

Pedro Henrique Santos

**INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DA CONCENTRAÇÃO
DE SÓLIDOS SOLÚVEIS NO COMPORTAMENTO
REOLÓGICO DE POLPAS DE JAMBO-VERMELHO COM
CASCA, CUPUAÇU E SUAS MISTURAS.**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Ribeiro de Souza.

Coorientador: Prof. Dr. Antônio Manoel da Cruz Rodrigues.

Florianópolis
2013

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor através do
Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Santos, Pedro Henrique

Influência da temperatura e da concentração de sólidos solúveis no comportamento reológico de polpas de jambo-vermelho com casca, cupuaçu e suas misturas / Pedro Henrique Santos ; orientador, José Antonio Ribeiro de Souza ; co-orientador, Antônio Manoel da Cruz Rodrigues. - Florianópolis, SC, 2013.
120 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos.

Inclui referências

1. Engenharia de Alimentos. 2. Reologia. 3. Polpas de Frutas. 4. Jambo-vermelho. 5. Cupuaçu. I. Souza, José Antonio Ribeiro de. II. Rodrigues, Antônio Manoel da Cruz. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. IV. Título.

**“INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA E DA
CONCENTRAÇÃO DE SÓLIDOS SOLÚVEIS NO
COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE POLPAS DE
JAMBO-VERMELHO COM CASCA, CUPUAÇU E
SUAS MISTURAS”**

Por

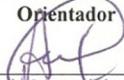
Pedro Henrique Santos

Dissertação julgada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia 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.



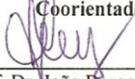
Prof. Dr. José Antonio Ribeiro de Souza

Orientador



Prof. Dr. Antônio Manoel da Cruz Rodrigues

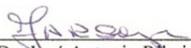
Coorientador



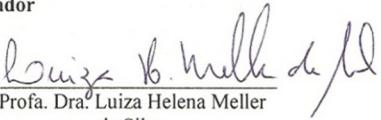
Prof. Dr. João Borges Laurindo

Coordenador

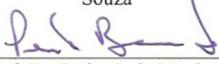
Banca Examinadora:



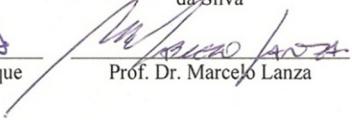
Prof. Dr. José Antonio Ribeiro de Souza



Profa. Dra. Luiza Helena Meller da Silva



Prof. Dr. Pedro Luiz Manique Barreto



Prof. Dr. Marcelo Lanza

Florianópolis, 26 de abril de 2013.

Este trabalho é dedicado a Deus e a Paulo Fernando e Marinalva, meus pais.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Jesus Cristo, de quem recebo a verdadeira paz, sabedoria e amor incondicional; Ele é o principal responsável pela realização deste trabalho.

Aos meus pais, Paulo Fernando e Marinalva, minhas fontes de inspiração, por seu grandioso amor e incentivos, em todos os momentos.

Ao meu orientador, prof. Dr. José Antonio, por sua confiança e serenidade e ao meu coorientador, prof. Dr. Antônio Rodrigues, por todas as sugestões, críticas e apoio.

À professora Dra. Luiza Meller, por seu intermédio fundamental na concretização do intercâmbio UFSC-UFPA e uma das responsáveis diretas pelo desenvolvimento deste trabalho.

Ao companheiro de jornada, MSc. Diego Aires, por ter me suportado por quase 4 meses em Belém-PA.

Aos amigos do Laboratório de Medidas Físicas dos Alimentos (LAMEFI) e do Laboratório de Fontes Amiláceas e Produtos Açucarados (LAFAMI) da Universidade Federal do Pará, por todo o suporte no trabalho e também, pelos momentos de descontração, almoços na Geociência, sorvetes de tapioca, sem contar os Boulevards e Pátios dos finais de semana. Vocês são incríveis!

Aos parceiros da UFSC, em especial, Daniela, Jean, Gláucia, Juliano, Stéphanie, Glenise, Rossana, Lenilton e Fernanda. As horas de estudos na BU valeram a pena, meus amigos.

Ao grande parceiro dos tempos de UDESC, Msc. Daniel Longhi, pelo companheirismo.

A MSc. Iasnaia Tavares, por todos os incentivos e dicas.

A todos que, direta ou indiretamente, tornaram este sonho, uma realidade.

“Disciplina é a ponte que liga nossos sonhos às
nossas realizações.”

Pat Tillman

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento reológico das polpas naturais de jambo-vermelho com casca, cupuaçu e suas misturas. Precedendo-se às análises reológicas, uma parcela das amostras naturais de polpas de jambo-vermelho e cupuaçu foram diluídas em 20, 30 e 40 (g de água/100 gramas de produto), obtendo por fim, amostras de jambo-vermelho com (5,8; 5,1 e 4,4 °Brix) e amostras de cupuaçu com (12; 10,16 e 9,4 °Brix). As misturas entre as polpas naturais de jambo-vermelho e cupuaçu foram analisadas nas proporções de 25, 50 e 75 (% de polpa de jambo-vermelho). A caracterização reológica de todas as amostras se deu em reômetro Brookfield, com geometria de cilindros concêntricos e a manutenção das temperaturas de análise (10, 30, 50 e 70 °C) foi efetuada através de um banho termostático (LAUDA 3200) adaptado ao sistema. Os resultados obtidos através dos reogramas atestam que todas as amostras se comportaram como um fluido não-newtoniano, com características pseudoplásticas. Quatro modelos reológicos foram testados: Lei da potência, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Sisko. Todos os modelos se ajustaram com satisfatória correlação aos dados reológicos, apresentando elevados valores para o fator R^2 e baixos valores para o fator χ^2 . Os resultados obtidos para o índice de comportamento do fluido (n) se encontraram abaixo da unidade para todas as amostras, comprovando a pseudoplasticidade das polpas. A equação de Arrhenius foi aplicada às amostras a fim de avaliar o efeito da temperatura sobre a viscosidade das mesmas. Observou-se que, quanto mais diluída a amostra se encontrava, maior era o valor da energia de ativação, logo, mais a sua viscosidade aparente era afetada por mudanças de temperatura. A influência da concentração de sólidos solúveis foi avaliada através da aplicação da equação Exponencial aos dados das diferentes amostras. Observou-se que para a polpa de jambo-vermelho, a temperatura mais afetada por mudanças na concentração de sólidos solúveis foi a de 70°C. Para o cupuaçu, a temperatura mais sensível foi a de 50 °C, muito provavelmente devido a um efeito de gelatinização ocorrido na polpa de cupuaçu à temperatura de 70 °C, não alterando sua viscosidade de modo significativo.

Palavras-chave: Reologia; polpas de frutas; jambo-vermelho; cupuaçu.

ABSTRACT

The aim of this research was to evaluate the rheological behavior of malay apple pulp with skin at original and different concentrations of soluble solids, cupuaçu pulp at original and different concentrations of soluble solids and blends of both original pulps. Preceding the rheological tests, some original pulp dilutions were also obtained with distilled water, adding 20, 30 and 40 (g of water/100 g of product), obtaining diluted malay apple pulp samples with (5,8; 5,1 and 4,4 °Brix), diluted cupuaçu samples with (12; 10,16 and 9,4 °Brix) and blends of both original pulps in 25, 50 and 75 (% of malay apple pulp). The rheological behavior of all samples were carried out in a Brookfield rheometer with concentric cylinders geometry and the temperature maintenance was accomplished by a thermostatic bath (LAUDA 3200) linked to the system. The results obtained at the rheograms testify that all the samples showed a non-newtonian flow with pseudoplastic characteristics. Four rheological models were tested: Power law, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk and Sisko. All the models were well adjusted to the rheological data, with high correlation indexes (R^2) and low chi-squared values (χ^2). The results obtained for flow behavior indexes (n) were above the unit for all samples, confirming what was previously observed by the rheograms. The Arrhenius equation was applied to the samples aiming for evaluating the temperature effect on the samples viscosities. It was noticed that, the more diluted the sample, the more was the value found for activation energy and then, the more its apparent viscosity was affected for temperature changes. The soluble solids influences were evaluated by the Exponential equation applied to the different temperatures. It was noticed that, for malay apple pulp, the most affected temperature for soluble solids changes was 70 °C one. For cupuaçu, the most sensible temperature was 50 °C, probably due to a gelatinization effect occurred on cupuaçu pulp at 70 °C, not changing its viscosity significantly.

Keywords: Rheology; fruit pulps; malay apple; cupuaçu.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Cupuaçuzeiro	28
Figura 2.2 - Formatos do cupuaçu.....	29
Figura 2.3 - Cupuaçu	30
Figura 2.4 - Flor do jambeiro	32
Figura 2.6 - Jambo-vermelho	
Figura 2.7 - Deformação de uma barra devido à tensão de cisalhamento.....	38
Figura 2.8 - Modelo de deformação de um líquido sob tensão de cisalhamento.....	40
Figura 2.9 - Classificação reológica dos fluidos.....	42
Figura 2.10 - Dispersões estagnadas e fluindo através de um tubo.	43
Figura 2.11 - Curva de fluxo para fluidos pseudoplásticos.	44
Figura 2.12 - Curvas de fluxo ascendentes e descendentes para fluidos que apresentam independência do tempo.	46
Figura 2.13 - Interações de partículas em um fluido tixotrópico.	48
Figura 2.14 - Curva de tixotropia e reopexia.....	50
Figura 2.15 - Comportamento de um material viscoelástico.	51
Figura 2.16 - Reômetro com sistema Searle e geometria de Cilindros Concêntricos.	53
Figura 2.17 - Reômetro com sistema Searle e geometria Cone-Placa...	54
Figura 2.18 - Reômetro com sistema Searle e geometria de placas paralelas.....	54
Figura 3.1 - Fluxograma de obtenção da polpa natural de jambo-vermelho com casca.	63
Figura 3.2 - Fluxograma de obtenção da polpa natural de cupuaçu.	64
Figura 4.1 - Curvas de fluxo das amostras de polpa natural de jambo-vermelho (a), diluição 20% (b), diluição 30% (c) e diluição 40% (d), nas temperaturas de 10 (■), 30 (●), 50 (▲) e 70°C (◆)	73
Figura 4.2 - Linearização da equação de Arrhenius para as amostras de polpa de jambo-vermelho com casca a 7,8 (■), 5,8 (●), 5,1 (▲) e 4,4°Brix (◆).	78
Figura 4.3 - Linearização da equação Exponencial para as amostras de polpa de jambo-vermelho com casca e suas diluições a 10 (■), 30 (●), 50 (▲) e 70°C (◆).	81
Figura 4.4 - Curvas de fluxo das amostras de polpa natural de cupuaçu (a), diluição 20% (b), diluição 30% (c) e diluição 40% (d), nas temperaturas de 10 (■), 30 (●), 50 (▲) e 70°C (◆).....	83

Figura 4.5 - Linearização da equação de Arrhenius para as amostras de polpa de cupuaçu a 14,16 (■), 12 (●), 10,16 (▲) e 9,4°Brix (◆).....	91
Figura 4.6 - Linearização da equação Exponencial para as amostras de polpa de cupuaçu e suas diluições a 10 (■), 30 (●), 50 (▲) e 70°C (◆).....	93
Figura 4.7 - Curvas de fluxo das misturas com 25% de jambo e 75% de cupuaçu (a), 50% de jambo e 50% de cupuaçu (b), 75% de jambo e 25% de cupuaçu (c), nas temperaturas de 10 (■), 30 (●), 50 (▲) e 70°C (◆).....	95
Figura 4.8 - Curvas de viscosidade das misturas com 25% de jambo e 75% de cupuaçu (a), 50% de jambo e 50% de cupuaçu (b), 75% de jambo e 25% de cupuaçu (c), nas temperaturas de 10 (■), 30 (●), 50 (▲) e 70°C (◆).....	96
Figura 4.9 - Linearização da equação de Arrhenius para a amostra de polpa natural de cupuaçu (■), amostra com 25% de jambo e 75% de cupuaçu (●), amostra com 50% de jambo e 50% de cupuaçu (▲), amostra com 75% de jambo e 25% de cupuaçu (◆) e amostra de polpa natural de jambo-vermelho com casca.	101
Figura A.1 - Curvas de viscosidade das amostras de polpa natural de jambo-vermelho (a), diluição 20% (b), diluição 30% (c) e diluição 40% (d), nas temperaturas de 10 (■), 30 (●), 50 (▲) e 70°C (◆).....	119
Figura A.2 - Curvas de viscosidade das amostras de polpa natural de cupuaçu (a), diluição 20% (b), diluição 30% (c) e diluição 40% (d), nas temperaturas de 10 (■), 30 (●), 50 (▲) e 70°C (◆).....	120

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Taxas de deformação comumente utilizadas em alimentos: processos caseiros e industriais.....	41
Tabela 4.1 - Características físico-químicas da polpa natural de jambo vermelho com casca.	69
Tabela 4.2 - Características físico-químicas da polpa natural de cupuaçu.	70
Tabela 4.3 - Parâmetros do modelo Lei da potência ajustados aos dados experimentais da amostra de polpa natural de jambo-vermelho com casca (7,8°Brix).	74
Tabela 4.4 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley ajustados aos dados experimentais da amostra de polpa natural de jambo-vermelho com casca (7,8°Brix).	74
Tabela 4.5 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk ajustados aos dados experimentais da amostra de polpa natural de jambo-vermelho com casca (7,8°Brix).	74
Tabela 4.6 - Parâmetros do modelo de Sisko ajustados aos dados experimentais da amostra de polpa natural de jambo-vermelho com casca (7,8°Brix).	75
Tabela 4.7 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk, ajustados aos dados experimentais das amostras de polpas diluídas de jambo-vermelho com casca.	76
Tabela 4.8 - Parâmetros da equação linearizada de Arrhenius para polpa natural de jambo-vermelho com casca e suas diluições.	77
Tabela 4.9 - Parâmetros da equação Exponencial para as amostras de polpa de jambo-vermelho com casca em diferentes temperaturas....	80
Tabela 4.10 - Parâmetros do modelo Lei da potência ajustados aos dados experimentais da amostra de polpa natural de cupuaçu (14,16°Brix).	86
Tabela 4.11 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley ajustados aos dados experimentais da amostra de polpa natural de cupuaçu (14,16°Brix).	87
Tabela 4.12 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk ajustados aos dados experimentais da amostra de polpa natural de cupuaçu (14,16°Brix).	87
Tabela 4.13 - Parâmetros do modelo de Sisko ajustados aos dados experimentais da amostra de polpa natural de cupuaçu (14,16°Brix). ...	87
Tabela 4.14 - Parâmetros do modelo de Sisko, ajustados aos dados experimentais das amostras de polpas diluídas de cupuaçu.	88

Tabela 4.15 - Parâmetros da equação linearizada de Arrhenius para polpa natural de cupuaçu e suas diluições.....	90
Tabela 4.16 - Parâmetros da equação Exponencial para as amostras de polpa de cupuaçu em diferentes temperaturas.....	92
Tabela 4.17 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley, ajustados aos dados experimentais das amostras de polpas naturais de jambo-vermelho com casca, cupuaçu e suas misturas.....	98
Tabela 4.18 - Viscosidade aparente das amostras de polpas naturais de jambo-vermelho com casca, cupuaçu e suas misturas, a 100 e 200 s ⁻¹	99
Tabela 4.19 - Parâmetros da equação linearizada de Arrhenius para polpas naturais de jambo-vermelho com casca, cupuaçu e suas misturas.....	100
Tabela A.1 - Viscosidade aparente das amostras de polpas naturais de jambo-vermelho e suas diluições.	117
Tabela A.2 - Viscosidade aparente das amostras de polpas naturais de cupuaçu e suas diluições.....	118

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

- F = força (N)
A = área (m²)
 τ = tensão de cisalhamento (N/m² ou Pa)
dL = variação de comprimento (m)
dh = variação de altura (m)
 γ = deformação (adimensional)
G = módulo de Young (N/m²)
dt = variação de tempo (s)
dv = variação de velocidade (m/s)
 $\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s⁻¹)
 η = viscosidade (Pa.s)
CR = *controlled stress* (taxa de deformação controlada)
R_C = raio externo do cone
 α = ângulo do cone
R_T = raio do truncamento
a = altura da ponta removida
R1: raio da placa
h1 = distância entre as placas
K = índice de consistência do modelo Lei da potência (Pa.sⁿ)
n = índice de comportamento do fluido do modelo Lei da potência (adimensional)
 τ_{ohb} = tensão crítica de cisalhamento do modelo de Herschel-Bulkley (Pa)
K_{hb} = índice de consistência do modelo de Herschel-Bulkley (Pa.sⁿ)
n_{hb} = índice de comportamento do fluido do modelo de Herschel-Bulkley (adimensional)
K_{omb} = tensão crítica de cisalhamento do modelo de Mizrahi-Berk (Pa.s)²
K_{mb} = índice de consistência do modelo de Mizrahi-Berk (Pa.sⁿ)²
n_{mb} = índice de comportamento do fluido do modelo de Mizrahi-Berk (adimensional)
 η_{aps} = viscosidade aparente do modelo de Sisko (Pa.s)
n_{eos} = viscosidade infinita do modelo de Sisko (Pa.s)
K_S = índice de consistência do modelo de Sisko (Pa.sⁿ)
n_S = índice de comportamento do fluido do modelo de Sisko (adimensional).
 μ_{ap} = viscosidade aparente (Pa.s)
A_A = constante da equação de Arrhenius (Pa.s)
E_a = energia de ativação (kJ/mol)
R = constante dos gases ideais (0,008314 kJ/mol.K)
T = temperatura (K ou °C)
C = concentração de sólidos solúveis (°Brix)
A₀ = constante da equação Exponencial (Pa.s)
A₁ = constante da equação Exponencial (° Brix⁻¹)

R^2 = índice de correlação

χ^2 = índice qui-quadrado

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	23
1.1 OBJETIVOS	24
1.1.1 Objetivo geral.....	24
1.1.2 Objetivos específicos	24
1.1.3 Justificativas.....	25
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	27
2.1 FRUTAS DA AMAZÔNIA.....	27
2.1.1 Cupuaçu.....	27
2.1.1.1 Aspectos botânicos.....	27
2.1.1.2 Fruto.....	29
2.1.2 Jambo-vermelho.....	30
2.1.2.1 Aspectos botânicos.....	31
2.1.2.2 Fruto.....	33
2.2 DIFERENÇAS ENTRE POLPA E SUCO DE FRUTAS E SUCO DE FRUTAS TROPICAIS	35
2.3 ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS.....	36
2.4 REOLOGIA	37
2.4.1 Tensão de cisalhamento e taxa de deformação.....	38
2.4.2 Classificação reológica dos fluidos.....	41
2.4.2.1 Fluidos newtonianos	42
2.4.2.2 Fluidos não-newtonianos (independentes do tempo)	42
2.4.2.2.1 <i>Fluidos pseudoplásticos</i>	43
2.4.2.2.2 <i>Fluidos dilatantes</i>	45
2.4.2.2.3 <i>Plásticos de Bingham</i>	45
2.4.2.2.4 <i>Fluidos pseudoplásticos (com tensão crítica de cisalhamento)</i>	45
2.4.2.3 Fluidos não-newtonianos (dependentes do tempo)	47
2.4.2.3.1 <i>Fluidos tixotrópicos</i>	47
2.4.2.3.2 <i>Fluidos reopéticos</i>	49
2.4.2.4 Fluidos viscoelásticos	50
2.4.3 Sistemas de medida.....	51
2.4.3.1 Reômetros capilares.....	51
2.4.3.2 Reômetros rotacionais.....	52
2.4.3.2.1 <i>Cilindros concêntricos ou coaxiais (reômetro tipo Searle)</i>	52
2.4.3.2.2 <i>Cone – placa (reômetro tipo Searle)</i>	53
2.4.3.2.3 <i>Placas paralelas (reômetro tipo Searle)</i>	54
2.4.4 Modelos reológicos.....	55
2.4.4.1 Modelo de Ostwald-de Waele ou Lei da Potência	55
2.4.4.2 Modelo de Herschel-Bulkley	56
2.4.4.2 Modelo de Mizrahi-Berk.....	56
2.4.4.3 Modelo de Sisko	57
2.4.5 Estudos sobre a reologia de polpas de fruta	58
2.4.6 Influência da temperatura e da concentração de sólidos no comportamento reológico.....	59

2.4.6.1	Temperatura.....	59
2.4.6.2	Concentração	60
2.4.6.3	Estudos sobre a influência da temperatura e da concentração na reologia de polpas e sucos de fruta	60
3	MATERIAL E MÉTODOS	63
3.1	AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DA MATÉRIA-PRIMA	63
3.1.1	Polpa de jambo-vermelho com casca (amostra natural e diluições)...	63
3.1.2	Polpa de cupuaçu (amostra natural e diluições).....	64
3.1.3	Misturas entre polpas de jambo-vermelho com casca e cupuaçu.	65
3.2	ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS	65
3.3	ANÁLISES REOLÓGICAS	65
3.3.1	Reometria	65
3.3.2	Modelagem	66
3.3.2.1	Efeito da temperatura e concentração no comportamento reológico	66
3.3.2.2	Parâmetros Estatísticos	67
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	69
4.1	CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS	69
4.1.1	Polpa de jambo-vermelho com casca	69
4.1.2	Polpa de cupuaçu	70
4.2	CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS.....	72
4.2.1	Polpa de jambo-vermelho com casca	72
4.2.1.1	Reogramas e modelagem	72
4.2.1.2	Influência da temperatura no comportamento reológico.....	76
4.2.1.3	Influência da concentração no comportamento reológico.....	79
4.2.2	Polpa de Cupuaçu	83
4.2.2.1	Reogramas e modelagem	83
4.2.2.2	Influência da temperatura no comportamento reológico.....	88
4.2.2.3	Influência da concentração de sólidos solúveis	91
4.2.3	Mistura entre polpas de jambo-vermelho com casca e cupuaçu.....	94
4.2.3.1	Reogramas e modelagem	94
4.2.3.2	Influência da temperatura no comportamento reológico.....	99
5	CONCLUSÕES.....	103
	REFERÊNCIAS	105
	APÊNDICE A	117

1 INTRODUÇÃO

Com uma extensão territorial de 8.512.965 km² o Brasil produz 43 milhões de toneladas de frutas tropicais, subtropicais e de clima temperado, proporcionando ao país uma grande diversidade de frutas o ano inteiro, muitas delas exclusivas da região. Devido a estas características naturais o Brasil se destaca internacionalmente como grande supridor de frutas frescas e processadas (IBRAF, 2009). Dentre essas regiões, uma que merece destaque é a região Norte.

O jambeiro é uma árvore disseminada por quase todo o território brasileiro, em virtude de sua fácil adaptação ao clima e ao solo. Não medra nas regiões frias e nas semiáridas (CARDOSO, 1994). Estudos vêm sendo realizados com base na coloração vermelho-brilhante de sua casca, visando à produção de corantes para indústrias, bem como elementos de caráter funcional como antioxidantes (AUGUSTA et al., 2010). Ainda assim, o fruto carece de pesquisas relacionadas à sua industrialização. Por esta razão, o jambo, embora abundante em certas regiões, não é utilizado, a não ser para consumo *in natura* nas regiões produtoras (CARDOSO, 2008).

A fruticultura regional nortista tem no cupuaçuzeiro uma das frutas mais populares da Amazônia. A polpa é muito apreciada para preparo de sucos, doces, compotas, bolos, tortas, cremes e outros. As sementes são utilizadas na fabricação de chocolate em pó e tabletes e na indústria de cosméticos. Nas demais regiões do Brasil, durante os últimos anos, o interesse pela polpa congelada do cupuaçu tem crescido de forma significativa, especialmente para a fabricação de sucos e gelados. Por outro lado, a exportação de polpa congelada para o mercado externo ainda é baixa. Porém, campanhas de divulgação do produto têm sido desenvolvidas, objetivando-se aumentar a participação nesse mercado externo. (GONDIM et al., 2001).

Apesar do avanço em pesquisas relacionadas às frutas tropicais nos últimos anos, ainda são poucos os estudos acerca do comportamento reológico desses produtos.

A inexistência de dados reológicos sobre frutas tropicais na literatura tem levado a indústria nacional a utilizar no processo de fabricação destes sucos condições semelhante às aplicadas na produção de suco de laranja. Mas por terem propriedades diferentes, os resultados não atingem o mesmo nível de qualidade (HAMINIUK, 2005).

