

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
CAMPUS CAMPO MOURÃO  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ALIMENTOS  
CURSO ENGENHARIA DE ALIMENTOS

KETLYN DE OLIVEIRA RETICENA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DE MARACUJÁ  
ENRIQUECIDA COM POLPA DE BANANA VERDE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2015

KETLYN DE OLIVEIRA RETICENA

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DE MARACUJÁ  
ENRIQUECIDA COM POLPA DE BANANA VERDE**

Trabalho de conclusão de curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Engenharia de Alimentos do Departamento Acadêmico de Alimentos da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Campo Mourão, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheira de Alimentos.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ângela Maria Gozzo.

CAMPO MOURÃO  
2015



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Campo Mourão

Departamento Acadêmico de Alimentos  
Engenharia de Alimentos



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DE MARACUJÁ  
ENRIQUECIDA COM POLPA DE BANANA VERDE

por

KETLYN DE OLIVEIRA RETICENA

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado dia 27 de novembro de 2015 como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos. A candidata foi arguida pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Ângela Maria Gozzo

---

Prof. Dr. Bogdan Demczuk Junior

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Roberta de Souza Leone

---

**Nota:** O documento original e assinado pela banca examinadora encontra-se na coordenação de Engenharia de Alimentos da UTFPR campus Campo Mourão.

*DEDICO*

*A meus pais Júlia e Elso, pelo amor e por tudo que fizeram para a conclusão de mais uma etapa em minha vida,*

*A minha irmã Kesley, pela ajuda e incentivo em todos os momentos, pelas alegrias e companheirismo,*

*A minha querida orientadora Ângela, pelo apoio, incentivo e paciência,*

*Ao meu namorado Maikon por todo apoio e amor.*

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar a Deus, pois sem Ele e sua graça eu não estaria aqui realizando o sonho da graduação em Engenharia de Alimentos.

Ao meu pai Elso Reticena, minha mãe Julia Vidal de Oliveira e à minha irmã Kesley de Oliveira Reticena, que me ampararam nos momentos mais difíceis com palavras de amor me incentivando e dando força em toda a minha caminhada até aqui.

Ao meu namorado Maikon Campos por todo amor, incentivo, força e paciência em todos os momentos.

Aos meus amigos Kamila Spacki, Kézia R. Piccoli, Jéssica F. da Silva, Matheus Alberti pelo companheirismo de trabalhos e pela amizade que fizeram parte da minha formação, tornando meus dias mais alegres e que vão continuar sempre presentes em minha vida.

À todos que de alguma forma me ajudaram durante essa jornada acadêmica.

À minha Professora e Orientadora Ângela Maria Gozzo pela oportunidade de mostrar minha capacidade, por me ensinar a vencer obstáculos e por ter acreditado e me tornado na prática uma Engenheira de Alimentos.

À minha Banca examinadora Bogdan D. Junior e Roberta S. Leone por toda ajuda, paciência, carinho e atenção durante esta etapa.

## RESUMO

RETICENA, K. O. **Estudo do comportamento reológico da polpa de Maracujá enriquecida com polpa de Banana Verde**. 2015. 70f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Engenharia de Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

Este estudo avaliou o comportamento reológico da polpa de Maracujá enriquecida com polpa de Banana Verde em diferentes concentrações (4, 5 e 6%) e em diferentes temperaturas (10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C). As medidas experimentais foram realizadas em viscosímetro Brookfield e os modelos reológicos de Ostwald-de-Waele, Bingham, Casson e Herschell-Buckley foram ajustados aos dados experimentais de tensão de cisalhamento e taxa de deformação. Dos modelos reológicos testados, todos apresentaram ajustes adequados. As amostras apresentaram tendência de diminuição da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, comportando-se como fluido não-newtoniano com características pseudolásticas ( $n < 1$ ). A equação de Arrhenius descreveu adequadamente o efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente das frutas. O estudo da estabilidade foi realizado por meio dos testes de sedimentação, onde a estabilidade das amostras ocorreu a partir do sexto dia de armazenamento.

**Palavras-chave:** Polpa de Maracujá, *Musaceae*, Reologia.

## ABSTRACT

RETICENA, K. O. **Rheological study of fruit pulp enriched pulp Banana Green.** 2015. 70f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Engenharia de Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2015.

This study assessed the rheological behaviour, physical and chemical stability of the Green Bananapulp in different concentrations (4, 5 e 6%) and at different temperatures (10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C). Experimental measurements were performed in Brookfield and rheological models Ostwald-de-Waele, Bingham, Casson e Herschell-Buckley. They were fitted to the experimental data of shear stress and shear rate. The rheological models tested, all had proper good adjustments. The samples showed a decrease trend of apparent viscosity with increasing shear rate, behaving as non-Newtonian fluid with pseudoplastic characteristics ( $n < 1$ ). The Arrhenius equation adequately describes the effect of temperature on the apparent viscosity of the fruit. The stability study was performed by means of sedimentation testing stability of samples which occurred from the sixth day of storage.

**Key-words:** Passion fruit pulp, *Musaceae*, rheology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fênomeno de sedimentação de partículas em suspensões dispersas (a), e aglomerados (b).....	23
Figura 2. Esquema do perfil de velocidade para um fluido newtoniano escoando entre duas placas planas e paralelas. ....	26
Figura 3. Curva de escoamento para fluidos newtonianos.....	27
Figura 4. Vurcas de escoamento dos fluidos.....	28
Figura 5. Classificação do comportamento reológico dos fluidos.....	29
Figura 6. Efeito do escoamento em uma curva de viscosidade versus tensão de cisalhamento de um líquido estruturado mostrando uma pseudo tensão residual.....	33
Figura 7. Curvas de Sedimentação da polpa de Maracujá enriquecida com polpa de Banana verde .....	39
Figura 8. Sedimentação das amostras Nas primeiras 24 horas .....	39
Figura 9. Sedimentação das amostras no décimo dia.....	40
Figura 10. Relação entre taxa de deformação e a tensão de cisalhamento para amostra de polpa de Maracujá pura. ....	41
Figura 11. Relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento para amostra de polpa de Maracujá enriquecida com 4% de polpa de Banana Verde.....	41
Figura 12. Relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento para amostra de polpa de Maracujá enriquecida com 5% de polpa de Banana Verde.....	42
Figura 13. Relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento para amostra de polpa de Maracujá enriquecida com 6% de polpa de Banana Verde.....	42
Figura 14. Relação de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação na temperatura de 20 °C .....	43
Figura 15. Relação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação na temperatura de 40 °C .....	44
Figura 16. Relação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação na temperatura de 60 °C .....	45



Figura 17. Relação da taxa de deformação com a viscosidade aparente na temperatura de 20 °C .....	46
Figura 18. Relação da taxa de deformação com a viscosidade aparente na temperatura de 40° C .....	46
Figura 19. Relação da taxa de deformação com a viscosidade aparente na temperatura de 60 °C .....	47
Figura 20. Relação da taxa de deformação com a viscosidade aparente da polpa de Maracujá enriquecida com 5% de polpa de Banana Verde .....	48
Figura 21. Efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente das polpas ajustado pela equação de Arrhenius .....	53

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Limites das Propriedades Físicas da polpa e Maracujá .....	20
Tabela 2. Modelos usados para o Estudo do Comportamento Reológico de polpas de frutas.....	30
Tabela 3. Resultados da análise de sólidos solúveis das amostras.....	38
Tabela 4. Resultados da análise de pH das amostras .....	38
Tabela 5. Dados reológicos polpa de Maracujá enriquecida com polpa de Banana Verde ajustado pelo modelo da Lei da Potência nas temperaturas de 10 °C a 60 °C .....	39
Tabela 6. Dados reológicos polpa de Maracujá enriquecida com polpa de Banana Verde ajustado pelo modelo De Bingham nas temperaturas de 10 °C a 60 °C .....	39
Tabela 7. Dados reológicos polpa de Maracujá enriquecida com polpa de Banana Verde ajustado pelo modelo de Casson nas temperaturas de 10 °C a 60 °C .....	40
Tabela 8. Dados reológicos polpa de Maracujá enriquecida com polpa de Banana Verde ajustado pelo modelo de Herschell-Buckley nas temperaturas de 10 °C a 60 °C. ....	40
Tabela 9. Valores da energia de ativação (Ea) das amostras em diferentes teores de sólidos solúveis totais na taxa de deformação de 85 s <sup>-1</sup> .....	43

## NOMENCLATURA

$E_a$  - Energia de ativação para viscosidade (kJ/mol)

AR- Amido Resistente

F - Força (N)

g - constante da gravidade (980 cm/s<sup>2</sup> ao nível do mar).

ha - hectare

IS - Índice de Sedimentação (%)

K - Índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>) para Lei da Potência

$K_h$  - Índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>) para Herschell-Buckley

$K_B$  - Índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>) para Bingham

$n_h$  - Índice de comportamento do fluido (adimensional), para Herschell-Buckley

PBV - Polpa de Banana Verde

PM - Polpa de Maracujá

PMP - Polpa de Maracujá Pura

R - Constante universal dos gases (kJ/mol.K)

r - raio da partícula dispersa (cm)

R<sup>2</sup> - Coeficiente de determinação

T - Temperatura (K)

$V_{inf}$  - Volume do sedimentado (mL)

$V_{total}$  - Volume total (mL)

V - velocidade de sedimentação da partícula dispersa (cm/s)

X<sup>2</sup> - qui-quadrado

## LETRAS GREGAS

$\eta$ - Índice de comportamento do fluido (adimensional)

$\eta_{ap}$  - Viscosidade aparente (Pa.s)

$\eta_0$ -Parâmetro de ajuste (Pa.s)

$\eta_p$  - Viscosidade plástica(Pa.s)

$\dot{\gamma}$ - Taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

$\eta$ - Viscosidade absoluta (Pa.s)

$\tau$ - Tensão de cisalhamento (Pa)

$\tau_0$  - Tensão residual (Pa)

$\rho_1$ - densidade específica da fase dispersa ( $g/cm^3$ )

$\rho_2$ - densidade específica da fase dispersante ( $g/cm^3$ )

$\eta$  - viscosidade do meio dispersante (cP)

