

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Curso de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos

Caracterização Reológica de Diferentes Tipos de Sorvete

KATHERINE HELENA OLIVEIRA

Engenheira de Alimentos

Florianópolis, dezembro de 2005

Universidade Federal de Santa Catarina
Centro Tecnológico
Curso de Pós Graduação em Engenharia de Alimentos

Caracterização Reológica de Diferentes Tipos de Sorvete

Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa
Catarina como parte para Obtenção do grau de mestre em
Engenharia de Alimentos.

Orientadora: Prof^ª. Dr^ª. Alcilene R. M. Fritz

KATHERINE HELENA OLIVEIRA

Engenheira de Alimentos

Florianópolis, 19 de dezembro de 2005

CARACTERIZAÇÃO REOLÓGICA DE DIFERENTES TIPOS DE SORVETE

Katherine Helena Oliveira

Dissertação julgada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Alimentos**, área de concentração de **Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos**, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia de alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof.^a. Dr.^a. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz
Orientadora

Prof.^a. Dr.^a. Gláucia Maria Falcão de Aragão
Coordenadora do CPGEA

Banca Examinadora:

Prof.^a. Dr.^a. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz
Orientadora

Prof.^a. Dr.^a. Renata Dias de Mello Castanho Amboni
Membro Externo

Prof. Dr. José Antonio Ribeiro de Souza
Membro Interno

Florianópolis, 19 de dezembro de 2005.

“Tudo posso naquele que me fortalece” (Fl 4, 13)

Agradecimentos

Os meus sinceros agradecimentos:

Ao bondoso **Deus**, pelo dom da vida.

A minha orientadora, **Prof^a. Alcilene Rodrigues Monteiro Fritz**, pelo seu empenho e dedicação nesse estudo. Por compreender as dificuldades para o desenvolvimento desse trabalho.

A empresária **Rejane Zanotta**, da Amoratto Sorvetes Artesanais, que não mediu esforços para viabilizar esse estudo, financiando todos os custos da pesquisa e contribuindo com sua experiência na indústria de sorvetes.

Ao **Prof. José Antonio Ribeiro de Souza**, pelas sugestões apresentadas.

Ao **Prof. Dachamir Hotza**, por disponibilizar o uso do viscosímetro do Laboratório de Materiais (LABMAT) para a realização dos ensaios reológicos.

A **Cynthia Moraes Gomes**, doutoranda em Engenharia de Materiais, por acompanhar as análises de reologia e pelos conhecimentos compartilhados.

Ao **Prof. João Borges Laurindo**, por disponibilizar o texturômetro do Laboratório de Propriedades Físicas para a realização das análises de textura.

A minha **família** e ao **Vitor**, pela paciência, apoio e o carinho, tão importantes para a conquista de mais uma etapa.

Aos **amigos** e a **todos aqueles** que de alguma forma participaram dessa caminhada.

RESUMO

O conhecimento do comportamento reológico é de grande importância no processamento, manuseio, controle de qualidade e desenvolvimento de produtos alimentícios. A literatura relata que a maioria dos alimentos apresenta comportamento não-newtoniano, em que a sua viscosidade pode variar com o tempo e com as condições de escoamento. Neste trabalho foi feita a caracterização reológica de cinco diferentes tipos de sorvetes, nos sabores creme, creme *light*, limão, iogurte e soja banana. Os dados reológicos foram obtidos através de um viscosímetro rotacional com geometria de cilindros concêntricos (Thermohaake, modelo VT550). Os ensaios foram realizados em três diferentes temperaturas (-2°C, 0°C e 2°C) e os resultados experimentais foram ajustados pelos modelos de Bingham, Casson, Herschel-Bulkley e Lei da Potência, com auxílio de um software acoplado ao sistema de aquisição de dados do equipamento. As diferentes amostras apresentaram comportamento não-newtoniano nas três temperaturas. Os parâmetros reológicos (K e n) foram obtidos através do ajuste do modelo Lei da Potência, que se mostrou bastante adequado, com coeficientes de correlação (r) iguais a 0,99 para quatro das cinco amostras, nas três diferentes temperaturas. Os mesmos tipos de sorvete foram submetidos à análise instrumental de textura, através de um texturômetro, modelo TA-XT2i, Syable Micro System, com uma *probe* que simula uma colher. Os valores obtidos para a textura dos diferentes tipos de sorvetes foram diferentes, variando de 11,70N para a amostra de soja banana e 34,38N para a amostra de creme *light*.

Palavras-chave: reologia; sorvete; viscosidade;

ABSTRACT

The knowledge of rheological behavior plays an important part at the processing, handling, quality control and development of food products. The literature states that most of food shows non-newtonian behavior, where its viscosity may vary along time, besides being function of the flow conditions. It has been done in this paper a rheological characterization of five different kinds of ice cream. The samples were flavored with vanilla, light vanilla, lemon, yogurt and soy banana. The rheological data have been obtained through a rotational viscosimeter with concentric cylinders geometry (Thermohaake, model VT 550). The tests have been led at three different temperatures (-2°C, 0°C e 2°C) and experimental results have been set by Bingham, Casson, Herschel-Bulkley and Power Low models, assisted by a software attached to the data acquisition system of the equipment. The different samples have shown non-newtonian behavior at three temperatures. The rheological parameters (k and n) have been obtained through the adjustment of the Power Low model, which has appeared as being really suitable, with r the same as 0,99 for almost all of the samples at the three different temperatures. The same kinds of ice cream have been submitted to texture instrumental analysis, through a texturometer TA-XT2i model, Syable Micro System, with a probe which simulates a spoon. The results obtained have shown that the samples performed different resistance values to the scraping process by the probe, varying of 11,70N for the soy banana sample to 34,38N for the light vanilla sample.

Keywords: rheology; ice cream; viscosity;

SUMÁRIO

RESUMO	6
ABSTRACT	7
LISTA DE FIGURAS	10
LISTA DE TABELAS	11
INTRODUÇÃO	12
OBJETIVOS	14
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
1.1 Sorvete.....	15
1.1.1 Definição.....	15
1.1.2 Composição.....	15
1.1.3 Processo de Fabricação.....	20
1.2 Reologia.....	25
1.2.1 Classificação do Comportamento Reológico.....	26
1.2.2 Modelos Reológicos.....	29
1.2.3 Medidas Reológicas.....	33
1.2.4 Estudos Reológicos de Sorvetes.....	36
2 MATERIAL E MÉTODOS	39
2.1 Amostra.....	39
2.2 Processo de Obtenção do Sorvete.....	40
2.3 Caracterização Reológica de Sorvetes.....	43
2.3.1 Descrição do Equipamento.....	43
2.3.2 Medidas Reológicas.....	43
2.4 Análise Instrumental da Textura.....	44
2.4.1 Descrição do Equipamento.....	44
2.4.2 Medidas de Textura.....	45
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
3.1 Medidas Reológicas.....	47
3.2 Análise Instrumental de Textura.....	57

4 CONCLUSÃO.....	60
5 SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS.....	61
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Reograma para fluidos independentes do tempo.....	27
Figura 1.2 - Reograma para fluidos dependentes do tempo.....	28
Figura 1.3 - Reômetro capilar (HAAKE, 2005).....	34
Figura 1.4 - Reômetro Rotacional (HAAKE, 2005).....	35
Figura 2.1 - Fluxograma do processo de fabricação do sorvete.....	41
Figura 2.2 - Texturômetro utilizado.....	45
Figura 2.3 - Posição da <i>probe</i> na amostra.....	46
Figura 3.1 - Reograma das amostras dos diferentes tipos de sorvetes na temperatura de -2°C.....	48
Figura 3.2 - Reograma das amostras dos diferentes tipos de sorvetes na temperatura de 0°C.....	48
Figura 3.3 - Reograma das amostras dos diferentes tipos de sorvetes na temperatura de 2°C.....	49
Figura 3.4 - Viscosidade x Taxa de Deformação das amostras dos diferentes tipos de sorvetes na temperatura de -2°C.....	51
Figura 3.5 - Viscosidade x Taxa de Deformação das amostras dos diferentes tipos de sorvetes na temperatura de 0°C.....	51
Figura 3.6 - Viscosidade x Taxa de Deformação das amostras dos diferentes tipos de sorvetes na temperatura de 2°C.....	52

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 - Modelos Lei da Potência, Plástico de Bingham e Herschel-Bulkley (adaptado de STEFFE, 1996).....	32
Tabela 1.2 - Modelos reológicos para fluidos independentes do tempo (adaptado de STEFFE, 1996).....	33
Tabela 2.1 - Amostras representantes.....	39
Tabela 2.2 - Informação nutricional das amostras (quantidade por porção de 100g).....	40
Tabela 3.1 - Parâmetros reológicos do modelo da Lei da Potência das diferentes amostras nas temperaturas de -2°C, 0°C e 2°C.....	54
Tabela 3.2 - Valores dos coeficientes r dos modelos de Bingham, Casson e Herschel- Bulkley das diferentes amostras nas temperaturas de -2°C, 0°C e 2°C.....	55
Tabela 3.3 - Parâmetros reológicos dos modelos de Bingham, Casson e Herschel- Bulkley das diferentes amostras nas temperaturas de -2°C, 0°C e 2°C.....	56
Tabela 3.4 - Valores médios de textura e o <i>overrun</i> dos diferentes tipos de sorvetes.....	58
Tabela 1.1 - Modelos Lei da Potência, Plástico de Bingham e Herschel-Bulkley (adaptado de STEFFE, 1996).....	31
Tabela 1.2 - Modelos reológicos para fluidos independentes do tempo (adaptado de STEFFE, 1996).....	32
Tabela 2.1 - Amostras representantes.....	38
Tabela 2.2 - Informação nutricional das amostras (quantidade por porção de 100g).....	39
Tabela 3.1 - Parâmetros reológicos do modelo da Lei da Potência das diferentes amostras nas temperaturas de -2°C, 0°C e 2°C.....	53
Tabela 3.2 - Valores dos coeficientes r dos modelos de Bingham, Casson e Herschel- Bulkley das diferentes amostras nas temperaturas de -2°C, 0°C e 2°C.....	54
Tabela 3.3 - Parâmetros reológicos dos modelos de Bingham, Casson e Herschel- Bulkley das diferentes amostras nas temperaturas de -2°C, 0°C e 2°C.....	55
Tabela 3.4 - Valores médios de textura e o <i>overrun</i> dos diferentes tipos de sorvetes.....	57

INTRODUÇÃO

O sorvete pode ser considerado como uma suspensão aerada de gordura e cristais de gelo numa solução concentrada de açúcar que contém hidrocolóides, micelas de caseína e proteínas. Durante o processamento, a aglomeração das gorduras ocorre e depende das condições do processo e do emulsificante utilizado. Isto tem um impacto importante na estabilidade do sorvete, principalmente no derretimento quando consumido. Por exemplo, pequenos cristais de gelo dispersos levam a uma espuma mais estável e uma sensação mais cremosa do produto na boca.

A composição do sorvete pode variar de acordo com a região ou local onde é produzido. A variação na sua composição é 8-20% de gordura, 8-15% de sólidos não gordurosos do leite, 13-20% de açúcar e 0-0,7% de emulsificante-estabilizante (ARBUCKLE, 1977).

Uma das metas na mudança da formulação de sorvete é produzir um produto com uma textura desejável, e o realce da textura somente ocorrerá com melhorias na estrutura física dos produtos. A estrutura do sorvete tem sido identificada como uma emulsão de três componentes formada por uma rede de glóbulos de gordura e cristais de gelo, dispersos numa fase aquosa de viscosidade elevada (STANLEY, GOFF & SMITH, 1996; DICKINSON, 1992; PRENTICE, 1992 apud AIME et al, 2001).