Esta escassez de estudos enfraquece o potencial brasileiro de suprimento de frutas e processados de frutas como sucos, purês, sorvetes e geleias (CABRAL; QUEIROZ; FIGUEIRÊDO, 2002).

O conhecimento do comportamento reológico de sucos de frutas é fundamental em engenharia de processos e equipamentos. A definição de modelos adequados à descrição do escoamento é necessária ao projeto de tubulações e de bombas e aos sistemas de agitação e de mistura. Durante o processamento, armazenamento, comercialização e consumo, alimentos fluidos apresentam diferentes concentrações e estão sujeitos a diversas temperaturas. De forma complementar, o efeito da temperatura e da concentração sobre o comportamento reológico precisa ser conhecido para o entendimento e dimensionamento de operações unitárias tais como tratamento térmico e concentração (SILVA; GUIMARÃES; GASPARETTO, 2005).

As características físico-químicas também representam o grau qualitativo do fruto e conseqüentemente afetam o comportamento reológico da polpa sob diferentes temperaturas e concentrações. Portanto, o conhecimento das características físico-químicas torna-se fundamental em toda a análise reológica.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Obter dados reológicos e avaliar a aplicabilidade de modelos reológicos aos dados obtidos com as amostras naturais de polpa de jambo-vermelho com casca e suas diluições, polpa de cupuaçu e suas diluições e misturas entre polpas naturais de jambo-vermelho com casca e cupuaçu.

1.1.2 Objetivos específicos

- Obter as características físico-químicas das polpas naturais de jambo-vermelho com casca e cupuaçu;
- Obter reogramas relativos às amostras de polpas naturais de jambo-vermelho com casca e cupuaçu, bem como suas diluições e misturas;
- Avaliar a aplicabilidade de modelos reológicos aos dados obtidos com as amostras de polpas naturais de jambo-vermelho com casca e cupuaçu, bem como suas diluições e misturas;
- Analisar a influência da temperatura e da concentração de sólidos solúveis nas amostras através das equações de Arrhenius e Exponencial, respectivamente.

1.1.3 Justificativas

Segundo Araújo (2009), o jambo-vermelho possui características organolépticas bastante apreciáveis, no entanto, o fruto possui baixo valor comercial, sendo subutilizado na sua forma *in natura*. Com isso, a caracterização físico-química e reológica de jambo-vermelho é uma alternativa viável, pois:

- A fruta é nativa da região amazônica;
- Fruta com elevada apreciação organoléptica pela população local;
- A fruta é termorresistente, pois pode ser industrializada sob uma alta variação de temperatura, possibilitando processamento em sorvetes, sucos e geleias;
- Alternativa de produção sazonal;
- Escassez de pesquisas relacionadas ao Jambo-vermelho.

A polpa de cupuaçu tem sido amplamente utilizada e comercializada em todo o Brasil e exterior, não apenas para a produção de alimentos como sucos, sorvetes, cremes, balas, entre outros, mas também, como matéria-prima na produção de cosméticos. Alguns dados relevantes:

- Devido à alta acidez, o fruto não é consumido *in natura*, apenas em sua forma processada;
- O fruto não é homogêneo, principalmente devido à sua elevada fração fibrosa;
- Por se tratar de um fruto não-climatérico, o produto só poderá ser colhido após cair naturalmente da árvore, evitando maturação incompleta do fruto.

Misturas entre polpas de fruta têm sido uma alternativa viável para indústrias de bebidas que apresentam disponibilidade de matéria-prima e buscam aliar melhoria no rendimento com a devida potencialização em características funcionais das frutas em conjunto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FRUTAS DA AMAZÔNIA

As frutas, como é notório, constituem uma das mais ricas fontes de elementos nutritivos para a alimentação humana, razão porque seu estudo, sob qualquer prisma, sempre é oportuno (CAVALCANTE, 1972).

A flora amazônica, apesar de considerada a mais rica do mundo, permanece ainda à espera de maiores investigações que permitam um conhecimento mais preciso de seus inúmeros produtos e respectivo aproveitamento.

2.1.1 Cupuaçu

O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum) é uma das frutas amazônicas mais importantes, sendo o estado do Pará o principal produtor, seguido pelo Amazonas, Rondônia, Acre, norte do Maranhão e Tocantins. (FERREIRA, 2008).

Os plantios de cupuaçu têm crescido em muitas áreas da Amazônia brasileira devido ao aumento da demanda pela polpa que vem sendo exportada, principalmente na forma congelada, para estados do sudeste do Brasil e para países europeus (FERREIRA, 2008). De acordo com Matos (2007), a produção brasileira de polpa de cupuaçu é estimada entre 12.000 t e 15.000 t/ano, sendo que mais de 80% é oriunda de pomares comerciais.

Além do seu aroma, o que faz do cupuaçu uma fruta diferente das outras frutas nativas da região amazônica é o seu excelente rendimento industrial. Muitas iguarias são obtidas através da polpa de cupuaçu, bem como sua casca pode ser reaproveitada em diversos segmentos (VRIESMANN, 2009).

2.1.1.1 Aspectos botânicos

- Família: Sterculiaceae;
- Nome científico: *Theobroma grandiflorum* Schum;
- Nome comum: cupuaçu, cupu, pupu, pupuaçu;
- O nome vem da aglutinação de duas palavras da língua Tupi, “kopu” e “uasu” que significam, respectivamente, cacau grande (GONDIM et al., 2001)

O cupuaçuzeiro (Figura 2.1) possui de 4 a 8 m de altura, com copa chegando a 7 m de diâmetro, em andares, porém nas condições de bosque tropical úmido atinge até 20 m de altura e 45 cm de diâmetro de caule à altura do peito nos indivíduos silvestres de mata alta (GONDIM et al., 2001).

Figura 2.1 - Cupuaçuzeiro



Fonte: Viva Terra (2012)

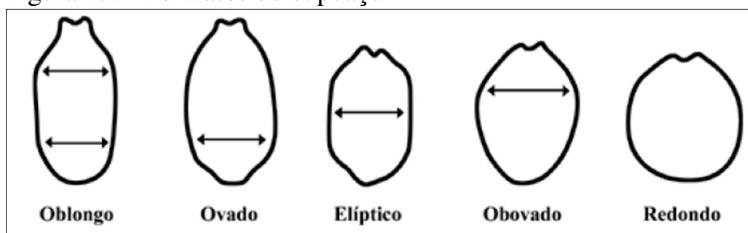
As condições climáticas favoráveis ao cultivo do cupuaçuzeiro são muito variáveis. Essa frutífera desenvolve-se melhor em regiões de clima sub-úmido ou com elevada umidade, com chuvas anuais bem distribuídas e superiores a 1800 mm e temperatura média anual acima de 22°C (MATOS, 2007).

2.1.1.2 Fruto

O fruto, o maior dentre os do gênero *Theobroma*, o mesmo gênero do cacau, tem as características de drupa e baga, apresentando-se de forma alongada e com as extremidades arredondadas, classificando-se em diferentes formatos (GONDIM et al., 2001)

O fruto pode ser classificado em 5 diferentes tipos, em relação à sua forma (Figura 2.2): ovado, oblongo, obovado, elíptico e redondo (MATOS et al., 2008).

Figura 2.2 - Formatos do cupuaçu



Fonte: Matos et al. (2008).

De forma geral, o fruto possui de 12 a 25 cm de comprimento e de 10 a 12 cm de diâmetro, pesando até 1,5 kg; casca dura, lenhosa, porém facilmente quebrável; mesocarpo branco-amarelado, de 4 a 5 mm de espessura; polpa comestível, amarelada ou branca, como observado através da Figura 2.3. Sua polpa possui sabor ácido e cheiro forte, agradáveis. O fruto apresenta até 50 sementes. As sementes do cupuaçu apresentam em torno de 60% de gordura, com alto coeficiente de digestibilidade, como as do cacau, tendo a vantagem de não conter cafeína (ANDERSEN; ANDERSEN, 1989). Por possuir aroma agradável, as amêndoas, advindas das sementes torradas do cupuaçu, podem ser usadas na fabricação de um produto similar ao chocolate, conhecido como “cupulate”. Este produto foi desenvolvido e patenteado pela EMBRAPA - Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. (PUGLIESE, 2010).

A semente do cupuaçu vem ganhando destaque também no setor de cosméticos devido ao seu alto potencial hidratante. De acordo com Jorge e Moraes (2008), as sementes de cupuaçu são ricas em triglicérides de ácidos graxos como esteárico, oléico e araquídico, os quais dão origem a manteigas com alto poder de umectação e hidratação, podendo produzir efeitos altamente benéficos sobre a pele.

Em termos de rendimento, 10 kg de cupuaçu comum produzem 4,6 kg de polpa, 3,8 kg de casca e 1,6 kg de sementes frescas que, transformadas em chocolate, rendem 0,4 kg desse ingrediente (ANDERSEN; ANDERSEN, 1989).

Figura 2.3 - Cupuaçu



Fonte: O poder das frutas (2012)

Pelas ótimas características para industrialização, aliadas ao aroma e sabor especiais, o cupuaçu vem despertando grande interesse em todos os mercados brasileiros. Sua polpa de sabor ácido e aroma forte é muito apreciada, tanto ao natural quanto em forma de néctar enlatado, ou na fabricação de sorvetes, licores, vinhos, compotas e geleias (ANDERSEN; ANDERSEN, 1989).

2.1.2 Jambo-vermelho

Fruto da família das mirtáceas, como a jaboticaba, pitanga, goiaba, entre outros, o jambo-vermelho é um fruto com aparência atrativa em função de sua coloração vermelho-brilhante. O Jambo é apreciado também pelo seu sabor e aroma exóticos e por possuir propriedades aromáticas interessantes que o favorece como agente flavorizante em alimentos e bebidas (AUGUSTA et al., 2010).

Fonte de ferro, fósforo, proteínas, carboidratos e vitamina A, B1 e B2, o jambo-vermelho é considerado uma fruta com médio valor calórico, contendo apenas 56 calorias em 100 gramas de polpa. Em Porto Rico há a produção de vinho de jambo-vermelho. Em algumas regiões da Malásia, comunidades obtêm-se um líquido a partir da fervura da casca dessa árvore, que será utilizado em dores de estômago e diarreia (MUNDO EDUCAÇÃO, 2013).

2.1.2.1 Aspectos botânicos

Sygyium malaccense ou *Eugenia malaccensis*, árvore da família Myrtaceae, popularmente conhecida como jambo-vermelho, tem origem asiática, mais especificamente da Índia e da Malásia (COSTA, 2006). Hoje é comum e apreciado na América do Sul e Central, onde é cultivado, tanto como fruteira quanto como planta ornamental, devido à forma piramidal de sua copa (FALCÃO; PARALUPPI; CLEMENT, 2002).

A árvore, de 12 a 15 m de altura, mirtácea, copa caracterizada por seu aspecto cônico-alongado e denso, cuja ramificação, abundante e regular, inicia-se à altura de 1,5 a 2 m do solo, é belíssima e de porte altaneiro. As folhas são coriáceas, oblongo-aceoladas ou ablongo-elípticas, de 25 a 35 cm por 10 a 15 cm. As inflorescências, um curto e espesso ramáceo, formam-se nos ramos, no interior da copa e, embora abundantes, geralmente são pouco visíveis, salvo quando observadas sobre a árvore. As flores (Figura 2.4) são dotadas de cálice afilado, espesso, com 2 cm de altura, pétalas orbiculares, com os bordos membranáceos e estames de cor vermelha com cerca de 3 cm de comprimento (CARDOSO, 1994).

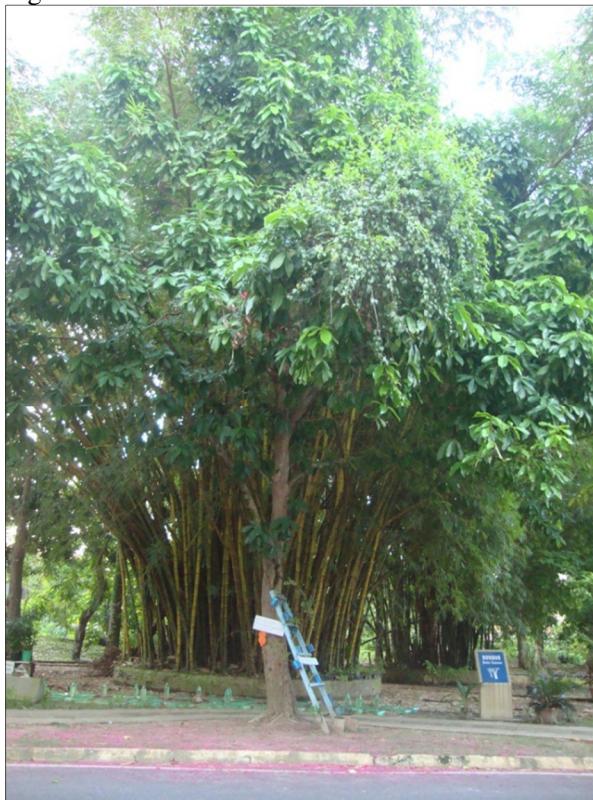
Em época de inflorescência, as pétalas das flores do jambeiro, ao caírem no chão, formam um belo tapete rosa. Esta é uma das razões pela qual a árvore é muito utilizada como planta ornamental em toda a região norte do Brasil, em especial, no Pará. A Figura 2.5 apresenta um jambeiro em época de inflorescência. Observa-se o belo tapete rosa formado sob a árvore.

Figura 2.4 - Flor do jambeiro



Fonte: O poder das frutas (2012)

Figura 2.5. Jambeiro



2.1.2.2 Fruto

Os frutos (Figura 2.6), do tamanho e forma de uma pera, são muito decorativos, sendo uma baga piriforme de 5,5 cm de altura, com superfície vermelho-escuro e polpa branca suculento-esponjosa, contém uma semente globosa e exala aroma forte de maçã e fragrância de rosas; o sabor é característico, a casca fina e a polpa quebradiça. Em regiões mais quentes, produzem duas safras por ano, uma entre maio e junho e outra de janeiro a fevereiro (DONADIO; NACHTIGAL; SACRAMENTO, 1998).

Em decorrência do solo propício e clima tropical favorável, o jambo-vermelho se adaptou perfeitamente no Brasil, especialmente em áreas que se estendem desde a região amazônica até ao sul da Bahia.

As árvores são cultivadas em pomares, jardins e em ruas, por sua beleza, bem como por seus frutos que são apreciados pela população, sendo consumidos *in natura*, ou em forma de doces, compotas, geleias e refrescos (FALCÃO; PARALUPPI; CLEMENT, 2002).

Devido à falta de conhecimento acerca da viabilidade tecnológica para sua industrialização, grande parte dos frutos é desperdiçada em períodos de safra em razão de o jambo ser um fruto não climatérico, com superfície sensível e rapidamente perecível. Ainda assim, alguns estudos têm demonstrado um alto efeito antioxidante do fruto, efeito especialmente encontrado em sua casca vermelho-brilhante (AUGUSTA et al., 2010).

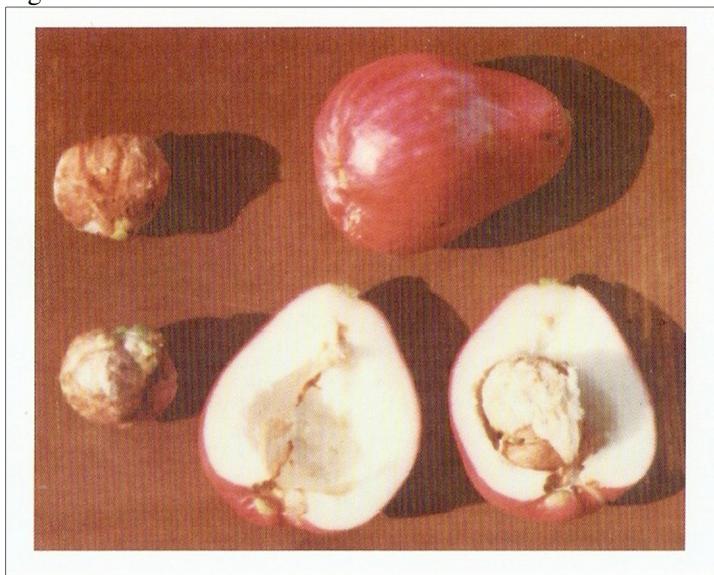
De acordo com Magina (2008) e Lima (2012), o perfil químico da família *Myrtaceae* é bem conhecido e caracteriza-se pela presença de taninos, terpenos, derivados do floroglucinol e flavonoides.

Segundo Oliveira et al. (2006) e Karwowski (2012), estudos com espécies de *Eugenia* revelaram, sobretudo, a presença de flavonóides, taninos, terpenóides e óleos essenciais; enquanto, sob o ponto de vista farmacológico, estudos realizados com extratos brutos e compostos, comprovaram as atividades anti-inflamatória, analgésica, antifúngica, antipirética, hipotensiva, antidiabética e antioxidante.

A atividade antioxidante dos flavonoides é devida a sua habilidade de sequestrar radicais livres, atuando como doadores de hidrogênio, e quelar metais, reduzindo o potencial de ocorrência de doenças crônico-degenerativas.

A capacidade antioxidante demonstrada pelos flavonoides é uma das diversas atividades biológicas, que mais têm sido associadas com a prevenção de enfermidades emergentes de países desenvolvidos, como doenças cardiovasculares e alguns tipos de câncer (GONÇALVES, 2008).

Figura 2.6 - Jambo-vermelho



Fonte: Donadio, Nachtigal e Sacramento (1998)

2.2 DIFERENÇAS ENTRE POLPA E SUCO DE FRUTAS E SUCO DE FRUTAS TROPICAIS

Polpa de fruta é o produto obtido por esmagamento das partes comestíveis de frutas carnosas por processos tecnológicos adequados. O produto deve ser preparado com frutas sãs, limpas e isentas de parasitos e de detritos animais ou vegetais. Não deve conter fragmentos das partes não comestíveis da fruta, nem substâncias estranhas à sua composição normal, exceto as previstas nesta Norma (BRASIL, 1978).

De acordo com Machado et al. (2007), as frutas, por serem perecíveis, têm menor vida de prateleira e sua comercialização *in natura* é dificultada pelas grandes distâncias, fazendo com que as perdas pós-colheita variem de 15 a 50%.

A polpa de fruta congelada é um produto que atende a diversos segmentos do setor de alimentos, podendo substituir a fruta *in natura* no preparo de sucos, néctares, doces, geleias, *baby foods* e apresenta a vantagem de ser encontrada também no período de entressafra dessas frutas (MARTINS et al., 2004).

Praticidade aliada à qualidade resultou em um crescimento expressivo na comercialização de polpas de frutas, tanto no mercado interno quanto externo.

De acordo com Martins et al. (2004), a indústria de polpas congeladas de frutas tem se expandido muito nos últimos anos e, devido a sua praticidade, esses alimentos vêm ganhando grande popularidade entre as donas de casa, restaurante, hotéis, lanchonete e hospitais, onde é utilizada, principalmente, na elaboração de sucos.

Segundo Brasil (2009), suco ou sumo é a bebida não fermentada, não concentrada e não diluída, destinada ao consumo, obtida da fruta madura e sã, ou parte do vegetal de origem, por processamento tecnológico adequado, submetida a tratamento que assegure a sua apresentação e conservação até o momento do consumo.

A indústria de sucos cítricos é um dos principais ramos agroindustriais brasileiros, notável por sua organização e competitividade internacional. Responsável por 60% da produção mundial de suco de laranja, o Brasil é também o campeão de exportações do produto (MAPA, 2012).

A definição de suco de frutas tropicais como o cupuaçu e o jambo-vermelho, está contemplada no Decreto nº 6871, de 2009, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento como: o produto obtido pela dissolução, em água potável, da polpa de fruta de origem tropical, não fermentado, de cor, aroma e sabor característicos da fruta, através de processo tecnológico adequado, submetido a tratamento que assegure a sua apresentação e conservação até o momento do consumo (BRASIL, 2009)

A quantidade de água potável adicionada ao suco é variável e depende da acidez do fruto. A quantidade original de polpa em sucos tropicais não deverá ser menor que 50% e em sucos com elevada acidez, a quantidade de polpa não deverá ser inferior a 35% (BRASIL, 2009).

2.3 ASPECTOS FÍSICO-QUÍMICOS

As características físico-químicas exercem um papel fundamental no comportamento reológico das polpas e sucos de frutas, visto que este comportamento é resultado das interações químicas ocorridas entre os elementos presentes no produto.

Como todos os produtos líquidos derivados de frutas são sistemas bifásicos compostos por partículas sólidas dispersas em um meio aquoso, o comportamento reológico destes também será influenciado

pela concentração, composição química, tamanho, forma, e distribuição das partículas que compõem a fase dispersa (GUIMARÃES, 2011).

Por natureza, a polpa de fruta pode ser considerada um alimento ácido, uma vez que, geralmente, o seu pH se situa entre 4,0 e 4,5. Nesta faixa de pH, a microbiota capaz de se desenvolver e deteriorar o produto se restringe a algumas bactérias, além de bolores e leveduras (HOFFMANN et al., 1997; JAY, 2005). Por esta razão, a análise de acidez, medida por pH, é importante pois, em alimentos, os valores apresentados podem ser indicativos de desenvolvimento de microrganismos e enzimas indesejáveis (MOUCHREK FILHO, 2007).

Como produtos intermediários do metabolismo respiratório de frutos, têm-se os ácidos orgânicos, quantificados através de análise de acidez total titulável. O teor desses ácidos é importante do ponto de vista sensorial, uma vez que esses ácidos podem conferir sabores ou odores estranhos ao produto (MOUCHREK FILHO et al., 2007).

Os sólidos solúveis, também quantificados, são compostos solúveis em água que representam substâncias, tais como açúcares (em maiores proporções), ácidos, vitamina C e algumas pectinas. Medida por refratometria, a concentração de sólidos solúveis é usada como índice dos açúcares totais em frutos, indicando o grau de maturidade dos frutos (MOUCHREK FILHO et al., 2007).

Nas referências mais recentes, são relatados como principais fatores responsáveis pelo comportamento reológico dos produtos derivados das frutas, o tipo da fruta, a temperatura e o teor de sólidos, tais como açúcares, pectinas e fibras.

2.4 REOLOGIA

O termo reologia vem do grego *rheo* (fluxo) e *logos* (ciência) e foi sugerido por Bingham e Crawford para descrever as deformações de sólidos e a fluidez de líquidos. A reologia é uma ciência que surgiu no início do século XX e tem como objetivo, estudar a deformação e o escoamento de materiais (VANDRESEN, 2007).

De acordo com Rao (1999), reologia é o estudo de deformação e fluxo de matéria. As propriedades reológicas têm como base o fluxo de matéria, quando esta sofre uma determinada tensão.

O objetivo da reologia é a predição do sistema de forças necessário para causar uma dada deformação ou fluxo em um corpo ou, reciprocamente, a predição da deformação ou fluxo resultante da aplicação de um sistema de forças em um corpo (FREDRICKSON, 1964).

O básico conhecimento de reologia torna-se essencial para cientistas que atuam em indústrias de diversos segmentos, pois, processos reológicos relacionam medidas em escala laboratorial ao desempenho em escala industrial (CHAKRABARTI, 1995).

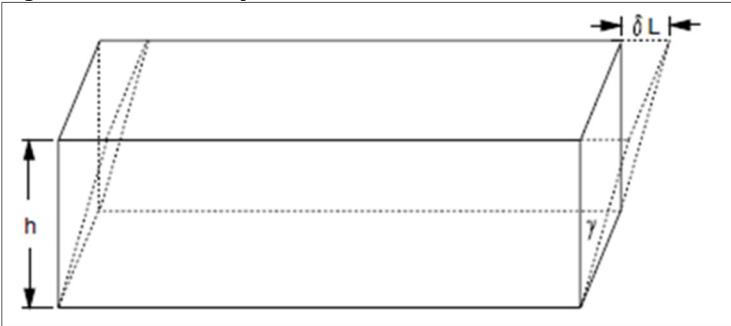
Na indústria alimentícia, a reologia também possui fundamental importância. Medidas reológicas de fluxo sob variações de temperatura, pressão e concentração influem diretamente no dimensionamento de bombas, tubulações, bem como na otimização de todo o processo.

