UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Bioquímico-
Farmacêutica Área de Tecnologia de Alimentos

**Uso de diferentes bases gordurosas para produção de
sorvetes: um estudo reológico**

Paulo Henrique da Silva Santos

Dissertação para obtenção do grau de
MESTRE

Orientador:
Profa. Dra. Suzana Caetano da Silva Lannes

São Paulo
2020

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
FACULDADE DE CIÊNCIAS FARMACÊUTICAS
Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Bioquímico-
Farmacêutica Área de Tecnologia de Alimentos

Uso de diferentes bases gordurosas para produção de
sorvetes: um estudo reológico

Paulo Henrique da Silva Santos

Versão corrigida da Dissertação/ resolução CoPGr 6018.

Dissertação para obtenção do grau de
MESTRE

Orientador:
Profa. Dra. Suzana Caetano da Silva Lannes

São Paulo
2020

Autorizo a reprodução e divulgação total ou parcial deste trabalho, por qualquer meio convencional ou eletrônico, para fins de estudo e pesquisa, desde que citada à fonte.

Ficha Catalográfica elaborada eletronicamente pelo autor, utilizando o programa desenvolvido pela Seção Técnica de Informática do ICMC/USP e adaptado para a Divisão de Biblioteca e Documentação do Conjunto das Químicas da USP Bibliotecária responsável pela.

Orientação de catalogação da publicação: Marlene Aparecida Vieira – CR B - 8/5562

S773u	Santos, Paulo Henrique da Silva Uso de diferentes bases gordurosas para produção de sorvetes: um estudo reológico / Paulo Henrique da Silva Santos. - São Paulo, 2020. 113 p.
	Dissertação (mestrado) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo. Departamento de Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica. Orientador: Lannes, Suzana Caetano da Silva
	1. Sistemas coloidais. 2. Reologia. 3. Microestrutura. 4. Gorduras. 5. Organogel. I. T. II. Lannes, Suzana Caetano da Silva, orientador.

Paulo Henrique da Silva Santos

Uso de diferentes bases gordurosas para produção de sorvetes: um estudo
reológico

Comissão Julgadora
da
Dissertação para obtenção do grau de Mestre

Profa. Dra. Suzana Caetano da Silva Lannes
orientador/presidente

1º. examinador

2º. examinador

3º. examinador

São Paulo, _____ de _____.

Paulo Henrique da Silva Santos

A minha família, que amo e
admiro que incontáveis vezes
entenderam a minha ausência e
nunca mediram esforços para
proporcionar meu crescimento
e minha felicidade.

AGRADECIMENTOS

À Professora Dra. Suzana Caetano da Silva Lannes, por todo aprendizado, seriedade, paciência, compreensão e por confiar na minha capacidade.

A esta faculdade, seu corpo docente e colaboradores, que oportunizaram a janela que hoje vislumbramos um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presente.

Ao Departamento de Tecnologia Bioquímico-Farmacêutica da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade de São Paulo, e a todos os professores, técnicos, alunos e funcionários pela orientação e disponibilidade em ajudar em todos os momentos que precisei.

Às nossas famílias pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

“A História está repleta de pessoas que, como resultado do medo, ou por ignorância, ou por cobiça de poder, destruíram conhecimentos de imensurável valor que em verdade pertenciam a todos nós. Nós não devemos deixar isso acontecer de novo”.

Carl Saga

RESUMO

SANTOS, Paulo. Henrique. da Silva. **Uso de diferentes bases gordurosas para produção de sorvete: um estudo reológico**. 2020. 113f. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020.

Este estudo teve como objetivo geral a elaboração e adequação das propriedades estruturais de sorvetes tipo *gelato*, elaborados com diferentes bases gordurosas, de origem láctea e vegetal, e o uso de organogel estruturante funcional como substituto de gordura na formulação deste tipo de produto. Para o primeiro estudo (Capítulo 3), quatro formulações para sorvetes do tipo *gelato* foram produzidas com diferentes bases de gordura: gordura vegetal *low trans* (T1), manteiga (T2), creme de leite UHT (T3) e creme de leite fresco (T4); para o segundo estudo (Capítulo 4) utilizou-se a formulação T3 como Padrão, mais duas substituições da base gordurosa pelo organogel funcional (fitosteróis + colágeno) (T1 – 50% substituição; T2 – 100% substituição). Foram analisados o seu comportamento de (*overrun*, taxa de derretimento, textura, reologia e cor) durante diferentes etapas de produção: antes e após maturação, após batimento e congelamento, para o primeiro estudo (Capítulo 3), e antes e após maturação para o segundo estudo (Capítulo 4). A reologia oscilatória foi escolhida como principal instrumento para estudar as mudanças que ocorrem na estrutura das misturas dos sorvetes avaliando-se a alteração das bases gordurosas utilizadas. No primeiro estudo observou-se que os maiores valores de *overrun* foram observados nas formulações T3 e T1, seguida da T4 e T2 resultando em menor incorporação de ar. As formulações apresentaram taxa de derretimento na sequência: T1, T2, T4 e T3, que demonstrou a maior resistência ao derretimento; T1 evidencia a menor força máxima necessária para extrusão, seguida pelas formulações T3, T4 e T2, respectivamente, podendo-se correlacionar com o *overrun*. Com os ensaios reológicos nas misturas foi possível estudar a influência do tipo de gordura na formação da estrutura do sorvete e no processo de mistura. A formulação T1 apresentou as maiores diferenças entre as formulações, provavelmente pelo seu perfil de cristalização e por sofrer menor desestabilização da membrana dos glóbulos de gordura por parte do emulsificante. Por apresentar melhor desempenho (*performance*), a formulação T3 foi selecionada como Padrão para o segundo estudo, a fim de se verificar a possibilidade de produzir sorvetes mais saudáveis, conservando as características reológicas e de indulgência, com substituição da base gordurosa por sistemas coloidais estruturados adicionados de compostos bioativos. A aplicação de sistemas de organogéis em sorvetes é uma abordagem bem-sucedida para obter produtos com reduzido teor de gordura saturada, adição de esteróis vegetais e colágeno, destinados a pessoas que desejam diminuir a ingestão de gordura, de acordo com os resultados obtidos.

Palavras-chave: Sistemas coloidais, Reologia, Microestrutura, Gorduras, Organoge

ABSTRACT

Santos, Paulo Henrique da Silva. **Use of different types of fat for the production of ice cream: a rheological study**. São Paulo, 2020. 113p. Master's dissertation- Pharmaceutical Sciences College. University of São Paulo.

This study had as general objective the elaboration and adaptation of the structural properties of gelato type ice creams, made with different fatty bases, of milk and vegetable origin, and the use of functional structuring organogel as a fat substitute in the formulation of this type of product. For the first study (Chapter 3), four formulations for gelato-type ice creams were produced with different fat bases: low trans vegetable fat (T1), butter (T2), UHT cream (T3) and fresh cream (T4); for the second study (Chapter 4) Formulation T3 was used as Standard, plus two substitutions of the fatty base for the functional organogel (phytosterols + collagen) (T1 - 50% replacement; T2 - 100% replacement). Their (overrun, melting rate, texture, rheology and color) behavior during different production stages were analyzed: before and after maturation, after beating and freezing, for the first study (Chapter 3), and before and after maturation for the second study (Chapter 4). Oscillatory rheology was chosen as the main instrument to study the changes that occur in the structure of the ice cream mixtures, evaluating the change in the fatty bases used. In the first study it was observed that the highest values of overrun were observed in formulations T3 and T1, followed by T4 and T2 resulting in less air incorporation. The formulations showed melting rate in the sequence: T1, T2, T4 and T3, which demonstrated the greatest resistance to melting; T1 shows the lowest maximum force required for extrusion, followed by formulations T3, T4 and T2, respectively, which can be correlated with overrun. With the rheological tests on the mixtures it was possible to study the influence of the type of fat on the formation of the ice cream structure and on the mixing process. The T1 formulation showed the greatest differences between the formulations, probably due to its crystallization profile and due to the less destabilization of the fat globule membrane by the emulsifier. For presenting better performance, the T3 formulation was selected as Standard for the second study, in order to verify the possibility of producing healthier ice creams, preserving the rheological and indulgence characteristics, with replacement of the fatty base by structured colloidal systems added bioactive compounds. The application of organogel systems in ice cream is a successful approach to obtain products with a reduced content of saturated fat, addition of plant sterols and collagen, intended for people who wish to decrease their fat intake, according to the results obtained.

Keywords: Colloidal systems, Rheology, Microstructure, Fats, Organogel

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- micrografia de varredura de sorvete demonstrando as fases sólidas, gasosa e líquida.....	29
Figura 2- Coalescência de glóbulos de gordura- (a) Glóbulos de gordura líquido completamente coalescido; (b) Coalescência parcial; (c) Glóbulos de gordura sólidos não coalescidos.....	36
Figura 3- Taxa de cisalhamento	39
Figura 4- Comportamento reológico de fluidos newtonianos e não newtonianos	40
Figura 5- curvas de tensão e deformação de um material viscoelástico	
Figura 6- Diagrama esquemático de uma célula para teste de compressão-extrusão simples	42
Figura 7- fluxograma de produção	63
Figura 8- Reômetro MARS, Haake	64
Figura 9- Probe back extrusion.....	66
Figura 10- Ensaio varredura de tensão- (a) formulação com gordura <i>Low trans</i> antes da maturação; (b) formulação com gordura <i>Low trans</i> depois da maturação; (c) formulação com manteiga antes da maturação; (d) formulação com manteiga depois da maturação; (e) formulação com creme de leite UHT antes da maturação; (f) formulação com creme de leite UHT depois da maturação; (g) formulação com creme de fresco antes da maturação; (h) formulação com creme de leite fresco depois da maturação.....	68
Figura 11- Ensaio de varredura de frequência- (a) formulação com gordura <i>Low trans</i> ; (b) formulação com manteiga; (c) formulação com creme de leite UHT; (d) formulação com creme de leite fresco.	72
Figura 12- Curva de compressão-extrusão	78
Figura 13- Ensaio varredura de tensão- (a) formulação padrão antes da maturação; (b) formulação padrão depois da maturação; (c) formulação com redução de 50% gordura antes da formulação; (d) formulação com 50% de redução de gordura depois da maturação; (e) formulação com redução de 100 % de gordura antes da maturação (f) formulação com 100%.....	104
Figura 14- Ensaio varredura de tensão- (a) formulação padrão antes da maturação; (b) formulação padrão depois da maturação; (c) formulação com redução de 50% gordura antes da formulação; (d) formulação com 50% de	

redução de gordura depois da maturação; (e) formulação com redução de 100 %	
de gordura antes da maturação (f) formulação com 100%.....	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- principais ácidos graxos da gordura do leite.	34
Tabela 2- Formulações com diferentes tipos de gorduras	62
Tabela 3- Ensaio de corlorimetria	77
Tabela 4- Formulações dos asorvetes	91
Tabela 5- analise de colorimetria.....	97

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1- % Consumo de Sorvetes no Brasil (em milhões de litros).....	16
Gráfico 2- Curva de derretimento.....	28
Gráfico 3- % <i>Overrun</i>	74
Gráfico 4- Comportamento de derretimento.....	75
Gráfico 5- Resultado de textura.....	78
Gráfico 6- % de overrun	94
Gráfico 7- comportamento de derretimento	96

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1- relação tensão e taxa de deformação	37
Equação 2- Cálculo de <i>overrun</i>	65
Equação 3- cálculo de overrun	92

LISTA DE SIGNIFICADO DE SIGLAS E ABREVEATURAS

a*	Coordenada da oposição de cores vermelho-verde
ABIS	Associação Brasileira das Indústrias de Sorvete
a.C	Antes de Cristo
AOAC	<i>Association of Analytical Communities</i>
b*	Coordenada da oposição de cores amarelo-azul
C*	Chroma
CIE	<i>Comission</i>
d.C	Depois de Cristo
G'	Módulo elástico ou de armazenamento
G''	Módulo viscoso ou de perda
h°	Ângulo de hue
HDL	Lipoproteína de alta densidade
L*	Luminosidade
LDL	Lipoproteína de baixa densidade
O/A	Emulsão do tipo óleo em água
RVL	Região de Viscoelasticidade Linear
SFC	Conteúdo de gorduras sólidas (<i>Solid Fat Content</i>)
tan δ	Módulo ou fator de perda
Unesp	Universidade Estadual de São Paulo
η^*	Viscosidade complexa

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	7
ABSTRACT	11
LISTA DE FIGURAS	12
SUMÁRIO	17
Capítulo 1	15
Introdução Geral e Objetivos	15
1.1 INTRODUÇÃO GERAL	16
1.2 OBJETIVOS.....	19
Capítulo 1 – Introdução Geral e Objetivos	21
Capítulo 2	22
Revisão Bibliográfica.....	22
2.1 O Sorvete	25
2.2 Gorduras	30
2.3 Gordura do leite	33
2.4 O papel da gordura no sorvete.....	35
2.5.1 Propriedades de viscoelasticidade	40
2.6 Textura.....	42
2.7 Overrun.....	44
2.9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ¹	45
Capítulo 3	52
Propriedades físicas e reológicas de misturas para sorvetes produzidas com diferentes bases gordurosas antes e após o tempo de maturação.	52
RESUMO	53
ABSTRACT	54
3.1 INTRODUÇÃO	59
3.2 MATERIAL E MÉTODOS	62
3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	67
3.3 CONCLUSÃO	81
3.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS ²	82
Capítulo 4	85
Aplicação de sistema estrutura do tipo bigel como alternativa para redução e substituição de gordura no sorvete de leite.	85
RESUMO	86
ABSTRACT	87
4.1 INTRODUÇÃO.....	88
4.2 MATERIAL E MÉTODOS.....	91
4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO	94
4.1- CONCLUSÃO	109

4.1	<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i> ³	110
Capítulo 5		111
Conclusões		111
5.1 CONCLUSÕES		112

Capítulo 1

Introdução Geral e Objetivos

1.1 INTRODUÇÃO GERAL

O sorvete é popularmente conhecido por sua característica refrescante, e essa característica faz com que seja associado ao período de verão. Essa iguaria, como define o dicionário Houaiss (2001), é feita a partir do congelamento de frutas, ou do seu extrato, com a incorporação de gordura, aromatizantes e açúcar.

O Brasil tem um mercado de sorvetes pouco expressivo se comparado a outros países, que mesmo com um inverno rigoroso e longo o consumo de sorvete chega a mais de 14 litros/habitante/ano. Contudo, o Brasil vem demonstrando uma tendência ao crescimento. Segundo a Associação Brasileira das Indústrias de Sorvetes (ABIS), houve um crescimento de consumo total entre 2003 e 2019 de 68,6%, passando de 685 milhões de litros para pouco mais de 1 milhão de litros por ano, tendo seu pico máximo no ano de 2014, como esquematizado no gráfico 1:

Gráfico 1- Consumo de Sorvetes no Brasil (em milhões de litros).

FONTE: ABIS, 2020

Atualmente, a sazonalidade do mercado brasileiro relacionada à venda de equipamentos para a fabricação de sorvete e aliado a desqualificação profissional do setor, conduz a carência de tecnicidade das empresas e a desunião de seus membros gestores (ABIS, 2020). Entretanto, de acordo com Nielsen (2018), a procura e consumo de produtos em porções menores e individuais é o método preferido de dieta de 41% dos consumidores mundiais e de 48% dos consumidores da América Latina. Nesse sentido, os brasileiros se permitem certas indulgências, independente da situação financeira. Portanto, mesmo em meio a crises, estes consumidores sempre encontram recursos para adquirirem a sobremesa desejada. Talvez por esse motivo os sorvetes tenham sido a categoria de produtos

industrializados que apresentou o melhor desempenho, segundo pesquisa realizada pela Nielsen nos supermercados e mercearias brasileiras (ABRAS, 2019).

É nesse contexto que conhecer e estudar a finalidade dos ingredientes adicionados à produção de sorvetes em função dos efeitos gerados nas propriedades físicas e químicas, ou salientando determinadas especificidades desses ingredientes, se faz importante. A gordura encaixa-se bem a estas propriedades por apresentar inúmeras funcionalidades na fórmula, tais como, contribuir estruturalmente para matrix do sistema, possibilitando ao produto uma textura suave o que resulta na diminuição da temperatura de congelamento e estabilização do sorvete com o aumento da resistência ao derretimento e viscosidade, realçando assim o seu sabor (GIORDANI, 2006). Por conseguinte, conhecer as diferenças e compatibilidades entre as gorduras e os demais componentes da formulação é vital para a otimização de toda a cadeia produtiva. Já que nos últimos anos a procura por produtos com apelo a saudável, porém, mantendo as características sensoriais de produtos indulgentes vêm sendo praticados por diversas empresas do setor por meio de lançamentos de novos produtos.

Uma tendência que cada vez mais é observada no mundo é a procura de novos alimentos funcionais, como uma alternativa a prevenção e/ou redução de doenças crônicas e cardíacas que estão diretamente ligadas a ingestão calórica rica em gorduras saturadas e ácidos graxos *trans* considerados como os atores principais dessas enfermidades. Entretanto pesquisas científicas em produtos lácteos ricos em gordura (*full fat*), como leite integral, queijos e manteiga demonstram que mesmo devido ao elevado teor de ácidos graxos saturados presentes em sua gordura, estes produtos não aumentam os riscos de doenças cardiovasculares e de obesidade, pelo contrário, podem até reduzi-los. Porém, pesquisas estimadas por questionários ou via biomarcadores plasmáticos foram associadas à menor probabilidade de ocorrência de síndrome metabólica (DREHMER, et al., 2015) e maior sensibilidade dos tecidos à insulina (KRATX et al., 2014).

Conhecer a reologia de alimentos industrializados é importantíssimo para garantir um controle de qualidade eficiente e desenvolver produtos com um conhecimento pleno de suas características físicas durante o processamento, no que se diz respeito ao dimensionamento de sistemas de tubulação, trocadores de calor e bombas, levando em conta o comportamento dos fluidos que é descrito através de modelos reológicos, que relacionam tensão de cisalhamento com a taxa de deformação. Bem como, prever as mudanças físicas durante a vida de

prateleira (VASQUES, 2003). A determinação deste comportamento em produtos congelados é complexa por causa da sensibilidade para tratamento térmico à preservação da microestrutura da amostra durante as medições. Entretanto, algumas técnicas modernas têm sido utilizadas, como os testes oscilatórios que se apresentam como boa ferramenta de estudo.

1.2 OBJETIVOS

Esta dissertação tem como objetivo geral a elaboração e modelagem das propriedades estruturais de sorvetes tipo *gelato*, elaborados com diferentes bases gordurosas, de origem láctea e vegetal, e o uso de organogel estruturante funcional como substituto de gordura na formulação deste tipo de produto.

Objetivos específicos

- Desenvolver formulações de sorvetes tipo *gelato*, com variação na base gordurosa (gordura vegetal low trans, creme de leite UHT, creme de leite fresco e manteiga); avaliar a aplicação dessas gorduras nas formulações;
- Determinar propriedades físicas –*Overrun* e Força máxima requerida para extrusão – que impactam o processamento de sorvetes produzidos com diferentes bases gordurosas; analisar a diferença de cor das diferentes formulações; verificar as características reológicas pelos testes de Varredura de tensão e Varredura de frequência, a fim de verificar a estrutura de cada formulação desenvolvida;
- Desenvolver organogel estruturante com compostos bioativos; aplicar em formulações de sorvete tipo *gelato* formulado com creme de leite UHT; testar substituição parcial e total da base gordurosa; avaliar a estrutura dos sorvetes produzidos por meio de análises físicas (Curva de Congelamento, *Overrun* e reologia oscilatória) e verificação da cor dos produtos.