Muitos fatores interferem na textura do sorvete, como por exemplo: o estado de 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. (DICKINSON & STAINSBY, 1982 apud KAYA & TEKIN, 2000). A viscosidade da mistura é afetada pela composição (principalmente gordura e estabilizante), tipo e qualidade dos ingredientes, processamento e manuseio da mistura. Com o aumento da viscosidade, a resistência ao derretimento e a “maciez” do sorvete aumenta. Então, a viscosidade desejada pode ser assegurada controlando a composição da mistura (ARBUCKLE, 1977).

O conhecimento do comportamento reológico dos alimentos é útil não somente para o controle de qualidade do produto, mas principalmente para a adequação de sistemas de tubulação, trocadores de calor, filtros, bombas, entre outros (VASQUES, 2003).

As propriedades reológicas da maioria dos sorvetes têm sido descritas como pseudoplásticas (COTREL, PASS & PHILLIPS, 1980; GOFF & DAVIDSON, 1992, apud AIME et al, 2001). O comportamento reológico de sorvetes a base de leite foi avaliado por Aime et al (2001), Kaya & Tekin (2001), Smith, Bakshi & Lomauro (1984) e Cotrell et al (1980). Os parâmetros reológicos de sorvete a base de água foram obtidos por Kaya & Tekin (2001). Porém, sorvetes produzidos a partir de outros ingredientes não têm sido pesquisados.

Steffe (1996) relaciona os modelos reológicos mais comumente utilizados para representar o comportamento não-newtoniano dos fluidos: Herschel-Bulkley, Casson, Bingham e Lei da Potência. O modelo de Casson tem sido bastante utilizado para descrever a reologia de produtos de chocolate.

A viscosidade é a medida de resistência ao escoamento de um fluido e é considerada um dos principais parâmetros reológicos. Para a indústria de alimentos, o conhecimento e a determinação desse parâmetro podem contribuir para otimizar processos, minimizar os custos de ingredientes e melhorar a consistência do produto (VENDRÚSCULO, 2005).

A literatura relata que o sorvete a base de água e leite apresentam comportamento não-newtoniano. O comportamento reológico de sorvetes fabricados com outras bases, por exemplo, soja e iogurte, não têm sido publicado na literatura.

OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi estudar as propriedades reológicas de cinco tipos diferentes de sorvete, em três temperaturas distintas, e caracterizar o seu comportamento através do ajuste dos modelos reológicos de Bingham, Casson, Herschel-Bulkley e Lei da Potência.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Sorvete

1.1.1 Definição

O sorvete é um alimento obtido a partir de uma emulsão estabilizada e pasteurizada, que através de um processo de congelamento sob contínua agitação (batimento) e incorporação de ar, produz uma substância cremosa, suave e agradável ao paladar (MOSQUIM, 1999, apud BORSZCZ, 2002; ARBUCKLE, 1977).

A legislação brasileira define o sorvete como um gelado comestível, ou seja, um produto alimentício obtido a partir de uma emulsão de gorduras e proteínas, com ou sem adição de outros ingredientes e substâncias, ou de uma mistura de água, açúcares e outros ingredientes e substâncias que tenham sido submetidas ao congelamento, em condições tais, que garantam a conservação do produto no estado congelado ou parcialmente congelado, durante a armazenagem, o transporte e a entrega ao consumo (BRASIL, 1999).

1.1.2 Composição

O sorvete é um produto complexo, que contém diferentes ingredientes, em distintos estados. A gordura apresenta-se na forma de emulsão; proteína, estabilizantes e açúcares insolúveis apresentam-se na forma de suspensão coloidal; a lactose, em forma de dissolução verdadeira. A água encontra-se no estado líquido como solvente de sais e açúcares, e na forma sólida, como cristais de gelo (EARLY, 2000; ARBUCKLE, 1977).

A composição do sorvete é bastante variada, sendo possível produzir diversos tipos de sorvetes a partir da combinação dos ingredientes em diferentes proporções (ARBUCKLE, 1977). No entanto, no Brasil, a legislação determina que o sorvete apresente, no mínimo, 3% de gordura e 2,5% de proteína, os quais podem ser total ou parcialmente de origem não láctea. Outros ingredientes, como frutas ou pedaços de frutas, açúcares, produtos de cacau e/ou outras substâncias alimentícias, podem ser adicionados, desde que não descaracterizem o produto (BRASIL, 1999).

Os diferentes componentes utilizados na fabricação (gordura, açúcar, emulsificante, estabilizante, etc) também influenciam a estrutura do sorvete, que por sua vez, conferem ao produto final características sensoriais importantes, como textura, resistência ao derretimento, cremosidade e corpo (GRANGER et al, 2004; BORSZCZ, 2002; ARBUCKLE, 1977). Portanto, para obter um “bom sorvete” é importante que os ingredientes sejam de boa qualidade e que seja feito um balanceamento correto entre os componentes (ARBUCKLE, 1977).

a) Leite

O leite é um alimento rico em proteínas, vitaminas lipossolúveis e hidrossolúveis, lactose, gordura, sais minerais e enzimas (BORSZCZ, 2002). Contém valores médios de 4% de gordura, 3,5% de proteínas, 4,8% de lactose, 0,7% de sais e 87% de água (ANTUNES, 2003 apud OLIVEIRA, 2004). Sua composição pode variar de acordo com a estação do ano, raça, idade e alimentação do animal (AMIOT, 1991).

Os componentes do leite encontram-se associados em estruturas grandes e complexas. As caseínas estão presentes em micelas grandes e esféricas, e os lipídios, em forma de glóbulos esféricos ainda maiores (FENNEMA, 2000).

A gordura do leite é o ingrediente de grande relevância para o sorvete (ARBUCKLE, 1977), pois influencia nas suas características sensoriais: confere corpo, melhora a textura e o sabor (CENSANO, 1995). Além disso, a gordura interfere na sensação do frio: sorvetes com elevado teor de gordura reduzem a sensação bucal de frio e possuem alta sensação lubrificante na boca (COSTA E LUSTOZA, 1998 apud BORSZCZ, 2002).

A maior parte da superfície da gordura do leite é recoberta por uma membrana. A homogeneização reduz o tamanho dos glóbulos e aumenta a superfície. As proteínas do leite, principalmente a caseína, interagem com a superfície da gordura, atuando como agentes emulsificantes e mantendo a gordura em suspensão (ROBINSON, 1987).

As proteínas do leite são divididas em três grandes classes: as caseínas, que representam 80% das proteínas totais do leite; as proteínas do soro, que correspondem a 20% das proteínas totais e as proteínas associadas à fase lipídica (componentes da membrana dos glóbulos de gordura do leite) (ANTUNES, 2003 apud OLIVEIRA, 2004).

A caseína é um constituinte importante no processo de obtenção do sorvete, pois determina a capacidade de batimento, proporciona características físicas e sensoriais de corpo e textura, e apresenta propriedades funcionais, como: interação com outros estabilizantes, estabilização graxa depois da homogeneização, contribuição para a formação da estrutura do gelado e capacidade de retenção de água (EARLY, 2000).

Outra consideração relevante é que a proteína, além de interferir na textura do sorvete, pois se inter-relaciona com a água dando textura suave e boa consistência, contribui com o valor nutritivo e, devido aos grupos laterais hidrófobos que contém, forma parte da membrana que encobre os glóbulos de gordura, determinando assim, com os estabilizantes e emulsificantes, as propriedades reológicas do gelado (EARLY, 2000; AMIOT, 1991).

O principal açúcar do leite é a lactose. Esta possui menor poder adoçante e menor solubilidade do que outros açúcares. A lactose além de conferir sabor doce, contribui,

também para a textura do sorvete. Porém, quando adicionada em excesso, pode cristalizar-se e produzir um sorvete com textura arenosa (AMIOT, 1991; ROBINSON, 1987).

b) Emulsificante

Os emulsificantes são substâncias que apresentam uma parte da molécula hidrofóbica e outra hidrofílica, e no sorvete possuem efeito de redução da tensão superficial entre fases, fazendo com que as fases gordurosa e aquosa se dispersem uniformemente (TIM, 1989 apud BORSZCZ, 2002; ARBUCKLE, 1977).

Os emulsificantes promovem a uniformidade da dispersão da gordura em água, controlam a formação de aglomerados de glóbulos de gordura; contribuem para uma correta incorporação de ar, melhorando a textura e corpo do sorvete. Evitam a separação da água durante o batimento e favorecem um derretimento suave do sorvete na boca. Isto tudo é consequência do aumento da rigidez da membrana que rodeia os glóbulos de gordura e da formação de uma rede mais sólida ao redor das bolhas de ar (CENZANO, 1995).

c) Estabilizante

Vários tipos de estabilizantes são usados na indústria de sorvete, isoladamente ou em combinação, principalmente para aumentar a viscosidade da mistura (KAYA & TEKIN, 2001), influenciando, portanto, no comportamento reológico do sorvete. Além disso, contribuem para evitar a recristalização, devido a variações na temperatura de armazenamento do sorvete; conferem melhor corpo e textura ao produto e favorecem para a correta incorporação de ar (CENZANO, 1995; ARBUCKLE, 1977).

No sorvete encontram-se vários produtos naturais com função estabilizante, tais como: proteínas do leite (caseína, globulina, albumina), lecitina (gema do ovo) e açúcares. Quanto maior for a presença de estabilizantes naturais, menor será a necessidade de adição de compostos estabilizantes.

O efeito de vários tipos de estabilizantes como carboxi metil celulose, carragena, goma guar, nas propriedades reológicas do sorvete têm sido estudado por vários autores (KAYA & TEKIN, 2001).

d) Açúcar

O açúcar confere sabor doce e aporte energético, importante para o consumidor, e aumenta a viscosidade do sorvete, contribuindo para a formação de uma textura suave; além de diminuir o ponto de congelamento do produto. Por isso, não deve ser utilizado em excesso, de modo que o sorvete possa ser congelado (DUAS RODAS, 2005).

De um modo geral, a sacarose é o açúcar mais utilizado, chegando a representar 80% do total de açúcares da mistura (CENZANO, 1995). Mas, outros tipos como: glicose, lactose, frutose, etc, podem ser utilizados substituindo a lactose, ou em combinação.

O açúcar não deve ser utilizado em excesso. Pois além de conferir sabor demasiadamente doce e textura arenosa, pode interferir na propriedade de endurecimento do sorvete (BORSZCZ, 2002; CENZANO, 1995; ARBUCKLE, 1977).

e) Sais Minerais

De acordo com Cenzano (1995), o sorvete apresenta cerca de 0,6 a 1% de sais minerais, procedentes em sua maioria do leite, do soro do leite e de outros produtos como

frutas, sucos de frutas, etc. Porém, certos sais minerais são utilizados intencionalmente para ajudar a controlar a separação da gordura da calda durante o congelamento. Citratos e fosfatos têm efeito sobre as propriedades reológicas, contribuindo para o aspecto e consistência do produto final e para a estabilidade da emulsão graxa (AMIOT, 1991; ARBUCKLE, 1977).

1.1.3 Processo de Fabricação

A estrutura do sorvete determina parâmetros sensoriais importantes no produto final como resistência ao derretimento e textura. A estrutura é influenciada pelo processo de fabricação, que inclui etapas de pré-aquecimento, homogeneização, pasteurização, maturação, congelamento e endurecimento (GRANGER et al, 2004). Para obter um sorvete com a qualidade desejada é importante conhecer e controlar as principais etapas de fabricação.

a) Preparação da calda

Depois de selecionados os ingredientes e composta a formulação, a primeira etapa consiste na preparação da mistura, conhecida também como calda.