2.4.1 Tensão de cisalhamento e taxa de deformação

A operação fundamental em um teste reológico é aplicar uma força tangencial no material a ser investigado, também chamada de tensão de cisalhamento e medir sua deformação, ou, igualmente, aplicar uma deformação e medir a resistência (VANDRESEN, 2007).

Observa-se na Figura 2.7, a dinâmica de deformação em um sólido. Uma força tangencial ou tensão de cisalhamento (τ) aplicada sobre um material provoca deformação (γ) do material. A região mais próxima à área onde a força é aplicada sofrerá uma maior deformação. Quanto maior a força aplicada, maior será a deformação (Equação 2.4).

Figura 2.7 - Deformação de uma barra devido à tensão de cisalhamento



Fonte: Steffe (1996)

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (2.1)$$

$$\frac{F}{A} = \frac{dL}{dh} \quad (2.2)$$

$$\frac{dL}{dh} = \gamma \quad (2.3)$$

$$\tau = G \cdot \gamma \quad (2.4)$$

Sendo,

F = força (N);

A = área (m²);

τ = tensão de cisalhamento (N/m² ou Pa)

dL = variação de comprimento (m);

dh = variação de altura [altura final – altura inicial] (m).

γ = deformação (adimensional).

G = módulo de Young (N/m²)

O módulo de elasticidade de Young (G), na Equação (2.4), é um fator de correlação que indica a rigidez, a resistência do sólido à deformação. Este parâmetro está ligado principalmente à natureza físico-química do sólido envolvido.

Enquanto os sólidos são materiais elasticamente deformados, os líquidos fluem, ou seja, a aplicação de tensão de cisalhamento causa deformação em um sólido, mas em um líquido ela causa uma taxa de deformação. Esta taxa de deformação é derivada do tempo de deformação causada pela ação da tensão de cisalhamento sobre o líquido (Equação 2.2).

$$\gamma = \frac{dL}{dh} \quad (2.5)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{dL}{dt} = \frac{dL}{dt \cdot dh} \quad (2.6)$$

$$\frac{dL}{dt} = dv \quad (2.7)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{dv}{dh} \quad (2.8)$$

Analogamente à Equação 2.4,

$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (2.9)$$

Onde,

dL = variação de comprimento (m);

dh = variação de altura [altura final – altura inicial] (m).

γ = deformação (adimensional).

dt = variação de tempo (s)

dv = variação de velocidade (m/s)

τ = tensão de cisalhamento (N/m^2 ou Pa)

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s^{-1});

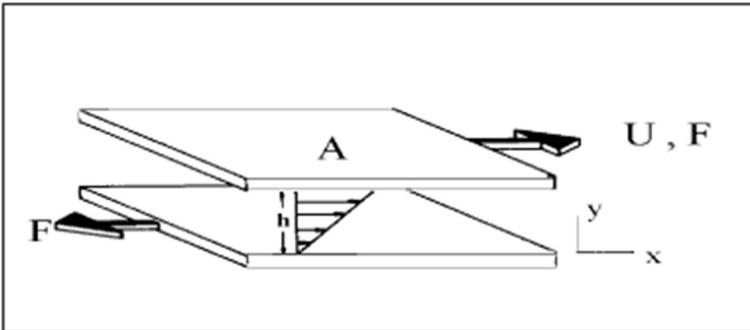
η = viscosidade (Pa.s)

A grande diferença entre sólidos e líquidos é a continuidade de fluidez sob ação de tensão de cisalhamento contínua. Enquanto um sólido sofre deformação elástica invariável com o tempo, um líquido continua fluindo sob ação de tensão de cisalhamento constante.

Isaac Newton, em 1687, definiu a viscosidade de um fluido como a resistência ao deslizamento de suas moléculas devido à fricção interna e, quanto maior o grau de fricção interna de um fluido, maior é a sua viscosidade.

Em sua abordagem matemática, Newton utilizou o modelo de duas placas de áreas (A), separadas por uma distância (h), movimentadas através da aplicação de uma força (F) (Figura 2.8). De acordo com esse modelo, a força requerida por unidade de área (F/A ou τ) para manter uma diferença de velocidade entre as placas é diretamente proporcional ao gradiente de velocidade através do líquido. Assim, o coeficiente de proporcionalidade é igual à viscosidade (η) (FERREIRA et al., 2005).

Figura 2.8 - Modelo de deformação de um líquido sob tensão de cisalhamento.



Fonte: Ferreira et al. (2005).

Vários são os fatores que podem alterar a viscosidade de um fluido, tais como: temperatura, pressão, taxa de deformação, tempo de deformação, campo elétrico, concentração de sólidos solúveis, concentração de fibras, grau de metoxilação de pectinas, entre outros.

Segue abaixo, na Tabela 2.1, algumas taxas de deformação comumente utilizadas em processos corriqueiros, tais como mastigação e saída de um produto da embalagem e processos industriais como mistura, fluxo em tubulação e atomização.

Tabela 2.1 - Taxas de deformação comumente utilizadas em alimentos: processos caseiros e industriais.

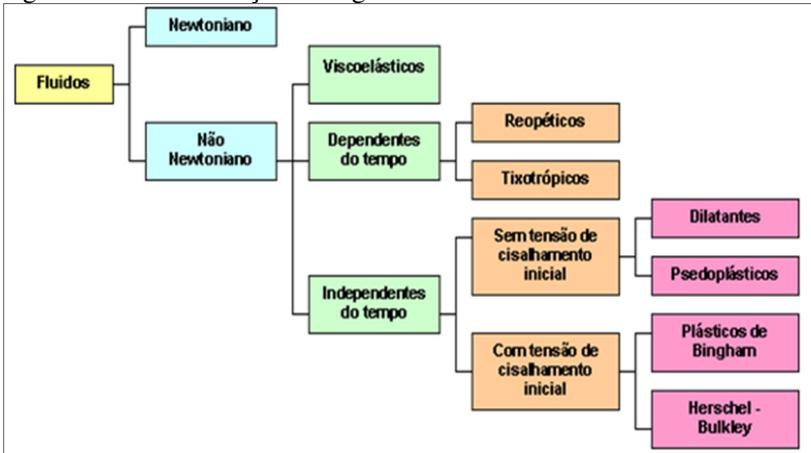
Aplicação	Taxa de deformação (s⁻¹)
Extrusão	$10^0 - 10^5$
Calandragem	$10^1 - 10^2$
Saída de produto da embalagem	$10^1 - 10^2$
Mastigação e deglutição	$10^1 - 10^2$
Mistura e agitação	$10^1 - 10^3$
Fluxo em tubulação	$10^0 - 10^3$
Atomização	$10^3 - 10^5$

Fonte: Steffe (1996)

2.4.2 Classificação reológica dos fluidos

Os fluidos podem ser divididos em dois grandes grupos: fluidos ideais ou newtonianos e fluidos não-newtonianos. Os fluidos não-newtonianos, por sua vez, são divididos em subclasses: fluidos independentes do tempo (fluidos pseudoplásticos, dilatantes, plásticos de Bingham e pseudoplásticos com tensão crítica), fluidos dependentes do tempo (fluidos tixotrópicos e reopéticos) e fluidos viscoelásticos. A classificação reológica dos fluidos pode ser observada através da Figura 2.9.

Figura 2.9 - Classificação reológica dos fluidos.



Fonte: Scremin (2007).

2.4.2.1 Fluidos newtonianos

Os fluidos newtonianos são caracterizados por uma relação linear entre tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada, dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido, ou seja, a viscosidade do fluido é sempre a mesma, sob quaisquer taxas de deformação, em uma temperatura fixa (RAO; RIZVI, 1994; SCREMIN, 2007).

Exemplos de fluidos newtonianos são: água, óleos minerais, sucos de frutas clarificados, entre outros.

2.4.2.2 Fluidos não-newtonianos (independentes do tempo)

Ao se efetuar um teste reológico com as variáveis “viscosidade aparente e tempo”, sendo a viscosidade aparente, uma função do tempo de análise e mantendo-se a taxa de deformação fixa, dois comportamentos reológicos podem ser observados: constância na viscosidade aparente ou alteração da viscosidade aparente. Estes resultados definem o fluido como independente ou dependente do tempo de teste, respectivamente. Outra forma de se avaliar a dependência do tempo de análise na amostra em questão pode ser efetuada através de medição das tensões de cisalhamento correspondentes às taxas de deformação aplicadas de forma crescente e decrescente. A ocorrência de sobreposição de curvas caracteriza o fluido como independente do

tempo. Em contrapartida, a ocorrência de histerese evidencia o efeito de dependência do tempo.

Os fluidos com independência do tempo são assim classificados: fluidos pseudoplásticos, fluidos dilatantes, plásticos de Bingham e fluidos pseudoplásticos com tensão crítica de cisalhamento, também denominados de fluidos de Herschel-Bulkley.

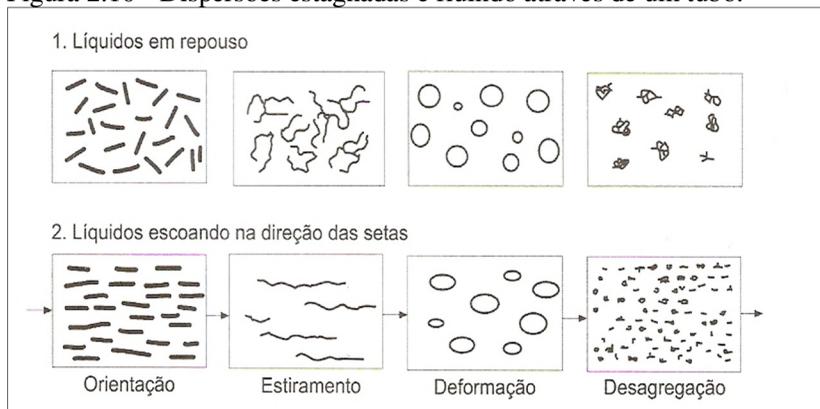
São os fluidos dependentes do tempo: fluidos tixotrópicos e fluidos reopéticos.

2.4.2.2.1 Fluidos pseudoplásticos

São fluidos caracterizados por apresentarem diminuição na viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação. A maioria dos alimentos, dentre eles, as polpas e sucos de frutas, obedecem ao comportamento pseudoplástico.

A Figura 2.10 apresenta as razões para a ocorrência de pseudoplasticidade em fluidos:

Figura 2.10 - Dispersões estagnadas e fluido através de um tubo.



Fonte: Schramm (2006).

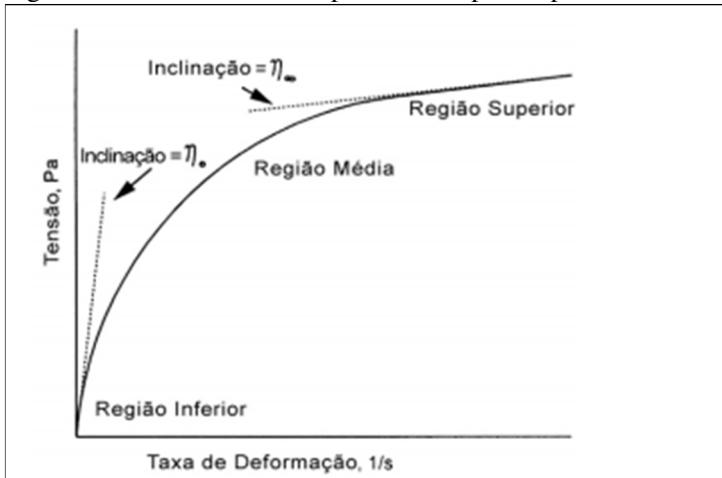
Muitos produtos líquidos parecem ser homogêneos mas na verdade não o são. Partículas de forma irregular, gotas de um líquido dispersas em outro, longas cadeias poliméricas entrelaçadas e enoveladas são possíveis orientações microscópicas presentes em um fluido, as quais causam uma considerável resistência interna ao fluxo, ou seja, uma alta viscosidade.

De acordo com Schramm (2006), com o aumento das taxas de deformação, partículas rígidas se orientam na direção do fluxo. Nas moléculas poliméricas em solução ou no estado fundido, os entrelaçamentos entre elas podem ser desfeitos, as moléculas se alinham e se orientam na direção do fluxo.

Para a maioria dos materiais pseudoplásticos, o efeito do cisalhamento é reversível, mas leva algum tempo, ou seja, os líquidos recuperam a sua alta viscosidade original quando o cisalhamento é induzido ou interrompido: cadeias moleculares retornam ao seu estado natural de não orientação, gotas deformadas retornam à forma arredondada, e os agregados se reagrupam devido ao movimento Browniano (SCHRAMM, 2006).

Durante o fluxo, o comportamento de materiais pseudoplásticos apresenta três regiões: região inferior newtoniana, média região e região superior newtoniana (Figura 2.11).

Figura 2.11 - Curva de fluxo para fluidos pseudoplásticos.



Fonte: Toneli, Murr e Park (2005).

A primeira região newtoniana ocorre a taxas de deformação extremamente baixas, onde a viscosidade aparente é constante. Nesta fase, a viscosidade aparente é chamada de viscosidade limitante à taxa de deformação zero (μ_0)

A segunda região é a região de pseudoplasticidade propriamente dita. Nesta região, a taxas de deformação médias, a viscosidade aparente do fluido decresce com o aumento na magnitude da taxa de deformação

aplicada. De acordo com Steffe (1996), esta região é a mais importante na análise de equipamentos para processo de alimentos.

A terceira região também é newtoniana, pois sob altas taxas de deformação, a viscosidade aparente de fluidos pseudoplásticos tende ao equilíbrio. Nesta fase, a viscosidade aparente é chamada de viscosidade limitante a taxas de deformação infinitas (μ_{∞}).

2.4.2.2.2 Fluidos dilatantes

São fluidos em que a viscosidade aparente cresce com o aumento da taxa de deformação aplicada. Este comportamento reológico é raro em alimentos. Segundo Schramm (2006), o fenômeno da dilatância complica as condições de produção, com isso, é comum que se estabeleçam formulações a fim de reduzir este efeito.

Amido de milho em água, lama e argila são exemplos de materiais dilatantes.

2.4.2.2.3 Plásticos de Bingham

Fluidos classificados como plásticos de Bingham apresentam comportamento semelhante a um sólido a baixas tensões de cisalhamento devido à forte ligação entre micro e nano partículas. Quando a tensão de cisalhamento aplicada supera a resistência da interação entre as partículas (tensão crítica de escoamento), ocorre quebra da estrutura e o fluxo se inicia uniformemente de forma newtoniana, ou seja, há relação linear entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação.

É importante salientar que independentemente da mudança de estruturas, partindo de um comportamento elástico para um comportamento plástico, a estrutura química não é alterada (FISCHER; WINDHAB, 2011).

2.4.2.2.4 Fluidos pseudoplásticos (com tensão crítica de cisalhamento)

Também conhecidos como fluidos de Herschel-Bulkley, são dispersões que em repouso podem formar uma forte rede intermolecular/interpartículas mantidas por forças ligantes como forças polares, forças de Van der Waals, etc. (SCHRAMM, 2006).

Quando as forças externas de cisalhamento são inferiores às forças ligantes, não há movimentação nos elementos de volume, fazendo com que o fluido se comporte como um sólido elástico. Contudo,

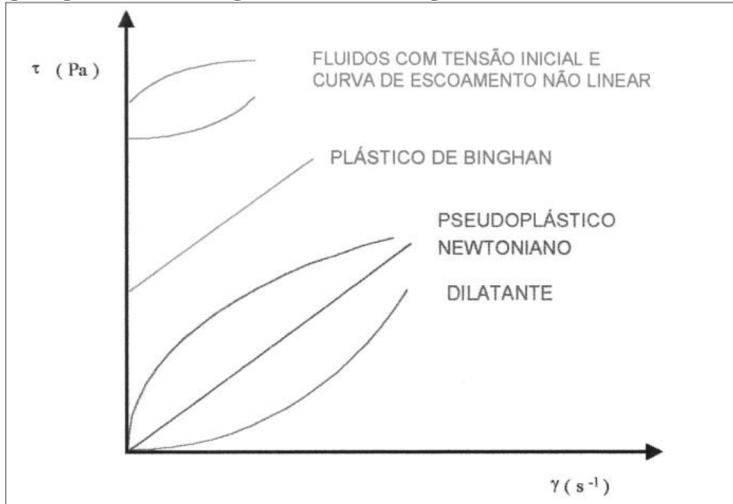
quando as forças externas superam as forças ligantes, ocorre quebra de ligações moleculares e/ou interpartículas, provocando mudança nos elementos de volume e conseqüentemente, início de fluxo pseudoplástico.

Segundo Sato (2005), a tensão crítica pode ser utilizada para estimar a espessura do revestimento de superfícies, como a de uma cobertura de sorvete, avaliar a força necessária para que um fluido saia da embalagem, impedir a sedimentação de partículas suspensas, o que poderia ser fator determinante para a vida de prateleira de um produto alimentício ou evitar entupimento de tubulações durante o processamento, entre outros.

Como exemplos de fluidos pseudoplásticos com tensão crítica, têm-se: chocolate fundido, maionese, catchup, algumas polpas de fruta, entre outros.

Observa-se na Figura 2.12, reogramas característicos de fluidos que apresentam independência do tempo, onde as curvas ascendentes e descendentes coincidem.

Figura 2.12 - Curvas de fluxo ascendentes e descendentes para fluidos que apresentam independência do tempo.



Fonte: Bezerra (2000).

2.4.2.3 Fluidos não-newtonianos (dependentes do tempo)

2.4.2.3.1 Fluidos tixotrópicos

Os produtos pseudoplásticos com tensão crítica de cisalhamento são caracterizados por apresentarem dispersões de partículas e/ou moléculas interagindo em um outro líquido. Essas fortes ligações são rompidas e as partículas se orientam na direção do fluxo com o aumento necessário nas taxas de deformação. Quanto maiores forem essas taxas, menor será a viscosidade aparente do fluido até que finalmente, a viscosidade tenda à uniformidade a altas taxas de deformação.

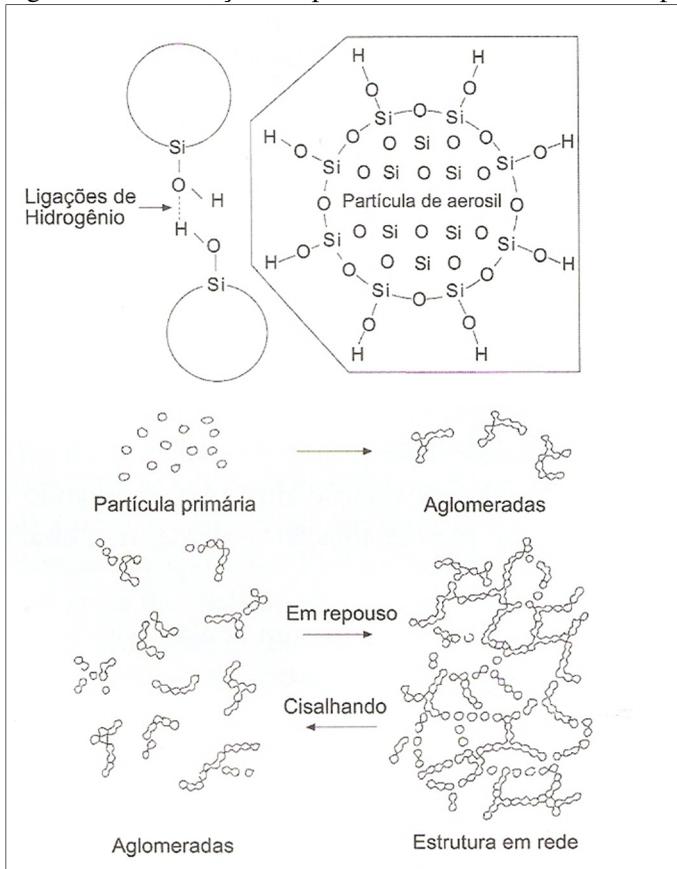
A diferença intrínseca entre fluidos pseudoplásticos com tensão crítica de cisalhamento e fluidos tixotrópicos é a força nas ligações intermoleculares/partículas.

De acordo com Schramm (2006), em fluidos tixotrópicos, as moléculas ou partículas são unidas por forças fracas – geralmente ligações de hidrogênio ou ligações iônicas, formando uma estrutura tridimensional em rede chamada de “gel”. Essas forças se rompem facilmente quando a dispersão é submetida à taxa de deformação constante por um longo período de tempo, algo que não acontece com fluidos pseudoplásticos, os quais mantêm sua viscosidade a uma taxa de deformação constante.

Quando o nível de viscosidade atinge o seu mínimo, ocorre transição do estado “gel” para o estado de solução “sol”.

Observa-se na Figura 2.13, a estrutura em rede e seu posterior rompimento devido à aplicação de taxa de deformação constante.

Figura 2.13 - Interações de partículas em um fluido tixotrópico.



Fonte: Schramm (2006).

Com o aumento no tamanho das partículas, a estrutura interna deve se fortalecer, de modo a ser mais resistente à deformação (levando um maior tempo para se romper), mostrando uma tixotropia mais acentuada. No entanto, para partículas excessivamente grandes, a estrutura interna que causaria a estabilização da estrutura passa a ser insuficiente, levando à conseqüente redução da tixotropia do sistema, ou até mesmo a sedimentação das partículas grandes (SATO, 2005).

A evidência deste fenômeno é observada ao submeter o fluido a uma taxa de deformação constante por um período de tempo determinado. Caso a viscosidade aparente diminua, o fenômeno da tixotropia é confirmado. Outra forma de se analisar a presença deste

fenômeno é submetendo o fluido a ensaios reológicos convencionais CR (*controlled rate*), onde a tensão de cisalhamento é função da taxa de deformação aplicada. A ocorrência de não sobreposição das curvas, estando a curva ascendente acima da curva descendente, representa fenômeno de histerese, comprovando-se o comportamento tixotrópico do fluido.

A área definida pelas curvas ascendentes e descendentes do reograma de um fluido dependente do tempo representa a quantidade de energia necessária para eliminar a influência do tempo e caracteriza o grau de quebra da estrutura interna ocorrida no produto, ou seja, se a quebra estrutural ocorre, as curvas não coincidem criando o ciclo de histerese (BRANCO; GASPARETTO, 2003).

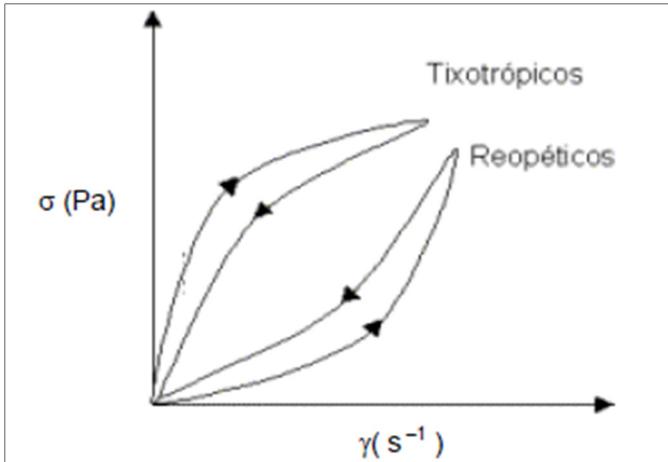
2.4.2.3.2 *Fluidos reopéticos*

Em testes reológicos onde há a presença de reopexia, a curva de tensão de cisalhamento descendente surge acima da curva de tensão ascendente, provocando um efeito de histerese oposto à tixotropia (Figura 2.14).

A tixotropia é comum para muitos líquidos enquanto a reopexia é, de fato, muito rara (RAO, 1999; SCHRAMM, 2006).

Embora raro, este fenômeno é presenciado em alguns testes reológicos, principalmente devido a efeitos de natureza física e química em amostras durante a medição, tais como gelificação, evaporação de solvente, entre outros.

Figura 2.14 - Curva de tixotropia e reopexia.



Fonte: Haminiuk (2005).

Todos os fluidos tixotrópicos são pseudoplásticos, mas nem todos os fluidos pseudoplásticos são tixotrópicos. De forma análoga, todos os fluidos reopéticos são dilatantes, mas nem todos os fluidos dilatantes são reopéticos.