1.3 JUSTIFICATIVA

Com o crescimento de consumo e a produção de sorvetes no Brasil dos últimos anos, é suma importância conhecer a sinergia entre as gorduras disponíveis para produção de sorvetes e os outros ingredientes da fórmula para que se possa desenvolver produtos de qualidade. As gorduras transfiguram as propriedades reológicas e sensoriais dos produtos onde são aplicadas, assim, o entendimento das alterações na fase lipídica contribui para o correto direcionamento de produção em larga escala. Este estudo disponibilizará informações para verificação do efeito de cada gordura estudada na estrutura dos sorvetes.

1.4 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO EM CAPÍTULOS

Capítulo 1 – Introdução Geral e Objetivos

Capítulo 2 – Revisão Bibliográfica: Neste capítulo são apresentadas as bases teóricas que nortearam todo o estudo referenciando desde o histórico, consumo e produção no Brasil bem como as funções dos ingredientes na fórmula, até uma explanação da reologia e interações importantes na microestrutura do sistema levando em conta todos os parâmetros de processos desde alimento em larga escala.

Capítulo 3 – Propriedades físicas e reológicas de misturas para sorvetes produzidos com diferentes bases gordurosas antes, durante e após o tempo de maturação: Neste capítulo são demonstradas as modificações no comportamento de misturas para sorvete em devido as gorduras utilizadas: Gordura *Low trans*, Manteiga, Creme Leite UHT e Creme de Leite Fresco e do tempo de maturação através de análises físicas e reológicas,.

Capítulo 4 – Aplicação de sistema estruturado do tipo organogel como alternativa para redução e substituição de gordura saturada em sorvetes: este capítulo expõe os resultados das avaliações da redução e substituição da gordura do tipo creme de leite UHT por um sistema estruturado do tipo organogel a base de fitosterol e colágeno.

Capítulo 5 – Conclusões

Capítulo 2

Revisão Bibliográfica

RESUMO

Sorvete é um alimento que contém elementos altamente nutritivos para a saúde humana, por possuir compostos principalmente de leite e frutas, que são boas fontes de proteínas, vitaminas, minerais e alguns fitoquímicos. Seu conteúdo consiste de uma matriz congelada contendo bolhas de ar, glóbulos de gordura, cristais de gelo e uma fase sérica não congelada. Sorvete é uma mistura líquida que se transforma em uma pasta após agitação e resfriamento simultâneos, podendo variar de país para país devido às regulamentações específicas. No Brasil, os sorvetes são “produtos congelados obtidos a partir de uma emulsão de gorduras e proteínas; ou de uma mistura de água e açúcar(es), podendo ser adicionados de outro(s) ingrediente(s) desde que não descaracterize(m) o produto”. Este capítulo apresenta um pouco da história do sorvete, definições, ingredientes utilizados, suas propriedades físicas que são de grande importância para manutenção da sua qualidade em toda a cadeia produtiva.

Palavras-chave: Sistema coloidal; gorduras; gelado comestível.

Ice cream is a food that contains highly nutritious elements for human health, because it has compounds mainly of milk and fruits, which are good sources of proteins, vitamins, minerals and some phytochemicals. Its content consists of a frozen matrix containing air bubbles, fat globules, ice crystals and an unfrozen serum phase. Ice cream is a liquid mixture that becomes a paste after simultaneous stirring and cooling, and may vary from country to country due to specific regulations. In Brazil, ice creams are “frozen products obtained from an emulsion of fats and proteins; or a mixture of water and sugar (s), with the possibility of adding another ingredient (s) as long as it does not de-characterize the product”. This chapter presents a bit of the history of ice cream, definitions, ingredients used, and its physical properties that are of great importance for maintaining its quality throughout the production chain.

Keywords: Colloidal system; fats; edible ice cream.

2.1 O Sorvete

O primeiro relato sobre a história do sorvete é indefinido e dados de sua origem pairam pela cultura popular. Há livros que relatam que o seu desenvolvimento se deu através de bebidas e sucos de frutas congelados com neve e levados até a corte do imperador Nero no século I (MIKILITA, 2002). Alguns escritos mencionam uma preparação à base de arroz e neve enquanto outros documentos registram que a neve era adicionada de sucos de frutas e mel. Para Clarke (2004), há evidências de que na dinastia *Zhou* da China no século XI a.C. existia uma pessoa responsável por liderar uma equipe que deveria colher gelo obtido durante as épocas frias e estocá-lo para que pudesse ser utilizado em bebidas durante o verão. Na Grécia esta prática também era comum por volta de 500 anos A.C., assim como pelos persas no segundo século d.C., e por diversos outros povos.

Acredita-se que, este, não foi inventado ou criado, mas desenvolvido há séculos até chegar ao produto que se conhece hoje. A grande revolução na história do sorvete, todavia, aconteceu em 1292, quando o mercador italiano Marcos Polo levou do oriente para a Itália uma receita com segredo do preparo de sorvetes (ABIS, 2019; MARSHALL, 2017). Desse momento em diante o sorvete tornou-se popular por toda a Itália e no restante da Europa. Quando Catarina de Médici casou-se em 1533 com Henrique II, levou para a França receitas de sorvetes. Na Inglaterra em 1640, o rei Carlos I pagou para que o chefe de cozinha de Mirco, vindo da corte francesa, desenvolvesse um “creme gelado” cuja receita deveria ser mantida em segredo (CLARKE, 2007).

Nos Estados Unidos, acredita-se que o sorvete tenha evoluído a partir de bebidas geladas e gelados de água. O sorvete provavelmente veio para os Estados Unidos com os primeiros colonizadores ingleses. A primeira máquina de fabricar sorvetes surgiu em Nova Jersey, quando Nancy Johnson em 1843 inventou um congelador manual, revestido de gelo adicionado de sal, no qual a mistura era agitada até o congelamento (ABRAHÃO, 2004). Em 1851, a primeira indústria atacadista de sorvetes nos Estados Unidos foi fundada em Baltimore, Maryland. Também foram estabelecidas plantas de sorvete em Nova York, Saint Louis, Chicago, Washington e Cincinnati. O desenvolvimento de leites condensados e secos e a introdução do pasteurizador e homogeneizador, *freezers* e outros equipamentos de conservação acompanharam um crescimento lento na indústria somente após 1900. A soda de sorvete foi introduzida em 1879, e a casquinha de sorvete e a torta Eskimo foram introduzidos em 1904 e 1921, respectivamente.

No Brasil, a primeira sorveteria foi fundada em 1834, quando um navio americano aportou no Rio de Janeiro com 217 toneladas de gelo. Dois comerciantes compraram o carregamento e passaram a vender sorvetes de frutas. Na época, não havia como conservar o sorvete gelado, por isso ele tinha que ser consumido logo após o preparo. Em 1941 no Rio de Janeiro foi inaugurada a primeira indústria de sorvetes do país, a US HARKSON do Brasil, que mais tarde passou a se chamar Kibon (ABIS, 2020).

Sorvete é um alimento que contém elementos altamente nutritivos para a saúde humana, por possuir compostos principalmente de leite e frutas, que são boas fontes de proteínas, vitaminas, minerais e alguns fitoquímicos (SOUKOULIS, FISK, BOHN, 2014). Como um complexo sistema congelado, é a sobremesa láctea mais conhecida do mundo. Seu conteúdo consiste de uma matriz congelada contendo bolhas de ar, glóbulos de gordura, cristais de gelo e uma fase sérica não congelada (BALTHAZAR et al., 2017; GOFF, 1997).

Por definição, “sorvete é uma mistura líquida que se transforma em uma pasta após agitação e resfriamento simultâneos” (CORVITTO, 2011), porém, essa definição pode variar de país para país devido às regulamentações específicas (CLARK, 2012; GOFF E HARTEL, 2013).

Do ponto de vista da legislação brasileira a definição usual é regida pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária, por meio da Resolução de Diretoria Colegiada – Regulamento Técnico para Gelados Comestíveis e Preparados para Gelados Comestíveis, RDC nº 266 de 22 de Setembro de 2005. Os sorvetes são “produtos congelados obtidos a partir de uma emulsão de gorduras e proteínas; ou de uma mistura de água e açúcar(es), podendo ser adicionados de outro(s) ingrediente(s) desde que não descaracterize(m) o produto”.

Do ponto de vista do processamento de alimentos, o sorvete é considerado uma mistura muito complexa e é obtido a partir de um sistema coloidal, constituído por emulsão pasteurizada que, através de um processo de congelamento sob contínua agitação e incorporação de ar, resulta em um produto com características agradáveis ao paladar (ZOU et al. 2018).

Segundo a Associação Européia de Sorvetes (*European Ice Cream Association* (CODE, 2018), as denominações para alguns tipos de sorvetes são: *Ice Cream*, (*Eis*, *Ijs*, *Glace*, *Is*, *Gelato*, *Helado*, *Pagoto*, *Gelado*, *Glass*) são reservados para um produto que cumpre a definição básica e é uma emulsão tipicamente composta de água e / ou leite, gorduras comestíveis, proteínas e açúcares. *Milk Ice* (*Milchspeiseeis*, *Melkijs*, *Glace au Lait*,

Maelkeis, Gelato di Latte, Helado de Leche, Pagoto Galaktos, Gelado de Leite, Mjölkglass) são reservadas para um produto que obedeça à definição de base e que contenha pelo menos 2,5% de gordura exclusivamente láctea e pelo menos 6% de leite sólido sem gordura, excluindo qualquer gordura e / ou proteína que não seja de origem láctea. *Dairy Ice Cream (Eiskrem, Roomijs, Crème Glacée, Floedeis, Crema Gelato, Helado Crema, Pagoto Krema, Gelado de Nata, Gräddglass)* são para produtos que obedeçam à definição de base e que contenha pelo menos 5% de gordura láctea, com exclusão de qualquer gordura e / ou proteína que não seja de origem láctea.

Do ponto de vista físico-químico, o sorvete é categorizado como uma espuma na qual há a concentração de hidrocoloides, açúcar, gordura e proteínas. O processamento do sorvete resulta em bolhas de ar em suspensão cobertas por cristais de gelo, glóbulos de gordura individualizados ou parcialmente fundidos e cristais de lactose (MASUDA, 2020). Durante o processo de crescimento dos cristais, os solutos são continuamente excluídos da rede cristalina (GOFF, HARTEL, 2013). Assim, à medida que o crescimento do cristal de gelo prossegue, os solutos e todas as outras substâncias na fase não congelada tornam-se congeladas num volume decrescente com reduções de temperatura.

A depressão do ponto de congelamento é regida pela Lei de Raoult, que indica que é um efeito de concentração molar, portanto influenciado tanto pelo peso molecular quanto pela concentração de peso dos solutos. Os principais solutos nas formulações de sorvete são os açúcares adicionados, lactose e sais de leite. Além disso, há também aromatizantes pós-pasteurização – que também são contabilizados – por possuírem alto teor de açúcar, e que se tornam incorporados na maior parte do sorvete (CHENG, 2020).

Por exemplo, a adição de morangos cozidos e adoçados contribuirá para a depressão do ponto de congelamento. O efeito combinado de todos os solutos na mistura na depressão do ponto de congelamento pode ser calculado e é geralmente mostrado como uma curva de congelamento (Gráfico 2), que ilustra a temperatura inicial de congelamento no cilindro da produtora. E depois a quantidade de água congelada (gelo formado) em função da temperatura para cada.

Gráfico 2- Curva de derretimento

FONTE: ORDÓÑEZ PEREDA, 2008

O preparo e formulação do sorvete são fatores muito importantes na formação de sua estrutura. As etapas de produção como a homogeneização, pasteurização, maturação e congelamento são de suma importância para a formação desta estrutura (GOFF,1997; GRANDER et al, 2004).

Os alimentos fornecem ao corpo humano a energia e o material destinados à formação e manutenção dos tecidos, ao mesmo tempo em que regulam o funcionamento dos órgãos. Nesse aspecto, os sorvetes são excelentes fontes de energia. O fato de seus constituintes serem quase completamente assimilados pelo organismo leva o sorvete a ser considerado não só uma guloseima, mas também um alimento rico em nutrientes

Souza et al (2010 p.160), afirmam que:

Um produto ideal deve apresentar características esperadas pelo consumidor e pelo fabricante, quanto aos seguintes atributos de qualidade: sabor, corpo, textura, características de derretimento, cor, embalagem, conteúdo microbiológico e composição. O sorvete ideal deve possuir um sabor típico, fresco, agradável e delicado; ter textura definida de macia; possuir resistência moderada; derreter lentamente em forma de líquido com aparência da mistura original (sem separações de fases); ter uma cor natural; possuir partículas regularmente distribuídas; e ter contagem bacteriana baixa.

A composição do sorvete interfere nas suas características físicas por estar diretamente relacionada com o processo que resulta numa influência direta na agregação dos glóbulos de gordura, a quantidade de ar incorporada, o tamanho das bolhas de ar, a viscosidade da fase aquosa e o tamanho e estado de agregação dos cristais de gelo (SILVA JUNIOR, 2008). Portanto, ele possui três fases em sua estrutura: líquida (solução de açúcares e hidro coloides); sólidos (cristais de gordura e gelo) e gasosa (bolhas de ar presas na matriz) conforme mostra a Figura 1:

Figura 1- Micrografia de varredura de sorvete demonstrando as fases sólidas, gasosa e líquida

FONTE: Clarke, 2003.

Alimentos normalmente passam por mudanças durante o consumo como resultado da mistura com a saliva e do rompimento da matriz do alimento pela mastigação. Para o sorvete, o efeito da mudança ocorre quando cristais de gelo e gordura derretem com o aumento da temperatura (FROST et al, 2000).

2.2 Gorduras

As gorduras são compostas de ésteres de glicerol com três ácidos graxos, são encontradas em células de origem animal, vegetal ou microbiana, sendo os maiores componentes dos tecidos adiposos em complemento às proteínas e carboidratos (DAMODARAN, 2010). A diferença do estado físico dos lipídeos pode ser vista à temperatura ambiente, uma vez que o óleo tem característica líquida e a gordura sólida, além de características particulares de alta solubilização em solventes orgânicos e insolúveis em água. São classificados como apolares (triacilglicerol e colesterol) e polares (fosfolipídios), os quais indicam diferenças de solubilidade e de propriedades funcionais. De acordo com a conformação da cadeia molecular, os lipídios podem ser subdivididos como simples, compostos ou complexos e derivados (JORGE, 2009).

A composição dos lipídeos contribui tanto na qualidade do produto, durante seu processamento, quanto no resultado. Os atributos como textura, sabor, teor nutritivo, densidade calórica são interessantes para a indústria no desenvolvimento e melhoramento de produtos. As propriedades físicas dos lipídeos são critérios que exercem grande influência quanto à aplicabilidade específica nos alimentos, uma vez que estão relacionadas diretamente com as propriedades dos Triacilgliceróis (RONHOLT et al., 2014).

As gorduras, em sua forma física, consistem em cristais de gordura homogeneizados a uma base de óleo. As propriedades reológicas deste produto dependem da concentração, morfologia, interação e organização desses cristais presentes que apresentam características de plasticidade e, dependendo da aplicação e grau de tensão de cisalhamento, assumem a forma líquida. Assim, propriedades como cristalização e ponto de fusão desempenham papel fundamental na escolha do tipo de lipídeo aplicado a um produto específico, assim como na parte sensorial esperada, como, por exemplo, a textura, estabilidade, aparência e sabor (KERR et al., 2011).

A cristalização das gorduras desempenha um papel essencial no controle das propriedades física dos alimentos devido às diferentes formas de cristais em sua formação. Essas gorduras se cristalizam conforme sua origem e maneira de resfriamento ou aquecimento. Seu estado físico desempenha importante papel na indústria alimentícia, sendo determinante para a qualidade do produto final (ORDÓÑEZ PEREDA, 2005).

O início do processo de cristalização ocorre com o resfriamento até a supersaturação, que conduz ao início da nucleação. É este processo o responsável pela propagação de cristais que, durante o seu crescimento, passa por diferentes formas metaestáveis até sua estabilização. A taxa de crescimento dos cristais é diretamente proporcional ao resfriamento e ao grau de saturação. Existem muitos fatores determinantes que influenciam a cristalização, tais como: a transferência de massa das moléculas da fase líquida para a interface sólido-líquido; incorporação das moléculas à armação do cristal; remoção do calor gerado pelo processo; e condições ambientais ou do sistema, tais como viscosidade, condutividade térmica, perfil de temperatura, agitação mecânica (SMITH et al., 2011).

O ponto de fusão dos lipídeos está relacionado à temperatura em que as gorduras sólidas passam para o estado líquido. A presença de ácidos graxos na estrutura química define o ponto de fusão e por isso as gorduras vegetais são líquidas em temperatura ambiente e a animal se apresenta em estado sólido. O ponto de fusão das gorduras pode acontecer num amplo intervalo de temperaturas, visto que as moléculas de gorduras comestíveis são compostas por vários tipos de triacilgliceróis, cada uma com uma temperatura de fusão diferente (RIBEIRO, 2007). Para o triacilglicerol puro, o ponto de fusão se dá à temperatura de 100°C; já uma gordura comestível típica derrete a um intervalo de temperatura maior por consistir em uma mistura de diversos tipos de moléculas distintas em seu ponto de fusão.

O ponto de fusão é calculado através do SFC (em inglês, *Solid Fat Content*), que é a fração (0-1) ou a porcentagem (0-100%) de lipídeos que se encontra em estado sólido em dada temperatura. A dependência de temperatura do SFC é um dos critérios mais importantes para a seleção de lipídeos para a realização de uma aplicação em particular (MELO, 2011).

A interesterificação é um processo de rearranjo da cadeia molecular dos lipídeos mediante reação de acidólise, alcoólise, glicerólise e transesterificação, ocasionando a mudança no ponto de fusão e comportamento de cristalização da gordura, sendo a transesterificação, o método mais usado para tais modificações destinadas em lipídeos alimentares (DAMODARAN, 2010). Segundo Ordóñez Pereda (2005), este processo modifica a posição dos ácidos graxos entre diferentes conformações na mesma ou em diferentes moléculas de triglicerídeos para modificar a cristalização, visando melhor aplicabilidade deste material.

Este processo de modificação de lipídeos por meio químico é o mais viável economicamente, uma vez que é realizado com adição de diferentes catalizadores, sendo os

mais efetivos os alcoolatos, amidas, hidretos, alquilatos de sódio, os quais em concentrações variam de 0,1% a 0,3% e completam a reação em tempo reduzido e em baixas temperaturas.

