de sorvete. Quando foi solicitado que respondessem o que vinham em na mente quando pensavam na palavra “sorvete”, a maioria mencionou palavras que remetiam a atributos sensoriais como textura (“aerado”, “suave”, “leve” e “cremoso”), refrescante e sabor. A textura é um dos atributos mais importantes para o consumidor e um parâmetro de qualidade do sorvete importante. A maioria dos participantes (88%) consideraram ser uma boa ideia a adição de proteínas em sorvetes, sugerindo que desenvolver um sorvete com adição de proteína poderia alavancar o consumo de sorvete em nichos diferentes, como também o consumo em qualquer período do ano. Os participantes também contribuíram para a decisão do sabor e forma do sorvete, e foi identificado que o uso do açaí e o sorvete em massa poderia ter um efeito positivo na experimentação e no consumo. A opinião dos consumidores, antes do desenvolvimento de um novo produto, pode contribuir para tomada de decisão e *insights* que podem ser usados para desenvolver um produto melhor e que atendam às demandas dos consumidores em diferentes contextos situacionais. Desse modo, os resultados obtidos no estudo com os consumidores podem também servir como uma pesquisa prospectiva do potencial comercial e de tendências de novos produtos para o setor de sorvetes

No capítulo II, vimos que o planejamento de mistura permitiu variarmos o teor proteico entre 8,5% a 20%, a concentração do preparado de açaí (25% a 40%) e o óleo de coco (5% a 10%), os resultados mostraram que o teor proteico desempenhou um papel crucial nas propriedades reológicas e tecnológicas dos sorvetes. A formulação com 20% de concentrado proteico de feijão-fava foi a única que poderia ser considerada “fonte de proteína” em sorvete, contudo, observamos que maiores teores de proteínas podem comprometer a viscosidade da calda do sorvete, e conseqüentemente sua textura, *overrun* e derretimento. Em contrapartida, níveis moderados de proteína de feijão-fava (cerca de 10%) podem melhorar o valor nutricional dos sorvetes, sem prejudicar as propriedades acima mencionadas, tornando-o um produto *plant-based* com teor proteico aumentado. Com base nesses resultados, foi estabelecido que a formulação ideal teria 40% de preparado de açaí, 8,5% de concentrado proteico de feijão-fava e 6,5% de óleo de coco, como uma opção promissora para o mercado de sorvetes *plant-based*, utilizando uma proteína alternativa pouco explorada.

Uma vez definida a formulação ideal do sorvete *plant-based* de açaí e farinha de casca de jabuticaba com proteína de feijão-fava, no capítulo III foram avaliadas as

características físico-químicas do produto otimizado, o sorvete apresentou maior teor proteico e menor teor de gordura em comparação aos sorvetes lácteos tradicionais e sorvetes veganos comercializados, respectivamente, apresentando um valor energético alinhado à média dos sorvetes disponíveis no mercado brasileiro. Com relação à composição em termos de aminoácidos, o sorvete contém os aminoácidos essenciais, incluindo quantidades significativas de leucina e lisina.

Com relação as diferentes condições de HAP aplicadas à calda do sorvete, observou-se mudanças significativas no tamanho de partículas e nas propriedades reológicas, evidenciando o impacto dessa tecnologia na estrutura do produto. A homogeneização a 45 MPa resultou em modificações na calda do sorvete, com redução do diâmetro das partículas, o que pode resultar em aumento da estabilidade da emulsão. A homogeneização resultou em menor *overrun* e em uma maior resistência ao derretimento, o que pode ser importante para oscilações de temperatura.

No capítulo IV avaliou-se a aceitação e a caracterização sensorial das diferentes formulações do sorvete e os efeitos da homogeneização a alta pressão na avaliação sensorial dos consumidores. Inicialmente, vimos que os participantes da pesquisa apreciavam sorvete, contudo a frequência de consumo semanal era baixa, ou seja, eles ainda viam o produto apenas como uma sobremesa, uma indulgência. A proposta do presente estudo foi desenvolver um produto inovador e que fosse visto como uma opção de produto *plant-based* para ser consumido por diferentes nichos de consumidores, e como um alimento que pudesse contribuir para o aporte nutricional, como um lanche proteico, pré ou pós.