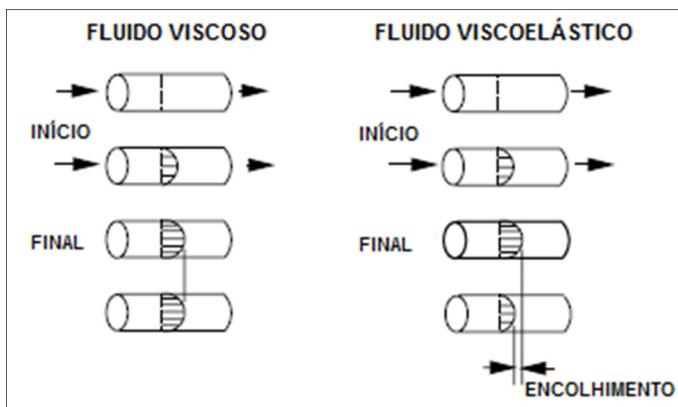
2.4.2.4 Fluidos viscoelásticos

São materiais que exibem características de um sólido elástico e de um líquido viscoso.

Os materiais viscoelásticos, ao serem tensionados, sofrem rápidas deformações em todas as direções, como um sólido elástico, deformações diretamente proporcionais à magnitude da tensão que recebem. Com o passar do tempo, sob magnitude constante de tensão, o material se deforma lentamente, como um fluido viscoso. Ao ser removida a tensão, o material retorna a uma conformação intermediária entre a que se encontrara inicialmente e a que se encontrara sob tensão máxima, como observado através da Figura 2.15.

Quase todas as soluções de polímeros, mesmo diluídas, apresentam comportamento viscoelástico. No entanto, este fenômeno não é detectado em instrumentos não preparados para essas medidas. Clara de ovo é um exemplo típico de material viscoelástico. (BEZERRA, 2000; HAMINIUK, 2005).

Figura 2.15 - Comportamento de um material viscoelástico.



Fonte: Steffe (1996).

2.4.3 Sistemas de medida

A medida de viscosidade dos líquidos requer primeiramente a definição dos parâmetros que estão envolvidos no fluxo. Então, deve-se encontrar condições adequadas de teste que permitam a medida das propriedades do fluxo objetivamente e reproduzivelmente (SCHRAMM, 2006).

2.4.3.1 Reômetros capilares

Neste tipo de sistema, 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 (BEZERRA, 2000).

No módulo de reometria capilar, o pistão se move a uma velocidade fixa pré-determinada, correspondendo à aplicação de uma taxa de deformação constante. A força necessária para fazer com que o polímero flua através do capilar é monitorada. Após o fluxo polimérico atingir o estado estacionário (correspondendo ao momento na qual a força se estabiliza) a tensão de cisalhamento (aparente) é calculada (MORITA; TOMA; DE PAOLI, 2005). O método inverso também pode ser realizado, onde a tensão de cisalhamento aplicada é pré-determinada, e então, mede-se a taxa de deformação resultante obtida através do fluxo do material através do capilar (SCHRAMM, 2006). A viscosidade

aparente é obtida através da razão entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação.

2.4.3.2 Reômetros rotacionais

O princípio de funcionamento de reômetros rotacionais baseia-se na determinação do torque necessário - convertido em tensão de cisalhamento - para manter a velocidade de fluxo (taxa de deformação) de um fluido constante, como no caso de reômetros tipo Searle. Nos reômetros rotacionais tipo Couette, realiza-se o processo inverso, onde um determinado torque é aplicado e mede-se então a velocidade correspondente.

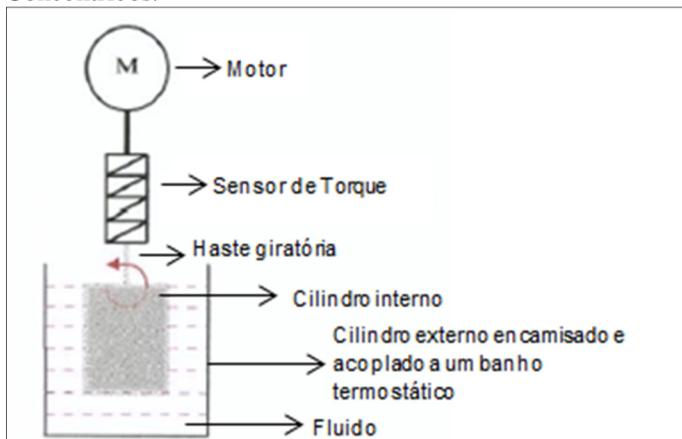
As principais vantagens na utilização dos reômetros rotacionais, quando comparado aos capilares, é que esses equipamentos permitem o uso de pequenas amostras de produtos e podem fornecer uma medida contínua da relação taxa de deformação e tensão de cisalhamento, e uma faixa mais ampla da taxa de deformação, permitindo também a análise mais adequada de comportamentos dependentes do tempo (BEZERRA, 2000).

Os reômetros rotacionais podem apresentar as seguintes geometrias: geometria de cilindros concêntricos ou coaxiais, geometria placa-placa e geometria cone-placa.

2.4.3.2.1 *Cilindros concêntricos ou coaxiais (reômetro tipo Searle)*

A geometria de cilindros concêntricos é uma derivação do modelo de placas paralelas projetado por Newton (Figura 2.8). Estes reômetros mantêm uma velocidade de rotação constante a certa taxa de cisalhamento e a tensão de cisalhamento é obtida através da medida do torque no cilindro. Estes equipamentos são projetados para causar um cisalhamento no fluido localizado entre dois cilindros concêntricos, sendo que um gira e outro permanece estacionário permitindo-se obter curvas reológicas (HAMINIUK, 2005). A ilustração de um reômetro com geometria de cilindros concêntricos pode ser observada através da Figura 2.16.

Figura 2.16 - Reômetro com sistema Searle e geometria de Cilindros Concêntricos.



Fonte: Bezerra (2000).

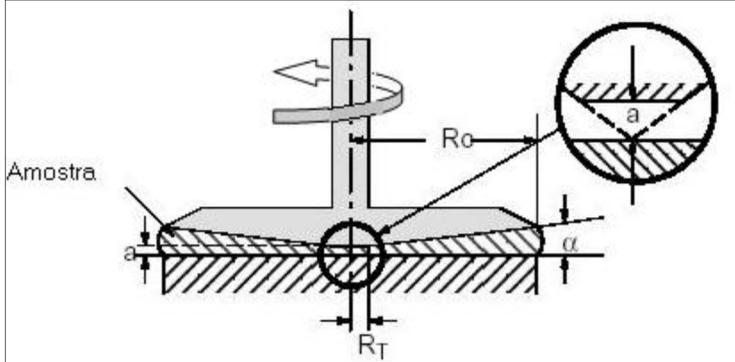
O cilindro externo encamisado deve ser acoplado a um banho termostático para controle da temperatura de análise, a qual, de acordo com Schramm (2006), deve se encontrar dentro de limites de $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$.

2.4.3.2.2 Cone – placa (reômetro tipo Searle)

Este equipamento consiste essencialmente de uma placa plana horizontal e um cone invertido, cujo vértice encontra-se muito próximo à placa (Figura 2.17). A principal vantagem deste sistema em comparação ao sistema de placas paralelas é que a taxa de deformação é constante ao longo da superfície do cone, portanto cada ponto de medida corresponde a um valor de taxa de deformação, e não, a uma média (BEZERRA, 2000).

De acordo com Schramm (2006), os ângulos do cone em sistemas de medição tipo cone-placa são normalmente muito pequenos, chegando a 1° . Cones com ângulo inferior são menos recomendados, ao passo que cones com ângulo superior a 4° são normalmente utilizados em dispersões com grande tamanho de partículas.

Figura 2.17 - Reômetro com sistema Searle e geometria Cone-Placa.



Fonte: Haminiuk (2005).

Onde,

R_C : raio externo do cone;

α : ângulo do cone;

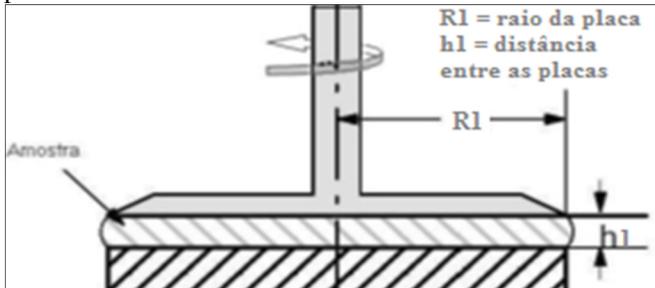
R_T : raio do truncamento;

a : altura da ponta removida.

2.4.3.2.3 Placas paralelas (reômetro tipo Searle)

O sistema conta com uma placa de raio “ R_1 ” e uma distância “ h_1 ” entre as placas (Figura 2.18). Essa distância pode variar, mas não deve ser menor do que 0,3mm ou maior do que 3 mm, evitando assim, erros relacionados à natureza da amostra (SCHRAMM, 2006).

Figura 2.18 - Reômetro com sistema Searle e geometria de placas paralelas.



Fonte: Schramm (2006).

Os sistemas tipo placas paralelas são escolhidos em substituição aos sistemas cone-placa, se as amostras apresentarem grande tamanho de partículas. A escolha da distância entre as placas deve ser pelo menos três vezes maior do que o maior tamanho de partícula (SCHRAMM, 2006). De acordo com Rao (1999), a distância entre as placas deve ser ainda maior, aproximadamente dez vezes o tamanho da partícula.

2.4.4 Modelos reológicos

As polpas de frutas são geralmente caracterizadas como fluidos não-newtonianos, como resultado de complexas interações entre seus componentes. Estes tipos de fluidos são geralmente descritos por modelos reológicos empíricos que descrevem de forma conveniente um reograma ajustado ao fluido em estudo. Os modelos empíricos mais utilizados são os modelos de Lei da potência e Herschel-Bulkley (TONON et al., 2009). Contudo, outros modelos também são utilizados na avaliação do comportamento reológico de sucos.

Segundo Scremin (2007), os modelos reológicos mais citados nas referências bibliográficas para a caracterização reológica de sucos e polpas de frutas são: Lei da potência, Bingham, Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk. Dentre estes modelos, o de Mizrahi-Berk é o que melhor tem se ajustado à maioria dos reogramas das polpas, sucos e purês de frutas, uma vez que os autores o desenvolveram baseando-se no modelo de uma suspensão de partículas interagindo em um solvente pseudoplástico.

2.4.4.1 Modelo de Ostwald-de Waele ou Lei da Potência

Primeiro modelo a ser descrito para fluidos pseudoplásticos, o modelo de Ostwald-de Waele ou Lei da potência (Equação 2.10) é comumente aplicado para a maioria dos sucos de frutas, pois descreve o seu comportamento reológico com grande acurácia (IBARZ et al., 1989; GINER, et al., 1996).

Por conter apenas dois parâmetros de ajuste (K e n), o modelo de Lei da potência tem sido amplamente usado para a caracterização reológica de fluidos alimentícios. É também o modelo mais usado em estudos de manipulação, aquecimento e resfriamento de alimentos (RAO, 1999).

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (2.10)$$

Onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

K = índice de consistência (Pa.sⁿ);

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s⁻¹);

n = índice de comportamento do fluido (adimensional).

Uma das razões para sua popularidade surge de sua aplicação em uma vasta amplitude de taxas de deformação ($10^1 - 10^4 \text{ s}^{-1}$), as quais podem ser obtidas em diversos viscosímetros comerciais (RAO, 1999).

2.4.4.2 Modelo de Herschel-Bulkley

Quando a tensão crítica de um alimento é mensurável, ela pode ser incluída no modelo de Lei da potência, surgindo o modelo de Herschel-Bulkley (Equação 2.11) (RAO, 1999).

$$\tau = \tau_{\text{ohb}} + K_{\text{hb}} \dot{\gamma}^{n_{\text{hb}}} \quad (2.11)$$

Onde,

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

τ_{ohb} = tensão crítica de cisalhamento (Pa)

K_{hb} = índice de consistência (Pa.sⁿ);

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s⁻¹);

n_{hb} = índice de comportamento do fluido (adimensional).

Embora a presença de tensão crítica de cisalhamento seja bastante controversa por alguns autores e difícil de ser mensurada (CARREAU; LAVOIE; YZIQUEL, 1999), ela pode ser considerada como uma realidade nos processos de engenharia, pois desempenha um papel importante em muitos produtos alimentícios. (BARNES,1997; RAO, 1999).

2.4.4.2 Modelo de Mizrahi-Berk

O modelo de Mizrahi-Berk (Equação 2.12) é uma derivação do modelo de Casson para uma ampla faixa de taxas de deformação (PELEGRINE; SILVA; GASPARETTO, 2002).

O modelo também considera a presença de tensão crítica de cisalhamento e tem como objetivo, a análise do comportamento

reológico de partículas interagindo entre si em um meio pseudoplástico (VANDRESEN, 2007).

$$\tau^{0,5} = K_{0mb} + K_{mb} \dot{\gamma}^{n_{mb}} \quad (2.12)$$

Onde:

τ = tensão de cisalhamento (Pa)

K_{0mb} = tensão crítica de cisalhamento (Pa.s)²;

K_{mb} = índice de consistência (Pa.sⁿ)²;

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s⁻¹);

n_{mb} = índice de comportamento do fluido (adimensional).

2.4.4.3 Modelo de Sisko

Para altas taxas de deformação, o modelo de Sisko (Equação 2.13) de três parâmetros, que relaciona a viscosidade aparente com a taxa de deformação, tem sido utilizado (NINDO et al., 2007).

$$\eta_{aps} = \eta_{\infty s} + K_s \dot{\gamma}^{n_s - 1} \quad (2.13)$$

Onde,

η_{aps} = viscosidade aparente de Sisko (Pa.s)

$\eta_{\infty s}$ = viscosidade infinita de Sisko (Pa.s)

K_s = índice de consistência de Sisko (Pa.sⁿ)

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação (s⁻¹);

n_s = índice de comportamento do fluido (adimensional).

Este modelo pode ser aplicado para bombeamento de fluidos alimentícios e processos de mistura envolvendo altas taxas de deformação. Pode ser considerado como um modelo Lei da potência generalizado, que inclui um componente newtoniano (NINDO et al., 2007). Um diferencial comparado a outros modelos é sua reprodução em uma amplitude vasta de taxas de deformação.

Um fluido que obedece ao modelo de Sisko se aproximará do comportamento newtoniano se n_s for igual à unidade ou se K_s for igual a zero (NINDO *et al.*, 2007).

Outros modelos reológicos, suas peculiaridades e aplicações, podem ser encontrados em (STEFFE, 1996; RAO, 1999).

2.4.5 Estudos sobre a reologia de polpas de fruta

Nos últimos anos, muitos trabalhos têm sido desenvolvidos com o objetivo de se determinar o comportamento reológico de polpas de fruta. No entanto, estudos relacionados à reologia de sucos e polpas de frutas da amazônia ainda são escassos.

Ferreira, Guimarães e Maia (2008) avaliaram o comportamento reológico de polpa de cupuaçu integral com utilização de reômetro de cilindros concêntricos, tipo Couette, sendo as corridas experimentais realizadas às temperaturas de 10 a 60 °C. Comportamento pseudoplástico foi observado, sendo o modelo de Ostwald-de Waele (Lei da potência) o que melhor se ajustou aos dados experimentais.

Cabral, Queiroz e Figueiredo (2002) estudaram o comportamento reológico de polpa de cupuaçu peneirada, a uma faixa de 10 a 30 °C, obtendo comportamento pseudoplástico, mais bem representado pelo modelo de Herschel-Bulkley. O mesmo efeito de pseudoplasticidade foi observado por Guimarães e Mascigrande (2011) na reologia de polpa de açaí.

Viana (2010) avaliou o comportamento reológico de polpa de cupuaçu, sob diversas concentrações e temperaturas e observou comportamento pseudoplástico com presença de tixotropia.

Tonon et al. (2009) desenvolveram a caracterização reológica de polpa de açaí, sob uma faixa de 10 a 70 °C, com o uso de geometria de placas paralelas em reômetro rotacional. Os autores observaram comportamento pseudoplástico com presença de tensão crítica de cisalhamento.

Assis, Tadini e Lannes (2005) observaram comportamento pseudoplástico em suco de taperebá, onde os dados experimentais foram ajustados com grande acurácia pelo modelo de Ostwald-de Waele (Lei da potência).

Pereira et al. (2008) avaliaram o comportamento reológico de polpa de umbu sob diversas concentrações e à temperatura fixa de 30°C. Os autores obtiveram comportamento pseudoplástico com presença de tensão crítica, sendo o modelo de Herschel-Bulkley, o que melhor se ajustou aos dados experimentais.

Haminiuk (2005) avaliou o comportamento reológico de amora-preta e araçá – fruta típica da Amazônia – e observou, em ambas, comportamento pseudoplástico, onde a viscosidade aparente decresceu com o aumento na taxa de deformação. O estudo foi realizado com utilização de reômetro Brookfield e geometria de cilindros concêntricos. Os modelos de Herschel-Bulkley e Lei da potência se ajustaram bem aos

dados reológicos das polpas de amora-preta e araçá, respectivamente, com elevados índices de correlação.

Pelegrine, Silva e Gasparetto (2002) obtiveram comportamento pseudoplástico para polpas de abacaxi e manga integrais e centrifugadas. Os testes foram realizados com a utilização de reômetro e geometria de placas paralelas e o modelo de Mizrahi-Berk foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais.

Nindo et al. (2007) avaliaram o comportamento reológico de polpa de mirtilo, fazendo uso de reômetro com geometria de cilindros concêntricos. Os autores obtiveram comportamento pseudoplástico para o produto e o modelo de Sisko foi escolhido como representativo devido aos elevados valores de índice de correlação, valores superiores a 0,99.

Kechinski et al. (2011) também avaliaram o comportamento reológico de polpa de mirtilo, ajustando o modelo de Sisko aos dados experimentais. Os autores comprovaram a eficácia do modelo à matéria-prima em questão, obtendo elevados valores no índice de correlação. A matéria-prima apresentou diminuição na viscosidade aparente com o aumento na taxa de deformação.

2.4.6 Influência da temperatura e da concentração de sólidos no comportamento reológico

2.4.6.1 Temperatura

A temperatura exerce forte influência na resistência ao fluxo exibida por um fluido. Com isso, é extremamente importante que a temperatura seja mantida constante em testes reológicos (TOLEDO, 1994).

De acordo com Rao (1999), os alimentos fluidos passam por diversas mudanças de temperatura nos momentos de industrialização e armazenamento. Com isso, o efeito da temperatura nas propriedades reológicas do alimento necessita ser analisada.

Com o aumento da temperatura, o espaçamento entre as partículas suspensas cresce devido ao aumento de mobilidade, favorecendo a diminuição da viscosidade.

A quantificação do efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente ou sobre o índice de consistência de um fluido newtoniano ou não-newtoniano é frequentemente realizada através da linearização da equação de Arrhenius (Equação 2.14) (IBARZ et al., 1989; RAO, 1999; VANDRESEN, 2007).

$$\mu_{ap} = A_A \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (2.14)$$

Onde,

μ_{ap} = viscosidade aparente (Pa.s)

A_A = constante (Pa.s)

E_a = energia de ativação (kJ/mol)

R = constante dos gases ideais (0,008314 kJ/mol.K)

T = temperatura (K)

2.4.6.2 Concentração

O dimensionamento de equipamentos e tubulações utilizados no processamento de sucos e polpas de frutas necessita de um conhecimento prévio das propriedades de escoamento dessas matérias-primas, sendo a concentração de sólidos insolúveis e solúveis, fator preponderante em análise.

A equação Exponencial (Equação 2.15) pode ser aplicada a fluidos pseudoplásticos com o intuito de quantificar a influência da concentração de sólidos solúveis e insolúveis na viscosidade aparente e no índice de consistência de fluidos (STEFFE, 1996; SILVA; GUIMARÃES; GASPARETTO, 2005).

$$\mu_{ap} = A_0 \exp(A_1 \cdot C) \quad (2.15)$$

Onde,

μ_{ap} = viscosidade aparente (Pa.s)

C = concentração de sólidos solúveis (°Brix)

A_0 = constante da equação Exponencial (Pa.s)

A_1 = constante da equação Exponencial (° Brix⁻¹)

2.4.6.3 Estudos sobre a influência da temperatura e da concentração na reologia de polpas e sucos de fruta

Atualmente, são conhecidos vários fatores que podem alterar o comportamento reológico de fluidos alimentícios; dentre eles, os mais estudados são a temperatura e o teor de sólidos solúveis (GUEDES; RAMOS; DINIZ, 2010).

Silva, Guimarães e Gasparetto (2005) determinaram o comportamento reológico de suco industrializado de acerola, mediante o

uso de reômetro de cilindros concêntricos, concentrações de sólidos solúveis de 4, 7, 10, 13 e 16 °Brix e no intervalo de temperatura de 5 a 85 °C. Além do comportamento pseudoplástico observado, a equação de Arrhenius se ajustou com alta precisão aos dados reológicos. Observou-se que a energia de ativação diminuiu com o aumento na concentração de sólidos solúveis. Quanto maior o valor de energia de ativação, mais sensível é a amostra a alterações de viscosidade aparente, sob mudanças de temperatura. A equação Exponencial também se ajustou com precisão aos dados reológicos, ratificando a temperatura de 10 °C como a mais sensível a mudanças na concentração de sólidos solúveis.

Dak, Verma e Sharma (2006) e Dak, Verma e Jaaffrey (2007), trabalhando com reologia de suco de manga (variedade “Totapuri” e “Kesar”, respectivamente), obtiveram resultados semelhantes a Silva, Guimarães e Gasparetto (2005). Os autores constataram diminuição no valor da energia de ativação com o aumento na concentração de sólidos e elevação no parâmetro A_1 com o aumento na temperatura.

Guedes, Ramos e Diniz (2010) estudaram o efeito da concentração de sólidos solúveis e temperatura em reologia de polpa de melancia. Os autores detectaram diminuição na energia de ativação com o aumento da concentração, apresentando a equação de Arrhenius, um alto valor no índice de correlação. Um excelente valor de correlação também foi observado após ajuste da equação Exponencial aos dados experimentais, a fim de se avaliar o efeito da concentração de sólidos na viscosidade aparente da polpa.

Ibarz, Gonzalez e Esplugas (1994) observaram comportamento newtoniano em suco de laranja, em diversas temperaturas e concentrações. Os autores também obtiveram valores elevados nos índices de correlação ($R^2 > 0,97$) através da aplicação dos modelos de Arrhenius e Exponencial, com o intuito de avaliar o efeito da temperatura e concentração, respectivamente, no suco de laranja.

Toralles, Vendruscolo e Vendruscolo (2006) obtiveram valores de R^2 superiores a 0,96, tanto para equação de Arrhenius quanto para equação Exponencial na análise reológica de purê de pêsego.

Karwowski (2012), ao analisar o efeito da temperatura sobre a viscosidade das polpas de uvaia e pitanga (integrais e centrifugadas), observou alto índice de correlação quando do ajuste da equação de Arrhenius aos dados experimentais.

3 MATERIAL E MÉTODOS

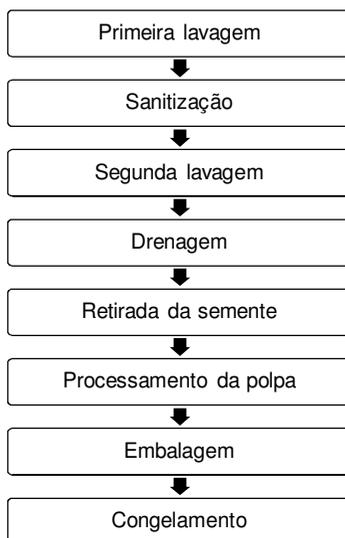
3.1 AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DA MATÉRIA-PRIMA

3.1.1 Polpa de jambo-vermelho com casca (amostra natural e diluições)

Os frutos de jambo-vermelho foram adquiridos diretamente do horto florestal da Universidade Federal do Pará.

Primeiramente, os frutos foram lavados em água corrente, a fim de serem eliminadas sujidades na superfície do fruto. Em seguida, os frutos foram sanitizados sob imersão em solução de 100 ppm de Cloro ativo por 15 minutos, sendo então, novamente lavados em água corrente para retirada do cloro residual e posteriormente drenados. A retirada da semente se deu manualmente, seguida de homogeneização em Mini-Processador Black & Decker, modelo HC 31, por 30 segundos. A polpa de jambo-vermelho com casca foi armazenada em embalagens de polietileno de 25 ml e congelada a -18°C , em freezer. As etapas de obtenção e armazenamento das amostras podem ser observadas através da Figura 3.1.

Figura 3.1 - Fluxograma de obtenção da polpa natural de jambo-vermelho com casca.