A modificação lipídica ocorre de forma aleatória ou dirigida. A primeira distribui os ácidos graxos nos triacilgliceróis em condições adequadas, formando seis possíveis arranjos de desses com utilização para modificar a consistência de gorduras em diferentes temperaturas e enriquecimento no teor de ácido linoleico, em margarinas por exemplo. A segunda se dá abaixo do ponto de fusão da gordura, ocorrendo formação de cristais a partir de triacilgliceróis saturados que são retirados, e o restante é a fase líquida insaturada. A parte saturada deste processo resulta no desenvolvimento de *shortenings* de banha, por exemplo, por apresentar grandes cristais com estrutura granulosa. A transesterificação permite melhorar as características plásticas e emulsificantes ideais, não apresentando conformação de isômeros *trans*, sendo um substituto em relação ao processo de hidrogenação de gorduras para utilização na indústria (ORDÓÑEZ PEREDA, 2005).

Segundo Damodaran (2010), a aplicação da gordura no desenvolvimento de produtos alimentícios resulta também em características organolépticas, como a textura, aparência e sabor, e isso ocorre através da funcionalidade dos lipídeos. A textura é determinada pelo estado físico do lipídeo, concentração, morfologia e interação dos cristais. O ponto de fusão destes caracterizam a textura, estabilidade, espalhabilidade e sensação bucal, devido à fase oleosa parcialmente cristalina que proporciona plasticidade, e a propriedade reológica pode ser determinada através do SFC. É importante que o produto final apresente uma rede tridimensional de cristais pequenos na forma polimórfica β' (beta prima), que promove a textura e estabilidade esperada. Um exemplo interessante é a fabricação de margarina que configura a relevância da cristalização para efetiva textura global nos alimentos, pois durante o processamento ocorre mudança de fase por um trocador de calor irregular. Em seguida, a gordura passa por um rápido resfriamento e exposição a altas taxas de cisalhamento, etapa esta que ocorre formação de cristais mais estáveis β' .

Quanto à aparência, as gorduras sólidas proporcionam opacidade devido ao espalhamento da luz nos cristais presentes, demonstrando a imiscibilidade da água com a fase oleosa. O processo de cristalização tem grande importância quanto ao resultado à refração da luz, pois este atributo depende da conformação estrutural de concentração, tamanho e forma dos cristais, devendo ser mais uniformes e achatados de modo que reflitam a luz como espelhos e para que não ocorra a migração de gordura para a superfície. Apesar de que, para

evitar a migração e a temperatura de armazenamento, são aplicados surfactantes que controlam a transição de cristais (BELITS, 2004).

O sabor é influenciado pela fase lipídica, de acordo com a concentração de lipídeos presentes, pois podem ocorrer partições das moléculas em óleo e água em regiões gasosas dentro da matriz, conforme sua polaridade e volatilização, influenciando assim no aroma e sabor. A palatibilidade percebida em gorduras deve-se ao tamanho dos cristais, que gera sensação refrescante, sendo este um atributo sensorial esperado em alimentos que contenham uma taxa elevada de gordura.

As propriedades elétricas dos lipídeos são importantes para o entendimento dos processos a serem aplicados. A exemplo disso pode ser mencionada a determinação das medidas da concentração de gordura por condutividade elétrica ou a determinação do tamanho de gotículas de gordura por contagem de pulso elétrico. Os lipídeos apresentam uma faixa baixa para a constante dielétrica; devido à baixa polaridade dos triacilgliceróis, os lipídeos apresentam características de condutor fraco e de elevada resistência elétrica, o que aumenta o potencial da constante dielétrica, com o crescimento da polaridade com a presença de grupos hidroxila ou pela oxidação.

2.3 Gordura do leite

Assim como a grande maioria das gorduras oriundas de fontes naturais, no leite, a gordura é composta principalmente por triacilgliceróis, e cerca de 98,3 % (p/p) está dispersa na forma de glóbulos estabilizados por uma membrana interfacial complexa. Contudo, outras classes de lipídeos também estão presentes em pequenas concentrações 0,03-0,8 % (p/p), entre os quais se destacam: diacilgliceróis, monoacilgliceróis, ácidos graxos livres, fosfolípidios e esteróis. Além de traços de vitaminas lipossolúveis (A, D, E e K), β -caroteno e compostos de sabor e aroma lipossolúveis também estão presentes.

Essa composição tão variada é responsável por seu sabor e características físicas *Sui generis*, caracterizando-a do ponto de vista estrutural como sendo um núcleo de triacilgliceróis imiscuído por uma membrana lipoproteica .

A gordura do leite é o constituinte que apresenta maior variabilidade frente aos diversos fatores que afetam a composição do leite, como a raça, saúde do animal, sazonalidade, a dieta e o estágio de lactação. Estima-se que a gordura do leite possua mais de 400 ácidos graxos, que diferem principalmente pelo comprimento de cadeia (4 a 24 átomos de carbono) e pelo

número e orientação de ligações insaturadas. Embora a grande maioria desses ácidos graxos esteja presente em quantidades extremamente pequenas (< 0,1 g/100 g de ácidos graxos totais), cerca de 14 estão presentes em concentrações acima de 1 g/100 g de ácidos graxos totais (Tabela 1). Em geral, 65 % desses ácidos graxos são saturados e, dentre eles, os ácidos mirístico (C14:0), palmítico (C16:0) e esteárico (C18:0) são os encontrados em maior concentração. Dentre os ácidos graxos insaturados, o ácido oleico (C18:1 *cis*-9) é o que se apresenta em maior proporção (JENSEN, 2002).

Tabela 1- Principais ácidos graxos da gordura do leite.

Nº de átomos de Carbonos	Nome comum	Valor médio (%) ⁽¹⁾
4:0	Butírico	2-5
6:0	Capróico	1-5
8:0	Caprílico	1-3
10:0	Cáprico	2-4
12:0	Láurico	2-5
14:0	Mirístico	8-14
15:0	Pentadecanóico	1-2
16:0	Palmítico	22-35
16:1	Palmitoleico	1-3
17:0	Margárico	0,5-1,5
18:0	Esteárico	9-14
18:1	Oleico	20-30
18:2	Linoleico	1-3
18:3	Linolênico	0,5-2

Fonte: JENSEN (2002). ⁽¹⁾ Expresso em g/100 g de ácidos graxos totais.

O consumo de gordura do leite tem sido associado ao aumento de obesidade, de colesterol e do risco de doenças cardiovasculares. Os ácidos graxos de cadeia curta: butírico (C4:0), capróico (C6:0), caprílico (C8:0); de cadeia média: cáprico (C10:0) e de cadeia longa, esteárico (C18:0), são considerados neutros na modulação da concentração plasmática do colesterol LDL. A Organização Mundial de Saúde vem recomendando a redução no consumo de gordura animal.

A gordura do leite, devido à sua composição complexa, apresenta uma ampla faixa de temperatura de cristalização e fusão. É completamente líquida acima de 40°C e completamente sólida abaixo de -40°C. Entre essa faixa de temperatura, encontra-se sempre como uma mistura de gordura líquida e cristalizada, cuja proporção depende da temperatura.

Os eventos de cristalização referem-se à ordenação espontânea de um sistema lipídico, caracterizado por restrição total ou parcial de movimento ocasionada a partir de interações químicas ou físicas entre as moléculas de triacilgliceróis e são divididos em duas fases: nucleação e crescimento dos cristais (SATO, 2001). Cada um desses eventos ocorre em diferentes taxas de equilíbrio termodinâmico.

Segundo o MAPA (1996) Entende-se como creme de leite o produto lácteo relativamente rico em gordura retirada do leite por procedimentos tecnologicamente adequados, que apresenta a forma de uma emulsão de gordura em água. Denomina-se creme pasteurizado, o que foi submetido ao procedimento de pasteurização, mediante um tratamento térmico tecnologicamente adequado; creme esterilizado o que foi submetido, ao processo de esterilização, mediante um tratamento térmico tecnologicamente adequado; creme UHT o que foi submetido ao tratamento térmico de ultra-alta temperatura, mediante procedimento tecnologicamente adequado.

Entende-se por manteiga o produto gorduroso obtido exclusivamente pela bateção e malaxagem, com ou sem modificação biológica de creme pasteurizado derivado exclusivamente do leite de vaca, por promessatecnologicamente adequados. A matéria gorda da manteiga deverá estar composta exclusivamente de gordura láctea (MAPA, 1996).

2.4 O papel da gordura no sorvete

A gordura contribui para a estrutura do sorvete, proporcionando ao produto uma textura suave, melhora o corpo, diminui a temperatura de congelamento do sorvete, aumenta a resistência ao derretimento, estabiliza o produto ao envolver a rede de gordura na película das bolhas de ar, modificando assim as propriedades reológicas. Assim, quanto maior o percentual de gordura na mescla, maior será a viscosidade e capacidade de aeração, além de, realçar o sabor sendo o mais importante veículo de aroma.

No processo de congelamento, os glóbulos de gordura tendem a se concentrar na superfície da célula de ar, aumentando a concentração de gordura, nos espaços onde formariam os cristais de gelo e, tendo como consequência, a formação de cristais de gelo menores.

A gordura também se apresenta na mescla como uma fina emulsão que coalesce parcialmente durante o congelamento. Esta aglutinação acontece quando duas partículas de gordura dispersas na matriz se fundem em uma única partícula. Quando as gotículas não chegam a se unir totalmente, formando algo parecido a duas gotículas uma fundida a outra,

denomina-se coalescência parcial (Figura 2) (GOFF,1997).

Figura 2- Coalescência de glóbulos de gordura- (a) Glóbulos de gordura líquido completamente coalescido; (b) Coalescência parcial; (c) Glóbulos de gordura sólidos não coalescidos.

Fonte: GOFF,1997

A formação da estrutura da gordura se inicia logo após a pasteurização quando a temperatura está alta o suficiente para derreter toda a gordura presente e então são formados glóbulos medindo entre 0,5 a 2,0 μm . Devido à agitação durante a homogeneização, imediatamente estes glóbulos de gordura recém-formados estão praticamente desprovidos de qualquer membrana devido ao aumento brusco na área de superfície. Rapidamente, esses adsorvem moléculas anfifílicas presentes na mistura como a caseína, micelas de caseína, fosfolípidios, moléculas lipoprotéicas e qualquer emulsificante químico adicionado à mistura. A natureza da composição proteica da membrana dos glóbulos de gordura afeta o comportamento da emulsão, fazendo com que ela aja de modo diferente na subsequente coalescência parcial (CLARKE,2004; GOFF,1997).

2.5 Reologia

A reologia é o estudo de como materiais respondem a uma tensão ou a um estresse aplicado. É considerada como a ciência da deformação e fluxo da matéria (BORWANKAR, 1992; SCHARAMM, 2006). Faz parte da física que se estuda o comportamento de materiais sólidos e líquidos. Este termo foi utilizado pela primeira vez por Eugene C. Bingham (1929), possuindo origem na palavra grega *rheos* (rio/fluir) e *logos* (estudo). O termo é derivado de *panta rhei*, dito pelo grego filósofo e cientista natural Heraclitus aproximadamente em 500 a.C. que significa “tudo flui” (STEFFE, 1996). Todos os materiais possuem propriedades reológicas, de modo que a reologia pode ser aplicada em diversas áreas de estudo (OLIVEIRA, 2005).

A matéria pode apresentar um comportamento desde um sólido elástico como de um líquido viscoso. No caso de sólidos, é estudada a deformação sob a ação de um estresse (força por unidade de área) e no caso de líquidos é estudado o fluxo sob o estresse (BORWANKAR, 1992). Nos sólidos, a energia requerida para a deformação é completamente recuperada quando as tensões são removidas, pois se deformam elasticamente. Enquanto os fluidos deformam-se irreversivelmente, a energia requerida para a deformação é dissipada dentro do fluido na forma de calor e não pode ser recuperada simplesmente pela remoção das tensões (SCHRAMM, 2006).

O comportamento reológico dos fluidos está dividido em newtoniano e não newtoniano, dependendo da relação que apresentam entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada (LANNES, MEDEIROS, AMARAL, 2002). Essa relação foi estabelecida por Newton em 1687, e é representada pela (Equação 1).

Equação 1- relação tensão e taxa de deformação

$$\tau = \mu\gamma \text{ (1)}$$

Sendo:

- ✓ τ - tensão de cisalhamento [Pa]
- ✓ γ - taxa de deformação [s^{-1}]
- ✓ μ - viscosidade [Pa.s]

Newton descreve também o escoamento de um fluido como um fluxo laminar, um conjunto de planos paralelos infinitamente finos que deslizam tangencialmente sobre os outros quando uma força constante é aplicada, e se movem em uma velocidade constante. A viscosidade pode ser definida como a resistência interna de um fluido, sendo a resistência encontrada pelas moléculas em se moverem, devido ao movimento Browniano e às forças intermoleculares (SCHRAMM, 2006).

Fluidos newtonianos apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de cisalhamento, sendo dependentes da composição do fluido e de sua temperatura. Os não-newtonianos apresentam uma relação não linear entre a taxa e tensão de cisalhamento e podem ser dependentes do tempo além da temperatura e composição (STEFFE, 1996). O líquido escoar sob diferentes gradientes de velocidade devido à tensão de cisalhamento aplicada. A velocidade máxima é encontrada na camada superior e diminui até a velocidade mínima na camada inferior em contato com a placa estacionária. A taxa de cisalhamento

provoca queda de velocidade nas camadas do líquido (Figura 3).

Figura 3- Representação da Taxa de cisalhamento

FONTE: Autor

O modelo reológico mais simples é o newtoniano. No entanto, a maioria dos alimentos fluidos não apresenta esse tipo de comportamento e requer modelos mais complexos para sua caracterização. A maioria dos alimentos apresenta-se como pseudoplástico, que quando em repouso apresentam um estado desordenado, e suas moléculas tendem a orientar-se na direção da força aplicada (tensão de cisalhamento), diminuindo a viscosidade devido à organização. Os fluidos dilatantes apresentam aumento na viscosidade, possuindo alta proporção de partículas rígidas insolúveis em suspensão. Como exemplo em alimentos: mel e suspensões de amido (STEFFE, 1996).

A tixotropia, em muitos fluidos alimentícios é um fenômeno de transição sol-gel. Após serem produzidos e colocados em embalagens, os produtos com este comportamento movimentam-se vagarosamente desenvolvendo uma rede tridimensional e podem ser descritos como géis (STEFFE, 1996). A Figura 4 apresenta o comportamento da taxa de cisalhamento em função da tensão de cisalhamento de fluidos newtoniano e não newtonianos independentes do tempo.

Figura 4- Comportamento reológico de fluidos newtonianos e não newtonianos

Fonte: STEFFE, 1996

2.5.1 Propriedades de viscoelasticidade

Um material que possui características de sólido elástico e de líquido viscoso é considerado *viscoelástico*, e a reologia estuda sua deformação e recuperação. O sólido elástico é determinado como material com forma definida que, quando deformado até certo limite por uma força externa, retorna ao estado original quando a força é removida. O líquido viscoso, por sua vez, não possui forma definida e deformar-se-á irreversivelmente quando uma força é aplicada.

Dispersões poliméricas, sistemas multifásicos, materiais semissólidos como pastas e géis são viscoelásticos, apresentando-se como elástico e viscoso. O componente sólido elástico distende instantaneamente na proporção da magnitude de uma tensão aplicada.

O sorvete, sistema coloidal, apresenta propriedades tanto de líquidos como de sólidos, podendo ser denominado de viscoelástico. Para descrever a resposta a uma deformação, dois métodos de análise são necessários: avaliação das propriedades mecânicas para as características típicas de sólido e as análises reológicas (rotacional ou oscilatória) para as características de líquido (CLARCKE, 2004). A determinação da viscoelasticidade pode ser feita por métodos estáticos e dinâmicos. Nos ensaios oscilatórios (dinâmicos), as propriedades podem ser medidas simultaneamente. A organização molecular ou em redes intermoleculares de produtos podem ser por reologia oscilatória, os sistemas não oscilatórios apresentam limitada aplicação.

As análises oscilatórias permitem determinar a energia elástica armazenada e a energia perdida pelo fluxo viscoso. Essas são determinadas através do cálculo dos módulos elástico,

viscoso, complexo e outros parâmetros, utilizados para estudo da viscoelasticidade de sistemas complexos.

Para teste de deformação, aplica-se uma tensão baixa e constante sobre a amostra por um determinado período de tempo. A deformação do material é a resposta da amostra à tensão aplicada. Se a deformação é pequena, ou é aplicada de forma muito lenta, os arranjos moleculares estão próximos ao equilíbrio. A resposta mecânica é reflexo dos processos dinâmicos das moléculas que mudam constantemente, acontecendo também com o sistema em equilíbrio, sendo viscoelasticidade linear. As magnitudes de tensão e deformação estão linearmente relacionadas e o comportamento de qualquer líquido é completamente descrito como uma simples função do tempo (STEFFE, 1996).

O módulo de armazenamento, G' , módulo de cisalhamento elástico; indica que a energia de tensão é armazenada temporariamente durante o teste e pode ser recuperada mais tarde. O módulo de perda, G'' , módulo de cisalhamento viscoso; faz alusão ao fato de que a energia usada para iniciar o fluxo é irreversivelmente dissipada ou perdida, sendo transformada em calor de cisalhamento.

Ensaio de varreduras de frequência geralmente servem ao propósito de descrever o comportamento dependente do tempo de uma amostra na faixa de deformação não destrutiva. As altas frequências são usadas para simular o movimento rápido em escalas de tempo curtas, enquanto as frequências baixas simulam o movimento lento em escalas de tempo longas ou em repouso. Na prática, as varreduras de frequência são métodos comprovados para coletar informações sobre o comportamento e a estrutura interna dos polímeros, bem como sobre a estabilidade a longo prazo das dispersões.

A varredura de tensão é fundamental para a avaliação do intervalo de viscoelasticidade linear, permitindo mensurar o valor máximo de tensão no qual não há quebra nem alterações na estrutura da amostra.

A região viscoelástica é conhecida por ser a região onde a estrutura é preservada, ou seja, os módulos de armazenamento ou elástico (G') e de perda ou viscoso (G'') são independentes da frequência.

2.6 Textura

A textura em alimentos é uma das qualidades mais importantes para o consumidor, sendo dependente dos constituintes da estrutura. Suas propriedades estão relacionadas à deformação, desintegração e à fluidez do alimento sob ação de uma força. Estas propriedades podem ser medidas objetivamente e relacionadas com atributos sensoriais. De acordo com a norma ISO-1992, a textura é “o conjunto de propriedades mecânicas, geométricas e de superfície de um produto, detectáveis pelos receptores mecânicos e tácteis e, eventualmente pelos receptores visuais e auditivos”.

A textura é uma propriedade sensorial que somente o ser humano é capaz de perceber e decodificar. Torna-se difícil sua análise por meio instrumental, mas estas podem se correlacionar.

As análises instrumentais de força podem ser realizadas de diferentes formas como testes de perfuração, compressão-extrusão, compressão, tensão, fratura/dobra, entre outros. O método deve ser apropriado para o tipo e o estado do alimento, adequando-se a análise à amostra.

A Dureza, um dos principais parâmetros determinados, pode ser definida sensorialmente como a força necessária para comprimir um alimento ou causar uma determinada deformação e, matematicamente: a máxima força que ocorre na primeira compressão.