Os ingredientes líquidos são adicionados à tina de mistura (ou no próprio pasteurizador), e a agitação mecânica e o aquecimento são iniciados. Durante a agitação, são adicionados os ingredientes em pó, antes de atingir 50°C (ARBUCKLE, 1977).

b) Pasteurização

A calda é pasteurizada com o objetivo de destruir os microrganismos patogênicos presentes na mistura, garantindo a segurança microbiológica do produto. A

legislação brasileira determina que a calda seja pasteurizada a 70°C por 30 min, quando o processo for batelada, ou a 80°C por 25s, quando o processo for contínuo (BRASIL, 1999).

Essa etapa também produz a fusão dos emulsificantes, ativa os estabilizantes em solução coloidal, melhorando o efeito de ambos, pela ação da proteína do soro. Com a desnaturação da proteína do soro, a parte lipofílica da molécula, que se encontra no interior da estrutura, é quebrada. Nestas condições, a tensão superficial da interface gordura/água é reduzida, agindo assim, como agentes emulsificantes. A capacidade de retenção de água da proteína do soro é aumentada com a pasteurização (VARNAM e SUTHERLAND, 1994, apud BORSZCZ, 2002).

c) Homogeneização

A calda pasteurizada é homogeneizada com o propósito de diminuir os tamanhos dos glóbulos de gordura, para obtenção de uma suspensão uniforme e permanente. Dessa forma, a gordura não se separa e não forma uma camada na parte superior.

A homogeneização oferece vários benefícios para a qualidade do produto final: distribuição uniforme da gordura, sem tendência de separação, maior resistência à oxidação e melhor corpo e textura (CENZANO, 1995).

Durante a homogeneização, a calda é forçada a passar por orifícios muito finos, de uma ou mais válvulas, em condições apropriadas de temperatura e pressão, que fazem com que a gordura seja diminuída em até dez vezes do seu tamanho inicial (ARBUCLKE, 1977). Portanto, o processo de homogeneização é influenciado significativamente pela temperatura e a pressão utilizadas.

A faixa de temperatura normalmente usada para homogeneizar a calda varia de 60 a 76°C. O uso de temperaturas menores implica na possibilidade dos glóbulos de gordura

se aglomerarem, e a viscosidade e o tempo de congelamento aumentarem (CENZANO, 1995; ARBUCLKE, 1977). Early (2000) e Amiot (1991) citam que a eficiência da homogeneização melhora quando a temperatura é de 70 a 80°C, pois a mobilidade dos componentes, com certa tensão superficial, é maior quanto mais alta for a temperatura.

A pressão a ser utilizada na homogeneização depende de alguns fatores: composição da calda, da viscosidade desejada, da temperatura e do tipo de equipamento (ARBUCLKE, 1977).

O teor de gordura interfere na eficiência da homogeneização. Quanto maior a quantidade de gordura utilizada, menor será a pressão necessária e vice-versa. Nos casos em que o teor de gordura é bastante elevado, os glóbulos de gordura têm seu tamanho diminuído com a homogeneização e estes, tendem a agrupar-se antes que uma nova membrana seja formada na superfície. Uma pressão elevada aumenta a temperatura, propiciando a desnaturação das aglutininas, o que favorece a coalescência. Para minimizar esses efeitos, utiliza-se o processo de homogeneização em dois estágios. Assim, no segundo estágio os grumos formados no primeiro estágio são desfeitos, sendo possível que a superfície do novo glóbulo produza as aderências do fosfolipídio, das lipoproteínas e cargas elétricas, impedindo a coalescência dos pequenos glóbulos (MOSQUIM, 1999, apud BORSZCZ, 2002; AMIOT, 1991).

d) Resfriamento

A calda homogeneizada é resfriada rapidamente a uma temperatura de 4°C ou menor. Caso contrário, a calda ficará muito viscosa e o sorvete não se derreterá suavemente na boca. Temperaturas baixas também retardam o crescimento de microrganismos (ARBUCKLE, 1977).

e) Maturação

A maturação consiste em manter a calda por um período mínimo que varia de 1 a 24 horas, em temperatura igual ou inferior a 4°C, antes de ser congelada (DUAS RODAS, 2005). Durante a maturação, ocorrem alguns fenômenos como a cristalização da gordura e hidratação das proteínas e dos estabilizantes. Esta etapa contribui para melhor absorção de ar durante o batimento e congelamento, e melhor resistência ao derretimento (CENZANO, 1995; ARBUCKLE, 1977).

Nesta etapa é complementada a adição dos ingredientes sensíveis ao tratamento térmico, como sucos de frutas, polpas, essências, etc (DUAS RODAS, 2005).

f) Congelamento e incorporação de ar

O congelamento é uma das etapas que tem maior influência na qualidade do produto final, pois confere ao sorvete as seguintes alterações: incorporação de ar devido à agitação vigorosa da mistura até obtenção do corpo desejado, e congelamento rápido, de cerca de 50% da água da mistura em pequenos cristais (ARBUCKLE, 1977).

De um modo geral, o processo de congelamento pode ser dividido em duas partes: congelamento na máquina produtora, e endurecimento nas câmaras de armazenamento. A etapa de congelamento varia de acordo com o tipo de equipamento utilizado, que genericamente pode ser classificado em descontínuo e contínuo. As produtoras descontínuas podem ser do tipo vertical ou horizontal.

O congelamento deve ser realizado de forma rápida, para que o tamanho dos cristais seja pequeno, o que confere melhor textura ao produto final (ARBUCKLE, 1977).

A temperatura de congelamento está na faixa de -4°C a -18°C . Quanto menor a temperatura de congelamento, maior proporção de água é congelada em pequenos cristais. Porém, não é possível diminuir excessivamente a temperatura, pois a viscosidade do produto ficaria muito elevada, impedindo a sua saída do equipamento.

Com o batimento, o volume inicial da mistura é aumentado, devido à incorporação de ar ao produto, comumente chamado de *overrun*. A quantidade de ar incorporado depende do conteúdo de sólidos totais, de um modo geral, quanto maior o conteúdo de sólidos totais, maior será a incorporação de ar ao sorvete; da quantidade de gordura, quanto maior a quantidade de gordura, menor será a quantidade de ar incorporado; do tipo e quantidade de emulsificantes e estabilizantes; do tipo do equipamento de congelamento, as produtoras horizontais (contínua) incorporam maiores quantidades de ar que as produtoras verticais (batelada);

Os resultados do processo de congelamento podem ser melhor entendidos avaliando a estrutura do sorvete. A textura do sorvete é afetada por vários fatores, mas principalmente, pela presença dos cristais de gelo, do ar incorporado e dos componentes não congelados (ARBUCKLE, 1977). Depois de congelado, o sorvete tem uma nova estrutura composta de: água congelada em forma de pequenos cristais; água líquida sem congelar, dissolvendo as proteínas lácteas, açúcares, sais, etc; ar incorporado em diversas quantidades (CENZANO, 1995; AMIOT, 1991;).

g) Envase

Na saída da produtora, o sorvete é envasado. A embalagem utilizada determinará a forma e o tamanho do produto final, após o término do seu endurecimento.

h) Endurecimento

O sorvete envasado é levado para câmaras frigoríficas, com temperaturas que variam de -20°C a -30°C, onde continua o seu processo de congelamento.

O tempo de endurecimento é afetado pelo tamanho e forma da embalagem, circulação de ar, temperatura do ar, composição da mistura e incorporação de ar. O endurecimento deve ocorrer de forma rápida para evitar a formação de grandes cristais de gelo. Nesta etapa, a quantidade de água congelada chega de 80% a 90% (MOSQUIM, 1999, apud BORSZCZ, 2002; ARBUCKLE, 1977).

1.2 Reologia

A reologia é uma ciência que surgiu no início do século XX e tem como objetivo estudar a deformação e o escoamento dos materiais. A origem do nome vem dos radicais gregos *rheos* (fluir) e *logos* (estudo) (MACOSCO, 1994). O foco principal da reologia é avaliar a forma como os materiais respondem quando aplicada uma força. (STEFFE, 1996).

Na área de alimentos, o conhecimento do comportamento reológico tem várias aplicações: para projetos e avaliações de processos, controle de qualidade, correlação com avaliação sensorial, testes de vida de prateleira, entre outros (ibid).

Os alimentos apresentam comportamento reológico variado, devido a sua complexa estrutura e composição. Podem mostrar também, desde um comportamento newtoniano simples, até um comportamento não-newtoniano, que pode ou não ser dependente do tempo (TABILO-MUNIZAGA & BARBOSA-CÁNOVAS, 2005; VENDRÚSCULO, 2005).

1.2.1 Classificação do Comportamento Reológico

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 (BHATTACHARYA, 1997, apud TABILO-MUNIZAGA & BARBOSA-CÁNOVAS, 2005). Essa relação foi estabelecida por Newton, em 1687 e é representada pela equação a seguir (BIRD, 1960).

$$\tau = \mu\gamma \quad (1)$$

onde:

τ - tensão de cisalhamento [Pa]

γ - taxa de deformação [s^{-1}]

μ - viscosidade [Pa.s]

Os fluidos newtonianos são caracterizados por apresentar uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada, dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido. De modo contrário, os fluidos não-newtonianos apresentam uma relação não linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada, e podem apresentar dependência ou independência do tempo. Os fluidos independentes do tempo não são afetados pelo histórico anterior de cisalhamento e são classificados em função da variação da viscosidade aparente. Se o fluido apresenta uma diminuição da viscosidade aparente ao longo das taxas de deformação é denominado pseudoplástico; se a viscosidade do fluido aumentar com as taxas de deformação aplicadas, é chamado de dilatante. A pseudoplasticidade e a dilatância são propriedades independentes do

tempo (DAUBERT & FOEGEDING, 2003 apud TABILO-MUNIZAGA & BARBOSA-CÁNOVAS, 2005). No caso dos fluidos dependentes do tempo, a viscosidade aparente é função da duração da taxa de deformação. Alguns alimentos como suspensões, emulsões e espumas são fluidos dependentes do tempo e exibem comportamento tixotrópico ou reopético. Quando mantidas constantes, a temperatura, a composição e a taxa de deformação, os fluidos tixotrópicos e reopéticos exibem, respectivamente, uma diminuição e um aumento na viscosidade aparente com o tempo de cisalhamento. Ambos os fenômenos podem ser irreversíveis, reversíveis ou parcialmente reversíveis (STEFFE, 1996).

Alguns fluidos requerem uma tensão inicial para iniciar o escoamento. Neste caso, são denominados Fluidos de Bingham. Esses materiais possuem uma estrutura interna capaz de impedir o escoamento para valores de tensão de cisalhamento inferiores a um valor limite (τ_0). Quando a tensão de cisalhamento é maior que o valor limite, a estrutura interna colapsa, favorecendo o escoamento do material como um fluido (SKELLAND, 1967).

Os reogramas para fluidos independentes do tempo estão apresentados, respectivamente, nas figuras 1.1 e 1.2.

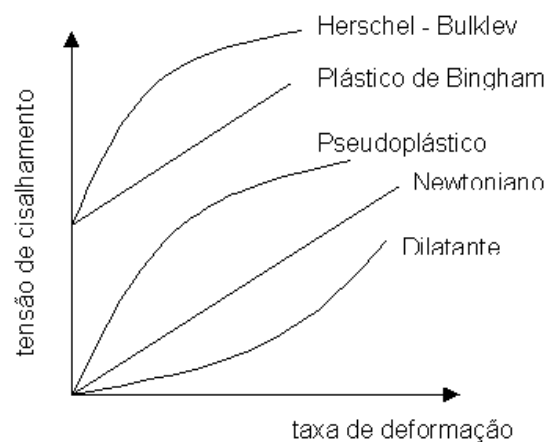


Figura 1.1 - Reograma para fluidos independentes do tempo.