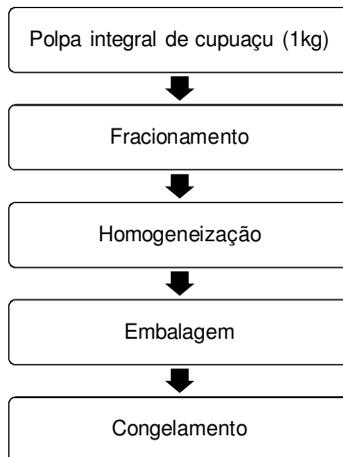
Uma parcela das amostras naturais foi diluída com uso de água destilada, nas proporções de 20, 30 e 40% (g de água/100 g de amostra), a fim de se obterem amostras com diferentes concentrações de sólidos solúveis para as posteriores análises reológicas. Em seguida, estas amostras diluídas foram armazenadas juntamente com as amostras naturais a -18°C .

3.1.2. Polpa de cupuaçu (amostra natural e diluições)

A polpa de cupuaçu integral foi adquirida diretamente do mercado local da cidade de Belém-PA na quantidade de 1 kg.

A polpa foi fracionada, homogeneizada em mini-processador Black & Decker, modelo HC 31, por 30 segundos e acondicionada em pequenas embalagens plásticas de polietileno (aproximadamente 25g), seguida de congelamento imediato a -18°C . Estes procedimentos evitam o descongelamento e recongelamento, os quais comprometem físico-química e microbiologicamente a matéria-prima. As etapas de processamento e armazenamento das amostras podem ser observadas através da Figura 3.2.

Figura 3.2 - Fluxograma de obtenção da polpa natural de cupuaçu.



Uma parcela das amostras naturais foi diluída com uso de água destilada, nas proporções de 20, 30 e 40% (g de água/100 g de amostra), a fim de se obterem amostras com diferentes concentrações de sólidos

solúveis para as posteriores análises reológicas. Em seguida, estas amostras diluídas foram armazenadas juntamente com as amostras naturais a -18°C .

3.1.3. Misturas entre polpas de jambo-vermelho com casca e cupuaçu.

As amostras naturais de jambo-vermelho com casca e cupuaçu foram pesadas com uso de balança analítica (precisão de 0,0001g) e misturadas para a obtenção das proporções de 25, 50 e 75% (g de polpa de jambo-vermelho com casca/100g de mistura).

3.2. ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

As análises físico-químicas, todas realizadas em triplicata, foram: pH: método potenciométrico (AOAC 42.1.04, 1997); acidez: titulação potenciométrica (AOAC 981.12, 1997); umidade: secagem direta a 105°C (IAL 012/IV, 2008); sólidos totais (IAL 015/IV, 2008) e sólidos solúveis em refratômetro ABBE digital de bancada, modelo Q767BD Quimis (IAL 010/IV, 2008).

Todas as análises físico-químicas foram realizadas apenas com as amostras naturais de jambo-vermelho com casca e cupuaçu.

As amostras diluídas passaram apenas por análise de sólidos solúveis.

As misturas das polpas de jambo-vermelho com casca e cupuaçu não passaram por análises físico-químicas.

3.3. ANÁLISES REOLÓGICAS

3.3.1 Reometria

As análises reológicas foram realizadas em reômetro (Brookfield R/S Plus) com geometria de cilindros concêntricos (CC25).

As temperaturas de análises foram 10, 30, 50 e 70°C . Estas temperaturas foram escolhidas, pois se tratam, respectivamente, da temperatura comum de descongelamento de polpas de fruta (HAMINIUK et al., 2006) e temperatura mínima de pasteurização (PELAIS; ROGEZ; PENA, 2008). A temperatura foi controlada por banho-maria (LAUDA 3200), devidamente acoplado ao reômetro.

Os dados de tensão de cisalhamento e viscosidade aparente foram obtidos pelo método de rampa CR (*controlled rate*), com taxa de deformação controlada, variando de 0 a 300 s⁻¹ na curva ascendente e 300 a 0 s⁻¹ na curva descendente. O tempo total de análise foi de 10 minutos, sendo os valores de tensão de cisalhamento e viscosidade aparente, obtidos a cada 7,5 segundos, totalizando 80 pontos (40 pontos para a curva ascendente e 40 pontos para a curva descendente). As análises foram realizadas em duplicata e o reograma da curva descendente foi utilizado para a caracterização reológica.

Após realizada cada corrida experimental, uma nova amostra de matéria-prima foi utilizada (BRANCO, 2001; KARWOWSKI, 2012; KESHANI; CHUAH; RUSSLY, 2012; OLIVEIRA; ROSSI; BARROS, 2012). De acordo com Karwowski (2012) e Keshani, Chuah e Russly (2012) a amostra não deve ser reutilizada devido a mudanças nas propriedades reológicas após o teste.

3.3.2 Modelagem

Os modelos de Ostwald-de Waele ou Lei da potência (Equação 2.10), Herschel-Bulkley (Equação 2.11), Mizrahi-Berk (Equação 2.12) e Sisko (Equação 2.13) foram aplicados aos dados reológicos da polpa, a fim de se ajustar o melhor modelo representativo. Os dados reológicos foram obtidos pelo programa Rheo 3000 e os parâmetros determinados com o uso dos softwares estatísticos Microsoft Excel 2010 e Origin 8.0.

3.3.2.1 Efeito da temperatura e concentração no comportamento reológico

O efeito da temperatura sobre a viscosidade da amostra foi determinado através da equação linearizada de Arrhenius (Equação 2.14), à taxa de deformação de 100 s⁻¹.

O efeito da concentração de sólidos solúveis na viscosidade aparente de polpa de jambo-vermelho foi analisado através da equação Exponencial (Equação 2.15), à taxa de deformação de 100 s⁻¹.

A taxa de deformação de 100 s⁻¹ foi escolhida, pois se aproxima de uma taxa de saída de produto de uma embalagem - 10 a 100 s⁻¹ - bem como se aproxima da taxa de deformação de misturadores domésticos - 100 a 100 s⁻¹ (CHIN et al., 2009), além de englobar as taxas de deformação aplicadas em processos de bombeamento em indústrias (1 a 1000 s⁻¹) (STEFFE, 1996).

3.3.2.2 Parâmetros Estatísticos

A acurácia dos modelos reológicos foi observada através dos índices estatísticos (R^2) e qui-quadrado (χ^2). O melhor ajuste se dá quanto mais próximo da unidade for o resultado para o teste R^2 e mais próximo de zero for o valor encontrado no teste χ^2 .

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS

4.1.1 Polpa de jambo-vermelho com casca

As características físico-químicas da polpa de jambo-vermelho com casca, disponíveis na Tabela 3.1, estão de acordo com os valores observados por Cardoso (1994) e Whistler e Elevitch (2006), ao estudarem as características físico-químicas do jambo.

Tabela 4.1 - Características físico-químicas da polpa natural de jambo vermelho com casca.

Umidade (%)	90,91 ± 0,11
Sólidos Totais (%)	9,08 ± 0,11
Sólidos Solúveis (°Brix)	7,80 ± 0,17
Acidez (g/100g)	0,68 ± 0,00
pH	3,60 ± 0,00

O jambo vermelho apresenta elevado valor de umidade (90,91%), sendo enquadrado na classe de frutos suculentos (ANDRADE; ARAGÃO; FERREIRA, 1993).

Outra característica relevante é seu baixo valor de pH (3,6), o que favorece a sua industrialização, evitando a etapa de acidificação (ANDRADE; ARAGÃO; FERREIRA, 1993; CARDOSO, 1994).

Algumas mirtáceas como a pitanga (*Eugenia uniflora*) e jambolão (*Syzygium cumini*), apresentam características físico-químicas semelhantes ao jambo-vermelho. De acordo com Karwowski (2012), a polpa de pitanga apresenta 90,31% de umidade, 8 °Brix, pH igual a 3,45 e 0,99 ml de ácido cítrico/100 g, para acidez total titulável.

Lago, Gomes e Silva (2006), em produção de geleia de jambolão, observaram as seguintes características físico-químicas para a fruta: 87,7% de umidade, 9 ° Brix, pH igual a 3,90 e acidez total titulável de 5,91 g de ácido cítrico/100 g.

As amostras diluídas de polpa de jambo-vermelho com casca apresentaram as seguintes concentrações de sólidos solúveis: 20% de diluição (5,8 °Brix), 30% de diluição (5,1 °Brix) e 40% de diluição (4,4 °Brix).

4.1.2 Polpa de cupuaçu

As características físico-químicas da polpa de cupuaçu podem ser observadas através da Tabela 3.2.

Tabela 4.2 - Características físico-químicas da polpa natural de cupuaçu.

		Ferreira (2008)	Matos et al. (2008)³	Canuto et al. (2010)	Viana (2010)	Brasil (2009)
Umidade (%)	82,57 ± 0,11 ¹	-	84,28	89,20	-	-
Sólidos Totais (%)	17,42 ± 0,11 ¹	10,00	-	-	14,00	9,00 ⁴
Sólidos Solúveis (°Brix)	14,16 ± 0,05 ¹	-	13,61	9,00	-	12,00 ⁴
Acidez Total Titulável (g/100g)	2,11 ± 0,01 ¹	-	3,11	3,50	2,90	1,50 ⁴
pH	3,60 ± 0,05 ¹	3,51	3,02	3,50	3,21	2,60 ⁴
Pectina (mg)	-	390 - 850 ²	-	-	-	-
Fibras (%)	-	0,50 - 1,89 ²	-	-	-	-

¹. Valores obtidos experimentalmente.

². Faixa de valores obtidos por Villachica (1996 apud FERREIRA, 2008).

³. Valores médios para diferentes genótipos de cupuaçu.

⁴. Valores mínimos exigidos pela legislação vigente.

A percentagem de umidade da polpa de cupuaçu encontrada no presente estudo (82,57%) encontra-se abaixo dos valores observados por Canuto et al. (2010) e abaixo dos valores contemplados na Tabela de Composição Centesimal dos Alimentos (TACO, 2011), os quais obtiveram umidade percentual de 89,20 e 86,60, respectivamente. Ainda assim, o valor está muito próximo ao encontrado por Matos et al. (2008), 84,28% e compreendido na faixa de valores observados por

Parente, Júnior e Costa (2003), 81,3 a 89,0%, a qual não foi apresentada na Tabela 3.2.

A concentração de sólidos solúveis na polpa de cupuaçu, em °Brix, está acima dos valores observados por Matos et al. (2008) e Canuto et al. (2010), 13,61 e 9,00, respectivamente. A elevada concentração de sólidos solúveis observada no presente estudo se deve a uma provável maior maturação da matéria-prima, em comparação com as matérias-primas utilizadas pelos autores supracitados.

Segundo Matos (2007), o teor de sólidos solúveis tende a aumentar com o grau de maturação do fruto, pois, com o amadurecimento, o amido é hidrolisado e os açúcares complexos vão se transformando em açúcares simples, em consequência, diminuem a acidez. Nas regiões produtoras de cupuaçu, as condições climáticas, principalmente a precipitação e altas temperaturas, são fatores que exercem influência na formação dos sólidos solúveis, o qual é de grande importância nos frutos, tanto para o consumo *in natura* como para o processamento industrial, visto que elevados teores desses constituintes na matéria-prima implicam menor adição de açúcares, menor tempo de evaporação da água, menor gasto de energia e maior rendimento do produto, resultando em maior economia no processamento.

A concentração mínima de sólidos solúveis, estabelecida pela legislação (BRASIL, 2009), é de 12 °Brix.

Acidez e pH são fatores preponderantes para a utilização da polpa de fruta na elaboração de néctares, sucos e geleias. Segundo Matos (2007), a acidez elevada de frutos é característica apropriada para a agroindústria de polpa, pois, frutos ácidos dispensam a adição de ácidos orgânicos em seu aproveitamento na produção de doces e geleias em associação com outros compostos, principalmente os açúcares, que contribuem para a formação de géis.

Os valores de acidez e pH encontrados no presente trabalho, embora abaixo e acima, respectivamente, dos valores encontrados pelos demais autores citados, estão acima dos padrões mínimos exigidos por legislação.

Outra característica relevante é a alta concentração de pectina na polpa de cupuaçu, citada por Ferreira (2008): uma faixa de 390 a 850 mg/100 g de polpa.

Gondim et al. (2001) determinaram as características físico-químicas da polpa de cupuaçu e observaram concentração de 390 mg de pectina/100 g de polpa. De acordo com os autores, a acidez natural da polpa e o elevado teor de pectina são características que favorecem a fabricação de néctares, geleias, compotas e doces pastosos.

As amostras diluídas de polpa de cupuaçu apresentaram as seguintes concentrações de sólidos solúveis: 20% de diluição (12 °Brix), 30% de diluição (10,16 °Brix) e 40% de diluição (9,4 °Brix).

4.2 CARACTERÍSTICAS REOLÓGICAS

4.2.1 Polpa de jambo-vermelho com casca

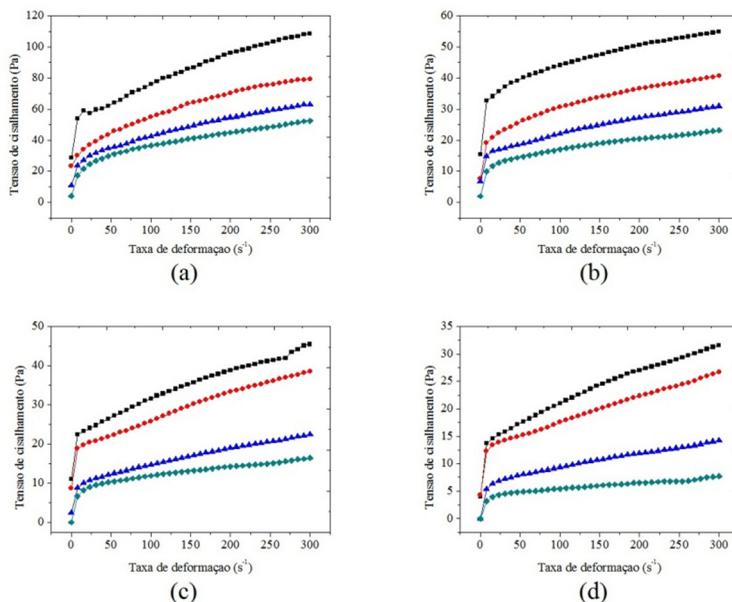
4.2.1.1 Reogramas e modelagem

Através das curvas de fluxo (Figura 4.1), observa-se um aumento gradual na tensão de cisalhamento em consonância ao aumento da taxa de deformação, efeito que tende à estabilidade sob altas taxas de deformação. Este comportamento é típico de fluidos pseudoplásticos.

A pseudoplasticidade da polpa de jambo-vermelho pode ser atestada, de forma complementar, através das curvas de viscosidade das mesmas amostras, encontradas no Apêndice A (Figura A.1.), onde se pode observar uma diminuição na viscosidade aparente com o aumento na taxa de deformação, sendo que a altas taxas, a viscosidade aparente tende à estabilidade.

Sem a ação de forças ou taxas de deformação, as polpas de frutas encontram-se estáveis, sendo que a única movimentação observada se deve ao movimento Browniano exercido pelas moléculas. De acordo com Carreau, Lavoie e Yziquel (1999), o movimento Browniano permite que as forças de atração intermoleculares promovam a formação de flocos, rede molecular e géis de fraca resistência. A aplicação de taxas de deformação induz a instauração de forças hidrodinâmicas, as quais quebram rapidamente a fraca estrutura molecular inicialmente formada, diminuindo a viscosidade aparente da polpa.

Figura 4.1 - Curvas de fluxo das amostras de polpa natural de jambo-vermelho (a), diluição 20% (b), diluição 30% (c) e diluição 40% (d), nas temperaturas de 10 (■), 30 (●), 50 (▲) e 70°C (◆)



Através da Figura 4.1, observa-se também, uma diminuição nas curvas de tensão de cisalhamento com o aumento da temperatura, para todas as amostras. De acordo com Pelegri (1999), a temperatura é um dos fatores que mais afetam a viscosidade das polpas de frutas, pois a maioria destas apresentam-se na forma de sólidos dispersos em meio líquido. Um aumento de temperatura faz com que a viscosidade da fase fluida diminua, aumentando o movimento das partículas em suspensão, diminuindo, conseqüentemente, a viscosidade da polpa.

Os quatro modelos reológicos (Lei da potência [Tabela 4.3], Herschel-Bulkley [Tabela 4.4], Mizrahi-Berk [Tabela 4.5] e Sisko [Tabela 4.6]), ajustaram-se de modo satisfatório aos dados experimentais da polpa natural de jambo-vermelho (7,8 °Brix) e suas diluições - 20% ou 5,8 °Brix, 30% ou 5,1 °Brix e 40% ou 4,4 °Brix, sendo os valores de R^2 superiores a 0,88, e os valores de χ^2 , próximos a zero – exceto para a temperatura de 10°C da amostra natural - muito provavelmente devido à instabilidade do equipamento a baixas taxas de deformação e baixas temperaturas.

Tabela 4.3 - Parâmetros do modelo Lei da potência ajustados aos dados experimentais da amostra de polpa natural de jambo-vermelho com casca (7,8°Brix).

Lei da Potência				
T(°C)	K (Pa.sⁿ)	n	χ²	R²
10	23,662	0,263	35,030	0,901
30	13,275	0,314	15,970	0,931
50	10,554	0,310	4,573	0,970
70	9,290	0,299	0,772	0,993

Tabela 4.4 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley ajustados aos dados experimentais da amostra de polpa natural de jambo-vermelho com casca (7,8°Brix).

Herschel-Bulkley					
T (°C)	τ_{0hb} (Pa)	K_{hb} (Pa.sⁿ)	n_{hb}	χ²	R²
10	34,455	4,338	0,498	5,066	0,986
30	22,279	2,823	0,533	0,481	0,998
50	12,296	4,065	0,442	0,438	0,997
70	4,314	6,720	0,342	0,268	0,998

Tabela 4.5 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk ajustados aos dados experimentais da amostra de polpa natural de jambo-vermelho com casca (7,8°Brix).

Mizrahi-Berk					
T (°C)	K_{0mb} (Pa.s)²	K_{mb} (Pa.sⁿ)²	n_{mb}	χ²	R²
10	5,769	0,484	0,398	4,175	0,988
30	4,640	0,405	0,418	0,766	0,997
50	3,436	0,688	0,329	0,239	0,998
70	2,039	1,406	0,227	0,223	0,998

Tabela 4.6 - Parâmetros do modelo de Sisko ajustados aos dados experimentais da amostra de polpa natural de jambo-vermelho com casca (7,8°Brix).

Sisko					
T (°C)	η_{cs} (Pa.s)	K_s (Pa.sⁿ)	n_s	χ^2	R^2
10	0,150	43,403	0,074	24,622	0,931
30	0,061	17,771	0,221	15,349	0,933
50	0,064	15,985	0,179	3,316	0,978
70	0,027	11,182	0,240	0,581	0,995

O índice de consistência (K) do modelo de Ostwald-de Waele ou Lei da potência diminuiu com o aumento da temperatura. De acordo com Zainal et al. (2000), uma diminuição no índice de consistência aumentará a taxa de fluxo de suco devido à menor resistência. Isto significa que o tempo de pasteurização e retenção em variáveis operacionais recomendadas será menor.

Em contrapartida, a relação direta do índice de consistência com a temperatura não é necessariamente uma regra para os modelos reológicos. Enquanto o modelo de Sisko apresentou queda nos valores do parâmetro K_s , semelhante ao modelo Lei da potência, os modelos de Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk não apresentaram uma tendência definida para o índice de consistência com o aumento da temperatura. No entanto, o índice de correlação dos modelos foi elevado. Tal observação se deve à influência do parâmetro adicional de tensão crítica de cisalhamento, parâmetro não contemplado pelo modelo Lei da potência e a baixa reprodutibilidade do modelo Lei da potência em baixas taxas de deformação. Segundo Rao (1999), o modelo de Lei da potência não produz boa representatividade a taxas de deformação menores que $10s^{-1}$.

Devido aos mais elevados valores para o índice R^2 e aos menores valores de χ^2 para todas as concentrações, optou-se por utilizar o modelo de Mizrahi-Berk como representativo. Este modelo também foi utilizado como representativo por Vandresen et al. (2009) para suco de cenoura, por Pelegrine, Silva e Gasparetto (2002) para polpas de abacaxi e manga, por Ferreira et al. (2002) para polpa de goiaba natural e por Scremin (2007) para polpa de goiaba natural e polpa de goiaba pasteurizada. Os valores dos parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk

para as amostras diluídas de jambo-vermelho se encontram na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk, ajustados aos dados experimentais das amostras de polpas diluídas de jambo-vermelho com casca.

Mizrahi-Berk						
C (°Brix)	T (°C)	$K_{0mb} (Pa.s)^2$	$K_{mb} (Pa.s^n)^2$	n_{mb}	χ^2	R^2
5,8	10	3,987	1,008	0,213	0,203	0,997
	30	2,798	0,892	0,243	0,043	0,999
	50	2,750	0,491	0,304	0,215	0,992
	70	1,468	1,128	0,188	0,043	0,998
5,1	10	3,558	0,423	0,348	0,610	0,989
	30	3,322	0,297	0,397	0,775	0,983
	50	1,832	0,524	0,297	0,157	0,992
	70	0,545	1,529	0,142	0,066	0,993
4,4	10	2,301	0,576	0,305	0,372	0,990
	30	2,459	0,372	0,342	0,534	0,976
	50	0,795	0,905	0,204	0,105	0,987
	70	0,415	1,026	0,139	0,036	0,982

Observa-se na Tabela 4.7, que as amostras diluídas de jambo-vermelho apresentaram comportamento pseudoplástico, semelhante à amostra natural, com índices de comportamento do fluido, sempre menores que a unidade. Isto comprova o fato de que a adição de água destilada nas amostras, em proporções de 20, 30 e 40%, associada a altas temperaturas, não foi suficiente para que houvesse uma transição de fluxo pseudoplástico para fluxo newtoniano nas amostras.

4.2.1.2 Influência da temperatura no comportamento reológico

A temperatura é um dos fatores mais cruciais no estabelecimento de um comportamento reológico. De acordo com Schramm (2006), os limites de variação de temperatura em um teste reológico não devem ultrapassar a faixa de 0,1°C. Uma mínima alteração de temperatura pode alterar significativamente o comportamento reológico obedecido pelo fluido.

Para se avaliar o efeito da temperatura no comportamento reológico de polpa de jambo-vermelho natural e suas diluições, fez-se uso da equação linearizada de Arrhenius (Equação 2.14).

Observa-se, através da Tabela 4.8, uma boa representatividade da equação de Arrhenius para os dados experimentais da polpa de jambo-vermelho, com índices de correlação (R^2) superiores a 0,93.

Tabela 4.8 - Parâmetros da equação linearizada de Arrhenius para polpa natural de jambo-vermelho com casca e suas diluições.

Equação de Arrhenius			
C (°Brix)	A_A (Pa.s)	E_a (kJ/mol)	R²
7,8	1,002	10,097	0,990
5,8	1,001	12,784	0,999
5,1	1,000	13,998	0,949
4,4	0,998	18,667	0,933

Nota-se um aumento na energia de ativação com a diminuição da concentração. De acordo com Steffe (1996) e Rao (1999), a energia de ativação indica a influência da temperatura na viscosidade aparente de fluidos. De acordo com os autores, quanto maior for a energia de ativação, maior será a variação de viscosidade aparente em uma determinada faixa de temperaturas.

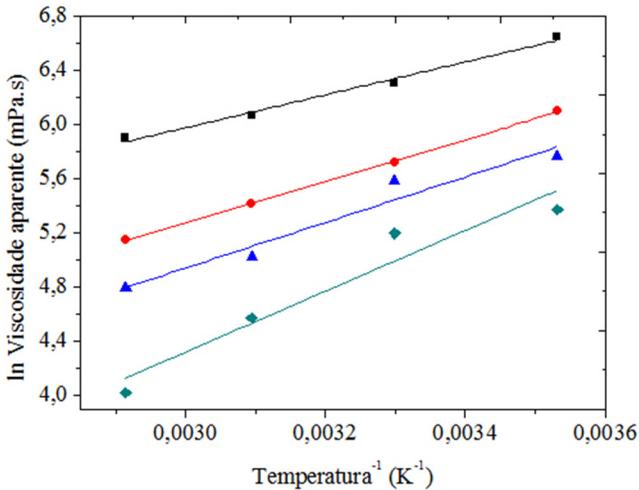
O valor de 10,096 kJ/mol, encontrado para polpa de jambo natural (7,8°Brix) está de acordo com outros trabalhos realizados com frutas semelhantes no que concerne às características físico-químicas do jambo, como é o caso do morango, estudado por Bezerra et al. (2009), com uma energia de ativação de 11,1 kJ/mol, a uma taxa de deformação de 94,7 s⁻¹ e a pêra, avaliada por Guerrero e Alzamora (1998), com uma energia de ativação de 13 kJ/mol.