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS.....</b>	<b>17</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>18</b>
3.1 MARACUJÁ .....	18
3.1.1 Polpa de Maracujá.....	19
3.2 BANANA .....	20
3.3 ESTABILIDADE DAS POLPAS E SUCOS DE FREUTAS .....	22
3.3.1 Sedimentação.....	22
3.4 REOLOGIA .....	24
3.4.1 Classificação reológica dos fluidos .....	26
3.4.2 Fluidos Newtonianos.....	27
3.4.3 Fluidos Não-Newtonianos .....	28
3.4.4 Modelos Reológicos.....	29
3.4.5 Efeito da temperatura no comportamento reológico .....	31
3.4.6 Tensão Residual .....	32
3.4.7 Efeito do deslizamento.....	32
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>35</b>
4.1 MATÉRIA PRIMA.....	35
4.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL .....	35
4.3 ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICAS DA POLPA .....	36
4.3.1 Análise de Sólidos Solúveis.....	36
4.3.2 Análise de pH .....	36
4.3.3 Teste de Sedimentação .....	36

4.4 ESTUDO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO.....	37
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>38</b>
5.1 ANÁLISES FÍSICOS-QUÍMICAS DA POLPA.....	38
5.2 ESTUDO DA ESTABILIDADE.....	39
5.2.1 Teste de Sedimentação .....	39
5.3 ANÁLISES REOLÓGICAS.....	41
5.3.1 Viscosidade aparente.....	45
5.3.2 Efeito da temperatura.....	52
<b>CONCLUSÃO .....</b>	<b>55</b>
<b>SUGESTÃO DE TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>56</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>57</b>
<b>ANEXO .....</b>	<b>66</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A cadeia produtiva de frutas é destaque nos segmentos econômicos do agronegócio brasileiro, com indicadores representativos, sendo considerado o terceiro país com a maior produção mundial de frutas, com um volume estimado de 43,6 milhões de toneladas produzidas anualmente. No mercado externo as exportações atingiram o patamar de 693 mil toneladas, equivalente a US\$ 619 milhões (IBRAF, 2012).

As frutas que mais contribuem no volume total da produção brasileira são a laranja, banana, maracujá, abacaxi, melancia e mamão, que, juntas, somam aproximadamente 30 milhões de toneladas. Dentro da vasta diversidade de frutas a produção de maracujá representa grande importância econômica no Brasil, colocando o país como o maior produtor e consumidor mundial. Apesar da grande produção, os brasileiros não têm o hábito de consumir frutas, quando comparado com a população de outros países, o que tem levado as indústrias a buscar novas formas de atrair e satisfazer o gosto do consumidor (FACHINELLO *et al.*, 2011), como, por exemplo, a inserção de polpas de frutas de forma acessível no mercado.

A Legislação Brasileira, Instrução Normativa nº1, de 7 de janeiro de 2000, define polpa de frutas como um produto não fermentado, não concentrado, não diluído, obtido de frutos polposos, através de processos tecnológicos adequados, com um teor mínimo de sólidos totais, proveniente da parte comestível do fruto. Contudo, para a fabricação de produtos derivados de frutas é indispensável o conhecimento das propriedades físicas e químicas da polpa submetida aos processos de industrialização (BRASIL, 2000).

As polpas de frutas podem ser consideradas uma dispersão de partículas sólidas insolúveis (polpa) em solução aquosa contendo sólidos solúveis (principalmente açúcares e ácidos orgânicos), sendo que sua estabilidade à sedimentação depende das condições de processamento. Os principais fatores que podem afetar a estabilidade das polpas de frutas são: distribuição do tamanho e forma das partículas e teor de sólidos solúveis e insolúveis. A estabilidade de dispersões e suspensões pode ser avaliada

através de medidas reológicas realizadas tanto a baixas como a altas deformações (SATO, 2005).

Reologia é a ciência que estuda a deformação e o escoamento de materiais, ou seja, o modo como os materiais respondem à aplicação de uma tensão ou deformação. O conhecimento das propriedades reológicas de alimentos é muito importante para o projeto de tubulações e equipamentos, no controle de qualidade, no desenvolvimento de novos produtos, na aceitabilidade por parte do consumidor, bem como em um melhor entendimento do comportamento estrutural dos produtos (BARNES *et al.*, 1989; STEFFE, 1996).

A reologia tem um papel significativo na indústria de alimentos, pois está relacionada a aplicações tecnológicas, sensoriais e de engenharia, como, a concepção e avaliação dos equipamentos, tais como bombas, tubulações, trocadores de calor, evaporadores, esterilizadores e agitadores (VIANA, 2010). Durante o processamento de polpas de frutas, freqüentemente utilizam tratamentos térmicos e/ou resfriamento, o que faz com que o estudo da influência da temperatura sobre o comportamento reológico destes produtos também seja de grande importância (BEZERRA, *et al.*, 2009).

Além da temperatura, outros fatores podem influenciar a viscosidade de derivados de frutas, como o tipo de fruta, o tamanho e o teor de sólidos (açúcares, pectina e fibras) e a concentração da polpa, que também pode ter efeito sobre a viscosidade (MIRANDA *et al.*, 2011).

Os líquidos derivados de frutas são sistemas bifásicos, compostos por partículas sólidas dispersas em um meio aquoso, estes são classificados em função do seu comportamento reológico, podendo ser descritos como newtonianos e não-newtonianos (OLIVEIRA; BARROS; ROSSI, 2009).

Fluidos newtonianos apresentam uma relação linear entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento, ou seja, a viscosidade mantém-se constante com a variação na taxa de deformação. Como exemplos de fluidos newtonianos, podem-se citar os óleos e soluções de polímeros, já ao contrário, os fluidos não-newtonianos não apresentam essa relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, isto é, os valores da viscosidade mudam com a variação nos valores da taxa de deformação. Esses valores de viscosidade são considerados como viscosidade aparente, podendo aumentar



ou diminuir, de acordo com as características de cada fluido (FERREIRA *et al.*, 2005).

Um cuidado que é necessário ter, ao analisar as curvas de escoamento, é o erro obtido pelo escorregamento das amostras, efeito comum encontrado na realização de ensaios reológicos de sistemas líquidos com mais de uma fase, podendo ser observado tanto em ensaios em estado estacionário como em dinâmico. Este efeito ocorre devido ao afastamento da fase dispersa das paredes sólidas encontradas em reômetros e viscosímetros, levando à formação de uma camada de menor viscosidade próxima às paredes, facilitando o escoamento do fluido e fornecendo um resultado incorreto (SATO, 2005).

Polpa de banana, goiaba, manga, e papaya possuem comportamento não-Newtonianos, pseudoplásticos e obedecem à equação reológica da Lei da Potência (RAO *et al.*, 1974). A boa aceitação da banana deve-se aos seus aspectos sensoriais e valor nutricional, consistindo em fonte energética devido à presença de carboidratos, contendo minerais como o potássio e vitaminas. Contendo caloria principalmente sob a forma de sacarose, frutose, glicose e amido, a banana supera a maçã, a pêra, a cereja e o pêssego em teor de proteínas e lipídios (IZIDORO, 2007).

Pelos seus aspectos nutricionais a polpa de banana pode ser recomendada em casos específicos como: regulador da pressão sangüínea, depressão, câimbras (as contrações espasmódicas dos músculos são atenuadas devido à grande quantidade de potássio, que mantém o equilíbrio eletrolítico do organismo), além de ser uma fruta rica em amido resistente variando de 25 a 33%. A presença de amido resistente (AR) na elaboração de produtos é de interesse tanto para a indústria de alimentos como para o consumidor. O AR pode ser utilizado na elaboração de produtos com reduzido teor de lipídios e /ou açúcares e como fonte de fibra alimentar (RAMOS, 2009).

Desta forma, o objetivo deste projeto é avaliar o comportamento reológico de polpas de maracujá enriquecidas com a polpa da banana verde, ajustando os dados segundo os modelos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Bingham, Casson e Herschell-Buckley, com o intuito destes modelos e parâmetros reológicos auxiliarem no processo de produção e nas respectivas operações unitárias aplicadas na indústria.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Estudar o comportamento reológico da polpa de maracujá enriquecida com polpa de banana verde.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Analisar o comportamento reológico das amostras de polpa de maracujá pura e enriquecida com diferentes concentrações de polpa de banana verde, através dos modelos matemáticos de Bingham, Casson, Herschel-Bulkley, Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) e Arrhenius nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C.
- Determinar o pH e os sólidos solúveis das amostras.
- Avaliar os efeitos das diferentes concentrações de polpa de banana verde na estabilidade física das partículas em suspensão através da sedimentação.
- Verificar a influência da polpa de banana verde nas propriedades reológicas da polpa de maracujá com variações de concentração de 4, 5 e 6%.
- Quantificar os valores de energia de ativação das polpas de maracujá pura e enriquecida com polpa de banana verde.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 MARACUJÁ

O maracujá é originário da América Tropical, com mais de 150 espécies de *Passifloraceas* utilizadas para consumo humano, sendo que o maracujá-amarelo (*Passiflora edulis. flavicarpa*) é a espécie mais cultivada no Brasil, com 97% das áreas plantadas e comercializadas, destacando-se como a espécie mais importante do gênero (BELCHIOR, 2012).

Sua importância econômica colocou o país em posição de destaque no cenário internacional, aparecendo como o maior produtor mundial, sendo em 2013 de 923.035 toneladas (AGRIANUAL, 2013). Neste ano, a área colhida foi de 57.277 hectares (ha), distribuída principalmente nos estados da Bahia, Ceará, Sergipe, Espírito Santo e Minas Gerais. A região Nordeste tem liderado a produção brasileira, respondendo por mais da metade da produção nacional, seguida pelas Regiões Sudeste, Norte, Sul e Centro-Oeste, sendo a Bahia e o Ceará os maiores produtores nacionais com rendimentos de 11,96 e 22,95 toneladas por hectare (t/ha), respectivamente (EMBRAPA, 2013).

Segundo Belchior (2012), o maracujá tem 60% de sua produção destinada ao consumo *in natura*, por meio de sacolões, feiras, supermercados, etc. O restante é destinado às indústrias de processamento, sendo o suco o principal produto.

O maracujá é um fruto muito valorizado, tanto pelas suas características nutricionais como pelo seu sabor particular. É um fruto rico em vitamina C, cálcio, fósforo, açúcares e, em grande parte, de glicose e frutose, além de possuir alto teor de vitamina A (betacaroteno), sendo que seu suco destaca-se por excelente aceitação entre os consumidores, representando boa porcentagem dos sucos exportados (TOLEDO, 2013).

Além disso, o maracujá é caracterizado pelo aroma e acidez acentuados, constituindo uma fonte interessante para as indústrias na fabricação de bebidas de sucos de frutas (LINS *et al.*, 2015) e uma das formas encontradas pelas indústrias para utilização dos excedentes de produção foi a conservação de frutas na forma de sucos, polpas e outros produtos (TOLEDO, 2013).