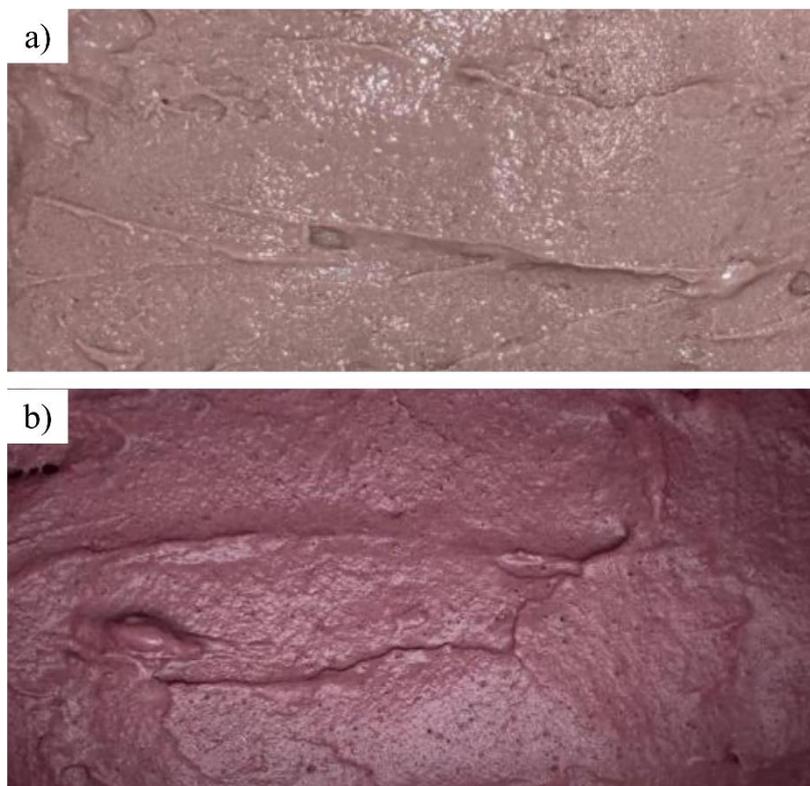
Inicialmente, o produto não obteve uma elevada aceitação sensorial. No entanto, mediante a segmentação dos consumidores de acordo com o nível de aceitação, identificou-se que 39 participantes atribuíram notas  $\geq 6$ , sugerindo que este grupo representa o potencial público consumidor do referido produto. Destaca-se que estes provadores, além de expressar apreço pela ideia, considerou-a "extremamente boa", especialmente no que tange à escolha de um sorvete com proteína vegetal, durante a decisão de compra.

O estudo revelou que as amostras sujeitas à homogeneização a alta pressão (HAP) apresentaram modificações mais marcantes nas características sensoriais, contribuindo substancialmente para melhorar a aceitação do sorvete com proteína de feijão-fava. As amostras submetidas à HAP a 45 MPa e 90 MPa receberam as pontuações mais elevadas no teste de aceitação. Além disso, na caracterização sensorial, empregando o método RATA, estas amostras exibiram maior intensidade nos atributos "cor roxa", "aparência brilhosa", "doce", "sabor de açaí" e "cremosa". Tais resultados evidenciaram que a etapa de homogeneização, comumente realizada no processamento de sorvetes, porém com pressões mais baixas (cerca de 15 MPa), ao ser realizada com pressões mais elevadas (superiores a 45 MPa) pode melhorar características sensoriais de sorvetes à base de proteína vegetal. Estas melhorias, perceptíveis pelos consumidores, desempenham um papel crucial na aceitação do produto, particularmente no que concerne à textura e ao sabor.

Estudos futuros devem investigar os efeitos da HAP na microestrutura dos sorvetes por meio de microscopia e a estabilidade durante o armazenamento (*vida útil*). Sugerimos também avaliar a aceitação dos consumidores em formulações com outros teores de proteína de feijão-fava aplicando-se a HAP, a fim de aumentar a aceitação sensorial.

## APÊNDICE I

A casca de jabuticaba em pó foi incorporada na formulação do preparado de açaí com a função de corante natural para intensificar a cor do sorvete, uma vez que, nos testes preliminares, observamos que a tonalidade do produto ainda não era atrativa apenas com a polpa de açaí na formulação do preparado. Como observado na figura 1, a adição da casca de jabuticaba em pó intensificou a cor roxa do produto final.



**Figura 1.** (a) Sorvete com preparado de açaí sem adição de casca de jabuticaba desidratada em pó. (b) Sorvete com preparado de açaí com adição de 6,24% de casca de jabuticaba desidratada em pó.