O teste de compressão-extrusão consiste na aplicação de força em um alimento até que ele flua através de uma saída como espaços em volta do compressor que criam canais como demonstrado na Figura 6:

Figura 5-Diagrama esquemático de uma célula para teste de compressão-extrusão simples

A força máxima necessária para a extrusão é medida e usada como um índice de qualidade de textura. Este tipo de teste é usado em líquidos viscosos, géis, gorduras e frutas e verduras frescas ou processadas. Como a extrusão requer que o alimento flua sob pressão, é mais sensato utilizá-lo em alimentos que fluem facilmente sob uma força aplicada e não utilizá-lo em alimentos que não fluem facilmente como biscoitos, cereais matinais e doces (BOURNE, 2002; GONÇALVES, LANNES, 2010).

O estudo de textura dos alimentos é dificultado pela grande variação deste atributo dentre os diversos tipos de alimentos e muitas vezes dentro do próprio produto. Características relacionadas à composição química no sorvete determinam vários parâmetros estruturais como firmeza, resistência ao derretimento e textura. A textura depende de alguns fatores que têm influência direta no seu comportamento, como o estado de agregação dos glóbulos de gordura, da aeração, da viscosidade e do tamanho e estado de agregação dos cristais de gelo (BOURNE, 2002; GONÇALVES, LANNES, 2010).

2.7 Overrun

A quantidade de ar incorporada em uma espuma é determinada como *overrun*, que é a proporção entre o volume de gás e o volume de líquido expresso em porcentagem (CLARKE, 2004). A indústria de sorvetes utilizada como parâmetro de qualidade, sendo o aumento na porcentagem de volume resultante da incorporação de ar. Durante o envase, uma variação do *overrun* altera o preenchimento da embalagem, afetando a quantidade e a qualidade do produto final (GOFF & HARTEL, 2004).

A incorporação de ar no produto deverá obedecer aos padrões regulamentados na legislação de cada país. No Brasil, após a incorporação de ar, o sorvete deve apresentar densidade aparente mínima de 475 g/L (BRASIL, 2005). O ar injetado ao sorvete é um componente estrutural sendo normalmente encapsulado por gorduras, que por sua vez são recobertas por uma camada de proteína e emulsificantes; fornecendo uma textura leve responsáveis pelas propriedades de derretimento e dureza.

2.9 REFERÊNCIAS ¹

ABRAHÃO, Paulo Roberdo da Silva. **Ocorrência de *Listeria monocytogenes* e de outros microrganismos em gelados comestíveis fabricados e comercializados na região metropolitana de Curitiba, Paraná**. Dissertação de Mestrado, Curitiba, 2005.

ADAPA, S.; DINGELDEIN, H.; SCHMIDT, K.A.; HERALD, T.J. Rheological properties.

AFOAKWA, E.O. **Chocolate science and technology**. 2.ed. Chichester: John Wiley, 2010. 291p. AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. **Resolução RDC n.360, de 23**

AN, R., AN, N. Frozen yogurt and ice cream were less healthy than yogurt, and adding toppings reduced their nutrition value: evidence from 1999-2014 National Health and Nutrition Examination Survey. **Nutrition Research**, v. 42, p. 64-70, 2017. **analysis A.O.A.C. 16.ed. Washington: Association of Official Analytical Chemists, p.763-776, 2005.**

ANVISA - AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA. Resolução RDC n.266, de 22 de setembro de 2005. **Diário Oficial da União**, Brasília, 23 set. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE SORVETES-ABIS. Disponível em: <<http://www.abis.com.br/>>. Acesso em: 26 fevereiro 2020.

BAZMI A.; LAUNAY, B.; CUVELIER, G.; DUQUENOY, A.; SOMMIER, A.; RELKIN, BAZMI, A.L.I.; LAUNAY, B.; CUVELIER, G.; DUQUENOY, A.; SOMMIER, A.; BELITZ, D. H.; GROSCH, W.; SCHIEBERLE, P. **Food chemistry**. 4 ed. Berlim: Springer, 2008.

BELITZ, D. H.; GROSCH, W.; SCHIEBERLE, P. **Food chemistry**. 4 ed. Berlim: Springer, 2008.

BOBBIO, O. F.; BOBBIO, A. P. **Química do processamento de alimentos**. 2 ed. São Paulo: Livraria Varela, 2001.

BOLLIGER, S.; GOFF, H.D.; THARP, B.W. Correlation between colloidal properties of ice cream mix and ice cream. **International Dairy Journal**, v.10, n.4, p.303-309, 2000.

BOLLIGER, S.; GOFF, H.D.; THARP, B.W. Correlation between colloidal properties of ice cream mix and ice cream. **International Dairy Journal**, v.10, n.4, p.303-309. 2008

BORWANKAR, R.P. Food texture and rheology: a tutorial review, **Journal of Food Engineering**, v.16, n.1/2, p.1-16, 1992.

BOURNE, M.C. **Food texture and viscosity concept and measurement**. 2.ed. San Diego: Academic Press, Food Sciences and Technology International Series

CHENG, JINJU; et al. Influence of interfacial adsorption of glyceryl monostearate and proteins on fat crystallization behavior and stability of whipped-frozen emulsions. **Food Chemistry** (2020)

CLARKE, C. **The science of ice cream**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, RSC Paperbacks, 2004.

CODE for Edible Ices, *European Ice Cream Association* (2013). composition and solid fat content of palm oil, sunflower oil and palm kernel olein blends before and after chemical interesterification. **Journal of American Oil Chemistry Society**, v.79, p.1137–1144, 2002.

consumo de sorvetes no Brasil. Disponível em: <http://www.abis.com.br/estatistica_producao_e_consumo_de_sorvetes_no_brasil.html> Acesso em: 03 out. 2018.

DAMODARAN, S.; PARKIN, L. K.; FENNEMA, R. O. **Química de alimentos de Fennema**. 4 ed. Porta Alegre: Artmed, 2010.

DE GRAEF, V.; FOUBERT, I.; SMITH, K.W.; CAIN, F.W.; DEWETTINCK, K. de dezembro de 2003. **Informação nutricional**. Brasília: Ministério da saúde, 2003. Disponível em: <http://www.anvisa.gov.br/legis/resol/2003/rdc/360_03rdc.htm#> Acesso em: 27 Maio 2018.

DOWD, L.R.; ANDERSON, E.O. Study of short-time-high-temperature pasteurization of ice cream mix. **Journal of Dairy Science**, v.26, n.1, p.37-46, 1943. Em: <http://www.insumos.com.br/sorvetes_e_casquinhas/noticias_1er.php?id_noticia=107>

Acesso em: 05 Mai. 2018.

ERFAN DANESH, MOSTAFA GOUDARZI, HOSSEIN JOOYANDEH Effect of whey protein addition and transglutaminase treatment on the physical and sensory properties of reduced-fat ice cream **Journal of Dairy Science**, Volume 100, Issue 7, p. 5206-5211, 2017.

FROST, M.B.; HEYMANN, H.; BREDIE, W.L.P.; DIJKSTERHUIS, G.B.; MARTENS, M. Sensory measurement of dynamic flavour intensity in ice cream with different fat levels and flavourings. **Food Quality and Preference**, v.16, n.4, p.305-314, 2004.

FULLER, G. et al. (2015) Aggregation behavior of partially crystalline oil-in-water emulsions: Part I—Characterization under steady shear. *Food Hydrocolloids*, 43, 521-528.

GALLO, J.M.A.S. **Avaliação do comportamento reológico e das propriedades sensoriais de molhos comerciais para salada tratados por irradiação**. Dissertação de mestrado em Ciência na Área de Tecnologia Nuclear. Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares. Autarquia associada à Universidade de São Paulo, 2013.

GHAFFOOR, A.; REHMAN, S.U.; ALI, B.; SADDOZAI, M.E.; WASEEM, K. Performance of Litchi (*Litchi chinensis* Sonn.) cultivar for some morphological, chemical and yield related traits under the agroclimatic conditions of D.I. Khan. **Pakistan Journal of Biological Science**, v.2, p.503–6, 1999.

GHOTRA, B.S.; DYAL, S.D.; NARINE, S.S. Lipid shortenings: a review. **Food Research International**, v.35, n.10, p.1015-1048, 2002.

GOFF, H. D, HARTEL, R. W. (2013). Ice cream (7th ed.) New York: Springer.

GOFF, H., SMITH, A. KK (1999) A study of fat and air structures in ice cream. *International Dairy Journal*, 9, 817-829.

GOFF, H.D. Colloidal aspects of ice cream: a review. **International Dairy Journal**, v.7, n.6/7, p.363-373, 1997.

GOFF, H.D. Formation and stabilization of structure in ice-cream and related products.

Current Opinion in Colloid & Interface Science, v.7, n.5/6, p.432- 437, 2002.

GOFF, H.D.; HARTEL, R.W. Ice cream and frozen desserts. In: MURRELL, K.D.; HUI, Y.H.; NIP, W.-K.; LIM, M.H., LEGARRETA, I.G.; CORNILLON, P., eds.

GONÇALVES, E.V.; LANNES, S.C.S. Chocolate rheology: a review. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.30, n.4, p.845-851, 2010.

HAMMERTON, K.M. Effects of disinfestation-dose irradiation on the physiology of Tai So lychee. **Postharvest Biology and Technology**, v.1, n.3, p.273-281, 1992. **Handbook of frozen foods**. Boca Raton: CRC Press, p.499-570, 2004.

HOUAISS, Antônio. **Dicionário Houaiss da língua portuguesa**. Rio de Janeiro: Objetiva, 2001.

JORGE, N. **Química e tecnologia de óleos vegetais**. Cultura Acadêmica: Universidade Estadual Paulista, Pró-Reitoria de Graduação, São Paulo, 2009.

LANNES, S.C.S.; MEDEIROS, M.L.; AMARAL, R.L. Formulação de “chocolate” de cupuaçu e reologia do produto líquido. **Revista Brasileira de Ciências Farmacêuticas**, v.38, p.463-469, 2002.

LANNES, S.C.S.; MEDEIROS, M.L.; GIOIELLI, L.A. Physical interactions between cupuassu and cocoa fats. **Grasas y Aceites**, v.54, p.253-258, 2003.

MALLIKARJUNAN, P. Physical measurements. In: SUN, D.W., ed. **Handbook of frozen food processing and packaging**. Boca Raton: CRC Press, Food Science and Technology, 155 p.150, 2005.

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

MASUDA, HAYATO, et al. Effect of agitation speed on freezing process of ice cream using a batch freezer. **J Food Process Eng**. 2020; e13369.

MEDEIROS, M.L.; LANNES, S.C.S. Compaction force of cocoa and cocoa substitutes using texture analyzer. In: EFFOST/EHEDG Joint Conference 2007- Practical application of research results-Food New Options for the industry, 2007, Lisboa. Preceedings-Food-New options for the industry -**EFFOST-EHEDG Joint Conference 2007**. Oxford: Elsevier, 2007.

MELO, FILHO, ARTUR BIBIANO de. **Química de alimentos**. Recife: Ministério da educação, 2011.

MIKILITA, I. S. Avaliacao microbiologica de gelados comestiveis produzidos na regioao metropolitana de Curitiba, PR e no Estado do Parana. **Revista Higiene Alimentar**, Sao Paulo, v. 18, n. 121, p. 95-99, jul. 2006.

MILLIATTI, M.C. **Estudo reológico de formulações para sorvetes produzidos com diferentes estabilizantes**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA DO ABASTECIMENTO E DA REFORMA AGRÁRIA-MAPA. Portaria nº 146 de 07 de março de 1996. **Regulamento técnico de identidade e qualidade de creme de leite**.

DREHMER MICHELE, et al. Total and Full-Fat, but Not Low-Fat, Dairy Product Intakes are Inversely Associated with Metabolic Syndrome in Adults, **The Journal of Nutrition**, v.146, n.1, 2015, Pages 81–89,

MORAES, F.P.; COLLA, L.M. Alimentos funcionais e nutracêuticos: definições, legislação e benefícios à saúde. **Revista Eletrônica de Farmácia**, v.3, n.2, p.109- 122, 2006.

MULLAN, W.M.A. **Ice cream principles of ice cream mix calculation**. 2007 Disponível em: <<http://www.dairyscience.info/ice-cream-/154-ice-cream-mix.html>> Acesso em: 02 Ago, 2018.

MUSE, M.R.; HARTEL, R.W. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness, **Journal of Dairy Science**, v.87, p.1-10, 2004.

NAZARUDDIN, R.; SYALIZA, A.S.; ROSNANI, A.I.W. The effect of vegetable fat on the

physicochemical characteristics of dates ice cream. **International Journal of Dairy Technology**, v.61, n.3, p.265-269, 2008.

NOOR LIDA, H.M.D.; SUNDRAM, K.; SIEW, W.L.; AMINAH, A.; MAMOT, S. TAG O'BRIEN, R.D. **Fats and oils: formulations and processing for applications**. 2.ed. Boca Raton: CRC Press, 2004. of ice cream mixes and frozen ice creams containing fat and fat replacers. **Journal of Dairy Science**, v.83, n.10, p.2224-2229, 2000.

OLIVEIRA, A.L. et al. Propriedades físicas de misturas para sherbet de mangaba. **Pesquisa agropecuária brasileira**. v.40, n.6, p.581-586, jun. 2005.

OLIVEIRA, K.H. **Comportamento reológico de diferentes tipos de sorvete**. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Alimentos - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

OLIVEIRA, K.H.; SOUZA, J.A.R.; MONTEIRO, A.R. Caracterização reológica de sorvetes. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.28, n.3, p.592-598, 2008.

ORDÓÑEZ PEREDA, J. A. et al. **Tecnologia de Alimentos: Componentes dos alimentos e processos**. 1.ed. Porto Alegre: ed. Artmed, 2005.

OSORIO, F.A.; STEFFE, J.F. Evaluating herschel-bulkley fluids with the back extrusion (annular pumping) technique. **Rheologica Acta**, v.30, p.549-558, 1991. P. Effect of ageing time at 4°C on rheological and structural properties of ice cream mix models: impact of milk fat composition. **4th International Symposium Of Food Rheology And Structure Congress**, Zurich, 2006. Zurich, p.189-193, 2006.

Physical properties of lipids. New York: Marcel Deckker, p.191-215, 2002.

RELKIN, P. Impact of crystalline milk fat on rheological properties of ice cream mix emulsions during aging time at 4°C. **Journal of Texture Studies**, v.39, n.4, p.309- 325, 2008.

RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, A. G. E. **Química de alimentos**. 2ª ed. São Paulo: Blucher, 2007.

SILVA JUNIOR, E.; LANNES, S.C.S. Effect of different sweetner blends and fat types on ice cream properties. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 31, p. 271 – 220, 2011.

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.

SOMOGY, M. Notes on sugar determination. **Journal of Biological Chemistry**, v.195, p.19-23, 1952.

SOONG, Y.Y.; BARLOW, P.J. Isolation and structure elucidation of phenolic compounds from longan (*Dimocarpus longan* Lour.) seed by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. **Journal of Chromatography A**, v.1085, n.2, p.270-277, 2005.

SOUZA, J.C.B.; COSTA, M. R.; DE RENSIS, C.M.V.B; SIVIERI, K. Sorvete: composição, processamento e viabilidade da adição de probiotico. **Alim. Nutri**, v.21, n.1, p. 155-165, 2010.

SOUZA, J.C.D. **Análise da estabilidade de cor e microdureza de uma resina composta extraclara fotoativada com diferentes fontes de luz**. Dissertação de Mestrado - Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta grossa, 2006.

STEFFE, J.F. **Rheological methods in food process engineering**. 2.ed. East Lansing: Freeman Press, 1996.

SU, F. **Comportamento estrutural de formulações de gelado comestível com variações da base gordurosa**. Dissertação de mestrado. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

SUN, D.W., ed. **Handbook of frozen food processing and packaging**. Boca Raton: CRC Press, Food Science and Technology, 155, 2006. 737p.

Y. Zou, C.V. Baalen, X. Yang, E. Scholten Tuning hydrophobicity of zein nanoparticles to control rheological behavior of Pickering emulsions. **Food Hydrocolloids**, 80 (2018), pp. 130-140

Capítulo 3

Propriedades físicas e reológicas de misturas para sorvetes produzidas com diferentes bases gordurosas antes e após o tempo de maturação.

RESUMO

O sorvete é popularmente conhecido pela sua característica refrescante e essa característica faz com que seja associado ao período de verão. Essa iguaria é feita a partir do congelamento de frutas, ou do seu extrato, com a incorporação de gordura, aromatizantes e açúcar. Quatro formulações para sorvetes do tipo *gelato* foram produzidas com diferentes bases de gordura: gordura vegetal *low trans* (T1), manteiga (T2), creme de leite UHT (T3) e creme de leite fresco (T4). Foram analisados o comportamento (*overrun*, taxa de derretimento, textura, reologia, cor) em determinadas etapas do processamento: antes e após maturação, após batimento e congelamento. As misturas de sorvetes foram analisadas através de reologia oscilatória afim de, estudar as mudanças que ocorrem na sua estrutura quando há variação das bases gordurosas utilizadas. Observou-se que os maiores valores de *overrun* foram para as formulações T3 e T1, seguida da T4 e T2 resultando em menor incorporação de ar. As formulações apresentaram taxa de derretimento na sequência: T1, T2, T4 e T3, que demonstrou a maior resistência ao derretimento. T1 evidencia a menor força máxima necessária para extrusão, seguida pelas formulações T3, T4 e T2, respectivamente, podendo-se correlacionar com o *overrun*. Com as análises oscilatórias nas misturas dos sorvetes foi evidenciado que o tipo de gordura exerce influência na formação da estrutura do produto. A formulação com gordura vegetal *Low trans* (T1) apresentou as maiores diferenças entre as formulações, o que leva a crer que o tipo de cristal formado durante a maturação pode sofrer menor desestabilização da membrana dos glóbulos de gordura por parte do emulsificante. Ficou demonstrado que existem variações na aplicação de gorduras do leite obtidas de diferentes processamentos em formulação de sorvete tipo *gelato*.

Palavras-chaves: Emulsão. Gorduras. Estruturação de alimentos.

ABSTRACT

Ice cream is popularly known for its refreshing characteristic and this characteristic makes it associated with the summer period. This delicacy is made from the freezing of fruits, or from its extract, with the incorporation of fat, flavorings and sugar. Fat is responsible for several characteristics of ice cream and the formation of its structure depends on the production processes. Four formulations for gelato-type ice creams were produced with different fat bases: low trans vegetable fat (T1), butter (T2), UHT cream (T3) and fresh cream (T4). The behavior (overrun, melting rate, texture, rheology, color) during different production stages were analyzed: before and after maturation, after beating and freezing. A reologia oscilatória foi escolhida como principal instrumento para estudar as mudanças que ocorrem na estrutura das misturas dos sorvetes avaliando-se a alteração das bases gordurosas utilizadas. Observou-se que os maiores valores de *overrun* foram para as formulações T3 e T1, seguida da T4 e T2 resultando em menor incorporação de ar. The formulations showed melting rate in the sequence: T1, T2, T4 and T3, which demonstrated the greatest resistance to melting. T1 shows the lowest maximum force required for extrusion, followed by formulations T3, T4 and T2, respectively, which can be correlated with overrun. With the rheological tests in the ice cream mixtures it was possible to study the influence of the type of fat in the formation of the ice cream structure and in the mixing process. The formulation with Low trans vegetable fat (T1) showed the greatest differences between the formulations, probably due to its crystallization profile and due to the less destabilization of the fat globule membrane by the emulsifier. It has been shown that there are variations in the application of milk fats obtained from different processes in gelato type ice cream formulation.