Conforme os valores obtidos, conclui-se que a temperatura exerce maior influência na viscosidade aparente da amostra mais diluída (4,4°Brix). Dentre as concentrações analisadas, a viscosidade aparente da amostra natural (7,8°Brix) é a viscosidade menos afetada por mudanças de temperatura.

A energia de ativação da equação linearizada de Arrhenius é obtida através da plotagem do logaritmo da viscosidade aparente pelo inverso da temperatura. A inclinação da reta, multiplicada pela constante universal dos gases ideais (R), fornece o valor da energia de ativação.

Quanto maior for a inclinação da reta, consequentemente, maior será a energia de ativação. A Figura 4.2 evidencia a maior inclinação de reta obtida com a menor concentração de sólidos solúveis (4,4°Brix), analogamente, a maior energia de ativação (18,667 kJ/mol).

Figura 4.2 - Linearização da equação de Arrhenius para as amostras de polpa de jambo-vermelho com casca a 7,8 (■), 5,8 (●), 5,1 (▲) e 4,4°Brix (◆).



Resultados semelhantes foram obtidos por Silva, Guimarães e Gasparetto (2005), os quais observaram aumento na energia de ativação sob diminuição na concentração de sólidos solúveis de suco de acerola.

Dak, Verma e Jaaffrey (2007) obtiveram valores crescentes de energia de ativação em consequência da diminuição na concentração de sólidos totais em suco de manga “Kesar”.

A energia de ativação também aumentou gradativamente com a diminuição na concentração de sólidos totais em manga “Totapuri”, no trabalho desenvolvido por Dak, Verma e Sharma (2006).

Para os autores Khalil et al. (1989), analisando a influência da temperatura em suco clarificado de banana, Ibarz, Gonzales e Esplugas (1994), avaliando a influência da temperatura na reologia de suco clarificado de laranja e Toralles, Vendruscolo, J. e Vendruscolo, C. (2006) estudando o comportamento reológico de suco homogêneo

de pêssego, a energia de ativação cresceu com o aumento na concentração de sólidos solúveis.

No trabalho desenvolvido por Chin et al. (2009), a energia de ativação máxima foi observada em uma concentração intermediária. De acordo com o autor, os trabalhos desenvolvidos até então são inconsistentes acerca de uma variação ordenada de energia de ativação. Enquanto alguns autores observam máxima energia de ativação em produtos menos concentrados, outros notam a máxima energia de ativação em consonância com a máxima concentração de sólidos solúveis.

Ainda assim, de acordo com Saravacos (1970 apud CHIN et al., 2009), a energia de ativação decresce com a presença de partículas sólidas suspensas em sucos de fruta, o que pode ter sido o diferencial entre os estudos acima citados.

Devido ao fato de não terem sido encontrados na literatura, trabalhos referentes à reologia da polpa de jambo vermelho com casca, não foi possível comparar os valores da energia de ativação encontrados na presente pesquisa com outros trabalhos realizados com a mesma fruta. Todavia, de acordo com Karwowski (2012), de forma geral, os valores de energia de ativação para alimentos fluidos encontram-se na faixa entre 1,5 a 15 kcal/mol (6,28 a 62,8 kJ/mol). Essa variação deve-se à faixa de temperatura considerada, à influência do teor de sólidos solúveis e em suspensão, e à presença de polímeros.

4.2.1.3 Influência da concentração no comportamento reológico

Normalmente, existe uma relação direta não linear entre concentração de um soluto e viscosidade a uma dada temperatura (ARSLAN, 2003).

De acordo com Rao (1999), a concentração de sólidos solúveis e insolúveis é tida como um dos componentes-chave na identificação de um comportamento reológico. O efeito da concentração na viscosidade aparente de um fluido pode ser descrito por duas equações, a equação Potencial e a equação Exponencial (RAO, 1999; STEFFE, 1996).

Neste trabalho, utilizou-se a equação Exponencial (Equação 2.15) para analisar o efeito da concentração de sólidos solúveis nas amostras de polpa de jambo-vermelho com casca.

A equação Exponencial também foi utilizada com grande acurácia na avaliação da concentração de sólidos solúveis de suco de acerola por Silva, Guimarães e Gasparetto (2005), concentração de sólidos solúveis em polpa de melancia por Guedes, Ramos e Diniz

(2005), concentração de sólidos solúveis em suco de toranja por Keshani, Chuah e Russly (2012) e concentração de sólidos solúveis em purê de pêssego por Guerrero e Alzamora (1998).

Os valores dos parâmetros da equação Exponencial para as amostras de polpa de jambo-vermelho podem ser observados através da Tabela 4.9.

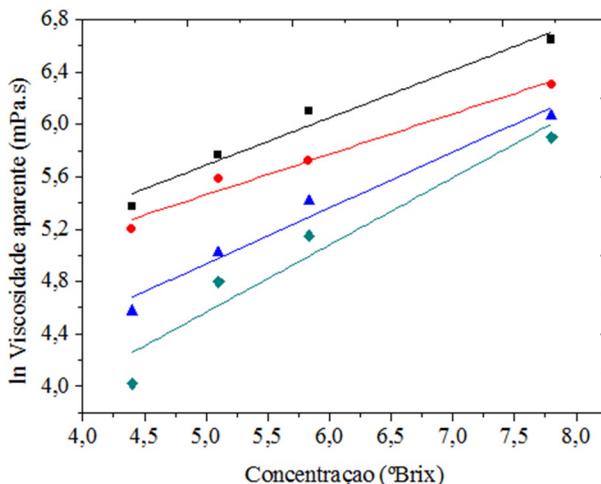
Tabela 4.9 - Parâmetros da equação Exponencial para as amostras de polpa de jambo-vermelho com casca em diferentes temperaturas.

Equação Exponencial			
T (°C)	A₀ (Pa.s)	A₁ (°Brix⁻¹)	R²
10	0,048	0,362	0,969
30	0,050	0,309	0,975
50	0,016	0,426	0,972
70	0,007	0,514	0,932

Observa-se uma diminuição abrupta no parâmetro A_0 , o qual é relacionado diretamente à viscosidade da amostra, com o aumento da temperatura. Inversamente, o parâmetro A_1 , relacionado à variação de concentração de sólidos solúveis, aumenta com a elevação da temperatura, evidenciando que alterações na concentração de sólidos solúveis, para uma temperatura fixa, afetam mais a viscosidade a altas temperaturas.

Através da Figura 4.3, observa-se uma maior inclinação na reta de 70°C, em comparação com as outras retas, evidenciando uma grande disparidade entre os pontos referentes à viscosidade aparente. Com isso, maior é o valor do parâmetro A_1 .

Figura 4.3 - Linearização da equação Exponencial para as amostras de polpa de jambo-vermelho com casca e suas diluições a 10 (■), 30 (●), 50 (▲) e 70°C (◆).



Os resultados obtidos estão de acordo com Silva, Guimarães e Gasparetto (2005), onde os autores também observaram diminuição no parâmetro A_0 e aumento no parâmetro A_1 com o aumento da temperatura.

Guerrero e Alzamora (1997) obtiveram decréscimo nos valores do parâmetro A_0 com o aumento da temperatura, para purê de banana, efeito semelhante ao encontrado neste trabalho.

Chin et al. (2009) observaram comportamento semelhante ao estudar a influência da concentração de sólidos solúveis em suco de toranja através da equação Potencial.

No entanto, alguns autores observaram comportamento distinto nos parâmetros do modelo exponencial com o aumento da temperatura, onde os mesmos observaram uma maior influência da concentração de sólidos solúveis em baixas temperaturas.

Ibarz, Gonzales e Esplugas (1994) obtiveram aumento e diminuição nos parâmetros A_0 e A_1 , respectivamente, com o aumento da temperatura, no estudo da reologia de suco clarificado de laranja. Os autores fizeram o uso dos modelos potencial e exponencial. O comportamento reológico observado pelos autores foi o newtoniano.

Singh e Eipeson (2000) também fizeram o uso de ambos os modelos e, da mesma forma, obtiveram valores crescentes para o parâmetro A_0 e valores decrescentes para o parâmetro A_1 em suco clarificado de manga, com características newtonianas.

Uma possível alteração no comportamento dos parâmetros da equação exponencial com o aumento da temperatura, pode se dever ao comportamento reológico observado. Fluidos pseudoplásticos apresentaram aumento nos valores do parâmetro A_1 com o aumento da temperatura, ao passo que para fluidos newtonianos, o comportamento inverso para o parâmetro A_1 foi observado.

Contudo, através do trabalho realizado e as referências encontradas na literatura, nota-se que não há uma tendência geral para a variação dos parâmetros A_0 e A_1 , na equação Exponencial da concentração com o aumento da temperatura.

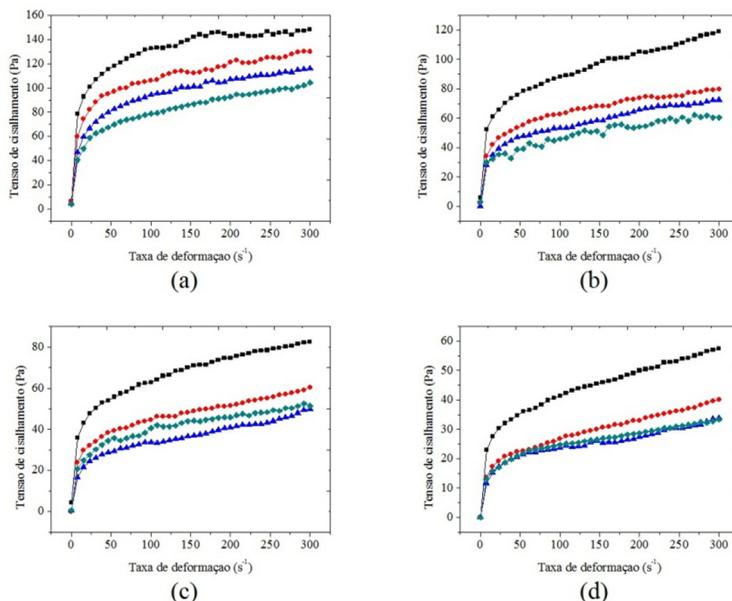
4.2.2 Polpa de Cupuaçu

4.2.2.1 Reogramas e modelagem

Observa-se através da Figura 4.4, um aumento nos valores de tensão de cisalhamento devido ao aumento programado nas taxas de deformação, caracterizando a matéria-prima como um fluido pseudoplástico. Quando taxas de deformação, relativamente altas, são alcançadas, a tensão de cisalhamento tende à estabilidade.

Por outro lado, a viscosidade aparente apresenta comportamento distinto, como esperado para fluidos pseudoplásticos. Ela diminui intensamente com baixas taxas de deformação e então, tende a se manter constante sob altas taxas de deformação. Este efeito se deve à orientação das moléculas poliméricas na direção do fluxo, diminuindo, consequentemente, a resistência inicial oferecida.

Figura 4.4 - Curvas de fluxo das amostras de polpa natural de cupuaçu (a), diluição 20% (b), diluição 30% (c) e diluição 40% (d), nas temperaturas de 10 (■), 30 (●), 50 (▲) e 70°C (◆).



Evidencia-se que o aumento na diluição da polpa, diminui a magnitude da tensão de cisalhamento requerida para se manter constante a rotação programada para a taxa de deformação. Todavia, o acréscimo de 30 e 40% de água, representados pelos gráficos “c” e “d”, associado a altas temperaturas, provoca um aumento inesperado nos valores de tensão de cisalhamento. Ou seja, a viscosidade aparente, a qual deveria diminuir com o aumento na temperatura, como esperado para fluidos pseudoplásticos, aumenta quando atingida a temperatura de 70 °C. Uma razão para a ocorrência deste efeito é uma possível gelatinização de moléculas poliméricas na polpa de cupuaçu.

De acordo com Souza e Andrade (2000), durante o aquecimento de dispersões de amido em presença de excesso de água, inicialmente ocorre o inchamento de seus grânulos até temperaturas nas quais ocorre o rompimento dos grânulos, com destruição de ordem molecular e mudanças irreversíveis nas suas propriedades. Ainda assim, a gelatinização não depende apenas da presença, mas também de outras características físicas e químicas como distribuição dos grânulos de amido na solução, razão amilose/amilopectina e conteúdo mineral (SINGH et al., 2003).

Bezerra, Queiroz e Gasparetto (2001) observaram aumento na viscosidade aparente de manga “Keitt” quando atingida a temperatura de 50 °C. Para os autores, uma explicação para tal efeito se deve a uma possível gelatinização da fração amilácea presente na polpa.

Vidal, Pelegrine e Gasparetto (2004), ao avaliarem o perfil reológico de polpa de manga “Keitt” integral e centrifugada, observaram aumento na viscosidade aparente nas temperaturas de 50 e 60 °C, para a amostra integral, efeito ausente para a amostra centrifugada. Para os autores, tal comportamento pode ser explicado por uma possível interação entre as fibras suspensas, já que este comportamento não é observado na polpa centrifugada.

Segundo Steffe (1996), típicos exemplos associados com o aquecimento são o amolecimento do chocolate e queijo devido ao derretimento da gordura, espessamento das soluções de amido pela gelatinização, endurecimento da carne e de derivados de ovos causados pela desnaturação das proteínas e formação de géis pécticos.

A pectina têm a capacidade de formar géis, sob certas circunstâncias, o que faz dela um importante aditivo em geléias, marmeladas e na indústria confeitaria, de maneira geral. Muitos fatores afetam as condições de formação de gel, assim como a força dele. No entanto, o papel principal é exercido pelas moléculas de pectina, de modo que seu comprimento de cadeia e a natureza química das zonas de

conexão têm forte influência. Sob condições iguais, a força do gel aumenta com o aumento da massa molecular da pectina utilizada e qualquer tratamento que despolimerize as cadeias de pectina refletirá em géis mais fracos (TONELI, MURR & PARK, 2005).

Pectinas são polímeros de ácido galacturônico, solúveis em água, e que se diferem pelo grau de metoxilação, ou seja, número de radicais metila (CH_3) esterificados na molécula. São substâncias presentes na célula vegetal e que, adicionadas de água e em presença de açúcares e meio ácido, podem formar géis pécticos. Por se tratar de um fruto ácido e com elevada concentração de pectina, as altas temperaturas de análise, comumente utilizadas como temperaturas de pasteurização, podem ter favorecido a formação de géis pécticos, aumentando instantaneamente a viscosidade da amostra.

De acordo com Sugai (2002), a consistência de geleias, néctares e purês é notadamente influenciada pela pectina originalmente presente na fruta, devido a suas propriedades espessantes e de gelatinização.

Haminiuk (2005), ao notar um aumento na viscosidade aparente a altas temperaturas em polpa de araçá integral, atribuiu o efeito observado a uma possível gelatinização da fração péctica da polpa, o que gerou uma maior resistência ao escoamento.

Matta (1999) e Balischi et al. (2002), ao estudarem o comportamento reológico de suco de acerola tratado enzimaticamente, observaram redução na viscosidade aparente das amostras tratadas com as enzimas Pectinex e Citrozym, em comparação com a amostra *in natura*.

Vendruscolo (2005), ao avaliar o comportamento reológico de suco de carambola, observou que a adição de enzima Pectinex Ultra SP-L ao suco, o qual apresentou comportamento Newtoniano para todas as amostras, diminuiu consideravelmente a viscosidade, em comparação com o suco *in natura*, de 1,84 mPa.s para 1,22 mPa.s, evidenciando a ação de substâncias pécticas no suco. No entanto, mesmo após tratamento enzimático, as amostras que passaram por pasteurização a 100°C por 10 minutos, sofreram aumento considerável na viscosidade aparente, a qual subiu para 2,28 mPa.s. Segundo o autor, este aumento pode ser explicado pelo fato de que o calor úmido utilizado no processo de pasteurização provoca o inchamento e a retenção de água entre as cadeias da celulose, aumentando o volume das partículas em suspensão. Além disso, faz com que ocorra a solubilização das pectinas existentes na polpa, resultando em maiores valores no teor de sólidos solúveis.

Outro efeito que poderia provocar aumento na viscosidade do fluido com o aumento na temperatura é a evaporação de solvente (água)

sob altas temperaturas. Evaporação de solvente ocorre mais facilmente em testes com o uso de geometria de placas planas (placas paralelas). Não foi encontrado na literatura, algum estudo onde os autores tenham observado evaporação de solvente em teste conduzido com geometria de cilindros concêntricos.

Os reogramas de polpa natural de cupuaçu e suas diluições foram ajustados aos modelos de Ostwald-de Waele ou Lei da potência, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Sisko, sendo que os valores dos parâmetros dos quatro modelos, bem como os devidos parâmetros estatísticos, podem ser observados através das Tabelas 4.10, 4.11, 4.12 e 4.13, respectivamente. Todos os modelos apresentaram ajuste satisfatório às amostras, com valores de R^2 superiores a 0,97. Contudo, optou-se por utilizar o modelo de Sisko, devido aos menores valores do parâmetro estatístico χ^2 , conforme pode-se observar através da Tabela 4.14.

O modelo de Sisko foi bem ajustado aos reogramas do sistema de polpa de cupuaçu e biopolímeros por Ferreira (2008) e purê de mirtilo com adição de goma xantana e frutose por Kechinski et al. (2011), com índices de correlação R^2 superiores a 0,97. O modelo também apresentou excelente representatividade em dispersões aquosas de goma de caju, no trabalho de Mothé e Rao (1999), com índices de correlação unitários para as oito concentrações avaliadas.

Tabela 4.10 - Parâmetros do modelo Lei da potência ajustados aos dados experimentais da amostra de polpa natural de cupuaçu (14,16°Brix).

Lei da Potência				
T(°C)	K (Pa.sⁿ)	n	χ^2	R^2
10	64,892	0,149	13,364	0,980
30	46,859	0,178	4,963	0,990
50	34,984	0,211	3,112	0,993
70	27,454	0,230	1,747	0,995

Tabela 4.11 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley ajustados aos dados experimentais da amostra de polpa natural de cupuaçu (14,16°Brix).

Herschel-Bulkley					
T (°C)	τ_{0hb} (Pa)	K_{hb} (Pa.sⁿ)	n_{hb}	χ^2	R²
10	5,258	60,417	0,155	12,960	0,981
30	5,517	42,386	0,188	4,258	0,992
50	3,136	32,617	0,219	2,919	0,994
70	3,870	24,638	0,242	1,378	0,996

Tabela 4.12 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk ajustados aos dados experimentais da amostra de polpa natural de cupuaçu (14,16°Brix).

Mizrahi-Berk					
T (°C)	K_{0mb} (Pa.s)²	K_{mb} (Pa.sⁿ)²	n_{mb}	χ^2	R²
10	2,050	6,116	0,091	13,555	0,980
30	2,251	4,758	0,114	4,534	0,991
50	1,290	4,743	0,122	3,279	0,993
70	1,885	3,564	0,147	1,472	0,996

Tabela 4.13 - Parâmetros do modelo de Sisko ajustados aos dados experimentais da amostra de polpa natural de cupuaçu (14,16°Brix).

Sisko					
T (°C)	η_{zs} (Pa.s)	K_s (Pa.sⁿ)	n_s	χ^2	R²
10	-0,146	49,418	0,236	3,789	0,994
30	-0,026	43,952	0,198	4,745	0,991
50	-0,066	29,511	0,266	1,597	0,997
70	0,002	27,663	0,228	1,792	0,995

Observa-se, através das Tabelas 4.13 e 4.14, diminuição no índice de consistência do fluido (K_s) com o aumento na temperatura e diminuição na concentração de sólidos solúveis (°Brix), comportamento esperado para fluidos pseudoplásticos.

Nota-se que o parâmetro índice de comportamento do fluido (n_s) encontra-se abaixo da unidade, comprovando a pseudoplasticidade do fluido. O parâmetro, no entanto, sofre oscilações, não seguindo um comportamento ordenado. De acordo com Rao (1999), o índice de comportamento do fluido é relativamente constante com a temperatura e concentração.

O mesmo efeito oscilatório para o índice de consistência foi observado por Ferreira et al. (2002) e por Haminiuk et al. (2006), em análise reológica de polpa de goiaba e polpa de amora preta, respectivamente.

O parâmetro viscosidade infinita (η_{∞}), para todas as temperaturas e concentrações, foi muito próximo a zero e em muitos casos, menor que zero, não configurando sentido físico ao parâmetro.

Tabela 4.14 - Parâmetros do modelo de Sisko, ajustados aos dados experimentais das amostras de polpas diluídas de cupuaçu.

Sisko						
C (°Brix)	T (°C)	η_{∞} (Pa.s)	K_s (Pa.sⁿ)	n_s	χ^2	R²
12	10	0,068	38,803	0,161	1,954	0,996
	30	-0,013	22,427	0,230	0,648	0,997
	50	0,030	20,138	0,202	1,208	0,994
	70	0,041	19,935	0,162	3,005	0,978
10,16	10	0,015	24,429	0,204	0,738	0,997
	30	0,021	17,163	0,195	0,527	0,996
	50	0,044	13,861	0,160	1,040	0,988
	70	-0,002	13,208	0,240	0,584	0,994
9,4	10	0,040	16,683	0,175	0,164	0,999
	30	0,042	10,593	0,163	0,169	0,997
	50	0,024	9,837	0,165	0,813	0,980
	70	0,012	9,099	0,204	0,177	0,996

4.2.2.2 Influência da temperatura no comportamento reológico

A temperatura é um dos fatores de maior relevância na determinação da viscosidade aparente de um fluido. Durante as etapas de produção, tratamentos térmicos como a pasteurização e a esterilização, podem provocar alterações significativas na viscosidade

do fluido. Da mesma forma, mudanças de temperatura durante o transporte e o armazenamento podem promover desorganizações de ordem molecular, resultando em alterações na viscosidade do produto.

Para se determinar o efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente de um fluido, utiliza-se, normalmente, a equação linearizada de Arrhenius (Equação 2.14) (IBARZ, VICENTE & GRAELL, 1987; KHALIL *et al.*, 1989; IBARZ, GONZALES & ESPLUGAS, 1994; DAK, VERMA, JAAFFREY, 2007).

Observa-se através da Tabela 4.15, que a equação de Arrhenius se ajustou adequadamente aos dados reológicos da polpa natural de cupuaçu e para a concentração de 12°Brix.

A energia de ativação no valor de 6,749 kJ/mol, encontrado para polpa natural de cupuaçu, está em conformidade com outros trabalhos realizados para polpas de fruta com elevada concentração de sólidos suspensos, como é o caso do trabalho desenvolvido por Ferreira (2008), a qual obteve o valor de 5,924 kJ/mol para polpa de cupuaçu e Guerrero e Alzamora (1998), os quais obtiveram o valor de 6 kJ/mol para a energia de ativação de purê de manga.

Nota-se um aumento na energia de ativação com a diminuição na concentração de sólidos solúveis, efeito semelhante ao observado por Silva, Guimarães e Gasparetto (2005), para suco de acerola. No entanto, para as concentrações mais diluídas - 10,16 e 9,4 °Brix – a equação de Arrhenius não se ajustou adequadamente, fornecendo valores de R^2 iguais a 0,699 e 0,760, respectivamente. Este comportamento se deve à inversão na tendência geral de diminuição na viscosidade aparente com o aumento na temperatura, como pode ser observado através da Tabela A.2. do Apêndice A. Este efeito foi provocado por uma possível gelatinização de moléculas poliméricas na polpa de cupuaçu, na temperatura de 70°C, nas concentrações de 10,16 e 9,4°Brix. Tal comportamento pode ser observado através da Figura 4.5.