### 3.1.1 Polpa de Maracujá

Como dito anteriormente, a produção de polpas de frutas surgiu como alternativa para o aproveitamento dos frutos não comercializados na forma *in natura* e, que, nos últimos anos, tem crescido notadamente, estimulado pela praticidade de consumo e por conservar as propriedades da fruta fresca. No Brasil, as polpas industrializadas são destinadas, principalmente, à produção de sucos concentrados, para o abastecimento do mercado interno e do externo. Nos últimos trinta anos, houve um grande crescimento do mercado nacional e internacional de sucos de frutas, o que foi de extrema importância para o contexto do desenvolvimento da agroindústria brasileira e mundial (BELCHIOR, 2012).

A polpa de fruta congelada é o produto obtido a partir da parte comestível da fruta, após a trituração e/ou despulpamento e preservação por congelamento. Sua utilização é quase sempre como matéria-prima para processamento de outros produtos, como néctares, sucos, geléias, sorvetes e doces (RAIMUNDO *et al.*, 2009).

As polpas devem ser preparadas com frutas frescas maduras, sãs, limpas, isentas de matéria terrosa, parasitas e detritos de animais ou vegetais. Não deverão conter fragmentos das partes não comestíveis da fruta, nem substâncias estranhas à sua composição normal (BELCHIOR, 2012).

As características físicas, químicas e sensoriais da polpa da fruta deverão ser provenientes do fruto de sua origem e não deverão ser alteradas pelos equipamentos, utensílios, recipientes e embalagens utilizadas durante o seu processamento e comercialização (BRASIL, 2000).

Desta forma, de acordo com a legislação brasileira vigente, polpa de maracujá é o produto não fermentado e não diluído, obtido da parte comestível do maracujá (*Passiflora, spp.*), através de processo tecnológico adequado, com teor mínimo de sólidos totais (BRASIL, 2000), devendo obedecer as características apresentadas na Tabela 1:

**Tabela 1. Limites das Propriedades Físicas e Químicas da polpa de Maracujá.**

<b>Características</b>	<b>Mínimo</b>	<b>Máximo</b>
<b>Sólidos solúveis em °Brix, a 20°C</b>	<b>11,0</b>	<b>-</b>
<b>pH</b>	<b>2,7</b>	<b>3,8</b>
<b>Acidez total expressa em ácido cítrico (g/100g)</b>	<b>2,50</b>	<b>-</b>
<b>Açúcares totais naturais do maracujá (g/100g)</b>	<b>-</b>	<b>18,00</b>
<b>Sólidos totais (g/100g)</b>	<b>11,0</b>	<b>-</b>

Fonte: BRASIL (2000).

A polpa de fruta destinada à industrialização de outras bebidas e não destinado ao consumo direto poderá ser acrescida de aditivos químicos previstos para a bebida a que se destina. Podem ser adicionados à polpa, acidulantes, como regulador de acidez, conservadores químicos e corantes naturais, nos mesmos limites estabelecidos para sucos de frutas, ressalvados os casos específicos (BRASIL, 2000).

### 3.2 BANANA

Banana é um termo geral que engloba um número de espécies ou híbridos do gênero *Musa* da família *Musaceae*. Não se sabe exatamente o número de cultivares de banana existente no mundo, estima-se entre 100 a 300. As cultivares de bananas mais difundidas no Brasil são: “Prata”, “Pacovan”, “Prata-Anã”, “Maçã”, “Mysore”, “Terra” e “D’Angola”, utilizadas unicamente para o mercado interno, e “Nanica”, “Nanicão” e “Grande Naine”, usadas principalmente para exportação. As cultivares Prata, Prata-Anã e Pacovan são responsáveis por, aproximadamente, 60% da área cultivada com banana no Brasil (SILVA; PEREIRA; RODRIGUES, 2008).

Uma das frutas mais consumidas no mundo, é cultivada em todos os Estados brasileiros, desde a faixa litorânea até os planaltos. Sendo Bahia, São Paulo, Minas Gerais e Santa Catarina os estados mais representativos, tanto em área colhida quanto em quantidade produzida. A região Nordeste é líder tanto em área plantada como em quantidade produzida, seguida da região Sudeste, que juntas, são responsáveis por mais da metade da produção brasileira, chegando a 66,55% do total produzido (EMBRAPA, 2013).

A produção brasileira de bananas é quase toda destinada ao mercado interno, devido a grande população e ao elevado consumo per capita nacional, já que a banana ocupa o primeiro lugar na preferência de frutas pelos brasileiros (FRANÇA, 2014).

A banana é uma das frutas mais comuns na dieta dos brasileiros devido suas características sensoriais, seu alto valor nutritivo, praticidade de consumo e baixo custo (MUSSI; PEREIRA, 2014). É rica em minerais como: potássio, manganês, iodo e zinco, vitaminas do complexo B (B1, B2, B6 e niacina), vitamina C e ácido fólico, e apresenta pequenas quantidades de proteínas como albumina e globulina em comparação com os aminoácidos livres: aspargina, glutamina e histidina. É um fruto apreciado por pessoas de todas as classes e idades, e seu consumo pode ser *in natura*, frita, assada, cozida, em doces caseiros, produtos desidratados (banana liofilizada, flocos e fruta na forma de passa) ou industrializados (SILVA *et al.*, 2009). Uma das aplicações recentes é seu uso antes do amadurecimento.

Segundo Santos *et al.* (2010), a banana verde é rica em flavonoides, que atuam protegendo a mucosa gástrica e contém cerca de 70 a 80% de amido resistente, em base seca. Este tipo de amido não é absorvido no intestino delgado, mas fermentado pela microbiota bacteriana no interior do intestino grosso, produzindo ácidos graxos de cadeia curta (AGCC) como acetato, propionato e butirato que agem na prevenção de doenças inflamatórias do intestino, além de auxiliar na manutenção da integridade do epitélio intestinal (ALENCAR, 2014).

Sua utilização na indústria alimentícia é de grande extensão, pois o fruto, quando cozido verde, perde tanino, e a polpa permite a produção de vários alimentos, pois não altera o sabor, aumenta a quantidade de fibras, proteínas e nutrientes, além de aumentar consideravelmente o rendimento do produto (IZIDORO *et al.*, 2008). Portanto a polpa de maracujá enriquecida com polpa de banana verde é uma maneira de agregar valor nutricional a um produto muito consumido pelos brasileiros como os sucos de frutas.

### 3.3 ESTABILIDADE DAS POLPAS E SUCOS DE FRUTAS

A estabilidade dos sucos de frutas está relacionada com a ocorrência de reações químicas complexas que comprometem suas qualidades sensoriais (aroma, sabor, cor, consistência, turbidez e sedimentação) e que podem gerar perdas nutricionais (KARWOWSKI, 2012).

Polpas e sucos são resultados da desintegração de frutas e vegetais, constituindo-se em uma mistura sólido-líquida. Na fase líquida estão presentes compostos solúveis, os quais são representados por vitaminas, sais minerais, carboidratos e água. Por outro lado, a fase sólida é composta de sólidos insolúveis, representados pelas células trituradas ou não, formados principalmente de celulose, hemicelulose, substâncias pécicas e proteínas que constituem a parede celular de frutas e vegetais (FENIMAN, 2004).

A estabilidade das suspensões é diretamente dependente do modo como as partículas interagem durante o momento de colisão. Uma possibilidade é a formação de aglomerados de partículas. Esses aglomerados são estruturas porosas formadas pela união de diversas partículas primárias que, quando presentes na suspensão, podem absorver parte da água ou do líquido originalmente para a separação das partículas (MARTINS, 2001).

#### 3.3.1 Sedimentação

O termo sedimentação é a remoção de partículas sólidas suspensas em um líquido por deposição gravitacional (PERRY; CHILTON, 1986). O princípio básico do processo é dado pela lei de Stokes, segundo a qual o movimento das partículas sólidas através de um fluido ocorre em função de forças de origem gravitacional, centrifugação ou outra, conforme a Equação 1:

$$V = \frac{2}{9} r^2 \frac{(\rho_1 - \rho_2)}{\eta} g \quad (1)$$

Onde:

V = velocidade de sedimentação da partícula dispersa (cm/s)

$\rho_1$  = densidade específica da fase dispersa (g/cm<sup>3</sup>)

$\rho_2$  = densidade específica da fase dispersante (g/cm<sup>3</sup>)

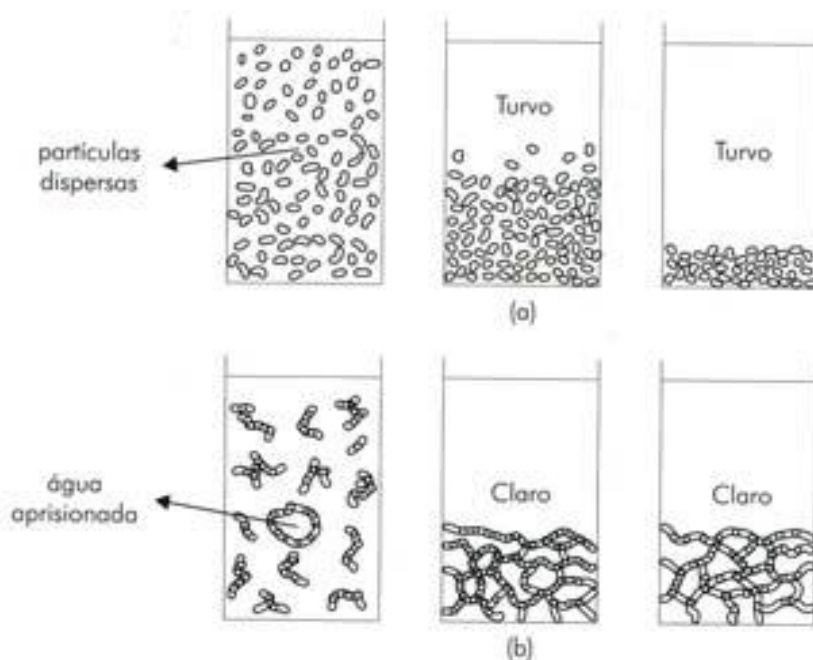
$r$  = raio da partícula dispersa (cm)

$\eta$  = viscosidade do meio dispersante (cP)

$g$  = constante da gravidade ( $980 \text{ cm/s}^2$  ao nível do mar).

A estabilidade das suspensões é diretamente dependente do modo como as partículas interagem durante o momento de colisão. Uma possibilidade é a formação de aglomerados de partículas. Esses aglomerados são estruturas porosas formadas pela união de diversas partículas primárias que, quando presentes na suspensão, podem absorver parte da água ou do líquido originalmente para a separação das partículas (VENDRÚSCOLO, 2005).