Keywords: Emulsion. Fats. Structuring of food.

3.1 INTRODUÇÃO

Sorvete é um produto consumido no estado congelado, onde os processos de congelamento e aeração são operações unitárias muito importantes para o desenvolvimento da estrutura desejada (BAHRAMPARVAR; TEHRANI, 2011). Por se tratar de um produto complexo formulado com vários ingredientes o seu processo de fabricação requer cuidados em cada etapa, para se obter um produto seguro e adequado ao consumo. Assim, cuidados durante a fabricação e logística do produto são necessários para que se preserve suas características.

No entanto, durante a produção, armazenamento e comercialização, mudanças importantes podem ocorrer na estrutura do sorvete (CAILLET et al., 2003). A caracterização mecânica do sorvete fornece uma compreensão clara dessas mudanças estruturais, assim como o seu comportamento mecânico que está correlacionado à percepção sensorial ou textura (CASAROTTO et al., 2015). Os cristais de gordura são essenciais na formação da microestrutura do sorvete e determinam as propriedades físicas e sensoriais. A cristalização das gotículas de gordura ocorre quando se aplica um certo grau de super-resfriamento onde os cristais nucleados começam a crescer. O conteúdo de gordura sólida (SFC) resultante, a morfologia e o tamanho dos cristais e seu arranjo interno durante a fabricação afetarão grandemente a desestabilização parcial dos glóbulos de gordura.

Muitos produtos alimentares ocorrem na forma de emulsões de óleo em água nas quais uma fase oleosa é dispersa em uma fase aquosa contínua, essas emulsões são sistemas instáveis devido ao contato desfavorável entre gotículas de gordura e moléculas na fase aquosa. Vários tipos de mecanismos de instabilidade, como amadurecimento, desnatação, floculação e coalescência de Ostwald, afetam a vida útil dos produtos comercialmente disponíveis (FREDRICK, WALSTRA; DEWETTINCK, 2010). Para se evitar um colapso necessita-se que o sistema seja retido cineticamente de forma a evitar uma desestabilização entre as tensões interfaciais por meio do uso de emulsificantes e estabilizantes. (SILVA JUNIOR, 2008).

Alimentos formados de emulsões são categorizados como fluidos ou semissólidos. Reologicamente as emulsões do tipo óleo-em-água demonstram um tensão-limite, ou seja, precisam de uma tensão energética definida para o início do fluxo para que possam reagir com matrizes viscoelásticas que se correlaciona através da tensão imposta e a consequente deformação observada (SILVA JUNIOR, 2008).

O emulsificante atua mutualmente com a gordura após a adsorção e altera as suas propriedades de cristalização. Inúmeros estudos relataram o efeito das características da gordura e a interação do emulsificante sobre as propriedades físico-químicas e a estabilidade de emulsões O / A ou sorvete (BAZMI et al., 2007,BUGEAT et al., 2011,GRANGER et al., 2003,GRANGER et al., 2005, MÉNDEZ-VELASCO; GOFF, 2009, MÉNDEZVELASCO; GOFF, 2011, MÉNDEZVELASCO; GOFF, 2012). Bugeat et al. (2017) verificaram que o aumento do teor de ácidos graxos insaturados na gordura do leite pode afetar a propriedade de cristalização dos triacilgliceróis do leite e suas propriedades funcionais. A interação do tipo de gordura e do emulsificante pode influenciar o tamanho das partículas, a carga protéica, a viscosidade e o teor de gordura sólida das emulsões baseadas nas misturas de proteínas do leite-éster de glicerol (GRANGER et al., 2003).

Na etapa de maturação que compreende um periodo de tempo logo a póa a etapa de pasteurização que é de no mínimo 2 horas e no maximo 24horas segundo a legislação brasileira são formadas estruturas fundamentais para a produção de um sorvete de boa qualidade (CLARKE, 2008; DEPARTAMENTO TÉCNICO DA TERCER SABOR, 2007).

A função primordial do processo de maturação da calda do sorvete é a completa hidratação das proteínas do leite resultando no aumento da viscosidade da mistura. A água livre, quando congelada, durante o batimento e congelamento do sorvete na produtora, cristaliza-se rapidamente; quando está hidratando um sólido, cristaliza-se mais lentamente formando cristais mais finos e menores. (BRAZMI, 2008; DEPARTAMENTO TÉCNICO DA TERCER SABOR, 2007). Neste período ocorre também a substituição das proteínas da superfície dos glóbulos de gordura pelo emulsificante o que permite uma redução na estabilização desses glóbulos favorecendo a coalescência das gorduras (CLARKE, 2004).

Na etapa de pasteurização, a temperatura da mistura é elevada e as gorduras passam do para o estado líquido e, depois, são homogenizada a fim de se diminuir o tamanho dos globulos. Por isso, respeitar o tempo correto de maturação permite que ocorra a completa cristalização da gordura, que é essencial para maior incorporação e estabilização do ar durante o batimento (BRAZMI, 2008; THARP; YOUNG, 2010; GOFF, 2002).

O objetivo deste capítulo foi investigar modificações no comportamento estrutural de sorvetes, através da reologia de misturas durante etapa de maturação e de ensaios físicos do produto estruturado, em decorrência da utilização dos diferentes gorduras: vegetal *Low trans*, Manteiga, Creme de leite *UHT* e Creme de Leite Fresco.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

Elaboração dos sorvetes

Para realizar o estudo inicial do comportamento estrutural do sorvete, foram produzidas quatro formulações em duplicata com diferentes tipos de gordura. Os ingredientes que foram utilizados e suas quantidades estão apresentados na Tabela 2. O leite integral em pó (Itambé, Brasil), creme de leite UHT (Itambé, Brasil), creme de leite fresco (Fazenda, Bresil), manteiga (Aviação, Brasil), açúcar refinado (União, Brasil) foram adquiridos em mercado local. Os aditivos em pó foram gentilmente fornecidos pela Clariant SA. Maltodextrina, estabilizante, emulsificante, foram fornecidos pela Clariant S.A. (Brasil).

Foi analisada a importância de cada tipo de formulação durante a maturação e as influências desta etapa de processamento.

Tabela 2-Formulações com diferentes tipos de gorduras

INGREDIENTES*	T1	T2	T3	T4
	%	%	%	%
Água	59,88	58,43	16,50	43,38
Sacarose	12,00	12,00	12,00	12,00
Xarope de glicose	6,00	6,00	6,00	6,00
Leite em pó integral	12,00	12,00	12,00	12,00
Emulsificante/Estabilizante	1,25	1,25	1,25	1,25
Gordura Low trans	8,88	-	-	-
Manteiga sem sal 80%	-	10,32	-	-
Creme de leite UHT 17%	-	-	52,25	-
Creme de leite pasteurizado 25%	-	-	-	25,38

Fonte: própria

*Todas as formulações balanceadas com a mesma variação de gordura (12%), SNGL (8,52%), açúcar (18%) e sólidos totais (39,77%).

Figura 6-Diagrama de produção

Fonte: própria

- **Pesagem:** todos os ingredientes foram pesados em balança semi analítica;
- **Mistura:** para o preparo da mistura, o xarope de glicose e a sacarose foram diluídos em parte da água (aproximadamente 30%). O leite em pó foi dissolvido no restante da água sob aquecimento, com cuidado para não ultrapassar 70°C e a solução diluída de açúcar foi misturada ao leite em pó (fase aquosa). A gordura foi aquecida separadamente até fundir-se completamente e então o emulsificante foi adicionado;
- **Pasteurização:** a mistura foi pasteurizada a 75°C por 15 min (em banho maria);
- **Homogeneização:** a mistura foi mantida sob homogeneização durante todo o processo no agitador mecânico a 1200 rpm (Fisaton, Brasil);
- **Resfriamento:** a mistura foi transferida para um béquer de plástico de 10 L e resfriada em banho de gelo sob constante agitação até atingir 20°C;
- **Maturação:** foi vedada com filme plástico e colocada em geladeira para maturar a 10° C por 20 h;
- **Congelamento e Aeração:** a mistura foi congelada e aerada em produtora vertical (Polo Sul, modelo PSV 50, Brasil) com banho refrigerante a -25°C por aproximadamente 10 min, até massa a -6°C com viscosidade aparente ideal (observação visual);
- **Embalagem:** o produto foi embalado em recipiente plástico com tampa e colocado para continuidade do congelamento da massa por 2 hora em *freezer* a -28°C;

- Armazenamento: os *gelatos* produzidos foram armazenados em *freezer* a -20°C .

Avaliação das misturas

As características reológicas das misturas para sorvete preparadas foram determinadas através de testes oscilatórios, em Reômetro MARS Haake, com programa RheoWin3 para análise de dados (*Thermo Electron Corporation*, Alemanha) (Figura 8), a 4°C , controlada por um banho refrigerado, com sensor cone - placa (C35/1 Ti polido), em triplicata.

Figura 7- Reômetro MARS, Haake

Fonte: própria

Foram realizadas varreduras de tensão, de 0,01 a 100 Pa, para a determinação do intervalo de viscoelasticidade linear. Estabelecido o valor de tensão no intervalo linear, varreduras de frequência, de 0,01 a 10 Hz, foram efetuadas para a obtenção do espectro mecânico. O comportamento dos módulos elástico (G') e viscoso (G''), a relação entre eles ($\tan \delta$) e a viscosidade complexa (η^*) foram avaliados em função da frequência. As misturas foram avaliadas logo após homogeneização e resfriamento (t_0), após 4 h de maturação a 4°C .

Determinação de overrun

A incorporação de ar em sorvetes é conhecida pelo nome de *overrun*. A quantidade de ar incorporada depende da composição da mistura e do processo de fabricação (incluindo o tipo de equipamento utilizado). O máximo de *overrun* permitido pela legislação é 110% (BRASIL, 2005).

Para a determinação do *overrun* foi pesado um volume definido da calda em um

béquero de vidro de 10 mL, e o valor foi anotado. Logo após o congelamento e aeração do sorvete, o mesmo volume foi pesado na mesma cápsula, e o valor foi anotado. O *overrun* foi calculado através da Equação 2 (Silva Junior, 2008).

Equação 2- Cálculo de *overrun*

$$\%Overrun = \frac{[Peso\ da\ calda] - [Peso\ do\ sorvete]}{[Peso\ do\ sorvete]} \times 100$$

Fonte: Silva Junior, 2008.

Teste de Comportamento de derretimento

Foi utilizada uma adaptação da metodologia proposta por Bolliger, Goff e Tharp (2000) por Silva Junior (2008). Verificou-se a correlação entre o conteúdo de gordura derretida no teste de comportamento de fusão e a formação da estrutura da fase gordurosa por coalescência parcial. Pesou-se 100 ± 1 g de amostra, mantida em *freezer* a -20°C sendo colocada sobre uma grade metálica durante 45 min à temperatura controlada ($25 \pm ^{\circ}\text{C}$). Foi anotado o peso drenado a cada 5 min. Após o término, a amostra restante na grade será removida quantitativamente. Os dados obtidos foram utilizados para construir as curvas de derretimento de cada formulação.

Cor

Para a análise de cor, foi utilizado o espectrofotômetro ColorQuest® XE (HunterLab®, EUA) pelo sistema CIE-L*a*b* utilizando o iluminante D65 com um ângulo de observação de 10° . Foi medida a luminosidade (L^*), a oposição de cores verde-vermelho (a^*), e a oposição de cores amarelo-azul (b^*). Teste em triplicata.

Análise de Textura

Foi conduzida em texturômetro TA-XT2 (*Stable Micro System*, Reino Unido), sendo a força máxima necessária para a extrusão da amostra após saída da produtora, a - 5°C. Foram analisadas 3 amostras para cada formulação, utilizando o probe AB/E *back extrusion* (Figura 8). O copo teste foi preenchido com 2/3 do volume total. A velocidade de entrada do probe na amostra foi de 1 mm/s, sendo a velocidade de pré e pós teste a mesma. A distância percorrida pelo probe após alcançar a massa de sorvete no copo foi de 25 mm.

Figura 8- Probe back extrusion

O pico máximo de força foi avaliado como a força máxima requerida à extrusão. Os resultados foram analisados com o auxílio do software *Texture Expert* (*Stable Micro Systems*, Reino Unido).

Fonte: Própria

Composição Nutricional

A composição nutricional foi calculada por meio de planilha eletrônica no Excel. Utilizando como base de dados informações extraídas dos rótulos e fichas técnicas das matérias primas utilizadas nas formulações. Não sendo possível assim identificação de metodologia adotada para determinação dos nutrientes e se os valores expressos nos rótulos foram estimados a partir de tabelas de composição de alimentos.

Análise dos dados

Os resultados obtidos nas análises, quando pertinente, foram avaliados por ANOVA (comparação de Tuckey, $p \leq 0,05$) através de software MINITAB (Minitab, Estados Unidos).

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Varredura de tensão (antes e após a maturação)

Para análises reológicas oscilatórias, primeiramente observa-se a região de viscoelasticidade linear RVL, por meio da varredura de deformação crescente mantendo-se a frequência de oscilação constante. Esta análise é fundamental para a avaliação do intervalo de RVL, possibilitando mensurar o valor máximo de tensão onde não há mudanças na estrutura da amostra. Esta região permite que a estrutura do gel permaneça preservada. Através deste ensaio também é possível observar o módulo de perda ($\tan \delta$) resultante da razão entre os módulos G''/G' (SCRAMM, 2006; SILVA JUNIOR, 2008).

Como demonstrado nos gráficos da Figura 10 obtidos por meio da tabulação dos resultados das quatro formulações testadas antes e depois da etapa de maturação notas-se que em Todas as amostras há um comportamento elástico predominante ao viscoso, ou seja: ($G' > G''$) quando estes estão dentro de sua região de viscoelasticidade linear. Esse comportamento é inverso ao sair da RVL havendo assim uma predominância do módulo viscoso sob o elástico o que demonstra uma mudança no comportamento estrutural. A interpretação da Figura 10, em que a região viscoelástica das amostras foi determinada. A tensão escolhida para o ensaio subsequente, varredura de frequência, foi de 0,1 Pa, onde todas as misturas, emancipadas do tempo de maturação, se encontram na região de viscoelasticidade linear.

A maior RVL foi observada nas formulação *low trans*, antes da maturação, isto poder ser explicado em parte por uma pequena parcela de isômero *trans* presente, o que afeta a cinética de cristalização da gordura auxiliando a direção onde são formados os cristais na forma β' mesmo que a tendência natural de cristalização da gordura seja β (WASSELL; YOUNG, 2007). A viscoelasticidade no produto é afetada já que cristais menores permitem maior incorporação de óleo líquido, aumentando a elasticidade do produto (ROUSSEAU, 2000). As amostras com manteiga e creme de leite fresco apresentaram maior RVL após a maturação, sugerindo maior interação entre os núcleos cristalinos formados.

Figura 9- Ensaio varredura de tensão- (a) formulação com gordura *Low trans* antes da maturação; (b) formulação com gordura *Low trans* depois da maturação; (c) formulação com manteiga antes da maturação; (d) formulação com manteiga depois da maturação; (e) formulação com creme de leite UHT antes da maturação; (f) formulação com creme de leite UHT depois da maturação; (g) formulação com creme de fresco antes da maturação; (h) formulação com creme de leite fresco depois da maturação.

Varredura de tensão

T1: gordura *Low trans*

Depois da maturação

T2: Manteiga

T3: Creme UHT

(g)

(h)

T4: Creme de leite fresco

As estruturas das formulações, com exceção da formulação T2 produzida com manteiga que demonstrou sofrer alterações estruturais a uma tensão mais baixa, ocorrendo a inversão de módulos próxima de 0,5 Pa. Suportam uma tensão de até aproximadamente 1,0 Pa. Estas, mantiveram as características de prevalência do módulo elástico sobre o viscoso, assim como observado por Bazmi et al. (2008) para formulações de sorvete produzidos com gordura de leite.

As formulações produzidas com creme de leite fresco e UHT demonstraram valores de G' e G'' mais baixos quando comparados com as outras gorduras. Em razão de sua complexidade na composição e sua amplitude na temperatura de cristalização e fusão. Onde encontra-se fundida acima de 40 °C e completamente sólida abaixo de -40 °C (WRIGHT; MARANGONI, 2006). Já entre essa faixa de temperatura sempre se comporta como uma mistura de gordura plástica, cuja proporção sólido/líquido depende da temperatura, influenciando diretamente as características reológicas. O gelo possui uma influência significativa no comportamento reológico dos sorvetes e sua microestrutura já que a fração de dureza/rigidez atua como comportamento sólido da amostra se correlacionando bem com o módulo G' e influencia diretamente no boleamento do sorvete, característica importante quando se trata do manuseamento do produto no ponto de venda (IKHU-OMOREGBE, 2009; ADAPA et al., 2000; WILDMOSER, 2004).

O comportamento de cristalização dos triacilgliceróis pode ser responsabilizado pela forma dos glóbulos de gordura e espessura da membrana interfacial que influenciam a coalescência e a estabilidade das emulsões. E, por conseguinte, uma cristalização mais rápida devido à presença de ácidos graxos *trans* que tendem a cristalizar mais rapidamente que o isômero *cis*, pode justificar valores encontrados da gordura *low trans* e das demais gorduras (DEGRAEF et al., 2007).

Após a maturação, as quatro formulações mantiveram as características de módulo elástico maior do que o viscoso, para formulações de sorvete produzidos com gordura de leite. Na maturação as propriedades físicas das emulsões são alteradas com aumento da viscosidade, devido em parte à hidratação dos estabilizantes, que podem alterar suas propriedades reológicas.

No sorvete produzido com gordura *low trans* se demonstrou uma dispersão estável e pouco floculada devido a apresentar uma maior RVL assim com os maiores valores do módulo G' e menores valores de fator de perda. (TABILO- MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005). Isto indica, conforme Figura 10, que após a maturação, a formulação T1 demonstrou um produto rígido e bem estruturado como foi observado por Granger et al. (2004). As formulações com T2, T3 e T4 apresentaram valores do fator de perda ($\tan \delta$) maiores após a maturação indicando que a proporção entre os módulos elástico e viscoso diminuiu.

A gordura do leite tem uma ampla faixa de fusão e é totalmente derretida a 40 ° C. As condições típicas de pasteurização por alta temperatura e tempo curto (HTST) não afetam as propriedades funcionais e nutricionais da gordura do leite. Tratamentos térmicos mais altos podem estimular reações de oxidação e causar deterioração da gordura e sabores desagradáveis. Tratamentos de alta temperatura, como a pasteurização em temperatura ultra alta (UHT), podem romper as proteínas da membrana dos glóbulos de gordura do leite e desestabilizar os glóbulos, resultando em sua coagulação. Isto pode explicar a estrutura mais frágil da mistura com creme de leite UHT.

Varredura de frequência (antes da maturação)

Para se demonstrar a variação de um material conforme são aplicadas taxas de deformação e tensão, a análise mais comumente utilizada na reologia oscilatória é a de varredura de frequência este ensaio demonstram como o comportamento elástico e viscoso de um material oscila. . Pode-se verificar a viscosidade complexa em função da frequência que é aumentada ou diminuída, com tensão constante. A viscosidade complexa descreve a resistência total ao cisalhamento dinâmico (SCHRAMM, 2006).