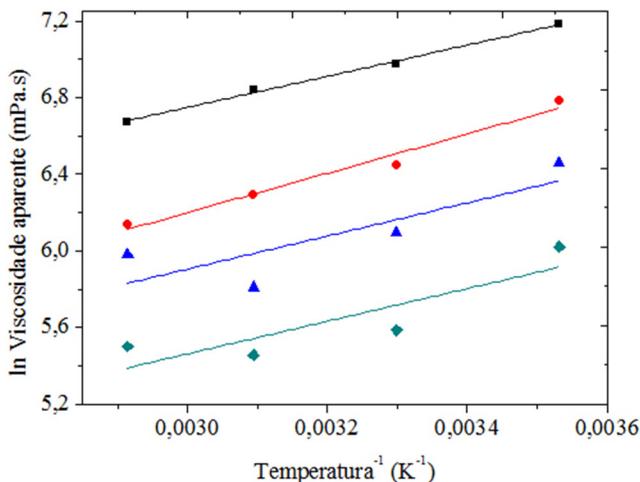
Tabela 4.15 - Parâmetros da equação linearizada de Arrhenius para polpa natural de cupuaçu e suas diluições.

Equação de Arrhenius			
C (°Brix)	A_A (Pa.s)	E_a (kJ/mol)	R²
14,16	1,004	6,749	0,995
12	1,003	8,532	0,977
10,16	1,003	7,192	0,699
9,4	1,003	7,088	0,760

A Figura 4.5 ilustra o efeito do aumento da temperatura nos valores de viscosidade aparente para as amostras de polpa natural de cupuaçu e suas diluições. Nota-se que os pontos relativos à temperatura de 70 °C, tanto para as amostras a 10,16 °Brix quanto para as amostras a 9,4 °Brix, não seguem a tendência normal observada para fluidos pseudoplásticos (diminuição da viscosidade sob aumento da temperatura), devido a um possível efeito de gelatinização, discutido anteriormente. Por esta razão, nota-se uma inversão na inclinação das retas referentes às amostras a 10,16 e 9,4 °Brix; conseqüentemente, há diminuição na energia de ativação da amostra, além de queda nos valores do índice de correlação R².

Por apresentar a maior queda nos valores de viscosidade aparente com o aumento da temperatura e conseqüentemente, o maior valor para a energia de ativação, a amostra a 12 °Brix caracterizou-se por apresentar a maior sensibilidade a mudanças de temperatura, mesmo não sendo a amostra mais diluída.

Figura 4.5 - Linearização da equação de Arrhenius para as amostras de polpa de cupuaçu a 14,16 (■), 12 (●), 10,16 (▲) e 9,4°Brix (◆).



4.2.2.3 Influência da concentração de sólidos solúveis

A concentração de sólidos solúveis é uma variável de extrema importância na determinação da viscosidade aparente de fluidos pseudoplásticos, visto que estes são compostos por partículas de diversas formas e tamanhos, interagindo entre si em um solvente e consequentemente, influenciando no estabelecimento de fluxo.

A análise da influência da concentração de sólidos solúveis em um fluido pode ser efetuada através de duas equações: equação Potencial e equação Exponencial. Neste trabalho, fez-se o uso da equação Exponencial, devido aos altos valores do índice de correlação R^2 .

Nota-se, através da Tabela 4.16, que a constante A_1 aumenta com a elevação da temperatura, sendo a viscosidade aparente à temperatura de 50°C, a mais afetada por variações de concentração. Resultado semelhante foi observado por Dak, Verma e Sharma (2006) em análise reológica de manga “Totapuri” e por Silva, Guimarães e Gasparetto (2005) em análise reológica de suco de acerola.

Ao atingir a temperatura de 70°C, o valor do parâmetro A_1 sofre um acentuado decréscimo, pois, da mesma forma que fora observado para a equação de Arrhenius, o ponto referente à concentração de

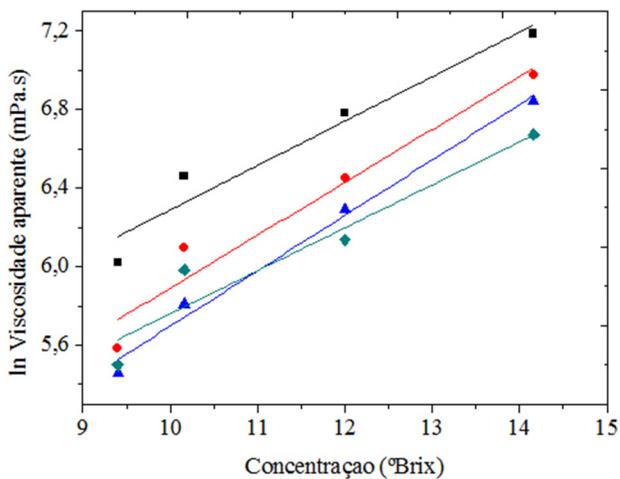
10,16°Brix não obedece à tendência geral observada para fluidos pseudoplásticos. O aumento de viscosidade aparente observado nessa concentração influenciou o efeito da linearização nos valores de viscosidade aparente. Pode-se observar, através da Tabela A.2 do Apêndice A, tendo como base a taxa de deformação de 100 s^{-1} , que a variação de viscosidade aparente entre as amostras a 14,16 e 12 °Brix foi de 327,55 mPa.s; já a variação entre as amostras de 12 e 10,16 °Brix foi de apenas 53,95 mPa.s. De forma complementar, a diferença de viscosidade aparente entre as amostras de 10,16 e 9,4°Brix foi de 158mPa.s. Portanto, nota-se que, devido ao aumento na viscosidade aparente, em especial na amostra de 10,16 °Brix, o efeito da concentração de sólidos solúveis não foi substancial na variação de viscosidade aparente a 70 °C. Tal comportamento pode ser graficamente analisado através da Figura 4.6.

Tabela 4.16 - Parâmetros da equação Exponencial para as amostras de polpa de cupuaçu em diferentes temperaturas.

Equação Exponencial			
T (°C)	A₀ (Pa.s)	A₁ (°Brix⁻¹)	R²
10	1,004	0,226	0,947
30	1,003	0,269	0,953
50	1,003	0,282	0,989
70	1,004	0,218	0,922

Resultado semelhante foi observado por CHIN et al. (2009), em análise reológica de suco de toranja. Neste trabalho, os autores fizeram um uso da equação Potencial para análise do efeito da concentração de sólidos solúveis no suco. Observou-se queda de 247,7 mPa.s no valor do parâmetro A₁ quando do acréscimo de 60 para 75°C, a máxima temperatura de análise. Segundo os autores, a queda no parâmetro A₁ pode ser creditada a possíveis alterações bioquímicas no suco concentrado, devido às altas temperaturas de análise.

Figura 4.6 - Linearização da equação Exponencial para as amostras de polpa de cupuaçu e suas diluições a 10 (■), 30 (●), 50 (▲) e 70°C (◆).



4.2.3 Mistura entre polpas de jambo-vermelho com casca e cupuaçu

4.2.3.1 Reogramas e modelagem

Através de um gráfico de curvas de fluxo, é possível observar como um fluido se comporta a tensões ou taxas de deformação fixas. A Figura 4.7 apresenta as curvas de fluxo referentes às misturas entre as polpas de jambo-vermelho com casca e cupuaçu. Nota-se um aumento progressivo na tensão de cisalhamento com o aumento nas taxas de deformação, comportamento típico de fluidos pseudoplásticos. A taxa de deformação máxima utilizada nos experimentos não foi suficiente para se estabelecer a segunda zona newtoniana, onde a tensão de cisalhamento cresce linearmente com o aumento da taxa de deformação, semelhante ao comportamento observado em curvas de fluxo newtoniano.

Os gráficos de viscosidade também são extremamente úteis na avaliação de um comportamento reológico. A pseudoplasticidade de todas as amostras pode ser comprovada através da Figura 4.8, onde observa-se uma diminuição abrupta na viscosidade aparente das amostras a baixas taxas de deformação. Após a aplicação de taxas de deformação próximas a 100 s^{-1} , taxas normalmente utilizadas em processos industriais, a viscosidade aparente decai de forma moderada, tendendo à constância, a altas taxas de deformação, a qual não foi obtida neste trabalho. Observa-se, também, que o aumento na proporção de polpa de jambo-vermelho nas misturas, diminui a magnitude das tensões de cisalhamento e viscosidade aparente nos gráficos das curvas de fluxo e viscosidade, respectivamente. Este fato pode ser atribuído a grande concentração de sólidos totais presentes em polpa de cupuaçu, em comparação com a polpa de jambo-vermelho, o que não favorece o estabelecimento de fluxo, aumentando assim, a tensão de cisalhamento necessária para se obter uma taxa de deformação pré-determinada.

Figura 4.7 - Curvas de fluxo das misturas com 25% de jambo e 75% de cupuaçu (a), 50% de jambo e 50% de cupuaçu (b), 75% de jambo e 25% de cupuaçu (c), nas temperaturas de 10 (■), 30 (●), 50 (▲) e 70°C (◆).

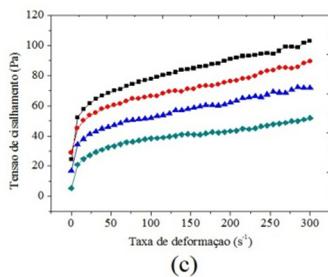
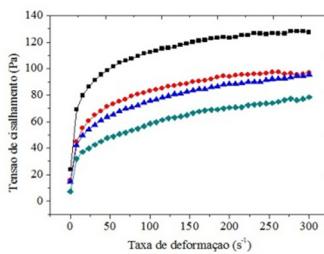
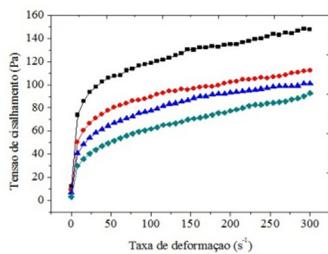
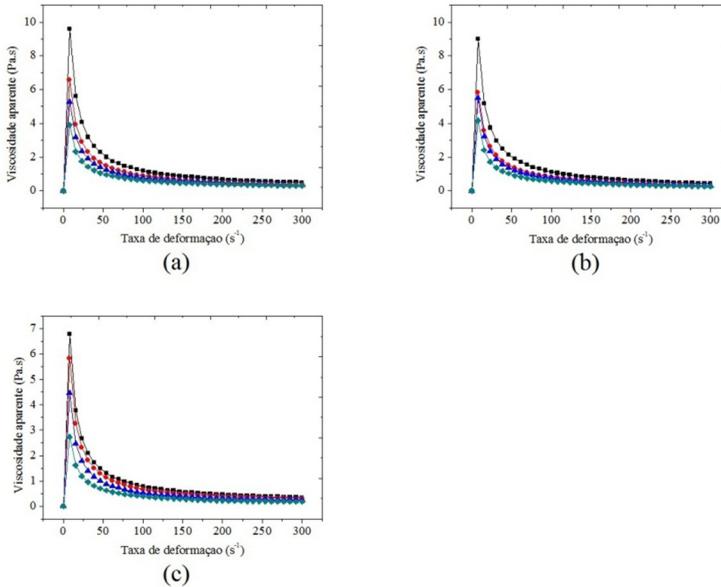


Figura 4.8 - Curvas de viscosidade das misturas com 25% de jambo e 75% de cupuaçu (a), 50% de jambo e 50% de cupuaçu (b), 75% de jambo e 25% de cupuaçu (c), nas temperaturas de 10 (■), 30 (●), 50 (▲) e 70°C (◆).



Todos os modelos reológicos se ajustaram aos dados experimentais das misturas com altos valores de R^2 , contudo, o modelo de Herschel-Bulkley foi utilizado como representativo devido aos mais elevados valores de R^2 , todos acima de 0,98 e os menores valores para o índice χ^2 .

O modelo de Herschel-Bulkley foi utilizado como representativo em diversos trabalhos envolvendo sucos, polpas e purês de frutas, como por Pereira et al. (2008) na análise reológica da polpa de umbu, fruta típica do nordeste brasileiro; análise reológica de purês de manga e pêsego por Guerrero e Alzamora (1998); estudo da influência de sólidos solúveis e insolúveis em polpa fina de tomate, por Sharma et al. (1996); propriedades reológicas da polpa de açaí, fruta tradicional da região amazônica, em superfícies lisas e rugosas, por Tonon et al. (2009) e Augusto, Cristianini e Ibarz (2011), em análise do efeito da

temperatura no comportamento reológico de seriguela, outra fruta tradicional do nordeste brasileiro, dentre outros.

Observa-se na Tabela 4.17, que o índice de consistência (K_{hb}), possui relação direta com a temperatura, onde o mesmo decresce com o aumento da temperatura. O mesmo efeito é observado quando se aumenta a concentração de polpa de jambo-vermelho na mistura. Este resultado se deve à maior umidade presente na polpa de jambo-vermelho, associada ao menor número de sólidos solúveis e totais, promovendo um maior espaço livre entre as partículas. Essas características facilitam a ação das forças hidrodinâmicas no estabelecimento de fluxo resultante da orientação das partículas. Este resultado pode ser elucidado através da Tabela 4.18, onde se observa a variação da viscosidade aparente das amostras de polpas naturais de jambo-vermelho e cupuaçu e suas misturas, em 100 e 200 s^{-1} .

O parâmetro (τ_{0hb}), referente à tensão crítica de cisalhamento, também diminuiu com a temperatura, resultado semelhante ao observado por Tonon et al. (2009), em análise reológica de polpa de açaí. No entanto, houve um aumento no valor deste parâmetro com o aumento na concentração de jambo-vermelho, atestando que quanto maior a proporção de jambo-vermelho na mistura, maior deverá ser a magnitude da tensão inicial para que se inicie o fluxo.

O índice de comportamento do fluido (n_{hb}) apresentou-se, para todas as amostras, abaixo da unidade, comprovando a pseudoplasticidade de todas as amostras. Com exceção da amostra com 75% de jambo, a 50 e a 70 °C, nota-se um aumento nos valores de (n_{hb}) quando do aumento da temperatura e com o aumento na proporção de polpa de jambo-vermelho na amostra, concluindo que, quanto maior for a proporção de jambo, mais a amostra se aproximará de um comportamento newtoniano.

Tabela 4.17 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley, ajustados aos dados experimentais das amostras de polpas naturais de jambo-vermelho com casca, cupuaçu e suas misturas.

Herschel-Bulkley						
Proporção	T (°C)	τ_{0hb} (Pa)	K_{hb} (Pa.sⁿ)	n_{hb}	χ^2	R²
Cupuaçu natural	10	5,258	60,417	0,155	12,960	0,981
	30	5,517	42,386	0,188	4,258	0,992
	50	3,136	32,617	0,219	2,919	0,994
	70	3,870	24,638	0,242	1,378	0,996
75% C, 25% J	10	11,898	42,424	0,203	1,508	0,998
	30	8,359	29,257	0,221	1,150	0,997
	50	6,144	20,985	0,267	0,930	0,998
	70	4,080	12,088	0,342	1,149	0,997
50 % C, 50% J	10	22,604	35,759	0,196	4,744	0,988
	30	14,292	23,536	0,228	4,719	0,983
	50	14,000	17,472	0,272	0,690	0,998
	70	7,268	12,726	0,302	0,579	0,997
25% C, 75% J	10	25,640	13,548	0,297	1,659	0,993
	30	30,758	6,375	0,378	2,830	0,982
	50	18,593	6,771	0,357	1,685	0,988
	70	5,596	9,061	0,276	1,038	0,987
Jambo natural	10	34,455	4,338	0,498	5,066	0,986
	30	22,279	2,823	0,533	0,481	0,998
	50	12,296	4,065	0,442	0,438	0,997
	70	4,314	6,720	0,342	0,268	0,998

Tabela 4.18 - Viscosidade aparente das amostras de polpas naturais de jambo-vermelho com casca, cupuaçu e suas misturas, a 100 e 200 s⁻¹.

Viscosidade aparente (Pa.s)			
Proporção	T (°C)	100 s⁻¹	200s⁻¹
Cupuaçu natural	10	1,328	0,714
	30	1,061	0,605
	50	0,945	0,536
	70	0,787	0,464
75% C, 25% J	10	1,188	0,676
	30	0,894	0,512
	50	0,777	0,467
	70	0,619	0,387
50 % C, 50% J	10	1,124	0,617
	30	0,833	0,470
	50	0,755	0,443
	70	0,584	0,353
25% C, 75% J	10	0,779	0,455
	30	0,665	0,382
	50	0,520	0,311
	70	0,384	0,216
Jambo natural	10	0,761	0,481
	30	0,548	0,351
	50	0,426	0,273
	70	0,365	0,225

4.2.3.2 Influência da temperatura no comportamento reológico

De acordo com Hassan e Hobani (1998 apud SCREMIN, 2007), com o aumento da temperatura, a energia térmica e as distâncias moleculares aumentam devido à redução das forças intermoleculares, causando uma diminuição na viscosidade. Além disso, a força de cisalhamento, quando associada com a aplicação de temperatura, faz com que as partículas se rearranjam em direções paralelas e as partículas maiores sejam quebradas em partículas menores.

De maneira geral, a viscosidade aparente de purês de frutas diminui moderadamente com o aumento da temperatura, enquanto que a de sucos clarificados apresenta um declínio mais intenso. Esta diferença é atribuída à presença da polpa suspensa nos purês, uma vez que a temperatura não tem grande influência nas propriedades de escoamento de sólidos (SATO, 2005).

Esta constatação também pode ser aplicada a sucos e polpas de frutas que apresentam diferenças significativas entre suas concentrações de sólidos insolúveis, como no trabalho desenvolvido por Queiroz, Bezerra e Gasparetto (2000), onde os autores notaram que o processo de eliminação na concentração de sólidos insolúveis foi fundamental na diminuição da viscosidade aparente de polpa integral de manga. Em uma malha de 0,149mm, a concentração de sólidos insolúveis era de 0,59 g.100 g⁻¹, responsável por uma viscosidade aparente de 412,5 mPa.s⁻¹. A etapa subsequente de centrifugação eliminou os sólidos insolúveis e reduziu a viscosidade aparente da amostra para 70,4 mPa.s⁻¹.

Observa-se, na Tabela 4.19, um aumento nos valores de energia de ativação, na medida em que frações de polpa natural de jambo-vermelho são adicionadas às misturas. Como já fora observado através das análises físico-químicas, a polpa natural de jambo-vermelho apresenta um maior teor de umidade e menor concentração de sólidos solúveis e insolúveis, logo, a maior sensibilidade à temperatura deverá ser encontrada nas amostras que apresentarem maior concentração de jambo-vermelho. Tal efeito também pode ser observado através da Figura 4.9.

Tabela 4.19 - Parâmetros da equação linearizada de Arrhenius para polpas naturais de jambo-vermelho com casca, cupuaçu e suas misturas.

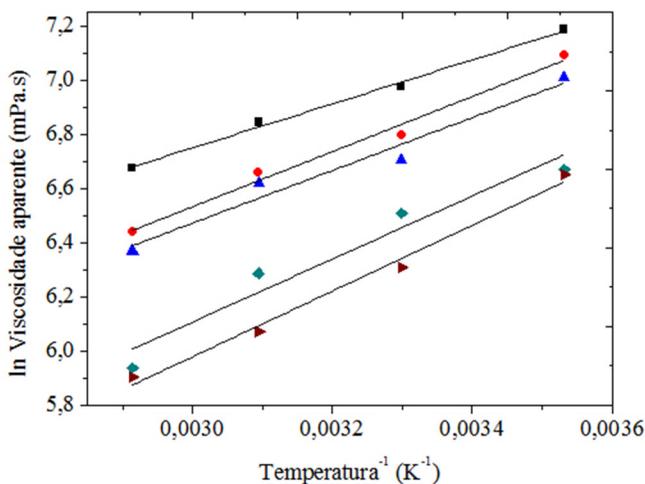
Equação de Arrhenius			
Proporção	A_A (Pa.s)	E_a (kJ/mol)	R²
Cupuaçu natural	1,004	6,749	0,995
75% C, 25% J	1,003	8,460	0,986
50 % C, 50% J	1,004	8,096	0,964
25% C, 75% J	1,003	9,673	0,949
Jambo natural	1,002	10,096	0,990

Resultado semelhante foi encontrado por Karwowski (2012), através da análise da influência da temperatura em polpa de uvaia e

polpa de pitanga, ambas integrais e centrifugadas. A autora obteve os seguintes valores de energia de ativação, para polpa de uvaia integral e centrifugada, respectivamente: 16,59 e 20,05 kJ/mol. Para polpa de pitanga integral e centrifugada, os valores foram, respectivamente: 14,22 e 17,23 kJ/mol.

Vandresen (2007) analisou a influência da temperatura em misturas de suco de cenoura e laranja, onde o suco de laranja apresentou comportamento newtoniano, com valores de índices de comportamento do fluido, muito próximos à unidade, ao passo em que o suco de cenoura apresentou comportamento tipicamente pseudoplástico. Observou-se que quanto mais frações de suco de laranja eram adicionadas à amostra, maior era o valor obtido para a energia de ativação.

Figura 4.9 - Linearização da equação de Arrhenius para a amostra de polpa natural de cupuaçu (■), amostra com 25% de jambo e 75% de cupuaçu (●), amostra com 50% de jambo e 50% de cupuaçu (▲), amostra com 75% de jambo e 25% de cupuaçu (◆) e amostra de polpa natural de jambo-vermelho com casca.



5 CONCLUSÕES

Após a realização das análises físico-químicas, pôde-se perceber que a polpa de jambo-vermelho, mesmo sendo processada com casca, apresentou alta umidade, sendo enquadrada na classe de frutos suculentos, característica fundamental no comportamento reológico da amostra. A polpa de cupuaçu apresentou umidade menor que a polpa de jambo-vermelho com casca, bem como uma maior concentração de sólidos totais e em suspensão, o que provocou uma maior dificuldade de escoamento nos testes reológicos, comprovado pelos altos valores dos índices de consistência e índices de comportamento do fluido menores que a unidade.

A amostra de polpa natural de jambo-vermelho com casca, bem como suas diluições, apesar de serem amostras com altos teores de umidade apresentaram características pseudoplásticas, como altos valores nos índices de consistência e índices de comportamento do fluido menores do que a unidade, além da não linearidade entre as taxas de deformação aplicadas e as tensões de cisalhamento observadas. Por outro lado, duas amostras de polpa de cupuaçu diluídas apresentaram aumento de viscosidade aparente sob altas temperaturas, efeito creditado a uma possível gelatinização das frações pécicas das amostras. Isto afeta o estabelecimento de fluxo em tubulações industriais, resultando em uma perda de carga considerável no transporte. Uma alternativa para tal efeito seria a hidrólise das pectinas com uso de pectinases ou a filtração de sólidos por membranas.

As misturas entre as amostras apresentaram características pseudoplásticas, sendo que a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da temperatura para todas as misturas. Quanto maior foi a quantidade de polpa de jambo-vermelho com casca na amostra em mistura, menos pseudoplástica foi a amostra: menores foram os valores para os índices de consistência e maiores os valores dos índices de comportamento do fluido.

A equação de Arrhenius e a equação Exponencial representaram, com elevados índices de correlação, o efeito da temperatura e concentração de sólidos solúveis, respectivamente, nas amostras em estudo.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, J. B. O et al. Uso de leveduras de vinhos de frutas tropicais na alimentação humana. In: 5º SIPAL. **Brazilian Journal of Food Technology**. 2005, p. 65-69.
- ANDERSEN, O.; ANDERSEN, V. U. **As frutas silvestres brasileiras: Cupuaçu**. 3. ed. São Paulo: Globo, 1989. 203 p.
- ANDRADE, J. S.; ARAGÃO, C. G.; FERREIRA, S. A. N. Caracterização física e química dos frutos de araçá-pera (*Psidium acutangulum* D. C.). **Acta Amazônica**, v. 23, n. 2-3, p. 213- 217, 1993.
- AOAC. **Official Methods of Analysis of AOAC International**. 16.ed. Gaithersburg: Patricia Cunniff (Ed.), 1997.
- ARAÚJO, L. C. de. **Otimização e desidratação osmótica de jambo-vermelho (*Syzygium malaccense*)**. 2009, 83 p. Dissertação (Mestre) – Curso de Ciência e Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- ARSLAN, E. **Rheological characterization of tahin/pekmez (sesame paste/concentrated grape juice) blends**. 2003. 59 p. Tese (Mestre) - Curso de Ciências, Departamento de Engenharia de Alimentos, Middle East Technical University, Ancara.
- ASSIS, M. M. M.; TADINI, C. C.; LANNES, S. C. da S. **Influence of temperature and concentration on rheological properties of caja juice (*Spondia mombin*, L)**. In: Eurotherm Seminar – Heat and Mass Transfer in Food Processing, 77, Parma. Disponível em: <<http://sites.poli.usp.br/pqi/lea/docs/eurotherm2005a.pdf>>. Acesso em: 06 dez. 2012.
- AUGUSTA, I. M et al. Caracterização física e química da casca e polpa de jambo vermelho (*Syzygium malaccensis*, (L.) Merryl & Perry). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 30, n. 4, p. 928-932, 2010.