Holdsworth (1971) afirma que a maioria dos fluidos alimentícios apresenta comportamento pseudoplástico (não-newtoniano), assim, a viscosidade aparente decresce com o aumento da taxa de deformação.

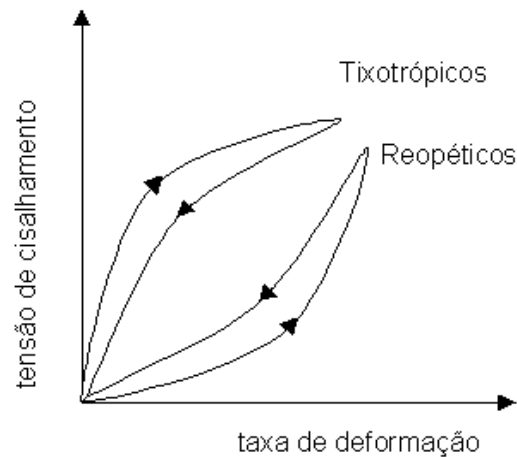


Figura 1.2 - Reograma para fluidos dependentes do tempo.

A viscosidade é considerada um dos principais parâmetros reológicos e mede a resistência do fluido ao escoamento, quando uma taxa de deformação é aplicada. O comportamento de um alimento durante o seu processo pode variar significativamente, pois a consistência e a composição do material pode ser alterada devido a etapas de mistura, aquecimento, resfriamento, homogeneização, aeração, fermentação, cristalização, etc, contribuindo, portanto, na modificação da viscosidade (LEWIS, 2003; BHATTACHARYA, 1997).

Em muitas operações da indústria de alimentos, medir a viscosidade de um fluido é importante para controle de qualidade das matérias-primas e para avaliação do efeito das variações, tanto nas condições de processamento sobre os produtos durante a fabricação, como no produto final. O conhecimento da viscosidade pode contribuir para a otimização de

processos, redução dos custos nos ingredientes e melhoria da consistência do produto. (VENDRÚSCULO, 2005).

O termo viscosidade é comumente utilizado para fluidos newtonianos, enquanto que, para fluidos não-newtonianos, o termo apropriado é viscosidade aparente, a qual depende da magnitude da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento (STEFFE, 1996).

1.2.2 Modelos Reológicos

O comportamento dos fluidos é descrito através dos modelos reológicos, que relacionam tensão de cisalhamento com a taxa de deformação.

O modelo reológico mais simples é o newtoniano, que apresenta uma relação linear entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação. No entanto, a maioria dos alimentos fluidos, não apresenta esse tipo de comportamento e requer modelos mais complexos para sua caracterização (TABILO-MUNIZAGA & BARBOSA-CÁNOVAS, 2005; HOLDSWORTH, 1971).

Na literatura existem muitos modelos reológicos propostos. A escolha do modelo a ser utilizado é uma função das características do fluido (RAO & ANANTHESWARAM, 1982). Os modelos mais comumente utilizados são: Ostwald-de Waele, Plástico de Bingham, Hershel-Bulkley e Casson.

O modelo de Ostwald-de Waele, também conhecido como Lei da Potência, é um dos modelos mais utilizados para descrever o comportamento reológico de fluidos devido a sua fácil aplicação (BIRD et al, 1960). A representação matemática do modelo é dada pela equação 3.

$$\tau = k \gamma^n \quad (3)$$

onde:

K – índice de consistência [P.sⁿ]

n – índice de comportamento do escoamento [adimensional]

γ - taxa de deformação [s⁻¹]

A avaliação do parâmetro n da equação (3) define o comportamento do fluido em newtoniano ou não-newtoniano. Os fluidos newtonianos apresentam valor de n igual a 1 e índice de consistência a μ . Porém, os fluidos não-newtonianos apresentam valor de n diferente de 1; sendo que, para o fluido pseudoplástico, o índice de comportamento do escoamento (n) é menor que 1 e a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação. O inverso ocorre para fluido dilatante: o índice de comportamento do escoamento (n) é maior que 1 e a viscosidade aparente aumenta com a taxa de deformação.

No caso de fluidos não-newtonianos, a viscosidade aparente é determinada com a equação abaixo:

$$\eta = k \gamma^{n-1} \quad (4)$$

O modelo Fluido de Bingham é uma adaptação do modelo de Ostwald-de Waele para fluidos newtonianos. O que os difere é a presença de uma tensão de cisalhamento crítica. A equação 5 indica o modelo de Fluido de Bingham.

$$\tau = \tau_o + \eta_{pl} \gamma \quad (5)$$

onde:

τ - tensão de cisalhamento

τ_o - tensão de cisalhamento crítica

γ - taxa de deformação

η_{pl} - viscosidade plástica

O modelo de Herschel-Bulkley é apropriado para descrever o comportamento não-newtoniano de vários alimentos fluidos. Uma importante característica deste modelo é a presença de uma tensão de cisalhamento crítica (STEFFE, 1996), que o distingue do modelo lei da potência. A representação matemática desse modelo é mostrada na equação 6:

$$\tau = \tau_o + k\gamma^n \quad (6)$$

onde:

τ - tensão de cisalhamento

τ_o - tensão de cisalhamento crítica

γ - taxa de deformação

k - índice de consistência

n - índice de comportamento

A tabela 1.1 mostra os parâmetros dos três modelos discutidos anteriormente para alguns alimentos.

Tabela 1.1 - Modelos Lei da Potência, Fluido de Bingham e Herschel-Bulkley (adaptado de STEFFE, 1996).

Modelos	Parâmetros			Exemplos
	k	n	τ_0	
Newtoniano	> 0	1	0	Água, suco de fruta, leite, mel
Pseudoplástico	> 0	$0 < n < 1$	0	Purê de banana, suco de fruta concentrado
Dilatante	> 0	$1 < n < \infty$	0	Alguns tipos de mel
Fluido de Bingham	> 0	1	> 0	Pasta de tomate
Herschel-Bulkley	> 0	$0 < n < \infty$	> 0	Pasta de uva passa, pasta de peixe picado

O modelo de Casson é bastante similar ao modelo de Plástico de Bingham, pois ambos apresentam uma tensão de cisalhamento inicial. No entanto, os valores dos parâmetros do fluido são diferentes, dependendo dos limites dos dados da análise matemática. É um modelo bastante utilizado para descrever o comportamento do chocolate (STEFFE, 1996). O modelo de Casson é apresentado através da equação 7.

$$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + k(\gamma)^{0,5} \quad (7)$$

onde:

τ - tensão de cisalhamento

τ_0 - tensão de cisalhamento inicial

γ - taxa de deformação

k - índice de consistência

Steffe (1996) relaciona outros modelos utilizados para descrever o comportamento de fluidos independentes do tempo (tabela 1.2).

Tabela 1.2 - Modelos reológicos para fluidos independentes do tempo (adaptado de STEFFE, 1996).

Modelo	Equação
Casson Modificado (Mizrahi e Berk, 1972)	$\tau^{0,5} = \tau_o^{0,5} + k_1 (\gamma)^{n_1}$
Ellis (Ellis, 1927)	$\gamma = k_1 \sigma + k_2 (\sigma)^{n_1}$
Herschel-Bulkley Generalizado (Ofoli et al., 1987)	$\sigma^{n_1} = (\sigma_o)^{n_1} + k_1 (\gamma)^{n_2}$
Cross (Cross, 1965)	$\eta = \eta_\infty + \frac{\eta_o - \eta_\infty}{1 + k_1 (\gamma)^n}$

1.2.3 Medidas Reológicas

O viscosímetro (ou reômetro) é uma ferramenta essencial para a realização de estudos reológicos envolvendo alimentos. Esse equipamento permite medir as tensões de cisalhamento de um fluido ao longo das taxas de deformação aplicadas. Viscosímetros capilares, reômetros rotacionais e reômetros oscilatórios, entre outros, são utilizados para obtenção dos dados reológicos.

O reômetro capilar possui um arranjo bastante simples e de fácil operação. O fluido escoar no interior de um tubo de seção circular, devido à diferença entre as pressões de entrada e saída do mesmo, que podem ser geradas pela gravidade ou outros meios mecânicos. Com os dados da geometria do reômetro e dos ensaios experimentais, é possível determinar a viscosidade do fluido. O reômetro do tipo Cannon-Fenske é bastante utilizado para determinar a viscosidade aparente em fluidos não-newtonianos e a viscosidade de fluidos newtonianos (MENDONÇA, 2002). A figura 1.3 ilustra um reômetro capilar.



Figura 1.3 - Reômetro capilar (HAAKE, 2005).

O reômetro rotacional determina a viscosidade através da medição do torque necessário para girar um corpo submerso em um fluido, a uma velocidade constante. Assim, tem-se que o torque é proporcional à viscosidade. Esse reômetro pode apresentar os corpos rotacionais com diferentes geometrias: cilindros, cone e placa, placas planas paralelas, entre outras. A figura 1.4 apresenta uma ilustração de um reômetro rotacional.



Figura 1.4 - Reômetro rotacional (HAAKE, 2005).

Quando comparado com os reômetros capilares, os rotacionais apresentam as seguintes vantagens: requerem pequena quantidade de amostra, fornecem uma medida contínua da relação taxa de deformação e tensão de cisalhamento e uma ampla faixa da taxa de deformação, favorecendo a análise do comportamento dependente do tempo.

O reômetro rotacional de cilindros concêntricos é projetado para causar o cisalhamento no fluido localizado entre os dois cilindros concêntricos, sendo que um gira e o outro permanece estacionário. A velocidade de rotação é mantida constante, a uma determinada taxa de deformação. Assim, a tensão de cisalhamento é obtida através da medida do torque no cilindro de medida.

O reômetro rotacional de placas paralelas é constituído de duas placas paralelas em forma de disco, com uma certa distância entre elas. Com a variação da distância entre as placas, obtêm-se diferentes faixas de taxa de deformação. Portanto, quanto menor à distância entre as placas e maior o diâmetro delas, maiores taxas de deformação são obtidas.

O reômetro rotacional de cone e placa é recomendado para condições de baixas taxas de cisalhamento. O arranjo desse reômetro é composto de uma placa plana horizontal e um cone invertido, cujo vértice situa-se muito próximo à placa (MENDONÇA, 2002).

1.2.4 Estudos Reológicos de Sorvetes

Alguns trabalhos abordando reologia de sorvetes estão em andamento, e a maioria deles trata os resultados de reologia de sorvetes como aspecto qualitativo, como complemento de estudos envolvendo análise sensorial (textura, principalmente) e vida de prateleira.

A literatura relata poucos estudos com objetivo de caracterização reológica e obtenção dos seus parâmetros. A aplicação dos modelos reológicos para sorvetes também não tem sido discutida.

Aime et al (2001) realizaram análises sensoriais e instrumentais de viscosidade e textura em quatro sorvetes de creme com diferentes percentuais de gordura. Foram utilizados sorvetes de creme: com quantidade regular de gordura (10%), sorvete *light* (5%), sorvete com baixa quantidade de gordura (2,5%) e sorvete sem gordura (0,4%). Um viscosímetro rotacional (Bohlin VOR Rheometer) foi utilizado para a análise instrumental da viscosidade dos diferentes sorvetes. Os ensaios reológicos foram realizados a uma temperatura constante de 30°C, para obtenção dos dados reológicos. A viscosidade aparente, índice de comportamento e índice de consistência das amostras foram calculados a partir do ajuste dos dados reológicos ao modelo Lei da Potência. Os autores obtiveram índices de comportamento menores que um para as suas amostras, variando de 0,370 a 0,661, caracterizando comportamento pseudoplástico.