Para sistemas não estabilizados de sucos de frutas, a sedimentação dos aglomerados é favorecida, promovendo uma rápida separação entre as fases sólidas e líquidas da suspensão, prejudicando a homogeneidade e estabilidade da suspensão. A Figura 1 ilustra o fenômeno de sedimentação de partículas para suspensões (a) dispersas e (b) aglomeradas.



**Figura 1. Fenômeno de sedimentação de partículas em suspensões dispersas (a), e aglomeradas (b).**

**Fonte: Vendruscolo (2000).**



Os principais fatores que podem afetar a estabilidade das polpas de frutas são: distribuição do tamanho e forma das partículas, teor de sólidos solúveis e insolúveis, ação de enzimas e viscosidade. Dependendo do objetivo, o efeito pode ser benéfico, como nos produtos clarificados, ou prejudiciais quando se quer manter o sistema turvo (GODOY, 1997).

Quanto menor a diferença de densidade entre as fases, menor será a velocidade de sedimentação. O tamanho das partículas é, sem dúvida, o fator mais importante que influencia a velocidade de sedimentação. É representado na Equação de Stokes como  $r^2$ , onde  $r$  é o raio médio das partículas dispersas. A velocidade de sedimentação é diretamente proporcional ao quadrado do raio da partícula. Isto indica que pequenas variações no raio das partículas causam grandes variações na velocidade de sedimentação. A velocidade de sedimentação é inversamente proporcional à viscosidade do meio dispersante. Quanto mais viscosa a fase aquosa, mais lentamente as partículas sedimentarão (LIMA; LUZ, 2001).

Em sucos cítricos como o maracujá, a ação da enzima pectinesterase desmetila a pectina solúvel e libera grupos carboxílicos no meio, os quais reagem com íons cálcio, originando pectato de cálcio. Este composto, por ser insolúvel, desestabiliza a turbidez natural do suco (CASTALDO *et al.*, 1991), além de influenciar diretamente nas suas características reológicas.

### 3.4 REOLOGIA

O termo reologia vem do grego “rheos” que significa fluir. A reologia é a ciência que estuda a deformação e o escoamento de materiais, ou seja, o modo como os materiais deformam ao longo do tempo quando submetidos a tensões (BISCO, 2009).

O conhecimento das propriedades reológicas dos alimentos é fundamental no desenvolvimento de projetos e dimensionamento de equipamentos e tubulações, permitindo que haja uma completa caracterização do material. Além disso, torna possível controlar a qualidade do produto final, otimizando processos com redução de custos e entendendo o comportamento estrutural dos produtos formados (SATO, 2005).

O comportamento de um alimento durante o seu processamento pode variar, pois a consistência do material pode ser alterada durante as etapas de mistura, aquecimento, resfriamento, homogeneização, aeração, fermentação, cristalização, contribuindo, portanto, na modificação da viscosidade (KARWOWSKI, 2012).

Nesse sentido, a reologia estuda diferentes propriedades associadas à deformação da matéria, onde a viscosidade é a principal delas, sendo responsável pela medida da habilidade do fluido em resistir ao movimento, quando uma tensão de cisalhamento é aplicada (NACANO, 2013).

A viscosidade pode ser definida como o atrito interno de um fluido. A viscosidade representa, qualitativamente, a resistência de um material ao fluxo e, quantitativamente, é definida como o coeficiente entre a força de cisalhamento em fluxo estacionário. O termo viscosidade é comumente utilizado para fluidos Newtonianos, enquanto para fluidos Não-Newtonianos o termo mais apropriado a se utilizar é viscosidade aparente, a qual depende somente da magnitude da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento (VENDRÚSCOLO, 2015).

Trifiró *et al.* (1987) relataram que sucos e purês de frutas são fluidos pseudoplásticos, sendo o afastamento do comportamento newtoniano determinado pelo teor de polpa, de modo que, sucos despulpados e clarificados têm tendência ao comportamento newtoniano. O comportamento reológico é afetado pelo teor de sólidos da polpa, por ação enzimática ou mesmo mecânica, desde que modifiquem a estrutura do sistema.

O comportamento reológico de sucos e polpas de frutas também está relacionado aos teores de sólidos solúveis em suspensão, sendo uma função da forma, tamanho, concentrações das partículas suspensas e da estrutura do sistema. As referências que tratam da reologia de derivados de frutas estabelecem que a temperatura, a concentração de sólidos solúveis, o teor de pectina e de sólidos insolúveis são os principais responsáveis pelo comportamento reológico (VENDRÚSCOLO, 2005).

### 3.4.1 Classificação reológica dos fluidos

Isaac Newton foi o primeiro a expressar as leis básicas da viscosimetria, descrevendo o comportamento de fluxo de um fluido ideal (Figura 2). Ele considerou um modelo onde duas lâminas paralelas, de mesma área  $A$ , próximas uma da outra, a uma distância  $y$ , entre as quais existe um fluido. Ao se aplicar uma força tangencial  $F$  sobre a lâmina superior, mantendo fixa a inferior, cada partícula do fluido percorre uma trajetória paralela às lâminas e com velocidade constante. Porém, a velocidade das diversas partículas varia de  $v$ , junto à lâmina superior, a zero, junto à lâmina inferior. Newton verificou que a força tangencial  $F$  é diretamente proporcional a área  $A$  da lâmina e ao gradiente de velocidade ou taxa de deformação  $dv/dy$ . A relação  $F/A$  é denominada de tensão de cisalhamento e a relação tensão de cisalhamento por taxa de deformação é denominada viscosidade absoluta ou dinâmica (STEFFE, 1996).

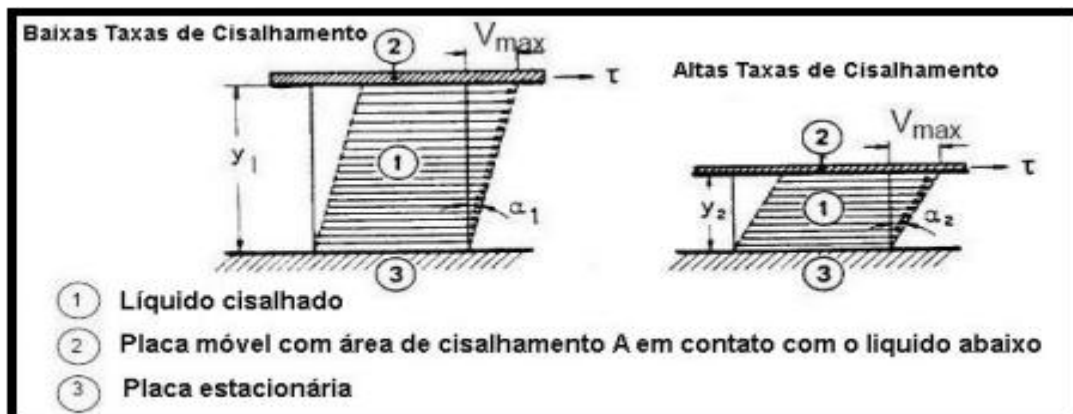


Figura 2. Esquema do perfil de velocidade para um fluido newtoniano escoando entre duas placas planas e paralelas.

Fonte: Steffe (1996).

A viscosidade não é uma propriedade que pode ser medida diretamente, pois são o torque, a força e a rotação no qual o fluido é submetido, que fornecem o valor da viscosidade, através de equipamentos conhecidos como viscosímetros e reômetros (VRIESMANN, 2008).

Os fluidos podem ser classificados em função do seu comportamento reológico, geralmente apresentado graficamente, plotando-se a tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação (chamada curva do fluido,

curva de escoamento ou reograma). De maneira geral os fluidos são classificados reologicamente como newtonianos e não newtonianos (BISCO, 2009).

### 3.4.2 Fluidos Newtonianos

Nos Fluidos Newtonianos, a tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à taxa de deformação, de modo que a viscosidade ( $\eta$ ) do sistema independe da taxa de deformação aplicada, dependendo apenas da composição e da temperatura, e o escoamento tem início quando a tensão é aplicada. Em regime laminar, a tensão de cisalhamento é expressa pela Equação 2 (SATO, 2005).

$$\sigma = \eta * \dot{\gamma} \quad (2)$$

Onde:

$\sigma$  = tensão de cisalhamento (Pa);

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

$\eta$  = viscosidade absoluta (Pa.s).

Para os fluidos newtonianos (Figura 3) a relação existente entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento resulta numa constante, isto é, tem-se que a viscosidade é constante.

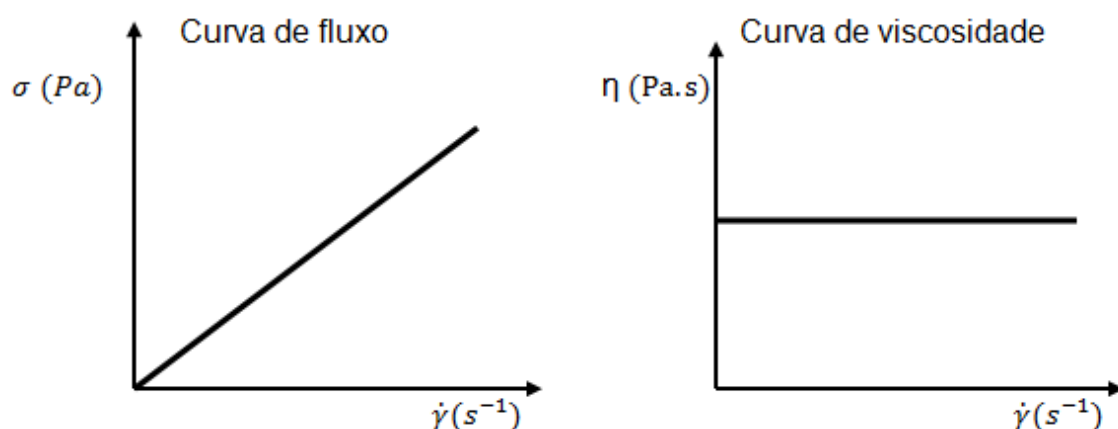
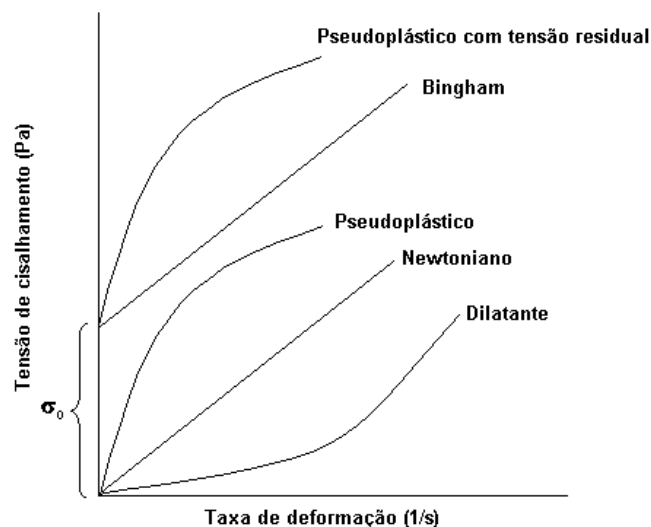


Figura 3. Curvas de escoamento para fluidos newtonianos.