Dentro dos parâmetros que foram testados observou-se que todas as formulações apresentam uma queda na curva de viscosidade complexa e um aumento nos módulos elástico e viscoso proporcional ao aumento da frequência. Os módulos dependem da frequência. As moléculas tendem a se orientar na direção da força aplicada, com comportando pseudoplástico (SCHRAMM, 2006). As propriedades reológicas da maioria dos sorvetes podem ser associadas à pseudoplasticidade.

As formulações produzidas com creme de leite fresco e UHT demonstraram a menor resistência à frequência ficando abaixo de 1 Hz, como mencionado acima também apresentaram os menores valores de perda e armazenamento nos módulos G' e G'' . Assim como observado por Bazmi et al. (2006) que estudaram formulações de sorvete com gordura de leite eram maturadas a 4 °C, sua estrutura tornava-se mais sensível a tensões aplicadas.

Figura 10-Ensaio de varredura de frequencia- (a) formulação com gordura *Low trans*; (b) formulação com manteiga;(c) formulação com creme de leite UHT; (d) formulação com creme de leite fresco.

Varredura de frequencia

Antes da maturação

T1: gordura *Low trans*

T2: Manteiga

T3: Creme UHT

T4: Creme de leite fresco

Houve uma redução expressiva na viscosidade complexa (não apresentado) quando a frequência foi elevada induzindo assim a desagregação das partículas de gordura no sistema. Ficou claro que a viscosidade das misturas são dependentes do tipo de gordura e hidrocolóides adicionado a formula, bem como o tamanho dessas partículas na matrix. As formulações com menores cristais de gelo podem apresentar valores de G' inferiores.

Então foi possível constatar que os sorvetes produzidos com gordura *low trans* (T1) e com manteiga (T2) foram os produtos mais rígidos e com maiores cristais de gelo entre as formulações testadas. Salientando assim a tese de que a gordura vegetal *low trans* sofre menor desestabilização da membrana. Por possuir uma grande quantidade de ácido palmítico (16:0) variando entre 35 a 47 %, não sendo benéfico para desestabilização dos glóbulos de gordura, pois quanto mais insaturada e quanto mais longa são as cadeias da gordura vegetal utilizada na formulação, mais pronunciada será a desestabilização de gordura. Os emulsificantes mono e diacilgliceróis podem interagir na região hidrofóbica das moléculas (GRANGER et al., 2004).

Por outro lado, as formulações T2 e T3 produzidas com gordura animal demonstraram valores semelhantes e inferiores (<1) de $\tan \delta$, indicando assim a existência de uma microestrutura restante. Isso pode ser atribuído, pelo menos em parte, à presença de proteínas em associação com estabilizantes. Além disso, o fato de essas formulações atingirem valores de G' semelhantes acima de 0,5 Hz de frequência sugeriu que as interações entre proteínas do leite e gordura ocorreram para garantir um produto estruturado. Em compensação, para altas frequências, os valores de $\tan \delta$ estavam abaixo de 1, ou seja, G' era maior que G'' . Como resultado, em altas frequências, as moléculas são menos móveis e, portanto, o produto tem propriedades de sólidos em vez de líquidos. Os sorvetes adicionados com gordura de leite (T2, T3 e T4) apresentaram perfis diferentes, com menor inclinação das curvas, indicando maior estabilidade.

Determinação de overrun

Os valores calculados de *overrun* das formulações podem ser observados no Gráfico3. O *overrun* de um sorvete é uma medida que nos permite avaliar a quantidade de ar incorporada na massa de sorvete após o seu batimento, característica que depende da rede de gordura, proteínas do leite, emulsificantes e cristais de gelo.

Gráfico 3- % Overrun

*Letras iguais indicam valores que não diferem estatisticamente ($\alpha = 0,05$);
Letras diferentes indicam valores que diferem estatisticamente ($\alpha = 0,05$).

Os maiores valores de *overrun* foram observados nas formulações produzidas com creme UHT e gordura *Low trans*, seguido do creme de leite fresco e com manteiga, resultando em menor incorporação de ar. Um dos motivos a qual a formulação com manteiga apresentar a menor inserção de ar é por que o overrun não depende só da coalescência parcial da gordura. O que desestabiliza a membrana da gordura e é um dos principais fatores na formação da rede parcialmente coalescida, porém não é o único fator determinante. Pode-se relacionar com os resultados de G' e G'' nos gráficos de varredura de frequência das misturas (Figura 11), com valores menores para formulação T2, estrutura mais fraca da mistura induzindo menor incorporação de ar no produto final.

Comportamento de derretimento

Para se observar o desenvolvimento da rede de gordura e avaliar a agregação dos glóbulos de formação com a coalescência parcial, o ensaio de comportamento de fusão e retenção da forma durante o derretimento de sorvetes é sem duvidas o metodo mais adquado. (MUSE & HARTEL, 2004; GRANGER et al., 2004; SUNG & GOFF, 2010). Bollinger et al. (2000) estudaram diversos parâmetros que influenciam a coalescência parcial e encontraram uma boa correlação entre o perfil de derretimento e a aglomeração dos glóbulos de gordura.

Gráfico 4- Comportamento de derretimento

Fonte: própria

De acordo com o Gráfico 4, as curvas de fusão das formulações apresentaram a seguinte taxa de derretimento: gordura *Low trans* (T1) seguida pela manteiga (T2), creme fresco (T4) e creme UHT (T3), que demonstrou a maior resistência ao derretimento. A menor taxa de derretimento da formulação com creme UHT pode estar relacionada a uma rede de gordura bem formada, resultado de uma coagulação, podendo-se relacionar com a menor RVL (Figura 10). A gordura junto com a proteína são os componentes da fórmula que mais influenciam no comportamento de derretimento de um sorvete já que nas formulações a quantidade de proteína foram mantidas iguais e que poderia interferir, nos resultados acima citados são os tipos de gordura utilizados, porém, o comportamento de derretimento não reflete apenas a natureza de uma espécie química, mas o desenvolvimento de interações entre vários ingredientes do sorvete e a existência de inúmeras estruturas (SILVA, 2012).

É esperado que a rede de gordura parcialmente coalescida mantivesse a forma original do sorvete durante e após o derretimento dos cristais mesmo quando há um colapso no sistema devido ao derretimento dos cristais de gelo (BOLLINGER et al., 2000). Porém, fatores como altos níveis de sólidos totais e um baixo *overrun* podem estar associados a um derretimento mais lento (CORREIA et al., 2008). Observou-se pelos resultados dos resultados do *overrun* e o balanceamento das caldas que o sorvete com creme de leite UHT apresentou essas premissas, podendo ser assim explicada a sua taxa de derretimento menor quando comparada às outras formulações, sobretudo a formulação de manteiga.

Análise de cor

A aparência de alimentos sem dúvidas é um fator determinante a aprovação por isso uma cor característica e esperado é um atributo sensorial essencial para a aceitabilidade do produto. Para analisar a coloração dos sorvetes optou-se pelo sistema colorimétrico L*, a*, b*. Os resultados da análise de cor estão apresentados na Tabela 3. Podem-se observar valores de a* negativos, isto indica que as formulações de sorvete apresentam leve tendência à coloração esverdeada. Porém, O parâmetro a* não apresentou grande influência na cor do produto já que os valores ficaram próximos de zero. Sua coloração apresenta vantagens no uso nas formulações deste projeto já que são de sabor leite.

Tabela 3- Ensaio de corlorimetria

Tratamentos	T1- Gordura low trans	T2- Manteiga	T3- Creme UHT	T4- Creme fresco
L*	80,01 ± 0,32 ^A	79,25 ± 0,81 ^A	76,51 ± 0,41 ^B	80,36 ± 0,24 ^A
a*	- 1,80 ± 0,02 ^A	- 1,98 ± 0,11 ^B	- 2,59 ± 0,30 ^C	- 1,84 ± 0,04 ^A
b*	22,26 ± 0,13 ^A	30,88 ± 0,41 ^B	26,74 ± 0,60 ^C	23,34 ± 0,11 ^A

* Letras iguais na mesma coluna indicam valores que não diferem estatisticamente ($\alpha = 0,05$); Letras diferentes indicam valores que diferem estatisticamente ($\alpha = 0,05$).

Todas as formulações de sorvete apresentaram valores positivos para o parâmetro b* o indica a variação de cor de amarelo ao azul. Todas as, indicando que todas apresentam tendência à coloração amarela. Nas formulações T2 e T3 este valor foi maior, isso se deve ao fato de que na T2 a manteiga naturalmente possui pigmentos amarelados nos glóbulos de gordura em suspensão do leite, estes, são rodeados por uma membrana fina que, em essência, acaba escondendo o pigmento beta-caroteno, porém durante o processo de fabricação essa membrana é rompida expondo o pigmento. Já na formulação T3 de creme UHT, a razão pela qual a coloração amarela é um pouco mais acentuada é a formação das melanoidinas oriundas da reação de Maillard durante o seu tratamento térmico agressivo. Todas as formulações demonstraram uma alta luminosidade, pois o parâmetro L* possui um valor elevado.

Textura

No sorvete a textura depende de vários fatores que estão relacionados com sua composição química e física e interações entre elas. Por se tratar de um atributo cinestesico a textura está relacionada com a consistência e a dureza do sorvete, tendo como consequência, o seu derretimento. (SILVA, et al.,2013; OLIVEIRA, SOUZA e MONTEIRO, 2008).

Uma típica curva obtida nas análises de compressão-extrusão (formulação com gordura *low trans*) é demonstrada na Figura 12.

No Gráfico 5, foram demonstrados os resultados das análises de textura para as amostras elaboradas com variação no tipo de gordura considerando (a força máxima em Newtons).

Figura 11- Curva de compressão-extrusão

Fonte : própria

Gráfico 5- Análise de textura (*back extrusion*)

* Letras iguais indicam valores que não diferem estatisticamente ($\alpha = 0,05$);

De acordo com os resultados acima expostos, obtidos imediatamente após a saída da produtora, a formulação produzida com gordura *low trans* (T1) evidencia a menor força máxima necessária para extrusão, seguida pela com creme UHT (T3), creme fresco (T4) e manteiga (T2).

A força máxima necessária para que haja uma deformidade em um material segundo as leis da física é definido como dureza. Essa definição quando se fala em análise sensorial de alimentos, se dá por meio da força requerida para comprimir o alimento entre os dentes molares ou entre a língua e o palato, dando um ponto de deformação ou penetração. (SILVA, et al., 2013; TEIXEIRA, 2009). Partindo deste princípio, pode-se sugerir que a textura firme observada na formulação com manteiga se deve ao fato de sua rede cristalina de gordura e gelo estarem mais rígidos (ZALIHA et al., 2004).

O baixo valor de *overrun* apresentado pela formulação com manteiga também reforça o motivo pela qual o sorvete produzido com esta gordura apresenta a maior firmeza encontrada dentre as formulações testadas. Como foi observado em estudos realizados por Sofjan et al. (2004), uma diminuição no *overrun* causa um aumento na firmeza de sorvetes.

Composição Nutricional

A composição nutricional calculada da formulação T1, T2, T3 e T4 estão apresentada na Figura 13.

Os valores de proteínas variaram de 1,9 a 2,7g, sendo maior na formulação T3 com creme de leite UHT. A formulação T2 foi acrescida de fibra alimentar. As gorduras totais foram reduzidas (4,9g) na formulação T1 (gordura *low trans*), variando de 7,0 a 7,3g nas formulações T2, T3 e T4. O valor energético foi menor na formulação T1 (gordura *low trans*), 50,5 kcal, devido ao menor teor de gorduras totais, variando de 70,5 a 76,3 kcal para as demais amostras. O teor de sódio foi maior para a amostra T2 (manteiga), 69,6 mg, seguido da formulação T3 (creme de leite UHT), 41,0 mg e T1 e T4, 29,8 mg.

Figura 13- Tabelas de informação nutricional das formulações T1 (gordura *low trans*), T2 (manteiga), T3 (creme de leite UHT e T4 (creme de leite fresco)

Informação Nutricional		Informação Nutricional	
T1- Gordura Low trans		T2- Manteiga	
Porção 60 g (1 bola de sorvete)		Porção 60 g (1 bola de sorvete)	
	Quantidade por porção		Quantidade por porção
Valor energético	50,5 kcal = 212,1 kJ	Valor energético	70,5 kcal = 296,1 kJ
Carboidratos	12,7 g	Carboidratos	12,7 g
Proteínas	1,9 g	Proteínas	2,0 g
Gorduras totais	4,8 g	Gorduras totais	7,0 g
Gordura saturada	4,0 g	Gordura saturada	4,4 g
Gordura trans	0,0 g	Gordura trans	0,0 g
Fibra alimentar	0,0 g	Fibra alimentar	0,2 g
Sódio	29,8 mg	Sódio	69,6 mg
(*) Valores Diários de referência com base em uma dieta de 2.000 kcal ou 8.400 kJ. Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades energéticas.		(*) Valores Diários de referência com base em uma dieta de 2.000 kcal ou 8.400 kJ. Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades energéticas.	
Informação Nutricional		Informação Nutricional	
T3- Creme de leite UHT		T4- Creme de leite fresco	
Porção 60 g (1 bola de sorvete)		Porção 60 g (1 bola de sorvete)	
	Quantidade por porção		Quantidade por porção
Valor energético	76,6 kcal = 321,7 kJ	Valor energético	73,1 kcal = 307,0 kJ
Carboidratos	14,0 g	Carboidratos	12,7 g
Proteínas	2,7 g	Proteínas	1,9 g
Gorduras totais	7,3 g	Gorduras totais	7,3 g
Gordura saturada	4,7 g	Gordura saturada	4,2 g
Gordura trans	0,0 g	Gordura trans	0,0 g
Fibra alimentar	0,0 g	Fibra alimentar	0,0 g
Sódio	41,0 mg	Sódio	29,8 mg
(*) Valores Diários de referência com base em uma dieta de 2.000 kcal ou 8.400 kJ. Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades energéticas.		(*) Valores Diários de referência com base em uma dieta de 2.000 kcal ou 8.400 kJ. Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades energéticas.	

3.3 CONCLUSÃO

Com as análises físicas pode-se compreender a influência do tipo de gordura na formação da estrutura do sorvete e no processo de mistura.

Os maiores valores de *overrun* foram observados nas formulações produzidas com creme UHT e gordura *low trans*, seguida do creme fresco e com manteiga resultando em menor incorporação de ar. As formulações apresentaram a seguinte taxa de derretimento: gordura *low trans* seguida pelas manteiga, creme fresco e creme UHT, o que demonstrou a maior resistência ao derretimento; já em relação à textura, a gordura *low trans* evidencia a menor força máxima necessária para extrusão, seguida pela formulação com creme UHT, creme fresco e manteiga, podendo-se correlacionar com o *overrun*. Os diferentes tipos de produtos com gordura do leite utilizados oferecem produtos de qualidade porém com características de estruturação diferenciadas.

A gordura vegetal *low trans*, disponível no mercado, destinada a formulação de sorvetes, oferece produto com características estruturais próximas às gorduras do leite usadas em formulações de *gelatos*. A formulação com esta gordura apresentou menor valor energético.

3.4 REFERÊNCIAS ²

BOLLIGER, S.; GOFF, H.D.; THARP, B.W. Correlation between colloidal properties of ice cream mix and ice cream. **International Dairy Journal**, v.10, p.303-309, 1999.

BRAZMI, A.; LAUNAY, B.; CUVELIER, G.; RELKIN, P. Impact of crystalline milk fat on rheological properties of ice cream mix emulsions during aging time at 4°C. **Journal of Texture Studies**, v.39, n.4, p.309-325, 2008.

CLARKE, C. **The science of ice cream**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2004. 187p. (RSC paperbacks).

DEPARTAMENTO TÉCNICO DA TERCER SABOR - ARGENTINA. A importância da maturação: efeitos, vantagens e cuidados em sua implementação. **Sorveteria Confeitaria Brasileira**, n.176, p.24, 2007. Disponível em: <http://www.publitecbrasil.com.br/pdf/176e.pdf>. Acesso em: 12 mar. 2019.

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

GRANGER, C.; BAREY, P.; VESCHAMBRE, P.; CANSSELL, M. Physicochemical behavior of oil-in-water emulsions: influence of milk protein mixtures, glycerol ester mixtures and fat characteristics. **Colloids and Surfaces, B: Biointerfaces**, v.42, p.235-243, 2005.

HAMINIUK, C.W.I.; SIERAKOWSKI, M.R.; IZIDORO, D.R.; MACIEL, G.M.; SCHEER, A.P.; MASSON, M.L. Rheological behavior of pectic systems of red fruit pulps. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, p.225-231, 2009.

KLAHORST, S.J. **Ice cream**: combination chemistry. In: FOOD PRODUCT DESIGN. 1997. Disponível em: <http://www.foodproductdesign.com/articles/1997/08/ice-cream-combination-chemistry.aspx>. Acesso em: 12 mar. 2010.

MARFIL, P.H.M. **Estudo reológico de sistemas gelatina/colágeno/amido para obtenção de géis e aplicação em gomas dietéticas de gelatina**. São José do Rio Preto, 2010. 126p. Dissertação de Mestrado – Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas - Universidade Estadual Paulista “Julio de Mesquita Filho”.

PAL, R. Rheology of simple and multiple emulsions. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, v.16, n.1, p.41-60, 2018.

PATMORE, J.V.; GOFF, H.D.; FERNANDES, S. Cryo-gelation of galactomannans in ice cream model systems. **Food Hydrocolloids**, v.17, p.161-169, 2003.

RAJAH, K.K., ed. **Fats in food technology**. Sheffield: Sheffield Academic Press, 2002. p.70. (Sheffield food technology).

SATO, A.K.; CUNHA, R.L. Influence of temperature on the rheological behavior of jaboticaba pulp. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, p.890-896, 2007.

SCHRIEBER, R.; GAREIS, H. **Gelatin handbook: theory and industrial practice**. Weinheim: Wiley-VCH, 2007. 334p.

SILVA JUNIOR, E. **Formulações especiais para sorvete**. São Paulo, 2008. 133p. Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Universidade de São Paulo.

SOUKOULIS, C.; LEBESI, D.; TZIA, C. Enrichment of ice cream with dietary fibre: effects on rheological properties, ice crystallisation and glass transition phenomena. **Food Chemistry**, v.115, p.665-671, 2009.

SOUKOULIS, C.; CHANDRINOS, I.; TZIA, C. Study of the functionality of selected hydrocolloids and their blends with κ -carrageenan on storage quality of vanilla ice cream. **Food Science and Technology**, v.41, p.1816-1827, 2008.

THARP & YOUNG “ON ICE CREAM”. “On Ice Cream” Technical Q&A. Mix Processing Variables. **Mix processing variables: effect on eating quality**. Disponível em: http://www.onicecream.com/qa_mix_processing.htm. Acesso em: 12 mar. 2019

VALENGA, F. **Estudos de Interação entre galactomanana e alginato e possíveis aplicações.** Curitiba, 2007. 74p. Dissertação de Mestrado – Ciências Biológicas - Universidade Federal do Paraná.

VEGA, C.; GOFF, H.D. Phase separation in soft-serve ice cream mixes: rheology and microstructure. **International Dairy Journal**, v.15, p.249–254, 2005.

WARD, A.G.; COURTS, A. **The science and technology of gelatin.** London: Academic Press, 1977. 564p. (Food science and technology).