Smith, Bakshi & Lomauro (1984) apud Aime et al (2001), avaliando o comportamento reológico de uma mistura de sorvete contendo 10% de gordura láctea, 37,3% de sólidos totais e 0,3% de estabilizantes, encontraram, também, comportamento não-newtoniano. O índice de comportamento (n) das amostras variou de 0,48 a 0,55, caracterizando comportamento pseudoplástico. Os ensaios reológicos dos autores foram realizados a uma temperatura constante de 2°C.

Kaya & Tekin (2001) estudaram o efeito de diferentes concentrações de um estabilizante natural na reologia de duas misturas de sorvete típicas da Turquia. Sendo uma das misturas preparadas à base de leite e a outra a base de água. Os ensaios reológicos foram realizados em um viscosímetro Brookfield nas temperaturas de 10°C, 20°C, 30°C, 40°C e 50°C. As medidas reológicas foram ajustadas ao modelo empírico da Lei da Potência para obtenção dos parâmetros reológicos. Os autores encontraram comportamento pseudoplásticos para a maioria de suas amostras, nas diferentes temperaturas utilizadas. O índice de comportamento das diferentes misturas de sorvete a base de leite variou de 0,77 a 0,96, ao longo das diferentes temperaturas. Nas diferentes misturas de sorvetes a base de água, o índice de comportamento variou de 0,85 a 1,01, nas diversas temperaturas de ensaio.

Kaya & Tekin (2001) citam em seu trabalho que Goff & Davidson (1994), ao pesquisarem sobre a reologia de sorvetes, encontraram valores de índice de comportamento em torno de 0,7. Cotrell et al (1980) também citado por Kaya & Tekin (2001), ao estudarem o efeito de estabilizantes no comportamento reológico de sorvete, encontraram valores de índice de comportamento na faixa de 0,98 a 0,68, para sorvetes com estabilizante goma guar, e 0,88 a 0,48 para sorvetes com estabilizante goma locusta.

Nenhum estudo envolvendo outras formulações de sorvetes foi encontrado. Apenas foram publicados trabalhos de misturas de sorvetes a base de leite e água. Contudo, a

maioria deles, foi apresentada com sabor de creme. Também não foram encontrados estudos de outros modelos reológicos aplicados a sorvetes. Todos os trabalhos encontrados utilizaram o modelo Lei da Potência para a caracterização do comportamento reológico dos sorvetes.

MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Amostra

As amostras de sorvetes foram fornecidas pela empresa Amoratto Sorvetes Artesanais, localizada na cidade de Florianópolis, estado de Santa Catarina, no sul do Brasil.

Os diferentes tipos de sorvetes utilizados para os ensaios reológicos e de textura foram: Linha Base Leite, Linha *Light*, Linha Base Água, Linha *Frozen* e Linha *Soya*. Uma amostra foi escolhida para representar cada um dos diferentes tipos. As amostras representativas e a respectiva linha estão descritas na tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Amostras representativas.

Amostra Representante	Linha
Sorvete de Creme de Baunilha	Base Leite
Sorvete de Creme de Baunilha <i>Light</i>	<i>Light</i>
Sorvete de Limão	Base Água
Sorvete de Soja de Banana	<i>Soya</i>
Sorvete de Iogurte com Amarela	<i>Frozen</i>

A composição de cada uma das amostras (porção de 100g) está apresentada na tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Informação nutricional das amostras (quantidade por porção 100g).

Informação Nutricional**	Amostras				
	Creme	Creme Light	Limão	Soja Banana	Iogurte
Valor Calórico (kcal)	166	63	90	132	130
Carboidratos (g)	22	8	16	31	23
Proteínas (g)	4	4	0	4	4
Gorduras Totais (g)	7	0	3	2	2
Gorduras Saturadas (g)	3	0	1	0	2
Colesterol (mg)	15	0	0	0	5
Fibra Alimentar (g)	0	0	0	ND*	0
Cálcio (mg)	118	143	120	16	143
Sódio (mg)	53	60	< 25	ND*	60

* ND = Não Determinado

** Fonte: Amoratto Sorvetes Artesanais

As amostras utilizadas nos ensaios de textura e de reologia eram provenientes do mesmo lote e foram armazenadas na temperatura de -22°C.

2.2 Processo de Obtenção do Sorvete

A figura 2.1 apresenta um fluxograma das etapas do processo de fabricação utilizado na produção dos sorvetes.

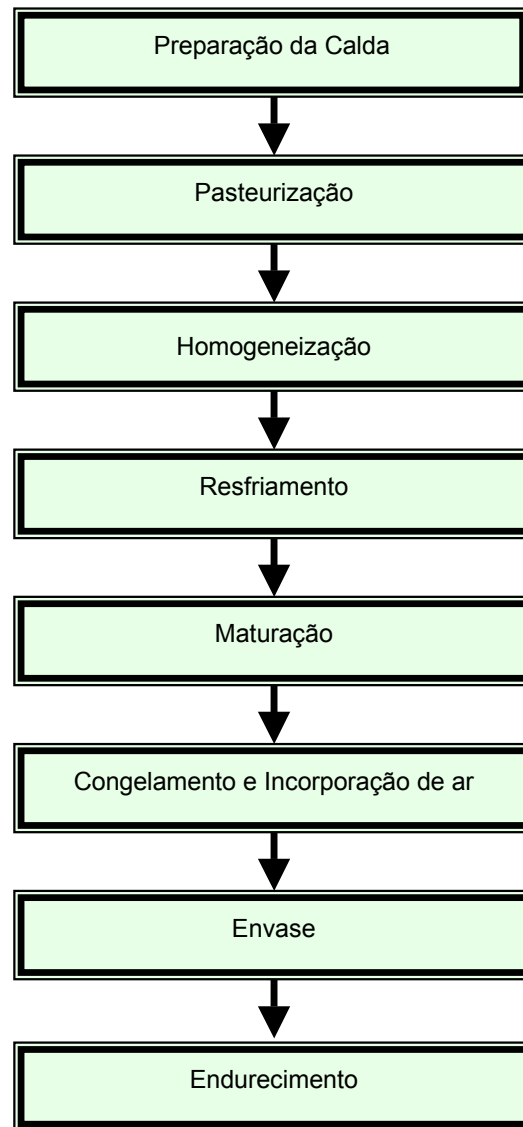


Figura 2.1 - Fluxograma do processo fabricação do sorvete.

Preparação da calda: Os ingredientes foram adicionados no pasteurizador durante o processo de aquecimento, sob agitação contínua.

Pasteurização: A calda foi pasteurizada a 80°C por 25s.

Homogeneização: A calda pasteurizada foi homogeneizada por aproximadamente 30 minutos, a uma temperatura de 80°C. A pressão utilizada variou conforme o tipo de sorvete.

Para os sorvetes de creme, creme *light* e iogurte a pressão de homogeneização foi, respectivamente, 100kgf/cm², 80kgf/cm², 100kgf/cm². A pressão utilizada na homogeneização dos sorvetes de soja banana e limão oscilou entre 40 e 100kgf/cm², devido a um problema de ajuste no equipamento.

Resfriamento: A calda pasteurizada e homogeneizada foi resfriada até aproximadamente 7°C, num trocador de calor a placas.

Maturação: A calda resfriada foi transferida para as tinas de maturação, onde permaneceu sob agitação lenta, a uma temperatura de 4°C, por um tempo mínimo de 2 horas. De acordo com cada tipo de sorvete, foi feita a adição de suco de fruta e/ou saborizante.

Congelamento e Incorporação de Ar: A calda maturada foi batida e congelada em um processo contínuo, a temperatura de -8°C. A incorporação de ar (*overrun*) do sorvete, ocasionada pelo batimento, variou dependendo do tipo de sorvete. Nesta etapa, cerca de 50% da água foi congelada.

Envase: Na saída da produtora, o sorvete foi acondicionado em embalagens plásticas de polipropileno injetado com capacidade de 2L, com exceção do sorvete de soja banana, que foi embalado em potes plásticos com capacidade de 1L.

Endurecimento: O sorvete envasado foi levado para uma câmara frigorífica, com temperatura de -22°C, onde continuou o seu processo de congelamento. Com o endurecimento, cerca de 90% da água foi congelada.

2.3 Caracterização Reológica do Sorvete

2.3.1 Descrição do Equipamento

O comportamento reológico das amostras foi determinado utilizando um viscosímetro rotacional (Thermohaake, modelo VT550), com geometria de cilindros concêntricos (MV/MV1), disponível no Laboratório de Materiais, da Universidade Federal de Santa Catarina.

O viscosímetro possui um banho termostático que permite o controle da temperatura da amostra durante o ensaio. Os ensaios para as medidas reológicas foram realizados a -2°C , 0°C e 2°C . Para o abaixamento da temperatura, adicionou-se etilenoglicol na água de refrigeração contida no banho termostático.

O viscosímetro possui um software (Haake Rheowin 3) embutido no sistema de aquisição de dados, que fornece diretamente os valores de taxa de deformação e tensão de cisalhamento e permite a escolha de alguns modelos teóricos para o ajuste dos dados.

2.3.2 Medidas reológicas

Para determinação das taxas de tensão e deformação o cilindro interno foi acoplado ao equipamento e a amostra foi adicionada ao cilindro externo, conectado ao equipamento, após a estabilização da temperatura desejada. O cilindro externo foi totalmente preenchido com a amostra de sorvete.

As medidas reológicas foram obtidas variando a taxa de deformação de 0,02 a 50s^{-1} (curva ascendente) e de 50 a $0,02\text{s}^{-1}$ (curva descendente), com um tempo total de ensaio

de 4min, com a tomada de 60 pontos para cada curva. Assim, obteve-se o reograma de cada amostra.

Os modelos testados pelo software do viscosímetro foram: Bingham, Casson, Herschel-Bulkley e Lei da Potência. Porém, para obtenção dos parâmetros reológicos e para a determinação do seu comportamento, utilizou-se o modelo Lei da Potência, que tem sido extensivamente utilizado nas análises teóricas e na prática de cálculos de engenharia.

2.4 Análise Instrumental da Textura

2.4.1 Descrição do Equipamento

As análises de textura foram obtidas através de um texturômetro modelo TA-XT2i, Syable Micro System, conforme figura 2.2, disponível no Laboratório de Propriedades Físicas de Alimentos, da Universidade Federal de Santa Catarina. Uma *probe* de aço inoxidável, simulando uma colher, foi utilizada para medir a resistência das amostras frente ao processo de raspagem. A *probe* possui dimensões iguais a 12cm de comprimento, por 30cm de largura.



Figura 2.2 - Texturômetro utilizado.

2.4.2 Medidas de textura

As medidas foram realizadas com amostras em cubos de (10x10x5)cm (altura, comprimento, espessura). Os cubos foram envolvidos em papel laminado e armazenados em freezer comum, na temperatura de -18°C até o momento das análises.

A *probe* foi posicionada no centro geométrico da amostra, conforme pode ser visualizado na figura 2.3. A textura das amostras foi medida com uma velocidade de penetração de 2mm/s, distância de penetração de 30mm e num tempo total de ensaio de 30s. A determinação da textura foi realizada em triplicata para cada tipo de sorvete. A mesma velocidade foi utilizada por Aime et al (2001) para avaliação de textura de sorvetes, com diferentes concentrações de gordura.