Fonte:Sato (2005).

### 3.4.3 Fluidos Não Newtonianos

Fluidos não newtonianos são caracterizados como todo o fluido cuja relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação não é linear e/ou não passa pela origem (Figura 4). Para descrever o comportamento desses fluidos são propostos modelos empíricos que correlacionam a tensão de cisalhamento com a taxa de deformação (BARNES, 1989).



**Figura 4. Curvas de escoamento dos fluidos.**

**Fonte: Sato (2005).**

Os fluidos podem ainda ser classificados como dependentes ou independentes do tempo (Figura 5). Nos dependentes do tempo, a viscosidade aparente do fluido varia tanto com a taxa de deformação quanto com a duração de sua aplicação, podendo ser classificados como tixotrópicos ou reopéticos. A este respeito, onde há diminuição da viscosidade aparente com o tempo de cisalhamento, a uma condição constante de temperatura e taxa de deformação, caracteriza um material tixotrópico, enquanto que fluidos que tem a sua viscosidade aparente aumentada com o tempo são denominados reopéticos (KARWOWSKI, 2012).

Grande parte dos fluidos alimentícios como pastas de frutas e vegetais, “ketchup”, mostarda e comida de bebê apresentam comportamento tixotrópico.

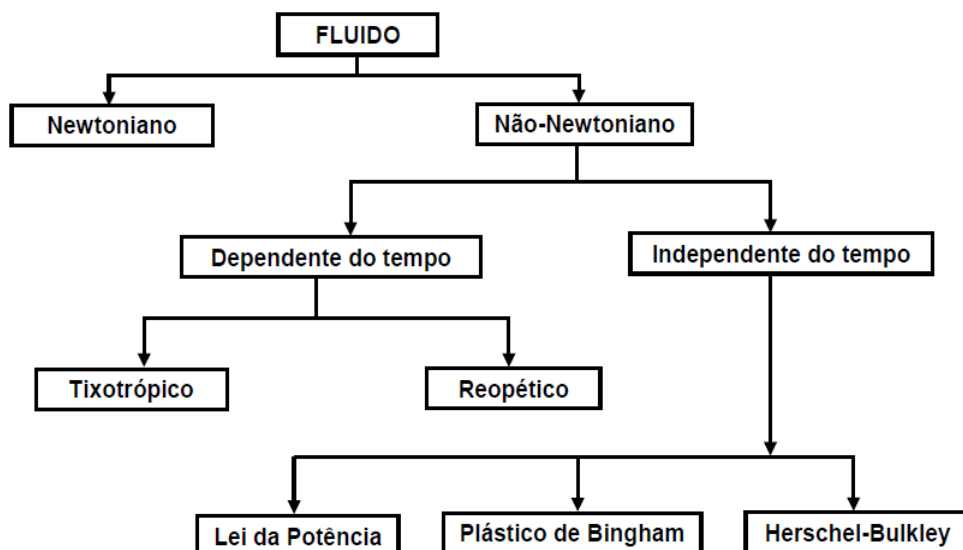


Figura 5. Classificação do comportamento reológico dos fluidos.

Fonte: Sato (2005).

Nos fluidos independentes do tempo, divididos em dilatantes, pseudoplásticos e plásticos de Bingham, a viscosidade aparente é somente função da taxa de deformação, podendo apresentar ou não tensão residual ( $\sigma_0$ ) para o início do escoamento (SATO, 2005).

#### 3.4.4 Modelos Reológicos

Os modelos reológicos são os mais utilizados para descrever o comportamento dos fluidos, pois permitem relacionar as propriedades reológicas com outras grandezas, como concentração, temperatura e índice de maturação. O conhecimento destas grandezas é indispensável no controle em linhas de produção, no projeto e dimensionamento dos processos (BRANCO, 1995).

O modelo reológico mais simples é o newtoniano, no entanto, a maioria dos alimentos fluidos, não apresenta esse tipo de comportamento e requer modelos mais complexos para sua caracterização. Na literatura existem muitos modelos reológicos propostos, alguns são mostrados na Tabela 2, e a escolha do modelo a ser utilizado depende das características do fluido (KARWOWSKI, 2012).

**Tabela 2. Modelos usados para o Estudo do Comportamento Reológico de polpas de frutas.**

<i>Modelo</i>	<i>Equação</i>
Ostwald de Waele	$\tau = K \cdot \dot{\gamma}^n$
Bingham	$\tau = \tau_0 + K_B \cdot \gamma$
Herschell-Buckley	$\tau = \tau_0 + K_h \cdot (\dot{\gamma})^{n_h}$
Casson	$\tau^{0,5} = \tau_0^{0,5} + K \cdot (\dot{\gamma})^{0,5}$
Arrhenius	$\eta_{ap} = \eta_0 e^{\frac{E}{RT}}$

Onde:

$\tau$ - Tensão de cisalhamento (Pa);

K - Índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>), para Ostwald de Waele;

n - Índice de comportamento do fluido, adimensional, para Ostwald de Waele;

$\dot{\gamma}$ - Taxa de deformação (s<sup>-1</sup>);

$\tau_0$  - Tensão residual (Pa);

$K_h$  - Índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>), para Herschell-Buckley(Pa.s<sup>n</sup>);

$K_B$  - Índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>), para Bingham;

$n_h$  - Índice de comportamento do fluido, adimensional, para Herschell-Buckley;

$\eta_{ap}$  - viscosidade aparente (Pa.s);

$\eta_0$  - parâmetro de ajuste;

$E_a$  - energia de ativação para viscosidade (kJ/mol);

R - constante universal dos gases (kJ/mol.K);

T - temperatura absoluta (K).

Os fluidos newtonianos apresentam valor de  $n = 1$ . Enquanto que, os fluidos não-newtonianos apresentam valor de  $n$  diferente de 1, sendo que, para o fluido pseudoplástico, o índice de comportamento do escoamento  $n < 1$  e a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação. O inverso ocorre para fluido dilatante, onde o índice de comportamento do escoamento  $n > 1$  e a viscosidade aparente aumenta com a taxa de deformação (TONELLI; MURR; PARK, 2005).

Os parâmetros estatísticos analisados são: coeficiente de determinação ( $R^2$ ), qui-quadrado ( $\chi^2$ ). O melhor ajuste é analisado com base nos parâmetros  $R^2$  (mede a proporção da variação total da média explicada pela regressão),

definido como razão entre a soma quadrática total e pelo qui-quadrado ( $\chi^2$ ) que expressa a diferença entre valores obtidos experimentalmente. Quanto maior for o valor de ( $\chi^2$ ) maior será a discrepância entre as frequências observadas e esperadas. Quanto menor o valor de ( $R^2$ ) maior a distância dos pontos experimentais ao modelo ajustado. Portanto, o modelo que melhor se ajusta é aquele com altos valores de ( $R^2$  máximo =1) e baixos valores de  $\chi^2$  (mínimo = 0) (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

#### 3.4.5 Efeito da temperatura no comportamento reológico

A temperatura é um dos fatores que mais afeta a viscosidade das polpas de frutas, pois a maioria destas apresenta-se na forma de sólidos dispersos em meios líquidos. Um aumento da temperatura faz com que a viscosidade da fase líquida diminua, aumentando o movimento das partículas em suspensão, causando um decréscimo na viscosidade da polpa (KARWOWSKI, 2012).

Segundo Steffe (1996) citado por Karwowski (2012), a temperatura tem um maior efeito no índice de consistência ( $K$ ) em fluidos alimentícios não-newtonianos, do que no índice de comportamento ( $n$ ). O efeito da temperatura na viscosidade aparente de fluidos alimentícios, a uma taxa de deformação constante, pode ser descrita pela equação de Arrhenius (Equação 3), na qual a viscosidade aparente diminui em uma função exponencial com o aumento da temperatura.

$$\eta_{ap} = \eta_0 e^{\frac{E_a}{RT}} \quad (3)$$

A Equação 3 indica a tendência geral observada de uma diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura. Em geral, uma alta energia de ativação de fluxo implica que pequenas variações de temperatura são necessárias para modificar rapidamente a viscosidade. O conhecimento da energia de ativação ( $E_a$ ) e o parâmetro de ajuste ( $k$ ) permitem modelar matematicamente o comportamento reológico, bem como verificar os efeitos da temperatura sobre a viscosidade (KARWOWSKI, 2012).

#### 3.4.6 Tensão Residual



A tensão residual ou tensão inicial de cisalhamento ( $\sigma_0$ ), já foi assunto de diversas discussões na literatura. Do inglês “yield stress”, significa uma mudança abrupta no comportamento de um fluido ou pasta para um estado menos resistente, isto é, equivale à tensão de cisalhamento mínima necessária para o fluido escoar.

O comportamento físico de fluidos com tensão residual é usualmente explicado em termos de sua estrutura interna, a qual é capaz de impedir o movimento se os valores de tensão de cisalhamento são menores que  $\sigma_0$ . Como exemplos de alimentos com tensão residual, pode-se citar chocolate fundido, catchup, maionese, creme de leite, polpas de frutas, entre outros (SATO, 2005).

É importante observar que em alguns casos de sistemas não-Newtonianos a ocorrência de deslizamento pode levar a uma falsa indicação de tensão residual em curvas de escoamento. Na Figura 6 pode-se observar um caso onde há um aparente platô Newtoniano a baixas taxas de deformação, com um aumento brusco na viscosidade a tensões mais baixas, o que indicaria a presença de tensão residual. Entretanto, com a remoção do efeito de escorregamento, a curva de escoamento volta ao “normal”, sem a presença de  $\sigma_0$  (SATO, 2005).