Capítulo 4

Aplicação de sistema organogel estruturante como alternativa para redução e substituição de gordura no sorvete de leite e agregação de compostos bioativos.

RESUMO

O sorvete é um alimento que contém elementos altamente nutritivos para a saúde humana, por possuir compostos principalmente de leite e frutas, que são boas fontes de proteínas, vitaminas, minerais e alguns fitoquímicos. O objetivo deste capítulo foi estudar a possibilidade de produzir sorvetes mais saudáveis, conservando as características reológicas e de indulgência, com substituição do creme de leite por sistemas coloidais estruturados agregados à compostos bioativos. As três formulações desenvolvidas, Padrão (leite em pó + creme de leite UHT), T1 (substituição de 50% base gordurosa por organogel) e T2 (substituição 100% base gordurosa por organogel) foram avaliadas quanto à estrutura (reologia, comportamento de derretimento, overrun, cor). O sistema organogel estruturante foi formulado principalmente com fitosteróis e colágeno. A análise reológica oscilatória, antes e após maturação, foi o instrumento para estudar as mudanças que ocorrem na estrutura das misturas dos sorvetes devido à redução e substituição da base gordurosa. O sorvete produzido com redução de 50 % de gordura (T1) apresentou características de qualidade semelhantes ao Padrão. Já o sorvete com redução total de gordura (T2) apresentou maior região de viscoelasticidade linear devido à sua estrutura proteica, derretimento menor e maior porcentagem de *overrun* com padrão semelhante ou superior às amostras elaboradas com o gordura de leite (Padrão, T1). A taxa de derretimento foi: Padrão, T1 e T2, respectivamente da maior para a menor taxa de derretimento. A formulação com redução total de gordura apresentou as maiores diferenças entre as formulações. A aplicação de sistemas organogéis estruturantes, com compostos bioativos, em sorvetes foi uma abordagem bem sucedida para obtenção de produtos com baixo teor de gordura saturada, com adição de esteróis vegetais e colágeno, destinado principalmente a consumidores que necessitem de suplementação alimentar.

Palavra chave: óleos e gordura, sistema coloidal, reologia, microestrutura, sistemas organogéis.

ABSTRACT

Ice cream is a food that contains highly nutritious elements for human health, because it has compounds mainly of milk and fruits, which are good sources of proteins, vitamins, minerals and some phytochemicals. Fat is responsible for several characteristics of ice cream and the formation of its structure depends on the production processes. The objective of this chapter was to study the possibility of producing healthier ice creams, preserving the rheological and indulgent characteristics, replacing the cream with structured colloidal systems added to bioactive compounds. The three formulations developed, Standard (powdered milk + UHT cream), T1 (replacement of 50% fatty base with organogel) and T2 (replacement 100% fatty base with organogel) were evaluated for structure (rheology, melting behavior, overrun, color). The structuring organogel system was formulated mainly with phytosterols and collagen. Oscillatory rheology, before and after maturation, was chosen as the main instrument to study the changes that occur in the structure of ice cream mixtures due to the reduction and replacement of the fatty type. The ice cream produced with a 50% fat reduction (T1) showed quality characteristics similar to the Standard. Ice cream with total fat reduction (T2), on the other hand, presented a greater region of linear viscoelasticity due to its protein structure, lower melting and a higher percentage of overrun with a pattern similar or superior to samples made with milk fat (Standard, T1). The melting rate was: Standard, T1 and T2, respectively from the highest to the lowest melting rate. The formulation with total fat reduction showed the greatest differences between the formulations. The application of structuring organogel systems, with bioactive compounds, in ice cream was a successful approach for obtaining products with a low saturated fat content, with the addition of plant sterols and collagen, aimed mainly at consumers who need food supplementation.

Keywords: fat and oil, colloidal system, rheology, microstructure, organogels system.

4.1 INTRODUÇÃO

Sorvete é um alimento que contém elementos altamente nutritivos para a saúde humana, por possuir compostos principalmente de leite e frutas, que são boas fontes de proteínas, vitaminas, minerais e alguns fitoquímicos (SOUKOULIS, FISK, BOHN, 2014). Seu conteúdo consiste de um sistema congelado contendo bolhas de ar, glóbulos de gordura, cristais de gelo e uma fase sérica não congelada (BALTHAZAR et al., 2017; GOFF, 1997). Normalmente, o sorvete contém 6 –16% de gordura de fontes lácteas ou não lácteas e é um componente importante na formulação, devido o suas propriedades que contribuem estruturalmente para que o produto possua uma textura suave e maior resistência a resistência ao derretimento, estabiliza o produto ao envolver a rede de gordura na película das bolhas de ar, modificando assim as propriedades reológicas, além de ser um veículo de aroma (BERGER, 1990; GOFF, 2002).

Por outro lado, nos últimos anos, os consumidores têm sido cada vez mais exigentes na procura de produtos com baixo teor de gordura (AKALIN, KARAGÖZLÜ, ÜNAL, 2008). O consumo excessivo de ácidos graxos *trans* e saturados na dieta representam uma grande preocupação, pois esses compostos são conhecidos como catalizadores do índice aterogénico, contribuindo assim para o aumento de doenças crônicas (MARANGONI, GARTI, 2011). Um consumo de gordura saturada inferior a 10% da energia diária é recomendada pelas diretrizes alimentares dos órgãos governamentais em todo o mundo, enquanto um consumo crescente de ácidos graxos mono e poli-insaturados das fontes vegetais são sugeridos (EFSA, 2017; STORTZ et al. , 2012;WHO, 2015).

Infelizmente, para muitos alimentos com alto teor de gorduras saturadas incluindo sorvete, chocolate e produtos cárneos, a sua substituição e ou redução por óleos insaturados é um desafio técnico considerável (Stortz et al., 2012), já que as propriedades reológicas e sensoriais de muitos alimentos dependem em particular das propriedades físicas da gordura. No sorvete a gordura desempenha um papel significativo no comportamento durante o congelamento e na formação da estrutura final, que é afetado pela proporção de ácidos graxos saturados. A presença desses ácidos tem um efeito significativo nos atributos físicos do sorvete, particularmente no derretimento (GOFF, HARTEL, 2013).

As recentes pesquisas por alternativas tecnológicas que apresentem características físicas semelhantes às das gorduras saturadas e *trans* são os organogéis. Os organogéis (sistemas coloidais) são um grupo de sistemas estruturado que possuem características de gel, porém a fase imobilizada é um composto orgânico, o que os difere de outros géis formados basicamente por compostos hidrossolúveis (ROGERS, *et al.*, 2007).

Não obstante ao grande interesse em organogéis de qualidade para aplicação em alimentos, poucos trabalhos tratam dessa aplicação em sistemas alimentares reais (AGUIRRE-MANDUJANO *et al.*, 2009; CALLIGARIS *et al.*, 2013; GOLDSTEIN E SEETHARAMAN, 2011; MANZOCCO *et al.*, 2012; STORTZ *et al.*, 2012). São destinados a produtos que dependem da capacidade estruturante semelhante ao comportamento de uma gordura cristalina sólida, sem causar mudanças na composição química. Necessitam de uma abordagem de componentes específicos denominados “geladores” que, por vários mecanismos, são capazes de alterar as propriedades físicas do sistema do organogel tornando o comportamento reológico semelhante ao das gorduras. Uma das mais interessantes estratégias de organogelação para aplicações alimentares baseia-se no uso de esteróis vegetais. Os blocos de construção deste gel são automontados em tubos e o início da montagem depende fortemente da concentração do gelificante. A cinética da agregação depende consideravelmente dos detalhes do sistema, como a proporção e o tipo de esterol, a temperatura de resfriamento, o estado de repouso ou agitação. Estudos realizados por Smith e Goff (2013) indicaram a aplicação de oleogéis em sorvetes. Em particular, o desempenho de cera de farelo de arroz, cera de candelila ou oleogéis de cera de carnaúba em sorvetes formulados com 10 ou 15 g / 100 g de gordura.

Além das boas propriedades estruturantes organogéis à base de fitoesteróis são particularmente interessantes porque a ingestão de fitoesteróis pelos alimentos está associado à redução significativa do colesterol LDL (DEMONTY *et al.*, 2009). Dados indicam que o seu consumo como parte de uma dieta saudável implica numa diminuição de cerca de 25% no risco de doenças de coração. O que pode evitar a necessidade de medicamentos para indivíduos com níveis moderadamente altos de colesterol (WEBER, 2002).

Poucos são os estudos de organogéis que apresentam como elemento estruturante uma base proteica. Destacam-se entre os produtos à base de proteica as proteínas

microparticuladas e derivadas de colágeno. Este polímero que demonstra estrutura relativamente simples e é insolúvel em água, uma propriedade que lhe é conferida pela grande concentração de aminoácidos hidrofóbicos, quer no interior da proteína quer na superfície, porém através de uma hidrólise parcial bastante forte é transformado em colágeno solúvel, resultando em gelatina ou em colágeno hidrolisado (WALRAND et al., 2008).

O objetivo deste capítulo foi estudar a possibilidade de produzir sorvetes mais saudáveis, conservando as características reológicas e de indulgencia, com substituição do creme de leite por sistemas coloidais estruturados agregados à compostos bioativos.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

Preparação do Organogel

Na preparação do organogel foram utilizados os seguintes ingredientes: colágeno hidrolisado (Gelita, Brasil) e complexo de fitoesteróis concentrado a 25% (Nutrartis, Brasil). O concentrado de fitosterol continha β -Sitosterol 70-80%, Sitostanol 15%, Campesterol 15%, Campestanol 5% e Stigmasterol 2%.

O composto de fitosteróis 95% mais 5% do colágeno hidrolisado foram misturados sob agitação contínua. A fase de agitação durou 5 min, até a formação do gel. Em seguida, a mistura foi adicionada à mistura de sorvete durante a pasteurização.

Formulações

Sorvetes experimentais foram formulados conforme relatado na Tabela 4, variando a quantidade de gordura (12,6 e 0 g / 100 g) e mantendo constante a quantidade de açúcares adicionados (18 g / 100 g) e sólidos totais ($40 \pm 0,3$ g / 100 g). O leite integral e desnatado em pó (Itambé, Brasil), creme de leite UHT (Itambé, Brasil), açúcar refinado (União, Brasil) foram adquiridos em mercado local, em pó foram gentilmente fornecidos pela Clariant SA. Maltodextrina, estabilizante, emulsificante, colágeno foram fornecidos pela Clariant S.A. (Brasil). O creme de leite UHT continha 17,0 g / 100 mL de gordura, 68% dos quais eram ácidos graxos saturados.

Tabela 4- Formulações dos sorvetes

Ingredientes %	Padrão	Teste 50% (T1)	Teste 100% (T2)
Água	18	47	56
Leite em pó integral	13,5	13,5	-
Leite em pó desnatado	-	-	13,5
Creme de leite UHT	50	15	*
Açúcar	12	12	12
Maltodextrina	6	6	6
Estabilizante e emulsificante	0,5	0,5	0,5
Organogel	-	6	12

As formulações de sorvete foram processadas da seguinte forma:

A água da formulação foi aquecida a 30 ° C em recipiente de alumínio e, em seguida, o leite em pó foi adicionado sob agitação (Fisatom Stirrer, Mod. 713D, Brasil); a 40 ° C, os estabilizadores, previamente misturados com o açúcar da fórmula, foram adicionados ao leite reconstituído; o creme de leite e o xarope de glicose foram adicionados a 45 ° C; a 60 ° C os emulsionantes foram finalmente adicionados; as misturas foram pasteurizadas a 72 ° C por 10 min em recipiente diretamente ao fogo; As caldas foram homogeneizadas a 250 kgf / cm² (Homogeneizador Artepeças APLAB-10, Brasil); após a homogeneização, as misturas foram resfriadas a 4 ° C em banho de gelo e mantidas a essa temperatura em geladeira por 24 h. A mistura foi congelada e aerada em produtora vertical (Polo Sul, modelo PSV 50, Brasil) com banho refrigerante a -25°C por aproximadamente 10 min, até que a massa à temperatura de -6°C e viscosidade visualmente adequada .

Medições reológicas nas misturas dos sorvetes

Testes oscilatórios foram realizados para obtenção da região de viscoelasticidade linear (RVL), módulos G' (elástico) e G'' (viscoso), e a viscosidade complexa (η^*) das misturas de sorvetes. Os testes foram realizados em um reômetro Haake MARS II (Thermo Electron Corporation, Alemanha), com um programa HAAKE Rheowin (versão 3.61), a 4 ° C. O sensor de placa cônica (Ti C35 / 1 polido) com um intervalo de 0,024 mm foi utilizado. As análises foram realizadas pelo menos em triplicata, com varredura de amplitude de tensão variando de 0,01 a 100 Pa, com frequência constante de 1 Hz e varreduras de frequência variando de 0,1 a 10 Hz, tensão constante de 0,1 Pa.

Overrun

O *overrun* foi definido como o volume da mistura que foi pesada após o processo de maturação em um copo de 10 mL de vidro. Quase imediatamente após o processo de congelamento e aeração do sorvete, o mesmo volume foi pesado no mesmo copo de vidro. O excedente foi calculado em triplicata usando a equação proposta por Goff & Hartel (2004) como mostrado na Equação (3):

Equação 3- Cálculo de overrun

$$\% \text{ overrun} = \frac{m_{\text{mixture}} - m_{\text{ice cream}}}{m_{\text{mixture}}} \times 100$$

Teste de Comportamento de derretimento

Foi utilizada uma adaptação da metodologia proposta por Bolliger, Goff e Tharp (2000), estudando-se a correlação entre o conteúdo de gordura derretida no teste de comportamento de fusão e a formação da estrutura da fase gordurosa por coalescência parcial. Amostras de 100 ± 1 g mantidas em *freezer* a -20°C serão colocadas sobre uma grade metálica durante 45 min à temperatura controlada ($\pm 25^{\circ}\text{C}$). O peso drenado foi anotado a cada 5 min. Após o término, a amostra restante na grade foi removida quantitativamente. Os dados obtidos foram utilizados para construir as curvas de fusão de cada formulação.

Cor

Para a realização de análise de cor, foi utilizado o espectrofotômetro ColorQuest® XE da HunterLab®(EUA) pelo sistema CIE-L*a*b* utilizando o iluminante D65 com um ângulo de observação de 10° . Foi medida a luminosidade (L^*), a oposição de cores verde-vermelho (a^*), e a oposição de cores amarelo-azul (b^*).

Composição Nutricional

A composição nutricional foi calculada por meio de planilha eletrônica no Excel. Utilizando como base de dados informações extraídas dos rótulos e fichas técnicas das matérias primas utilizadas nas formulações. Não sendo possível assim identificação de metodologia adotada para determinação dos nutrientes e se os valores expressos nos rótulos foram estimados a partir de tabelas de composição de alimentos.

Análise estatística

Os resultados obtidos pelas análises reológicas foram avaliados pela comparação ANOVA e Tuckey ($p < 0,05$), usando o software Minitab (EUA).

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Medida de Overrun

O processo de congelamento e aeração envolve inúmeras mudanças físicas, incluindo a ação de proteínas e surfactantes na formação e estabilização da espuma, a coalescência parcial da emulsão gorda e a concentração da solução devido ao congelamento da água líquida (Goff & Hartel, 2004). Os valores calculados de *overrun* das formulações podem ser observados no Gráfico 6.

Gráfico 6- Porcentagem de *overrun*

*Letras diferentes significam diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$)

O maior valor de *overrun* (Gráfico 6) foi observado na formulação T2, seguido da T1 e padrão resultando em menor incorporação de ar. As características de qualidade dos sorvetes em termos de comportamento de *overrun*, como observado em trabalhos anteriores (Alamprese et al., 2002, Roland et al., 1999, Zulim-Botega et al., 2013), mostram que quantidade maior de gordura foi responsável por menor *overrun*. Isso pode estar relacionado aos sólidos totais nos sorvetes (Tabela 4), com menor teor proteico no produto e modificação do batimento da mistura e do comportamento de fusão do produto final (Goff, 1997).

Em linhas industriais o sistema de produção de sorvetes conta com bombas de injeção de quantidades pré-estabelecidas de ar ou nitrogênio gasoso, de modo que se pode expandir facilmente o alimento (SILVA JUNIOR, 2008).

Comportamento de derretimento

De acordo com o gráfico, as curvas de fusão das formulações apresentaram sequencialmente as taxas de derretimento: Padrão, T1 e T2, respectivamente, sendo que T2 demonstrou a maior resistência ao derretimento. A menor taxa de derretimento da formulação T2, com redução total da gordura, pode estar relacionada a uma rede proteica bem formada e rígida.

Gráfico 7- Comportamento de derretimento

A gordura junto com a proteína são os componentes de maior influência para manutenção da taxa de derretimento de um sorvete. O comportamento de derretimento não reflete apenas a natureza de uma espécie química, mas o desenvolvimento de interações entre vários ingredientes do sorvete e a existência de inúmeras estruturas (SILVA, 2012).

Cor

Os resultados da análise de cor estão apresentados na Tabela 5. Podem-se observar valores de a^* negativos, isto indica que as formulações de sorvete apresentam leve tendência à coloração esverdeada. Porém, o parâmetro a^* não apresentou grande influência na cor do produto já que os valores ficaram próximos de zero. Sua coloração apresenta vantagens no uso das formulações deste projeto já que são de sabor leite.

Tabela 5- Análise de colorimetria.

Tratamentos	Padrão	T1	T2
L*	$79,28 \pm 0,20^A$	$79,58 \pm 0,07^A$	$81,62 \pm 0,48^B$
a*	$-4,84 \pm 0,36^A$	$-5,85 \pm 0,01^B$	$-7,03 \pm 0,36^C$
b*	$26,03 \pm 0,54^A$	$23,76 \pm 0,24^B$	$21,81 \pm 0,14^C$

*Letras diferentes na mesma linha significam diferença significativa entre as amostras ($p \leq 0,05$).

A coordenada cromática b^* indica a variação de cor de amarelo ao azul. Todas as formulações de sorvetes apresentaram valores positivos, indicando tendência à coloração amarela. Na formulação Padrão este valor foi maior, isso se deve ao fato de que a gordura do leite naturalmente possui pigmentos amarelados nos glóbulos de gordura em suspensão, estes, são rodeados por uma membrana fina que, em essência, acaba escondendo o pigmento beta-caroteno, porém durante o processo de fabricação essa membrana é rompida expondo o pigmento. Todas as formulações demonstraram alta luminosidade, pois o parâmetro L^* possui valor elevado indicando um sorvete branco,; na formulação T2 houve diferença estatística em 5% ($p \leq 0,05$), apresentando luminosidade mais clara indicando que a substituição total da gordura pelo organogel deixa o sorvete mais branco.

Reologia

Varredura de tensão

Como mostrado na Figura 14 os resultados obtidos no teste de varredura de tensão das três formulações antes e depois da maturação. Houve um comportamento elástico predominante ao viscoso ($G' > G''$) dentro de sua região de viscoelasticidade linear (RVL). Ao sair da RVL ocorre a inversão dos módulos com predominância do módulo viscoso, demonstrando que houve mudança no comportamento da estrutura.