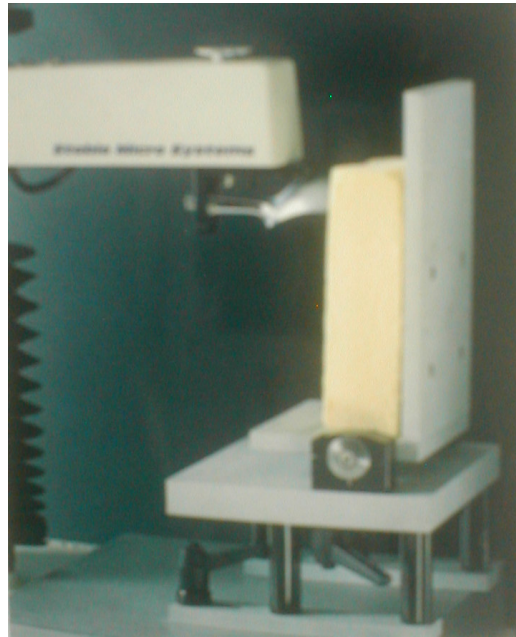


Figura 2.3 - Posição da *probe* na amostra.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Medidas Reológicas

O comportamento reológico de cada amostra de sorvete pode ser observado através dos reogramas, que relacionam a tensão de cisalhamento com a taxa de deformação.

Os reogramas dos diferentes tipos de sorvete estudados estão apresentados nas figuras 3.1, 3.2 e 3.3, na temperaturas -2°C , 0°C e de 2°C , respectivamente. Nos reogramas são apresentadas as curvas ascendente e descendente de cada uma das amostras, sendo possível avaliar o efeito de histerese.

Os reogramas mostram que todas as amostras apresentaram uma relação não linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação nas temperaturas de -2°C , 0°C e 2°C . Portanto, seu comportamento é caracterizado como não-newtoniano.

De acordo com a figura 3.1, na temperatura de -2°C , observa-se que a amostra de limão, comparada com as demais, obteve maior tensão de cisalhamento, seguida da amostra de creme *light*. Este comportamento pode ser explicado pelo fato de ambas as amostras apresentarem maior fração de água e menor quantidade de gordura e, conseqüentemente, menor cremosidade. As amostras de soja banana e de iogurte apresentaram menor tensão de cisalhamento e com comportamento similar (figura 3.1), sendo influenciado possivelmente pela consistência cremosa em ambas as amostras. A amostra de creme apresentou um efeito de histerese (área entre a curva ascendente e descendente), possivelmente pelo fato de apresentar maior quantidade de gordura.

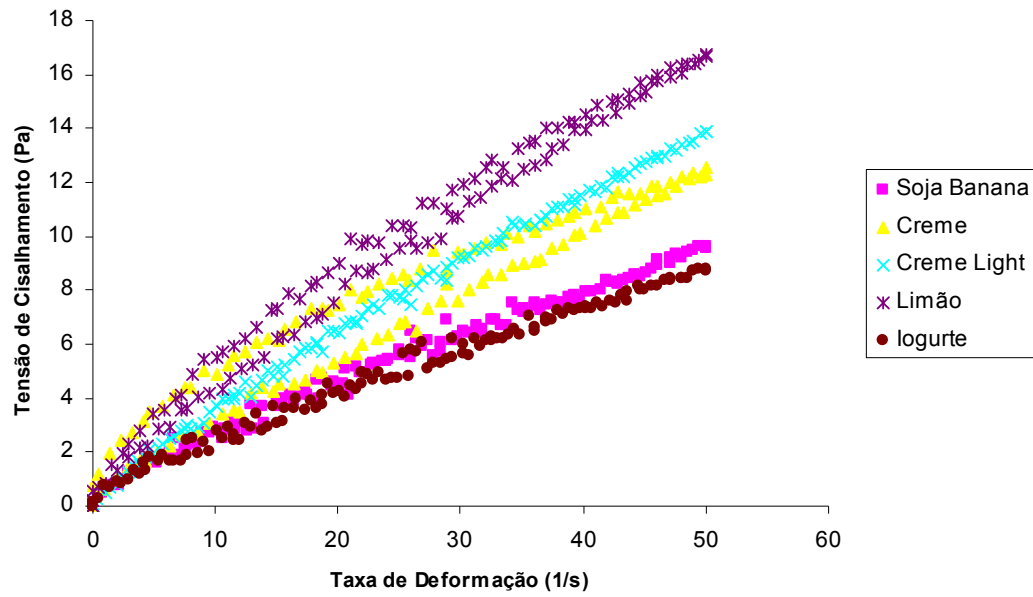


Figura 3.1 - Reograma das amostras dos diferentes tipos de sorvetes na temperatura de -2°C .

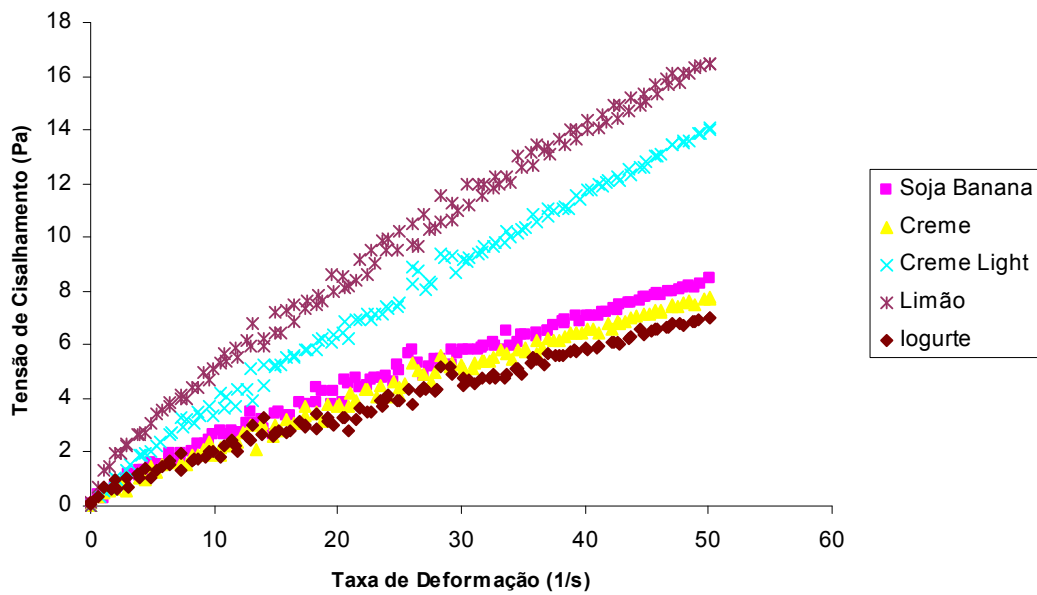


Figura 3.2 - Reograma das amostras dos diferentes tipos de sorvetes na temperatura de 0°C .

Na temperatura de 0°C, novamente as amostras de limão e creme *light* apresentaram os maiores valores de tensão de cisalhamento, como pode ser visto na figura 3.2. Sendo que os valores obtidos nessa temperatura foram bastante próximos aos obtidos a -2°C. Diante o exposto, esse comportamento mostra que essa variação de temperatura (de -2°C a 0°C) não é o fator principal que influencia o comportamento reológico das amostras de sorvete.

As amostras de soja banana, creme e iogurte obtiveram valores de tensão de cisalhamento próximos entre si e menores do que as amostras de creme *light* e limão. Porém, nessa temperatura (0°C), os valores de tensão de cisalhamento foram menores do que aqueles obtidos a -2°C.

Todas as amostras não apresentaram efeito de histerese na temperatura de 0°C. É praticamente inexistente a área entre a curva ascendente e descendente para cada uma das amostras.

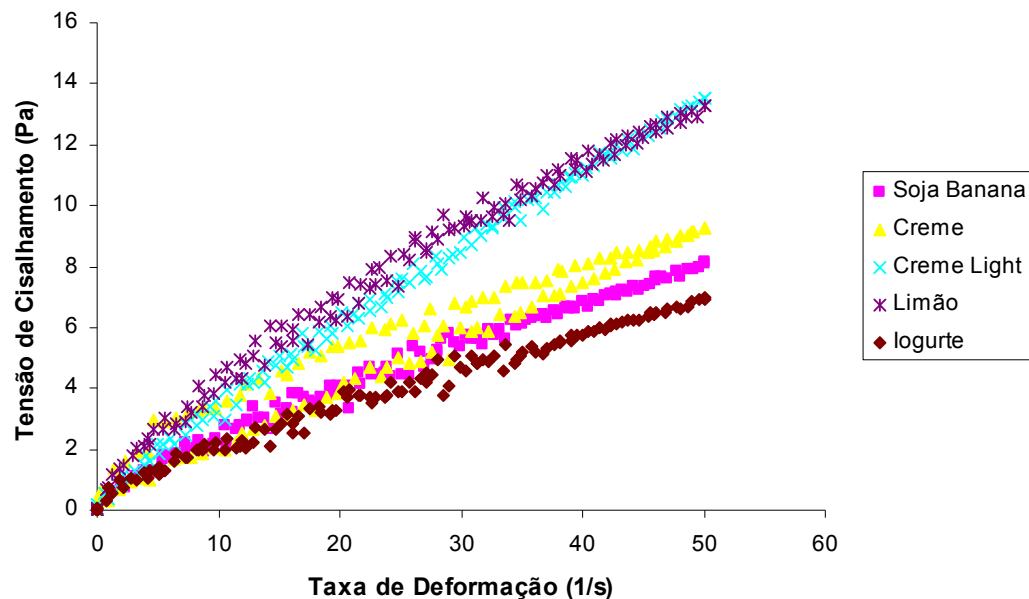


Figura 3.3 - Reograma das amostras dos diferentes tipos de sorvetes na temperatura de 2°C.

A figura 3.3 mostra que o comportamento das amostras de sorvete ao longo das taxas de deformação foi semelhante àquele obtido nas temperaturas de -2°C e 0°C . Novamente, as amostras que apresentaram maiores valores de tensão de cisalhamento foram a de limão e creme *light*. Com isso, a diferença no comportamento entre as duas amostras é, visualmente, quase nula.

As amostras de creme, soja banana e iogurte apresentaram novamente os menores valores de tensão de cisalhamento.

O comportamento da viscosidade em função da taxa de deformação das amostras a temperatura de -2°C , 0°C e 2°C estão apresentados nas figuras 3.4, 3.5 e 3.6, respectivamente.

Observa-se através das figuras que a viscosidade de todas as amostras diminuiu com as taxas de deformação. Sendo que, as amostras de creme *light* e limão apresentaram as maiores viscosidades nas três temperaturas (-2°C , 0°C e 2°C) e as amostras de iogurte, soja banana e creme apresentaram as menores viscosidades.

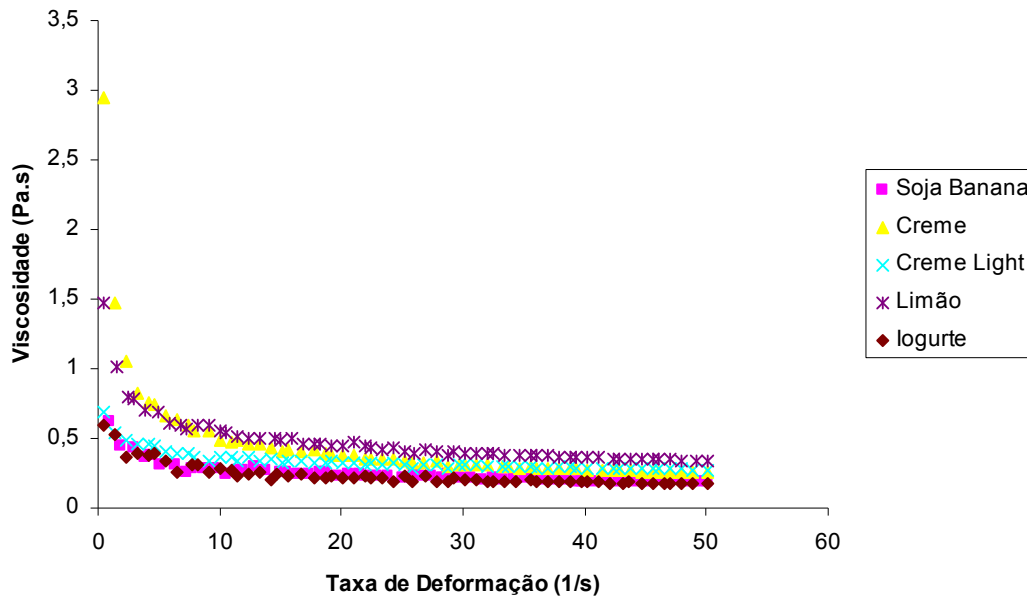


Figura 3.4 - Viscosidade x Taxa de Deformação das amostras dos diferentes tipos de sorvetes na temperatura de -2°C.