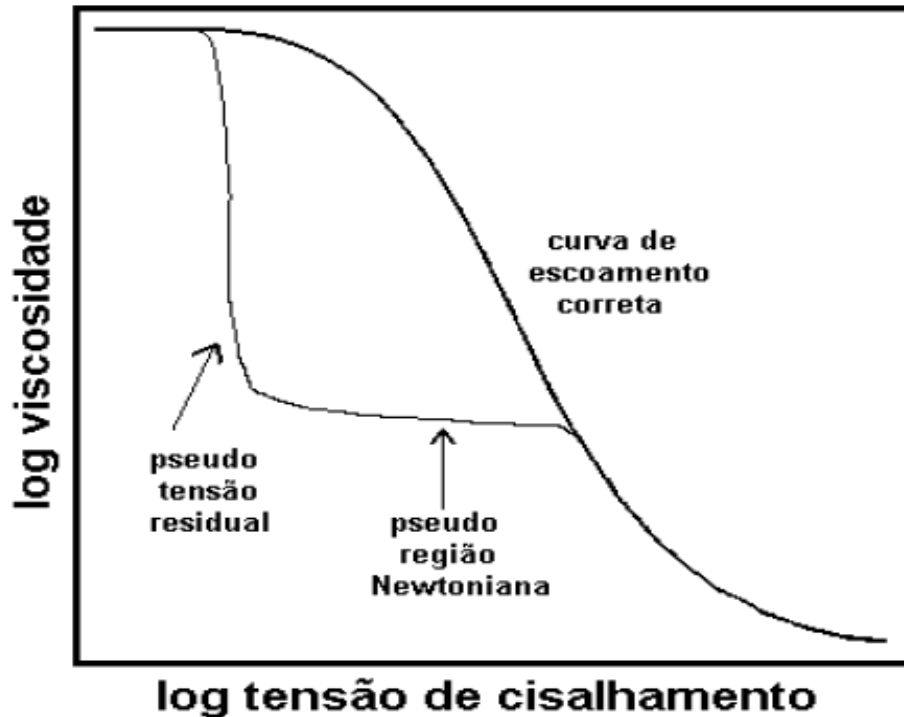


Figura 6. Efeito do escorregamento em uma curva de viscosidade versus tensão de cisalhamento de um líquido estruturado mostrando uma pseudo tensão residual.

Fonte: Sato (2005).

#### 3.4.7 Efeito do deslizamento

O efeito de deslizamento ou escorregamento é um dos problemas mais comuns encontrados durante a realização de ensaios reológicos de sistemas líquidos com mais de uma fase. Este efeito ocorre devido ao afastamento da fase dispersa das paredes sólidas encontradas em reômetros e viscosímetros, levando à formação de uma camada de menor viscosidade próxima às paredes, facilitando o escoamento do fluido. Este fenômeno se dá por forças estéricas, hidrodinâmicas, viscoelásticas, químicas e gravitacionais que agem na fase dispersa imediatamente adjacente à superfície sólida (BARNES, 1995).

O deslizamento das partículas para as bordas do recipiente de medida, durante o cisalhamento, gera uma região, na interface do rotor e a suspensão, onde a concentração de sólido é relativamente menor. Portanto há uma maior disponibilidade de água nessa interface. Essa água atua como um lubrificante, propiciando o deslizamento das partículas e diminuindo a

tensão de cisalhamento. Tais efeitos podem ser minimizados através de uma redução na taxa de deformação, minimizando a força centrífuga, responsável pela migração das partículas e, também, através de pequenas ranhuras no rotor, as quais minimizam o deslizamento das partículas (FERREIRA, 2005).

Os efeitos de deslizamento são fortemente dependentes das dimensões da geometria de medida e do tamanho das partículas dispersas. A influência destes efeitos aumenta com o aumento da relação entre o tamanho das partículas e a distância entre placas, de modo que partículas grandes e dimensões pequenas de escoamento são condições favoráveis para a manifestação destes efeitos (SATO, 2005).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 MATÉRIA PRIMA

A polpa de maracujá foi adquirida em uma Cooperativa da região noroeste do Paraná. As amostras foram recebidas congeladas, em pacotes plásticos de polietileno de 100 g e armazenadas em freezer vertical a -18 °C. O objetivo de se utilizar as polpas comerciais foi obter uma matéria-prima padronizada e diminuir possíveis interferentes relacionados ao tamanho das partículas das polpas produzidas em escala-piloto.

A polpa de banana verde foi comprada no comércio do município de Assis, São Paulo e foi mantida fechada em local seco até um início das análises, para evitar a degradação da mesma.

### 4.2 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A polpa de maracujá foi descongelada em Banho Maria até a temperatura ambiente ( $25^{\circ} \text{C} \pm 2$ ), buscando um descongelamento rápido para evitar a alteração ou degradação das características do produto. Em seguida, 100 g da polpa de maracujá pura foram transferidas para um liquidificador para homogeneização e colocadas em béquer devidamente identificado. Outros 100 g de polpa de maracujá foram misturados com 4 g de polpa de banana verde em um liquidificador até total homogeneização da amostra. Este sistema foi transferido para um béquer identificado, o mesmo procedimento foi repetido as outras amostras, pesando 5 g e 6 g de polpa de banana verde e misturada na polpa de maracujá. Obtendo assim quatro amostras diferentes, sendo elas: a amostra da polpa de maracujá pura; a amostra da polpa de maracujá adicionado 4 g de polpa de banana verde; a amostra da polpa de maracujá adicionado 5 g de polpa de banana verde e a amostra da polpa de maracujá adicionado 6 g de polpa de banana verde.

## 4.3 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA POLPA

### 4.3.1 Análise de Sólidos Solúveis

A determinação dos sólidos solúveis foi realizada por medida direta, de acordo com o método descrito por Adolfo Lutz (2008). Realizou-se o ajuste do refratômetro de modelo RL3 (Polskie Zakłady Optyczne) para a leitura de  $n$  em 1,3330 com água, de acordo com as instruções do fabricante. Com o auxílio de um Banho Termostático modelo Tecnal Termoestatizado T-184 as amostras foram mantidas constantes nas temperaturas desejadas, as leituras de cada amostra foram realizadas em triplicata com variações de temperatura de 10, 20 e 30° C. Para leitura transferiu-se de 3 a 4 gotas da amostra homogeneizada para o prisma do refratômetro, após um minuto, realizou-se a leitura direta na escala dos °Brix. Como a determinação foi realizada em temperaturas diferentes a 20° C, realizou-se a correção da leitura em relação à temperatura de 30° C.

### 4.3.2 Análise de pH

A determinação do pH foi realizada de acordo com o método direto do Instituto Adolfo Lutz (2008), utilizando o pHmetro de bancada Tecnopon modelo mPA-210. Primeiro realizou-se a calibração do pHmetro com o auxílio das soluções tampão 4,0 e 7,0, em seguida transferiu-se 30 mL da amostra para um béquer de 50 mL e aferido diretamente o pH. A análise foi realizada para todas as amostras, e em triplicata, nas temperaturas de 10 °C, 20 °C e 30 °C, para manter as temperaturas desejadas constantes utilizou-se um Banho Termostático modelo Tecnal Termoestatizado T-184.

### 4.3.3 Teste de Sedimentação

As polpas foram diluídas em solução 0,1% de sorbato de potássio para evitar o crescimento de fungos (SILVA *et al.*, 2010) na proporção 2:1. Em seguida, cada amostra de polpa foi transferida para uma proveta de 50 mL, armazenadas a 25°C e observadas por 10 dias. O volume do sedimento foi

medido (volume total menos fase soro) e o índice de sedimentação foi calculado (Equação 4).

$$IS = \frac{V_{inf}}{V_{total}} \quad (4)$$

onde:

IS = Índice de sedimentação (%)

$V_{inf}$  = Volume do sedimento (mL)

$V_{total}$  = Volume total (mL)

#### 4.4 ESTUDODO COMPORTAMENTO REOLÓGICO

O estudo do comportamento reológico da polpa de maracujá enriquecida com polpa de banana verde foi realizado segundo Sato (2005) e Karwowski (2012) que estudaram o comportamento reológico da polpa de Jaboticaba e das polpas de Uvaia e Pitanga, respectivamente, nas diferentes temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C.

As análises reológicas foram realizadas em um reômetro rotacional de cilindros concêntricos, Brookfield modelo DVIII ultra, utilizando rotor (spindle) SC4-31 com adaptador para pequena quantidade de amostra (Brookfield Engineering Laboratories, Massachussets, EUA).

As análises fornecem uma medida contínua da relação da taxa de deformação e tensão de cisalhamento, denominada curva de escoamento. Um Banho Termostático modelo Tecnal Termoestatizado T-184 foi utilizado para ajustar a temperatura das amostras da polpa de na faixa de temperatura de 10 a 60 °C. Os dados de viscosidade aparente ( $\eta_{ap}$ ), tensão de cisalhamento ( $\tau$ ) e taxa de deformação ( $\dot{\gamma}$ ), foram obtidos utilizando o software Rheocalc (versão V3.1-1, Brookfield Engineering Laboratories, EUA). As análises reológicas foram realizadas em triplicata para todas as amostras, sendo descartadas em seguida, pois as mesmas já estavam cisalhadas, podendo indicar um falso resultado, sendo estas mantidas no banho por 15 minutos antes de iniciar as análises para estabilização da temperatura.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DA POLPA

Os resultados de sólidos solúveis e pH determinados para a polpa de maracujá estão apresentados nas Tabelas 3 e 4 respectivamente.

**Tabela 3. Análise de sólidos solúveis das amostras.**

Temperatura (°C)	PMP (°Brix)	PM adicionado 4% PBV (°Brix)	PM adicionado 5% PBV (°Brix)	PM adicionado 6% PBV (°Brix)
10	8	10,5	10,7	10,8
20	8	10	10,2	10,4
30	8,81	10,81	11,01	11,21

Onde: PMP: Polpa de Maracujá Pura, PM: Polpa de Maracujá e PBV: Polpa de Banana Verde.

**Tabela 4. Análise de pH das amostras.**

Temperatura (°C)	PMP	PM adicionado 4% PBV	PM adicionado 5% PBV	PM adicionado 6% PBV
10	2,5	2,46	2,44	2,43
20	2,47	2,45	2,40	2,42
30	2,30	2,30	2,30	2,30

Onde: PMP: Polpa de Maracujá Pura, PM: Polpa de Maracujá e PBV: Polpa de Banana Verde.

Os valores encontrados de pH e de sólidos solúveis na polpa de maracujá pura e nas amostras adicionadas polpa de banana verde estão abaixo do estabelecido pela Legislação. Segundo a legislação (BRASIL, 2000), O valor mínimo para o pH da polpa é de 2,70 e valor máximo de 3,80, todas as amostras apresentaram valor inferior. O valor mínimo para sólidos solúveis é de 11 °Brix, apenas as amostras da polpa de maracujá enriquecido com 5 e 6% de polpa de banana verde na temperatura de 30 °C, apresentaram valores acima do exigido pela legislação (BRASIL, 2000). Os resultados comprovam que algumas empresas não estão de acordo com a legislação, no entanto, estes dados não interferem na análise reológica, objetivo principal do trabalho.