A maior RVL foi observada na formulação T2, isto pode ser explicado devido à aglomeração macromolecular que ocorreu com a redução total de gordura na mistura o que ocasionou no aumento de sólidos totais principalmente na rede proteica oriunda do leite (caseínas) e do organogel (colágeno). Zhou et al.(2008). Definiram que a aglomeração macromolecular são os efeitos atribuídos ao volume, excluídos das propriedades de energia e de transporte das macromoléculas numa solução concentrada. Além da relação dos efeitos atribuídos ao volume excluindo a energia livre e a reatividade de uma macromolécula com limite fixo, isto é, pequenos compartimentos, como estruturas citoesqueléticas, com uma dimensão interior apenas um pouco maior, o que influencia o equilíbrio e a cinética da associação de macromoléculas. A concentração de proteína aumenta a fração do volume total ocupado, resultando na diminuição do volume efetivo disponível para a proteína.

Figura 14- Ensaio varredura de tensão- (a) formulação padrão antes da maturação; (b) formulação padrão depois da maturação; (c) formulação com redução de 50% gordura antes da maturação; (d) formulação com 50% de redução de gordura depois da maturação; (e) formulação com redução de 100 % de gordura antes da maturação (f) formulação com 100%.

Varredura de tensão

Antes da maturação

Depois de maturação

A formulação produzida com maior teor de creme de leite UHT (Padrão) demonstrou valores de G' e G'' mais baixos quando comparada com as outras, devido a sua gordura possuir uma composição complexa com uma ampla faixa de temperatura de cristalização e fusão, sendo completamente líquida acima de 40°C e completamente sólida abaixo de -40°C (MARANGONI, 2006). Nesta faixa de temperatura, mostrou-se sempre como uma mistura de gordura líquida e cristalizada, cuja proporção dependeu da temperatura, influenciando assim diretamente as características reológicas.

O comportamento de cristalização dos triacilgliceróis pode ser responsabilizado pela forma dos glóbulos de gordura e espessura da membrana interfacial que influenciam a coalescência e a estabilidade das emulsões. Em contrapartida as formulações T1 e T2 evidenciaram os valores de G' e G'' superiores quando comparados ao Padrão, inclusive após a maturação, já que reações termodinamicamente dirigidas entre proteína-proteína não específica as interações ocorridas na solução. Os efeitos das interações proteína-proteína foram explicados por um modelo em que as macromoléculas, como proteínas, são comparáveis a discos rígidos eficazes como esferas, cujo tamanho aparente reflete não apenas o efeito estérico, mas também atrações ou repulsões de curto alcance.

Varredura de frequência

Como observa-se na Figura 15, a formulação T2, que antes da maturação demonstrou uma ligeira queda no módulo viscoso antes da maturação, não apresentou queda na curva de viscosidade complexa e aumento nos módulos elástico e viscoso, proporcional ao aumento da frequência dentro dos parâmetros testados. Isto indica uma dependência dos módulos com a frequência, demonstrando característica de um material viscoelástico (ADAPA et al., 2000). Este comportamento é típico de materiais pseudoplásticos onde, sob uma tensão de cisalhamento, suas moléculas tendem a se orientar na direção da força aplicada (SCHRAMM, 2006). As propriedades reológicas da maioria dos sorvetes têm sido descritas como pseudoplásticas (COTREL, PASS & PHILLIPS, 1980;).

Figura 15- Ensaio varredura de frequência - (a) formulação padrão antes da maturação; (b) formulação padrão depois da maturação; (c) formulação com redução de 50% gordura antes da formulação; (d) formulação com 50% de redução de gordura depois da maturação; (e) formulação com redução de 100 % de gordura antes da maturação (f) formulação com 100%.

Varredura de frequencia

Análise dos resultados também apontaram para uma dependência não monotônica de viscosidade com concentração nas taxas de cisalhamento mais baixas, a varredura de tensão com diferentes frequências angulares constantes de um intervalo entre 0,1 a 100 Hz mostrou que as amostras ainda poderiam responder dentro da região de viscoelasticidade linear em toda a faixa de frequência angular escolhida.

Os módulos elástico e viscoso das formulações Padrão e T1 tiveram aumento de valor, apontando para uma formação de rede mais rígida na presença de gordura do leite. Enquanto na formulação T2, com ausência de gordura, houve o efeito contrario indicando que após a maturação a estrutura do sistema possui maior fragilidade sob tensão. O que poderia explicar este efeito são as interações proteína-proteína constituídas por ligações de pontes de hidrogênio, van der *Waals* e interações hidrofóbicas. Quando uma solução proteica é altamente concentrada, esse efeito é alterado. As forças gerais presentes entre as interações proteicas são expressas como um potencial que mede a força entre duas proteínas média das moléculas sobre todas as orientações e configurações possíveis do soluto e moléculas de solvente.

Composição Nutricional

A composição nutricional calculada da formulação Padrão (creme de leite UHT) e formulação T2 (100% de substituição da base gordurosa por organogel) estão apresentada na Figura 16.

Figura 16- Tabelas de informação nutricional das formulações Padrão (creme de leite UHT) e T2 (100% substituição da base gordurosa por organogel)

Informação Nutricional	
Padrão - Creme de leite UHT	
Porção 60 g (1 bola de sorvete)	
	Quantidade por porção
Valor energético	76,6 kcal = 321,7 kJ
Carboidratos	14,0 g
Proteínas	2,7 g
Gorduras totais	7,3 g
Gordura saturada	4,7 g
Gordura trans	0,0 g
Fibra alimentar	0,0 g
Sódio	41,0 mg
(*) Valores Diários de referência com base em uma dieta de 2.000 kcal ou 8.400 kJ. Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades energéticas.	

Informação Nutricional	
T1- 50%	
Porção 60g (1 bola de sorvete)	
	Quantidade por porção
Valor energético	45,7 Kcal = 321,7 KJ
Carboidratos	13,4 g
Proteínas	2,7 g
Gorduras totais	3,9 g
Gordura saturada	1,8 g
Gordura trans	0,0 g
Fibra alimentar	0,2 g
Sódio	36,5 mg
(*) Valores Diários de referência com base em uma dieta de 2.000 kcal ou 8.400 kJ. Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades energéticas.	

Informação Nutricional	
T2- 100%	
Porção 60 g (1 bola de sorvete)	
	Quantidade por porção
Valor energético	18,1 kcal = 75,6 kJ
Carboidratos	14,2 g
Proteínas	3,6 g
Gorduras totais	0,4 g
Gordura saturada	0,1 g
Gordura trans	0,0 g
Fibra alimentar	0,4 g
Sódio	46,8 mg
(*) Valores Diários de referência com base em uma dieta de 2.000 kcal ou 8.400 kJ. Seus valores diários podem ser maiores ou menores dependendo de suas necessidades energéticas.	

Os cálculos foram feitos para porção de 60 g equivalente a uma bola de sorvete. Observa-se que na formulação T2 houve incremento de proteínas em 33,4%, as gorduras totais foram reduzidas em 94,5% da formulação, com redução do teor de gorduras saturadas de 97,1%, o valor calórico total foi reduzido em 76,3%.

4.1- CONCLUSÃO

A aplicação de sistemas estruturados organogeis adicionados de compostos bioativos em sorvetes categoria *premium* do tipo *gelato*, como substitutos de creme de leite é uma abordagem bem sucedida para obter produtos mais saudáveis. Em particular, o sorvete produzido com redução de 50 % de gordura apresentou características de qualidade semelhantes ao padrão. Já o sorvete com redução total de gordura demonstrou adequação reológica aos sorvetes da categoria, derretimento menor e maior incorporação de ar durante processamento assim suas qualidades são semelhantes ou até melhores em relação às amostras feitas com gordura de leite. Além disso, devido à presença de fitoesteróis e colágeno, o rótulo dos sorvetes contendo o sistema pode conter o *claim label* de reduzido em gordura saturada, redução de colesterol e presença de colágeno seguindo a legislação do país de origem.

4.1 REFERÊNCIAS ³

AGUIRRE-MANDUJANO, E., LOBATO-CALLEROS, C., GARCIA, H. S., & VERNON-CARTER, E. J.(2009). Microstructure and viscoelastic properties of low-fat yoghurt structured by monoglyceride gels. **LWT e Food Science and Technology**, 42, 938e944.

AIME, D.B.; ARNTFIELD, S.D.; MALCOLMSON, L.J.; RYLAND, D. Textural analysis of fat reduced vanilla ice cream products. **Food Research International**, v.34, p.237-246, 2001.

AKALIN, A. S., KARAGÖZLÜ, C., & ÜNAL, G. (2008). Rheological properties of reduced-fat and low-fat ice cream containing whey protein isolate and inulin. **European Food Research and Technology**, 227, 889–895.

AMADOR, J., HARTEL, R.W,& RANKIN, S. A. (2017). The effects of fat structures and mix viscosity on physical and properties of ice cream. **Journal of Food Science**, 82,1851-1860.

ARBUCKLE, W.S. **Ice cream**. 3.ed. Westport: Avi Publisher, 1977. 517p.

BAHRAMPARVAR, M.; RAZAVI, S.M.A.; KHODAPARAST, M.H.H. Rheological characterization and sensory evaluation of a typical soft ice cream made with selected food hydrocolloids. **Food Science and Technology International**, v.16, p.79-88, 2010.

BERGER, K. G. (1990). **Ice cream**. In **K. Larson, & S. Friberg (Eds.)**. Food emulsions (pp. 367– 444). New York: Marcel Dekker.

CALLIGARIS, S., MANZOCCO, L., VALOPPI, F., & NICOLI, M. C. (2013). Effect of palm oil replacement with monoglyceride organogel and hydrogel on sweet bread properties. **Food Research International**, 51, 596e602.

CLARKE, C. **The science of ice cream**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2004. 187p. (RSC paperbacks).

DEMONTY, I., RAS, R. T., VAN DER KNAAP, H. C. M., DUCHATEAU, G. S. M. J. E., MEIJER, L., ZOCK, P. L.,...TRAUTWEIN, E. A. (2009). Continuous dose-response relationship of the LDL-cholesterol-lowering effect of phytosterol intake. **The Journal of Nutrition**, 139, 271e284.

EFSA. (2017). **Overview on dietary reference values for the EU population as derived by**

the EFSA panel on dietetic products, nutrition and allergies (NDA). https://www.efsa.europa.eu/sites/default/files/assets/DRV_Summary_tables_jan_17.pdf (Accessed 25 July 2019).

FARIA-TISCHER, P.C.S. **Estrutura química, propriedades reológicas e atividade antiviral das galactanas sulfatadas das algas vermelhas *Meristiella gelidium* e *Gymnogongrus griffithsiae* (Gigartinales)**. Curitiba, 2006. 197p. Tese de Doutorado - Ciências Biológicas - Universidade Federal do Paraná.

GRANGER, C.; LANGERDORFF, V.; RENOUF, N.; BAREY, P.; CANSELL, M. Short communication: impact of formulation on ice cream microstructures: an oscillation thermorheometry study. **Journal of Dairy Science**, v.87, p.810-812, 2004.

GRANGER, C.; LEGER, A.; BAREY, P.; LANGENDORFF, V.; CANSELL, M. Influence of formulation on the structural networks in ice cream. **International Dairy Journal**, v.15, p.255-262, 2005.

GOFF, H. D. (1997). Colloidal aspects of ice cream. **International Dairy Journal**, 7, 363–373.

GOFF, H. D. (2002). Formation and stabilisation of structure in ice-cream and related products. **Current Opinion in Colloid & Interface Science**, 7, 432–437.

GOFF, H. D., HARTEL, R. W. (2013). **Ice cream (7th ed.)**. New York: Springer.

GOLDSTEIN, A., & SEETHARAMAN, K. (2011). Effect of monoglyceride stabilized oil in water emulsion shortening on cookie properties. **Food Research International**, 44, 1476e1481

HARTEL, R.W. Ice crystallization during the manufacture of ice cream. **Trends in Food Science & Technology**, v.7, p.315-321, 1996.

HAMINIUK, C.W.I.; SIERAKOWSKI, M.R.; IZIDORO, D.R.; MACIEL, G.M.; SCHEER, A.P.; MASSON, M.L. Rheological behavior of pectic systems of red fruit pulps. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.29, p.225-231, 2009.

IKHU-OMOREGBE, D. Comparison of sensory qualities of ice cream from rheological characterization. In: WORLD CONGRESS OF CHEMICAL ENGINEERING (WCCE8), 8, Montréal, 2009. Montréal, 2009.

LEE CH, SINGLA A, LEE Y. Biomedical applications of collagen. **Int J Pharm.** 2001;221(1-2):1-22.

MANZOCCO, L., ANESE, M., CALLIGARIS, S., QUARTA, B., NICOLI, M. C. (2012). **Use of monoglyceride hydrogel for the production of low fat short dough pastry.** Food Chemistry, 132, 175e180.

MARSHALL, R. T., GOFF, H. D., HARTEL, R. W. (2003). **Ice cream.** New York: Aspen Publishers.

MARANGONI, A.G. Fat. Crystal Networks. New York, 2006. 854p.

MARANGONI, A., GARTI, N. (2011). An overview of the past, present, and future of organogels. In A. G. Marangoni, & N. Garti (Eds.), **Edible oleogels** (pp. 1e17).

MORRIS, E.R. Polysaccharide rheology and in-mouth perception. In: STEPHEN, A.M. **Food polysaccharides and their applications.** New York: Marcel Dekker, 1995. p.517-546. (Food science and technology, 67).

MUSE, M.R.; HARTEL, R.W. Ice cream structural elements that affect melting rate and hardness **Journal of Dairy Science**, v.87, p.1-10, 2004.

SATO, A.K.; CUNHA, R.L. Influence of temperature on the rheological behavior of jaboticaba pulp. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v.27, p.890-896, 2007.

SCHRAMM, G. **Reologia e reometria: fundamentos teóricos e práticos.** São Paulo: Artliber, 2006. 233p.

SILVA JUNIOR, E. **Formulações especiais para sorvete.** São Paulo, 2008. 133p.
Dissertação de Mestrado – Faculdade de Ciências Farmacêuticas - Universidade de São Paulo.

SILVA JUNIOR, E.; LANNES, S.C.S. **Effect of different sweetener blends and fat types**

on ice cream properties. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v.31, p.217- 220, 2011.

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

SOUKOULIS, C.; LYRONI, E.; TZIA, C. Contribution of thermal, rheological and physical measurements to the determination of sensorially perceived quality of ice cream containing bulk sweeteners. **Journal of Food Engineering**, v.10, p.634-641, 2010.

STANLEY, D.W.; GOFF, H.D.; SMITH, A.K. Texture-structure relationships in foamed dairy emulsions. **Food Research International**, v.29, p.1-13, 1996.

STORTZ, T. A., ZETZL, A. K., BARBUT, S., CATTARUZZA, A., MARANGONI, A. G. (2012). Edible oleogels in food products to help maximize health benefits and improve nutritional profiles. **Lipid Technology**, 24(7), 151e154.

SOUKOULIS, C., LEBESI, D., TZIA, C. (2009). Enrichment of ice cream with dietary fibre: Effects on rheological properties, ice crystallisation and glass transition phenomena. **Food Chemistry**, 115, 665–671.

TRGO, C.; KOXHOLT, M.; KESSLER, G. Effect of freezing point and texture regulation parameters on the initial ice crystal growth in ice cream. **Journal of Dairy Science**, v.82, n.3, p.460-465, 1999.

UDABAGE, P.; AUGUSTIN, M.; CHENG, L.; WILLIAMS, R. Physical behaviour of dairy ingredients during ice cream processing. **Lait**, v.85, p.383-394, 2005

VANWEES SR, RANKIN AS, HARTEL RW. The microstructural, melting, rheological, and sensorial properties of high-overrun frozen desserts. **J texture Stud.** 2019;1-9.

WALRAND S, CHIOTELLI E, NOIRT F, MWEWA S, LASSEL T. Consumption of a functional fermented milk containing collagen hydrolysate improves the concentration of collagen-specific amino acids in plasma. **J Agric Food Chem.** 2008;56(16):7790–5.

WHO. (2015). **Healthy diet. Fact sheet** No. 394. Updated September 2015 <http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs394/en/> (Accessed 20 July 2019).

WEBER,N.; WEITKAMP,P., MUKHERJEE, K.D. Cholesterol-lowering food additives: lipase-catalysed preparation of phytosterol and phytostanol esters. **Food Research International.** 2002, 25,2-3,1

WILDMOSER, H.; SCHEIWILLER, J.; WINDHAB, E.J. Impact of dispersed microstructure on rheology and quality aspects of ice cream. **Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie**, v.37, p.881-891, 2004.

WINDHAB, E. J. Feinkost und Speiseeis. In: WEIPERT, D.; TESCHEUSCHNER, H.-D.; WINDHAB, E.J., eds. **Rheologie der Lebensmittel**. Hamburg: Behr's Verlag, 1993.

Capítulo 5

Conclusões

5.1 CONCLUSÕES

- Foram desenvolvidas três formulações de sorvetes premium, tipo *gelato*, com gordura láctea processada de diferentes formas, e uma formulação com gordura vegetal *low trans*, que atendem ao padrão de qualidade pré-estabelecido, em teor lipídico e sólidos não gordurosos do leite;

Com as análises reológicas conduzidas antes e após maturação das misturas dos sorvetes, foi possível entender a influência do tipo de gordura na formação da estrutura do produto. Isso mostra a existência de uma interação forte entre o tipo de gordura com os demais componentes da fórmula, bem como a importância da etapa de maturação das misturas que é essencial para a formação de rede contínua e estável;

- As formulações que apresentaram maior overrun de ar foram os formulados com creme de leite UHT e gordura vegetal *low trans*. Este comportamento pode ser explicado pelo aumento da viscosidade do sistema devido ao tipo de cristalização destas gorduras;
- A formulação de gordura vegetal *low trans* apresentou menor força de extrusão quando comparada aos produtos produzidos com gordura láctea obtidas por diferentes processos;
- Os resultados da incorporação de ar e textura mostraram correlação inversa, sendo necessária maior força para extrusão em sorvetes com menor incorporação de ar. Tanto o tamanho dos cristais de gelo e de gordura formados, quanto o volume da fase congelada podem ter contribuído para aumento da dureza dos sorvetes;
- As formulações apresentaram a seguinte taxa de derretimento: gordura *low trans*, seguida pelas formulações com manteiga, creme de leite fresco e creme de leite UHT;

- Foi possível o desenvolvimento e a aplicação de sistemas estruturados organogéis com compostos bioativos em sorvetes tipo *gelato* como substitutos de creme de leite. E esta é uma abordagem bem-sucedida para obter produtos mais saudáveis. O sorvete produzido com redução de 50 % de gordura apresentou características de qualidade semelhantes ao padrão, e o sorvete com redução total de gordura apresentou derretimento menor, maior porcentagem de *overrun*, sendo suas qualidades semelhantes ou até melhores em relação às amostras feitas com o gordura de leite; Na formulação com 100% de substituição da base gordurosa houve incremento de proteínas em 33,4%, as gorduras totais foram reduzidas em 94,5% da formulação, o valor calórico total foi reduzido em 76,3%.
- Os dados obtidos neste trabalho são úteis em análises de processos de produção de sorvetes, nas formulações, no dimensionamento de equipamentos e previsão de comportamento estrutural do produto final quando se altera o tipo de gordura. Ficou demonstrado que existem variações na aplicação de gorduras do leite obtidas de diferentes processamentos em formulação de sorvete tipo *gelato*.