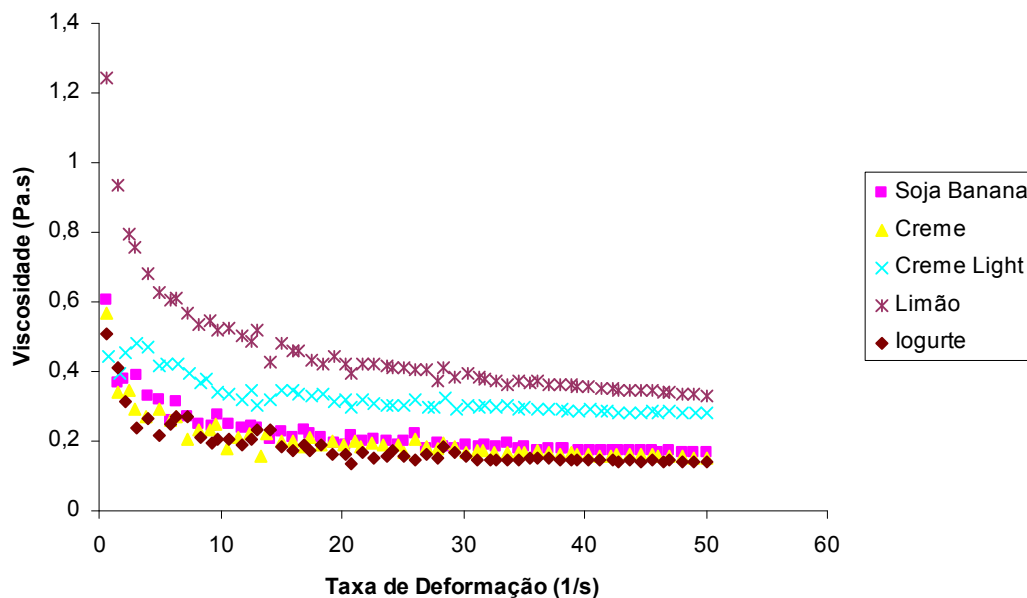


Figura 3.5 - Viscosidade x Taxa de Deformação das amostras dos diferentes tipos de sorvetes na temperatura de 0°C.

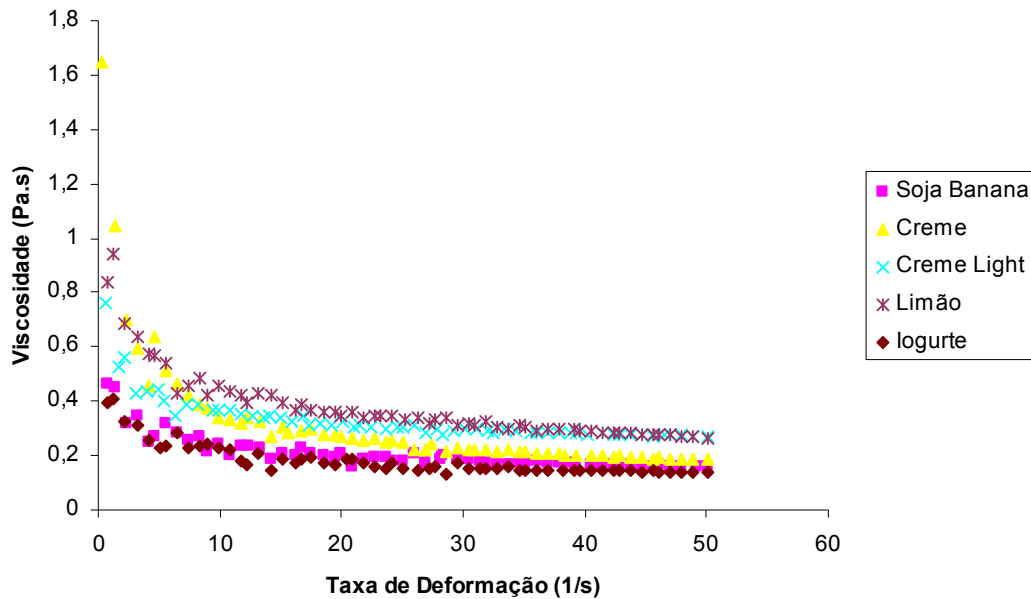


Figura 3.6 - Viscosidade x Taxa de Deformação das amostras dos diferentes tipos de sorvetes na temperatura de 2°C.

O comportamento da viscosidade em função da taxa de deformação mostrado graficamente, reforça a análise realizada para os reogramas de cada amostra, nas três temperaturas de estudo.

A análise global dos reogramas e dos gráficos de viscosidade em função da taxa de deformação realizada anteriormente não permite caracterizar completamente o comportamento reológico de cada uma das amostras. É necessário obter os parâmetros reológicos para descrever a reologia das amostras.

Para caracterização do comportamento reológico das amostras quatro diferentes modelos foram testados: Bingham, Casson, Herschel-Bulkley e Lei da Potência, pelo software acoplado ao sistema de aquisição de dados do viscosímetro.

Para algumas amostras, o software não permitiu o ajuste do modelo Lei da Potência. Então, a partir dos dados de taxa de deformação e tensão de cisalhamento,

fornecidos pelo viscosímetro, utilizou-se o recurso do *excell* para ajustar os dados experimentais ao modelo da Lei da Potência.

O modelo Lei da Potência foi escolhido para caracterização reológica e obtenção dos parâmetros K e n , pois tem sido extensivamente utilizado nas análises teóricas e na prática de cálculos de engenharia.

A tabela 3.1 mostra os valores dos parâmetros reológicos obtidos para cada amostra, em cada uma das temperaturas estudadas, através do ajuste do modelo Lei da Potência.

Os valores do coeficiente de correlação r demonstram que o modelo Lei da Potência foi adequado para o ajuste dos dados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação dos diferentes tipos de sorvete, nas três temperaturas ensaiadas. De um modo geral, os sorvetes apresentaram valores de coeficiente de correlação r iguais a 0,99. Com exceção da amostra de iogurte, na temperatura de 2°C, que apresentou o coeficiente r igual a 0,9896.

As propriedades reológicas da maioria dos sorvetes têm sido descritas como pseudoplásticas (COTREL, PASS & PHILLIPS, 1980; GOFF & DAVIDSON, 1992, apud AIME et al, 2001). Como esperado, os diferentes tipos de sorvete avaliados apresentaram comportamento não-newtoniano nas três temperaturas de estudo. Os índices de comportamento (n) obtidos variaram de 0,5530 (menor valor) a 0,8239 (maior). Foram menores que a unidade, portanto, as amostras estudadas podem ser caracterizadas como pseudoplásticas. Ou seja, a viscosidade diminui ao longo da taxa de deformação.

Tabela 3.1 - Parâmetros reológicos do modelo Lei da Potência das diferentes amostras nas temperaturas de -2°C, 0°C e 2°C.

Amostra	Parâmetros	Temperaturas (°C)		
		-2	0	2
Creme	<i>K</i>	1,1678	1,5376	0,9942
	<i>n</i>	0,5530	0,7777	0,5663
	<i>r</i>	0,9985	0,9927	0,9913
Creme <i>Light</i>	<i>K</i>	0,7716	0,7696	0,7683
	<i>n</i>	0,8238	0,8239	0,8193
	<i>r</i>	0,9988	0,9974	0,9987
Limão	<i>K</i>	1,0320	0,9993	0,9436
	<i>n</i>	0,7054	0,7196	0,7003
	<i>r</i>	0,9989	0,9987	0,9977
Soja Banana	<i>K</i>	0,7393	0,7195	0,6819
	<i>n</i>	0,7454	0,7321	0,7543
	<i>r</i>	0,9930	0,9956	0,9924
Iogurte	<i>K</i>	0,7615	0,6469	0,6665
	<i>n</i>	0,7087	0,7491	0,7271
	<i>r</i>	0,9930	0,9993	0,9896

As amostras de creme *light*, limão e soja banana apresentaram pequena variação no valor de *n*, ao longo das diferentes temperaturas. Para as amostras de creme e iogurte houve uma variação um pouco maior no valor do índice de comportamento do escoamento (*n*) ao longo das temperaturas. No entanto, os valores dos índices de comportamento do escoamento (*n*) das amostras nas três temperaturas (-2°C, 0°C e 2°C) mostram que não houve mudança no comportamento reológico. Todas as amostras apresentaram comportamento pseudoplástico nas temperaturas avaliadas.

A tabela 3.2 apresenta os valores do coeficiente de correlação r dos demais modelos que o software permitiu ajustar, para cada uma das amostras, nas distintas temperaturas.

Tabela 3.2 - Valores dos coeficientes de correlação r dos modelos de Bingham, Casson e Herschel-Bulkley das diferentes amostras nas temperaturas de -2°C , 0°C e 2°C .

Amostra	Modelos	Temperaturas ($^{\circ}\text{C}$)		
		-2	0	2
Creme	Bingham	0,9836	0,9915	0,9850
	Herschel-Bulkley	0,9988	0,9959	0,9968
	Casson	0,9960	0,9949	0,9951
Creme <i>Light</i>	Bingham	0,9974	0,9978	0,9978
	Herschel-Bulkley	-	0,9990	0,9993
	Casson	0,9990	0,9989	0,9991
Limão	Bingham	0,9913	0,9931	0,9903
	Herschel-Bulkley	0,9992	0,9990	0,9988
	Casson	0,9974	0,9979	0,9967
Soja Banana	Bingham	0,9952	0,9936	0,9925
	Herschel-Bulkley	0,9971	0,9973	0,9960
	Casson	0,9971	0,9969	0,9955
Iogurte	Bingham	0,9927	0,9906	0,9904
	Herschel-Bulkley	0,9965	0,9934	0,9938
	Casson	0,9962	0,9933	0,9936

Os parâmetros reológicos obtidos com o ajuste dos dados aos modelos de Bingham, Casson e Herschel-Bulkley estão apresentados na tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Parâmetros reológicos dos modelos de Bingham, Casson e Herschel-Bulkley das diferentes amostras nas temperaturas de -2°C, 0°C e 2°C.