Os resultados obtidos neste estudo se diferem de outros estudos com relação à análise de pH. Raimundo *et al.*, (2009) observou em pesquisa que os

valores para polpas comerciais de maracujá variaram de 2,67 a 3,77, valores maiores do que na polpa *in natura*, extraído diretamente da fruta que foram de 2,54 e 2,58.

## 5.2 ESTUDO DA ESTABILIDADE

### 5.2.1 Teste de Sedimentação

A Figura 7 apresenta os Índices de Sedimentação da polpa nas diferentes concentrações em função do tempo de armazenamento.

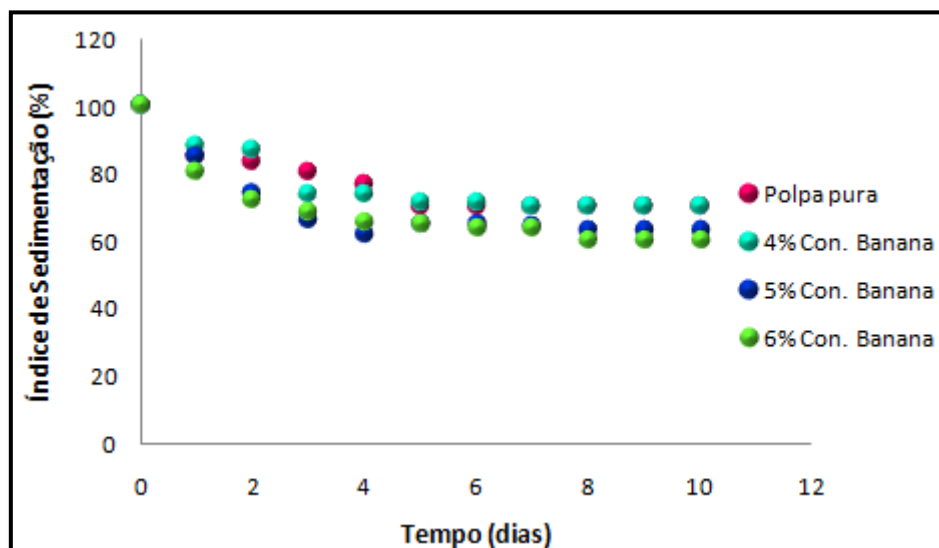


Figura 7. Curvas de Sedimentação da polpa de Maracujá enriquecida com polpa de Banana Verde.

A sedimentação ao longo de 10 dias apresentou uma curva assintótica, com tendência a platô após o sexto dia. Assim, os dados demonstram que as polpas de maracujá, em diferentes concentrações de polpa de banana, estabilizaram nos seis últimos dias de armazenamento. As Figuras 8 e 9 apresentam as sedimentações, nas primeiras 24 horas (Figura 8) seguida de um aumento lento do precipitado até que seja atingida a estabilidade (Figura 9).

Vendrúsculo (2005) estudou a estabilidade do suco de carambola *in natura* e concluiu que o mesmo se estabiliza com seis dias de armazenamento, sendo a sedimentação muito rápida no início do processo, assim como visto neste estudo.



Analisando-se as polpas nas diferentes concentrações de banana, observa-se que houve separação de fase em todas as amostras nas primeiras 24 horas. Os resultados obtidos neste estudo sugerem que a diferença de sedimentação das amostras foi causada pelas diferentes concentrações de polpa de banana verde adicionadas à polpa de maracujá, pela viscosidade das amostras e a diferença de densidade entre as fases sólida e líquida do sistema (CORREDIG *et al.*, 2001; BEVERIDGE, 2002; REITER *et al.*, 2003; QUIN *et al.*, 2005).

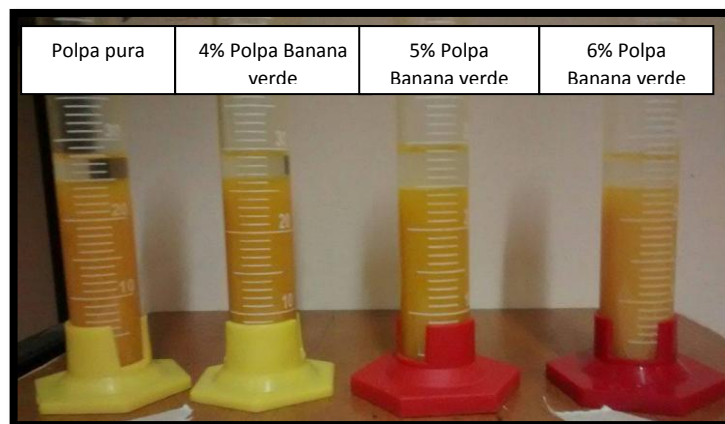


Figura 8. Sedimentação das amostras nas primeiras 24 horas.

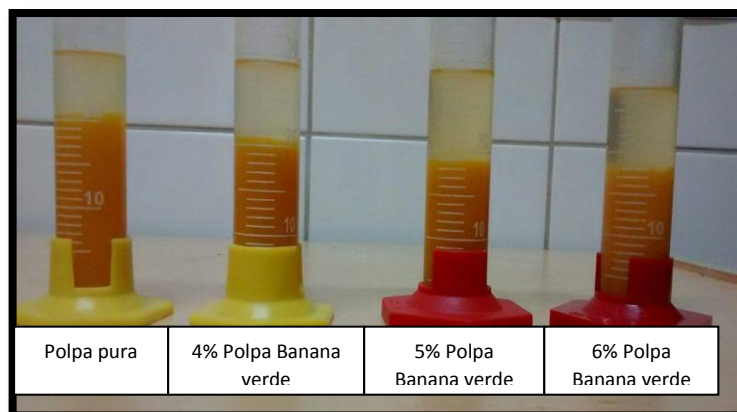


Figura 9. Sedimentação das amostras ao final do décimo dia.

### 5.3 ANÁLISE REOLÓGICA

Através da análise reológica foi possível verificar a natureza pseudoplástica das amostras de polpa de Maracujá enriquecida com polpa de Banana Verde.

As Figuras 10, 11, 12 e 13 apresentam o comportamento reológico (curvas de escoamento) da polpa de maracujá pura, enriquecida com 4%, 5% e 6% de polpa de banana verde, respectivamente.

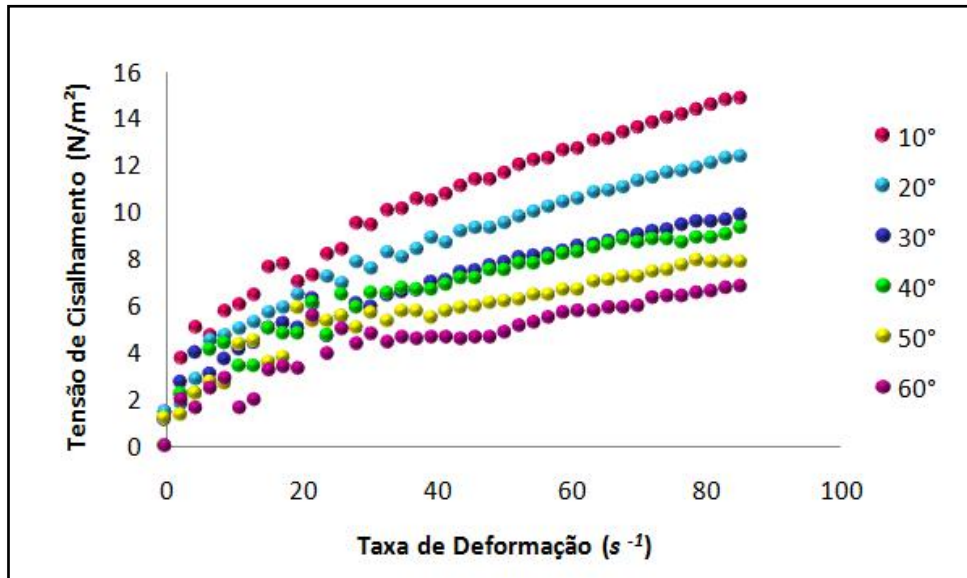


Figura 10. Relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento para amostra de polpa de Maracujá pura.

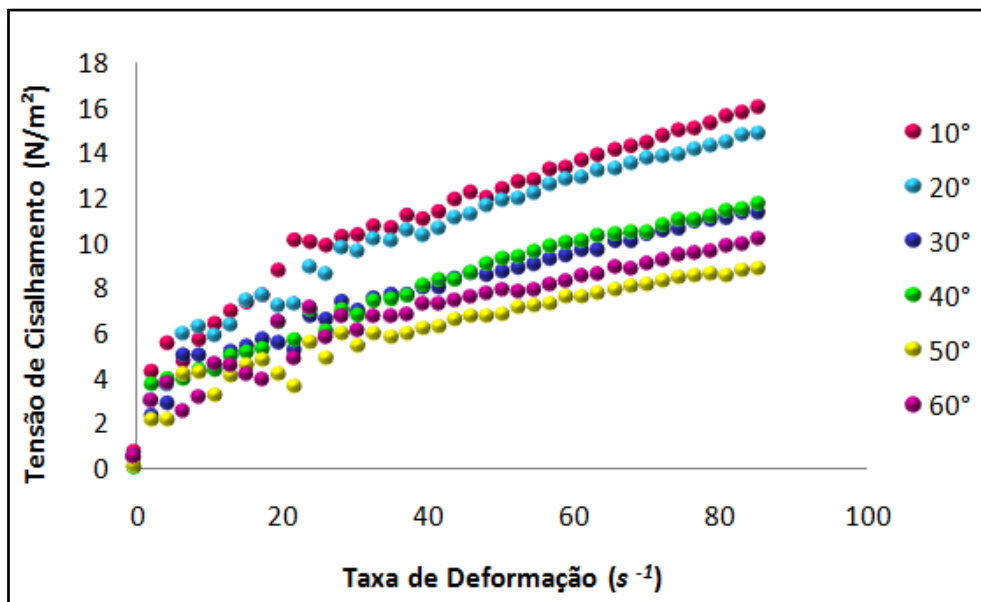


Figura 11. Relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento para amostra de polpa de Maracujá enriquecida com 4% de polpa de Banana Verde.