AUGUSTO, P. E. D.; CRISTIANINI, M.; IBARZ, A. Effect of temperature on dynamic and steady-state shear rheological properties of siriguela (*Spondias purpurea* L.) pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 108, n. 2, p.283-289, 2012.

BALISCHI, L et al. Influência do tratamento enzimático sobre as características reológicas e microscópicas da polpa de acerola. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 24, n. 6, p.1649-1658, 2002.

BARNES, H. A. Thixotrophy: a review. **J. Non-Newtonian Fluid Mech.**, v. 70, n. 1-2, p.1-33, 1997.

BASTOS, C. T. da R. M et al. Estudo da eficiência da pasteurização de taperebá (*Spondias mombin*). **Alim. Nutr.**, v. 19, n. 2, p.123-131, 2008.

BEZERRA, J. R. M. V et al. Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de morango (*Fragaria ananassa*). **Ambiência**, Guarapuava, v. 5, n. 1, p.37-47, 2009.

BEZERRA, J. R. M. V. **Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica L-Keitt*)**. 2000. 159 p. Tese (Doutor) - Curso de Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BEZERRA, J. R. M. V; QUEIROZ, A. J. de M.; GASPARETTO, C. A. Reologia de polpa de manga e ajuste dos parâmetros reológicos em função da temperatura. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 3, n. 1, p.37-42, 2001.

BRANCO, I. G.; GASPARETTO, C. A. Aplicação da metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, p.166-171, 2003. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0101-20612003000400031>. Acesso em: 05 dez. 2012.

BRASIL. Associação Nacional de Vigilância Sanitária. Resolução CNNPA nº 12, de 24 de julho de 1978. Normas Técnicas Especiais.

BRASIL. Decreto nº 6871, de 04 de Junho de 2009. Regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas.

CABRAL, M. F. P.; QUEIROZ, A. J de M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de. Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) peneirada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4, n.1, p.37-40, 2002.

CANUTO, G. A. B et al. Caracterização físico-química de polpas de frutos da Amazônia e sua correlação com a atividade anti-radical livre. **Rev. Bras. Frutic.**, Araraquara, v. 32, n. 4, p.1196-1205, 2010.

CARDOSO, R. C. **Estabilidade de geléia de jambo-vermelho (*Eugenia malaccensis*, Lin.) em copo de vidro**. 1994. 157 p. Tese (Doutor) - Curso de Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CARDOSO, R. L. Estabilidade da cor de geleia de jambo (*Eugenia malaccensis*, L.) sem casca armazenada aos 25°C e 35°C na presença e ausência de luz. **Ciênc. agrotec., Lavras**, v.32, n.5, p.1563-1567, 2008.

CARREAU, P. J.; LAVOIE, P. A.; YZIQUEL, F. Rheological properties of concentrated suspensions. **Rheology Series**, v. 8, n. 1, p.1299-1345, 1999.

CAVALCANTE, P. B. **Frutas comestíveis da Amazônia**. 1. ed. Belém: Museu Goeldi, 1972. 84 p.

CAVALCANTE, P. B. **Frutas comestíveis da Amazônia**. 2. ed. Belém: Museu Goeldi, 1974. 82 p.

CHAKRABARTI, S. Some recente advances in food rheology. In:

GAONKAR, A. C. (Ed.). **Characterization of Food: Emerging Methods**. Elsevier Science B. V., 1995. Cap. 12, p. 277-308.

CHIN, N. L et al. Modelling of rheological behaviour of pummelo juice concentrates using master-curve. **Journal of Food Engineering**, v. 93, n. 2, p.134-140, 2009.

COSTA, R. S et al. Aspectos morfológicos e influência do tamanho da semente na germinação do jambo-vermelho. **Rev. Bras. Frutic.**, v. 28, n. 1, p. 117-120, 2006.

DAK, M.; VERMA, R. C.; JAAFFREY, S. N. A. Effect of temperature and concentration on rheological properties of “Kesar” mango juice. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 1, p. 1011-1015, 2007.

DAK, M.; VERMA, R. C.; SHARMA, G. P. Flow characteristics of juice of “Totapuri” mangoes. **Journal of Food Engineering**, v. 76, n. 1, p. 557-561, 2006.

DONADIO, L. C.; NACHTIGAL, J. C.; SACRAMENTO, C. K. do. **Frutas Exóticas**. Jaboticabal: Funep, 1998. 279p.

FALCÃO, M. de A.; PARALUPPI, N. D.; CLEMENT, C. R. Fenologia e produtividade do jambo (*Syzygium malaccensis*) na Amazônia central. **Acta Amazônica**, v. 32, n. 1, p. 3-8, 2002.

FERREIRA, E. E et al. Reologia de suspensões minerais: uma revisão. **R. Esc. Minas**, Ouro Preto, v. 58, n. 1, p.83-87, jan./mar. 2005.

FERREIRA, G. M. et al. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p.175-184, 2002.

FERREIRA, G. M. **Estudo das propriedades reológicas do sistema polpa de cupuaçu-biopolímeros**. 2008. 107 p. Tese (Doutor) - Curso de Tecnologia de Processos Químicos, Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FERREIRA, G. M.; GUIMARÃES, M. G. de O. C.; MAIA, M. C. A. Efeito da temperatura e taxa de cisalhamento nas propriedades de escoamento da polpa de cupuaçu (*T. grandiflorum* Schum.) integral. **Rev. Bras. Frutic.**, v.30, n.2, p.385-389, 2008.

FISCHER, P.; WINDHAB, E. J. Rheology of food materials. **Current Opinion In Colloid & Interface Science**, v. 16, n. 1, p.36-40, 2011.

FREDRICKSON, A. G. **Principles and applications of rheology**. Prentice-Hall: Englewood Cliffs, 1964.

GINER, J et al. Rheology of clarified cherry juices. **Journal of Food Engineering**, v.30, n.1, p. 147-154, 1996.

GONÇALVES, A. E. de S. S. **Avaliação da capacidade antioxidante de frutas e polpas de frutas nativas e determinação dos teores de flavonoides e vitamina C**. São Paulo, 2008, 88 p. Dissertação (Mestre) - Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

GONDIM, T. M. de S et al. **Aspectos da produção de cupuaçu**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2001. 43p.

GUEDES, D. B.; RAMOS, A. M.; DINIZ, M. D. M. S. Efeito da temperatura e da concentração nas propriedades físicas da polpa de melancia. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 13, n. 4, p. 279-285, 2010.

GUERRERO, S. N.; ALZAMORA, S. M. Effect of pH, temperature and glucose addition on flow behaviour of fruit purées I. Banana purée. **Journal of Food Engineering**, v. 33, n. 3-4, p.239-256, 1997.

GUERRERO, S. N.; ALZAMORA, S. M. Effects of pH, temperature and glucose addition on flow behaviour of fruit purees: II. Peach, papaya and mango purées. **Journal of Food Engineering**, v. 37, n. 1, p.77-101, 1998.

GUIMARÃES, D. H. P.; MASCIGRANDE, D. D. Polpas de Juçara e Açaí: diferenças reológicas em função da temperatura e teor de sólidos suspensos. **Pesquisa Aplicada & Agrotecnologia**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p.169-175, jan./abr. 2011.

HAMINIUK, C. W. I et al. Influence of temperature on the rheological behavior of whole araçá pulp (*Psidium cattleianum* sabine). **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie.**, v. 39, n. 4, p. 426 – 430, 2006.

HAMINIUK, C. W. I. **Comportamento reológico e fracionamento péctico das polpas integrais de araçá (*Psidium cattleianum* sabine) e amora preta (*Rubus spp*)**. 2005. 85 p. Dissertação (Mestre) – Curso de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

HOFFMANN, F. L et al. Microrganismos contaminantes de polpa de frutas. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 17, n. 1, p.32-37, 1997.

IAL. Instituto Adolfo Lutz. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: 1ª Edição Digital, 2008. 1020 p.

IBARZ, A. et al. Rheological properties of clarified pear juices concentrates. **Journal of Food Engineering**, v. 10, n. 1, p.57-63, 1989.

IBARZ, A.; GONZALEZ, C.; ESPLUGAS, S. Rheology of clarified fruit juices III: Orange Juices. **Journal of Food Engineering**, v. 21, n. 4, p.485-494, 1994.

IBARZ, A.; VICENTE, M.; GRAELL, J. Rheological behavior apple juice and pear juice and their concentrates. **Journal of Food Engineering**, v. 6, n. 4, p.257-267, 1987.

INSTITUTO BRASILEIRO DE FRUTAS. **Frutas brasileiras em ascensão**: Grande produtor mundial mostra sua diversidade e qualidade no mercado internacional. São Paulo, 2009. Disponível em: <http://www.ibraf.org.br/imprensa/0901_FrutasBrasileirasAscensao.asp>. Acesso em: 25 dez. 2012.

JAY, J. M. **Microbiologia de alimentos**. 6. ed. Porto Alegre: Artmed, 2005. 711p.

JORGE, C., MORAES, R. de. **Cosméticos**: Cosméticos naturais. Portal Química. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.quimica.com.br/quimica/index.php?sessao=reportagem&id=149&codigo_revis=>>. Acesso em: 06 dez. 2012.

KARWOWSKI, M. M. **Estudo da estabilidade, comportamento reológico e dos compostos fenólicos de frutas da mata atlântica**. 2012, 88 p. Dissertação (Mestre) – Curso de Tecnologia de Alimentos, Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

KECHINSKI, C. P et al. Rheological behavior of blueberry (*Vaccinium ashei*) purees containing xanthan gum and fructose as ingredients. **Food Hydrocolloids**, v. 25, n. 3, p. 299-306, 2011.

KESHANI, S.; CHUAH, A. L.; RUSSLY, A. R. Effect of temperature and concentration on rheological properties pomelo juice concentrates. **International Food Research Journal**, v. 19, n. 2, p.553-562, 2012.

KHALIL, K. E et al. Rheological behaviour of clarified banana juice: effect of temperature and concentration. **Journal of Food Engineering**, v. 10, n. 3, p.231-240, 1989.

LAGO, E. S.; GOMES, E.; SILVA, R. da. Produção de geleia de jambolão (*Syzygium cumini* Lamarck): processamento, parâmetros físico-químicos e avaliação sensorial. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**. v. 26, n. 4, p. 847-852, 2006.

LIMA, B. G. **Estudo fitoquímico e biológico de “*Eugenia sulcata* Spring ex Mart.”** 2012, 95p. Dissertação (Mestre) – Curso de Ciências Aplicadas a Produtos para Saúde, Universidade Federal Fluminense, Niterói.

MACHADO, S. S et al. Caracterização de polpas de frutas tropicais congeladas comercializadas no Recôncavo Baiano. **Ciência Agrônômica**, v.38, n.2, p.158-163, 2007.

MAGINA, M. D. A. **Estudo fitoquímico e biológico de espécies do gênero “*Eugenia*.”** 2008, 178 p. Tese (Doutor) – Curso de Química, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Vegetal: Citrus**. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br/vegetal/culturas/citrus>>. Acesso em: 04 dez. 2012.

MARTINS, T. M et al. Avaliação da qualidade físico-química, química e microbiológica de polpas de frutas congeladas. **Higiene Alimentar**, v.18, n.126/127, p.82-87, 2004.

MATOS, C. B et al. Características físicas e físico-químicas de cupuaçu de diferentes formatos. **Rev. ciênc. agrár.**, n.50, p.35-45, 2008.

MATOS, C. B. **Caracterização física, química, físico-química de cupuaçu (Theobroma grandiflorum (Willd. Ex. Spreng) Schum.) com diferentes formatos.** 2007. 41p. Dissertação (Mestre) – Curso de Produção Vegetal, Universidade Estadual de Santa Cruz, Ilhéus.

MATTA, V. M. da. **Estudo da utilização dos processos de separação por membranas para obtenção de suco de acerola clarificado e concentrado.** 1999. 181 p. Tese (Doutor) - Curso de Tecnologia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MORITA, A. T.; TOMA, M. S.; DE PAOLI, M. A. Módulo de reometria capilar e auto-reforçamento de baixo custo. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 15, n. 1, p.68-72, 2005.

MOTHÉ, G. M.; RAO, M. A. Rheological behavior of aqueous dispersions of cashew gum and gum arabic: effect of concentration and blending. **Food Hydrocolloids**, v. 13, n. 6, p.501-506, 1999.

MOUCHREK FILHO, V. E et al. Análises físico-químicas de polpas de frutas congeladas. **Higiene Alimentar**, v. 21, n. 154, p.88-92, 2007.

MUNDO EDUCAÇÃO. **Jambo-vermelho.** Disponível em: <<http://www.mundoeducacao.com.br/biologia/jambo-vermelho.htm>>. Acesso em: 22 mai. 2013.

NINDO, C. I et al. Rheological properties of blueberry puree for processing applications. **Journal of Food Engineering**, v. 40, n. 1, p. 292-299, 2007.

O PODER DAS FRUTAS. **Jambo-vermelho.** Disponível em: <<http://poderdasfrutas.com/categoria/jambo-vermelho-2/>>. Acesso em: 04 dez. 2012.

OLIVEIRA, A. M. de et al. Estudo fitoquímico e avaliação das atividades moluscicida e larvicida dos extratos da casca do caule e folha de *Eugenia malaccensis* L. (Myrtaceae). **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.16, n.1, p. 618-624, 2006.

OLIVEIRA, R. C. de.; ROSSI, R. R.; BARROS, S. T. D. de. Estudo reológico da polpa de morango (*Fragaria vesca*) em diferentes temperaturas. **Acta Scientiarum**, Maringá, v. 34, n. 3, p.283-288, 2012.

PARENTE, V. de M.; JÚNIOR, A. da R. O.; COSTA, A. M. da. **Projeto potencialidades regionais. Estudo de viabilidade econômica:** Cupuaçu. Fundação Getúlio Vargas, Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, Manaus, 2003. 63p.

PELAIS, A. C. A.; ROGEZ, H.; PENA, R. da S. Estudo da pasteurização da polpa de muruci. **Alim. Nutr.**, v. 19, n. 1, p. 17-24, 2008.

PELEGRINE, D. H. **Comportamento reológico das polpas de manga e abacaxi.** 1999. 115 p. Tese (Mestre) - Curso de Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PELEGRINE, D. H.; SILVA, F. C.; GASPARETTO, C. A. Rheological behavior of pineapple and mango pulps. **Lebensmittel-Wissenschaft und-Technologie.**, v. 35, n. 8 p.645–648, 2002.

PEREIRA, E. A et al. Influence of concentration on the steady and oscillatory shear behavior of umbu pulp. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 12, n. 1, p.87-90, 2008.

PUGLIESE, A. G. **Compostos fenólicos do cupuaçu: (*Theobroma grandiflorum*) e do cupulate:** composição e possíveis benefícios. 2010. 146 p. Dissertação (Mestre) – Curso de Ciência dos Alimentos, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.

QUEIROZ, A. J. de M.; BEZERRA, J. R. M. V.; GASPARETTO, C. A. Influência de diferentes teores de sólidos insolúveis suspensos nas características reológicas de sucos de abacaxi naturais e despectinizados. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 4, n. 1, p.75-79, 2000.

RAO, A. M. **Rheology of fluid and semisolid fluids:** principles and applications, 1. ed. Maryland: An Aspen Publication, 1999. 433 p.

RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. **Engineering properties of foods**. 2. ed. Marcel Dekker, New York, 1995. 531 p.

SATO, A. C. K. **Influência do tamanho de partículas no comportamento reológico de polpa de jabuticaba**. 2005. 73 p. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia de Alimentos, Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SCHRAMM, G. **Reologia e reometria: fundamentos teóricos e práticos**, 2. ed. Karlsruhe: Artliber, 2006. 232 p.

SCREMIN, F. F. **Influência do estado de maturação e das etapas de processamento na reologia e caracterização físico-química da polpa de goiaba (*Psidium guajava* L.) pasteurizada**. 2007. 146 p. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia de Alimentos, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SHARMA, S. K et al. Effect of composition on the rheological properties of tomato thin pulp. **Food Research International**, v. 29, n. 2, p.175-179, 1996.

SILVA, F. C. da.; GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C. A. Reologia do suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 121-126, 2005.

SINGH, N et al. Morphological, thermal and rheological properties of starches from different botanical sources. **Food Chemistry**, v. 81, n. 2, p.219-231, 2003.

SINGH, N. I.; EIPESON, W. E. Rheological behaviour of clarified mango juice concentrates. **Journal of Texture Studies**, v. 31, n. 3, p.287-295, 2000.

SOUZA, R. C. R.; ANDRADE, C. T. Investigação dos processos de gelatinização e extrusão de amido de milho. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, v. 10, n. 1, p.24-30, 2000.

STEFFE, J. F. **Rheological methods in food process engineering**, 2ª. edição. Michigan: Freeman press, 1996. 418p.

SUGAI, A. Y. **Processamento descontínuo de purê de manga (*Mangifera indica* Linn.), variedade Haden: estudo da viabilidade do produto para pronto consumo.** 2002. 82 p. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia Química, Departamento de Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

TACO. Tabela brasileira de composição de alimentos. **Tabela brasileira de composição de alimentos.** 4 ed. Campinas: Unicamp, 2011. 161 p.

TOLEDO, R. T. **Fundamentals of food process engineering.** 2. ed. Chapman & Hall, New York, 1994. 602 p.

TONELI, J. T de C. L.; MURR, F. E. X.; PARK, K. J. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p.181-204, 2005.

TONON, R. V et al. Steady and dynamic shear rheological properties of acai pulp (*Euterpe oleracea* Mart.). **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 1, p. 425-431, 2009.

TORALLES, R. P.; VENDRUSCOLO, J. L.; VENDRUSCOLO, C. T. Reologia de purê homogeneizado de pêssego: efeito da temperatura e concentração. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.9, n.1, p. 1-8, 2006.

VANDRESEN, S et al. Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices. **Journal of Food Engineering**, v. 92, n. 3, p. 269-274, 2009.

VANDRESEN, S. **Caracterização físico-química e comportamento reológico de sucos de cenoura e laranja e suas misturas.** 2007. 133 p. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia de Alimentos, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

VENDRÚSCOLO, A. T. **Comportamento reológico e estabilidade física de polpa de carambola (*Averrhoa carambola* L.).** 2005. 90 p. Dissertação (Mestre) - Curso de Engenharia de Alimentos, Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

VIANA, A. D. **Propriedades termofísicas e comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) em diferentes concentrações e temperatura.** 2010. 107 p. Dissertação (Mestre) – Curso de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga.

VIDAL, J. R. M. B.; PELEGRINE, D. H.; GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* L-Keitt). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 1, p. 039-042, 2004.

VIVA TERRA. **Árvores e arbustos nativos do Brasil: Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*).** Disponível em: <http://www.vivaterra.org.br/arvores_nativas.htm#cupuacu>. Acesso em: 04 dezembro 2012.

VRIESMANN, L. C.; SILVEIRA, J. L. M.; PETKOWICZ, L. C. de O. Chemical and rheological properties of a starch-rich fraction from the pulp of the fruit cupuassu (*Theobroma grandiflorum*). **Materials Science and Engineering C**. v.29, p.651–656, 2009.

WHISTLER, W. A.; ELEVITCH, C. R. *Syzygium malaccense* (Malay apple), In: ELEVITCH, C. R. (Ed.). **Species Profiles for Pacific Island Agroforestry**. Hōlualoa, Permanent Agriculture Resources, 2006. Disponível em <<http://www.traditionaltree.org>>. Acesso em: 26/03/2012.

ZAINAL, B. S et al. Effects of temperature on the physical properties of pink guava juice at two different concentrations. **Journal of Food Engineering**, v. 43, n. 1, p.55-59, 2000.

APÊNDICE A

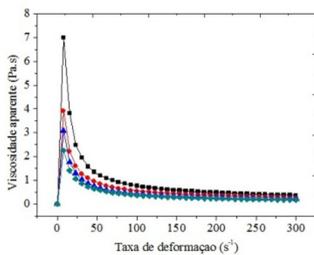
Tabela A.1 - Viscosidade aparente das amostras de polpas naturais de jambo-vermelho e suas diluições.

Viscosidade aparente (Pa.s)			
C (°Brix)	T (°C)	100s⁻¹	200s⁻¹
7,8	10	0,761	0,481
	30	0,548	0,351
	50	0,426	0,273
	70	0,365	0,225
5,8	10	0,441	0,253
	30	0,306	0,183
	50	0,222	0,137
	70	0,171	0,102
5,1	10	0,316	0,194
	30	0,259	0,167
	50	0,148	0,095
	70	0,119	0,071
4,4	10	0,210	0,135
	30	0,175	0,112
	50	0,094	0,060
	70	0,054	0,033

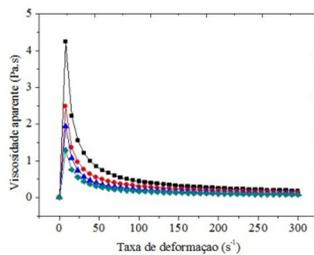
Tabela A.2 - Viscosidade aparente das amostras de polpas naturais de cupuaçu e suas diluições.

Viscosidade aparente (Pa.s)			
C (°Brix)	T (°C)	100s⁻¹	200s⁻¹
14,16	10	1,328	0,714
	30	1,061	0,605
	50	0,945	0,536
	70	0,787	0,464
12	10	0,884	0,526
	30	0,629	0,369
	50	0,533	0,330
	70	0,459	0,271
10,16	10	0,629	0,373
	30	0,447	0,257
	50	0,338	0,205
	70	0,405	0,229
9,4	10	0,414	0,250
	30	0,267	0,165
	50	0,237	0,137
	70	0,247	0,143

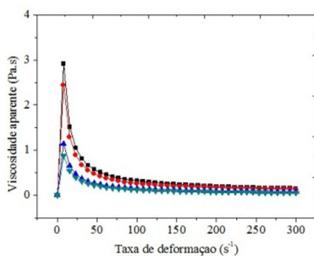
Figura A.1 - Curvas de viscosidade das amostras de polpa natural de jambo-vermelho (a), diluição 20% (b), diluição 30% (c) e diluição 40% (d), nas temperaturas de 10 (■), 30 (●), 50 (▲) e 70°C (◆).



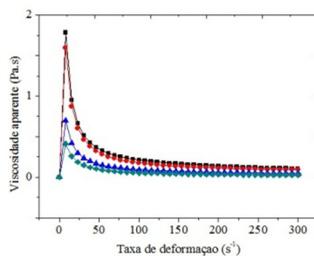
(a)



(b)

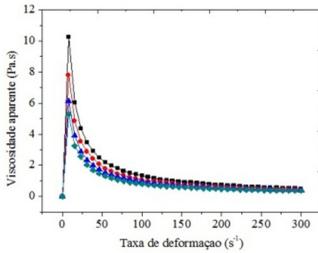


(c)

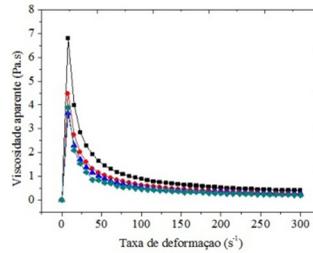


(d)

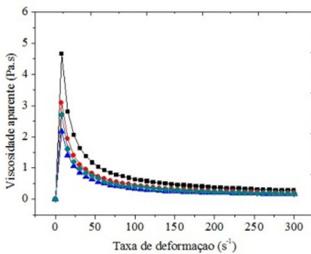
Figura A.2 - Curvas de viscosidade das amostras de polpa natural de cupuaçu (a), diluição 20% (b), diluição 30% (c) e diluição 40% (d), nas temperaturas de 10 (■), 30 (●), 50 (▲) e 70°C (◆).



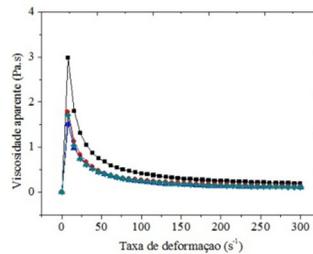
(a)



(b)



(c)



(d)