Amostra	Temperatura (°C)	Parâmetros dos Modelos				
		Bingham		Casson	Herschel-Bulkley	
		τ_0 (Pa)	η_{pl} (Pa.s)	τ_0 (Pa)	τ_0 (Pa)	n
Creme	-2°C	2,7490	0,2097	1,3580	-0,05138	0,6917
	0°C	0,6982	0,1472	0,1975	-0,0273	0,7620
	2°C	1,8270	0,1575	0,8516	0,3823	0,6289
Creme Light	-2°C	0,8558	0,2686	0,1819	-	-
	0°C	0,7520	0,2715	0,1382	0,1033	0,8694
	2°C	0,9099	0,2591	0,1978	0,1948	0,8517
Limão	-2°C	2,135	0,3118	0,7612	-0,0514	0,6917
	0°C	1,8970	0,3110	0,6249	0,03385	0,7250
	2°C	1,7340	0,2484	0,6258	-0,1092	0,6798
Soja Banana	-2°C	0,8281	0,1785	0,2171	0,2422	0,8289
	0°C	0,8323	0,1564	0,2472	0,1190	0,7759
	2°C	0,7523	0,1506	0,2143	0,0842	0,7813
Iogurte	-2°C	0,9386	0,1625	0,2927	0,1874	0,7734
	0°C	0,6975	0,1294	0,2048	0,1859	0,8001
	2°C	0,7160	0,1279	0,2172	0,1434	0,7798

Os resultados encontrados neste trabalho estão de acordo com estudos realizados por outros autores.

Kaya & Tekin (2001), avaliando o efeito de diferentes concentrações de um estabilizante natural na reologia de sorvetes, encontraram também comportamento pseudoplástico para as suas amostras. O índice de comportamento do escoamento (n) obtido variou de 0,77 a 0,96 para amostras de sorvetes de base leite, nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50°C. Os mesmos autores citam no seu trabalho que Goff & Davidson (1994), ao

pesquisarem sobre a reologia de sorvetes, encontraram valores de índice de comportamento do escoamento em torno de 0,7. Cotrell et al (1980) também citado por Kaya & Tekin (2001), ao estudarem o efeito de estabilizantes no comportamento reológico de sorvete, encontraram valores de índice de comportamento do escoamento na faixa de 0,98-0,68, usando como estabilizante a goma guar, e 0,88-0,48 para o estabilizante goma locusta.

Aime et al (2001), ao avaliarem o comportamento reológico de sorvetes de creme com diferentes quantidades de gordura, encontraram valor de n iguais a: 0,661 (sorvete com 0,4% de gordura); 0,430 (sorvete com 2,5% de gordura); 0,370 (sorvete com 5% de gordura) e 0,433 (sorvete com 10% de gordura). A temperatura utilizada pelos autores nos ensaios reológicos foi de 30°C. Os mesmos autores citam em seu trabalho que, Smith, Bakshi & Lomauro (1984) encontraram valores de n entre 0,48 a 0,55.

3.2 Análise Instrumental de Textura

A textura do sorvete depende de fatores como: estado de agregação dos glóbulos de gordura, da quantidade de ar incorporado, do tamanho e da quantidade dos cristais de gelo formados, etc. (Kaya & Tekin, 2000), ou seja, está relacionada com a sua estrutura (Aime et al, 2001). Em outras palavras, pode-se dizer que a textura é um parâmetro relacionado com a consistência e a dureza do sorvete, tendo como consequência, o seu derretimento.

Os resultados obtidos com o texturômetro mostram a resistência de cada amostra de sorvete frente ao processo de raspagem, simulando a colher utilizada pelo consumidor, além da ação de derretimento na boca.

A tabela 3.4 apresenta os valores médios obtidos com a análise instrumental da textura e a incorporação de ar, dos diferentes tipos de sorvetes.

Tabela 3.4 - Valores médios de textura e o *overrun* dos diferentes tipos de sorvetes.

Amostra	Textura* (N)	Overrun** (%)
Creme	24,04 ± 6,42	80
Creme <i>light</i>	34,38 ± 1,74	100
Soja Banana	11,70 ± 3,15	80
Limão	31,97 ± 5,22	80
Iogurte	32,41 ± 9,57	70

* Textura ± erro padrão

**Overrun = [(volume do produto – volume da mistura) / (volume da mistura) x 100%]

Fonte: Amoratto Sorvetes Artesanais

A amostra de creme *light*, comparada com as demais, apresentou a maior resistência ao processo de raspagem da *probe*, portanto, com consistência mais ‘dura’, seguida pela amostra de iogurte e de limão. Enquanto que, a amostra de soja banana apresentou a menor resistência ao processo de raspagem da *probe*, seguida pela amostra de creme. Esses resultados mostram que as diferentes bases, utilizadas na fabricação dos sorvetes em estudo, formam estruturas variadas e que, conseqüentemente, influenciam a textura do produto. Porém, para melhor explicar as estruturas formadas com as diferentes bases e por sua vez a influência na textura, seria necessário realizar a microscopia das amostras de sorvetes.

Aime et al (2001) obtiveram valores de textura iguais a 90,8N e 80,8N para um sorvete de creme, com quantidade regular de gordura e um sorvete de creme *light*. Os autores utilizaram uma *probe* cilíndrica e durante a penetração da *probe* no sorvete, o pote plástico contendo a amostra de sorvete permanecia em uma caixa com gelo, que controlava a temperatura. Essas diferenças podem ser a explicação dos resultados encontrados pelos

autores citados, e que são superiores aos resultados das amostras de creme e creme *light* obtidas neste trabalho.

Não foram encontrados na literatura dados de análise instrumental de textura de sorvetes produzidos com base de soja, água e iogurte para serem comparados com os resultados obtidos neste trabalho.

O ar incorporado propicia ao sorvete uma textura leve e influencia as propriedades físicas de derretimento e dureza. Todavia, não é apenas a quantidade de ar incorporado (*overrun*), mas também a distribuição e o tamanho das células de ar que influenciam essas propriedades (SOFJAN & HARTEL, 2004). A ausência da microscopia dos sorvetes estudados nesse trabalho limita a discussão dos resultados obtidos.

CONCLUSÕES

Finalmente, o estudo realizado permite concluir que:

✓ As diferentes amostras avaliadas neste trabalho apresentaram comportamento não-newtoniano, nas temperaturas de -2°C , 0°C e 2°C .

✓ Os modelos reológicos de Bingham, Casson, Herschel-Bulkley e Lei da Potência, utilizados para o ajuste dos dados experimentais, mostram-se adequados, com coeficientes de correlação superiores a 0,98 para todas as amostras, nas três diferentes temperaturas de ensaio.

✓ Os parâmetros reológicos foram obtidos a partir do modelo Lei da Potência, pois é o modelo que tem sido utilizado para a caracterização de sorvetes. As amostras apresentaram valores de índice de comportamento (n) inferiores a um, caracterizando comportamento pseudoplástico, sendo que a viscosidade das amostras diminuiu ao longo das taxas de deformação aplicadas.

SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS

De acordo com os resultados obtidos nesse estudo, são sugeridos alguns temas de trabalhos a serem realizados futuramente:

- ✓ Análise de microscopia, para melhor compreender a estrutura das diferentes bases utilizadas na produção de sorvetes e a influência no comportamento reológico e na textura;

- ✓ Análise sensorial de textura dos diferentes sorvetes, para comparação com os dados obtidos com a avaliação instrumental da textura;

- ✓ Ensaios reológicos em outras temperaturas, para verificar o comportamento reológico dos sorvetes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

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.

AMIOT, J. **Ciencia y tecnologia de la leche**. Zaragoza: Acribia, 1991. 547 p.

ARBUCKLE, W.S. **Ice cream**. 3. ed. USA: AVI Publishing Company, 1977. 517p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS INDÚSTRIAS DE SORVETES. Disponível em: <<http://www.abis.com.br>>. Acesso em: 05 setembro 2005.

BHATTACHARYA, S.N. **Rheology: fundamentals and measurements**. Australia: Royal Melbourne Institute of Technology. 1997.

BORSZCZ, V. **Implantação do sistema APPCC para sorvetes: aplicação na empresa Kimyto**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

BRASIL. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Portaria nº 379, de 26 de abril de 1999. Aprova o regulamento técnico referente a gelados comestíveis, preparados, pós para o preparo e bases para gelados comestíveis. Disponível em: <<http://www.anvisa.org.br>>. Acesso em: 20 junho 2005.

CENZANO, I.; MADRID, A. **Tecnologia de la elaboración de los helados**. Madrid (España). 1995. 376p.

COGNÉ, C.; ANDRIEU, J.; LAURENT, P. BESSON, A.; NOCQUET, J. **Experimental data and modeling of thermal properties of ice creams**. Journal of Food Engineering, v. 58, p. 331-341, 2003.

DUAS RODAS INDUSTRIAL. Disponível em: <<http://www.duasrodas.com.br>>. Acesso em: 04 novembro 2005.

EARLY, R. **Tecnologia de los productos lácteos**. Zaragoza: Acribia, 2000. 459p.

EISNER, M.D.; WILDMOSER, H.; WINDHAB, E.J. Air cell microstructuring in a high viscous ice cream matrix. **Colloids and Surfaces**, v. 263, p. 390-399, 2005.

FENNEMA, O.R. **Química de los alimentos**. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 2000. 1258p.

GRANGER, C.; LEGER, A.; BAREY, P.; LANGENDORFF, V.; CANSELL, M. **Influence of formulation on the structural networks in ice cream**. International Dairy Journal, Article in press, 2004.

HAAKE. Disponível em: <<http://www.thermo.com>>. Acesso em: 12 novembro 2005.

HOLDSWORTH, S.D. **Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behaviour of fluid food products**. Journal of Texture Studies, v. 2, n. 4, 1971.

KAYA, S.; TEKIN, A.R. **The effect of salep content on the rheological characteristics of a typical ice-cream mix**. Journal of Food Engineering, v. 47, p. 59-62, 2001.

LEWIS, M.J. **Propiedades físicas dos alimentos y de los sistemas de procesado**. 1 ed. Ed. Acribia: Zaragoza, 1993.

MACOSCO, C.W. **Rheology: principles, measurements and applications**. VCH Publishers, 1994.

MENDONÇA, E. **Estudo do comportamento reológico de iogurtes comerciais**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2002.

LEITE BRASIL. Disponível em: <<http://www.leitebrasil.org.br>> . Acesso em: 20 junho 2005.

OLIVEIRA, M.C.L. **Avaliação sensorial e caracterização química de queijo fresco cremoso obtido por ultrafiltração de leite fermentado e de bebida láctea elaborada a partir do permeado**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2004.

ROBINS, M.; WATSON, A.D.; WILDE, P.J. **Emulsions – creaming and rheology**. Current Opinion in Colloid & Interface Science, v. 7, p. 419-425, 2002.

ROBINSON, R.K. **Microbiologia lactologica**. v. 2. Zaragoza: Acribia, 1987. 298p.

SGARBIERI, V.C. **Proteínas em alimentos protéicos: propriedades, degradação e modificações**. São Paulo: Varela, 1996. 517p.

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.

SORVETE. Disponível em: <<http://www.sorvete.com.br>>. Acesso em: 15 outubro 2005.

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

STEFFE, J.F. **Rheological methods in food process engineering**. 2. ed. Freeman Press, 1996. 412p.

STOKES, J.R.; TELFORD, J.H. **Measuring the yield behaviour of structured fluids**. Journal of Non-Newtonian Fluid Mechanics, v. 124, p. 137-146, 2004.

SWAMI, S.B.; DAS, S.K.; MAITI, B. **Effect of water and air content on the rheological properties of black gram batter**. Journal of Food Engineering, v. 65, p. 189-196, 2004.

TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CÁNOVAS, G.V. **Rheology for the food industry**. Journal of Food Engineering, v. 67, p. 147-156, 2005.

VASQUES, C.T. **Reologia do suco de goiaba: efeito da diluição e do tamanho de partícula**. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2003.

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.

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

WILDMOSER, H.; SCHEIWILLER, J.; WINDHAB, E.J. **Impact of disperse microstructure on rheology and quality aspects of ice cream**. Society of Food Science and Technology, v. 37, p. 881-891, 2004.