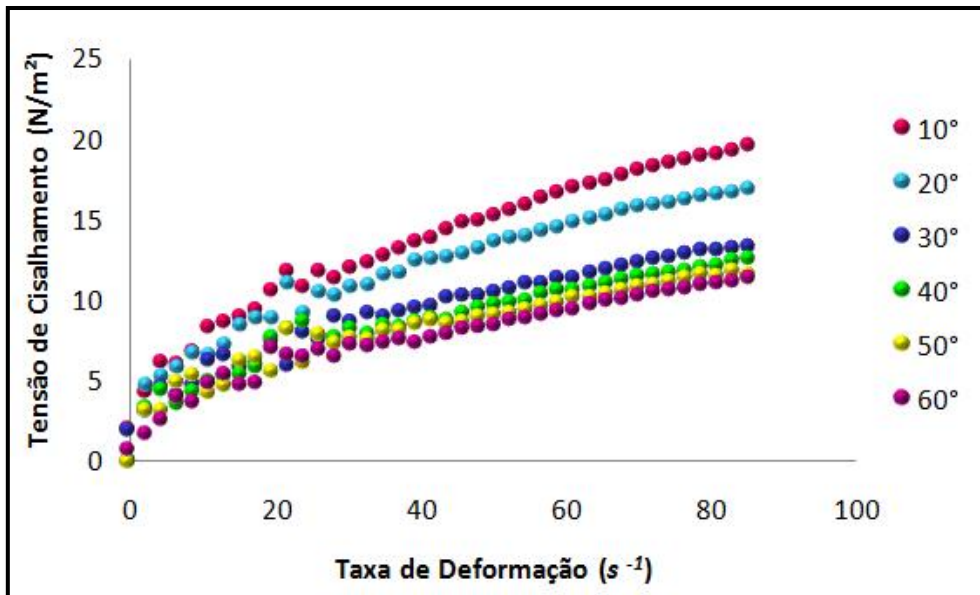


Figura 12. Relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento para amostra de polpa de Maracujá enriquecida com 5% de polpa de Banana Verde.

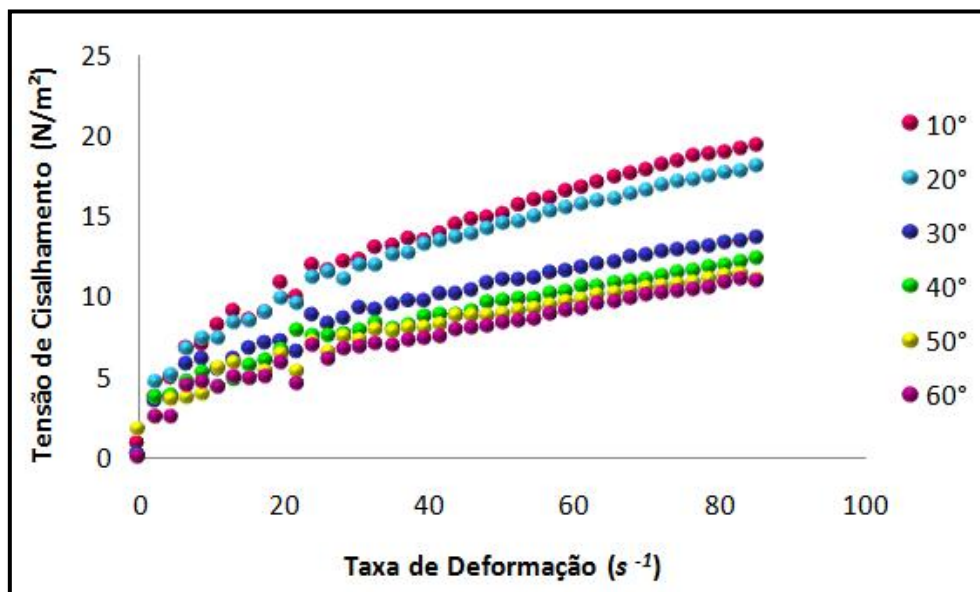


Figura 13. Relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento para amostra de polpa de Maracujá enriquecida com 6% de polpa de Banana Verde.

Para uma determinada taxa de deformação são obtidos diferentes valores de tensão de cisalhamento, esta não proporcionalidade entre os dados é típica de um comportamento não newtoniano (IBARZ; BARBOSA; CÁNOVAS, 1996). Ainda podemos afirmar que ao se aplicar uma taxa de deformação, a tensão de cisalhamento diminui conforme o aumento de temperatura, para todas as amostras analisadas, o que confirma a forte

influência da temperatura sobre a viscosidade do sistema. Este fenômeno pode ser explicado pelo colapso da polpa devido a forças hidrodinâmicas geradas pelo cisalhamento e o aumento do alinhamento das moléculas constituintes (ALPARSLAN; HAYATA, 2002).

Nas Figuras 14, 15 e 16 tem-se o gráfico dos valores da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a amostra de polpa de maracujá pura e para as amostras com diferentes concentrações de polpa de banana verde, nas temperaturas de 20, 40 e 60 °C, com ajustes pelo modelo da Lei da Potência. Os gráficos das temperaturas de 10, 30 e 50 °C apresentaram o mesmo comportamento dos anteriores e encontram-se no anexo.

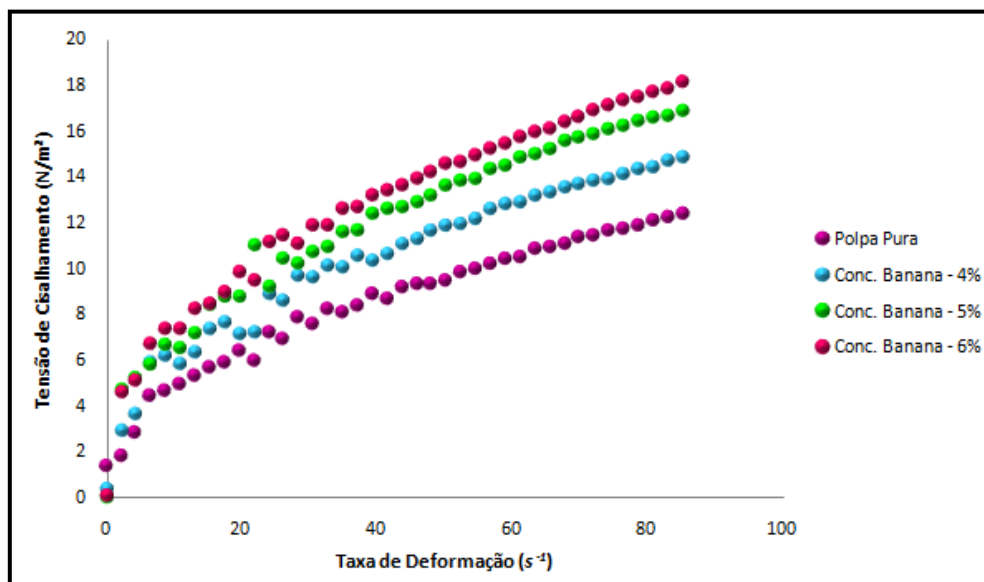


Figura 14. Relação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação na temperatura de 20 °C.

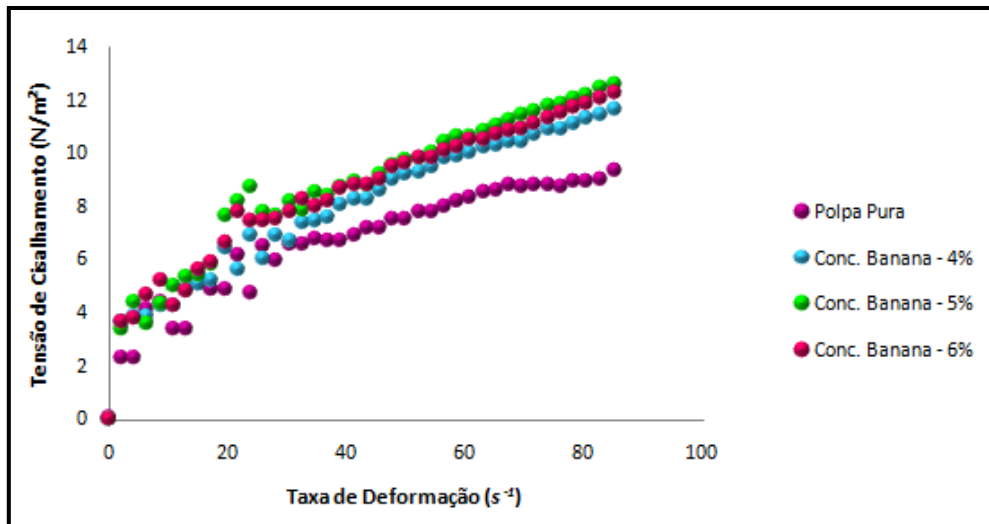


Figura 15. Relação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação na temperatura de 40 °C.

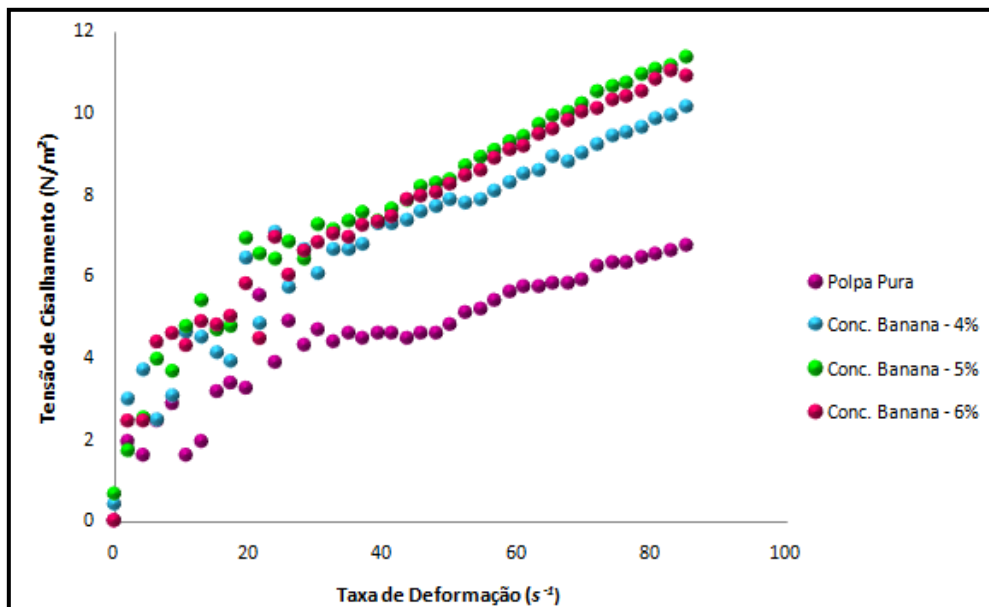


Figura 16. Relação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação na temperatura de 60 °C.

Verifica-se que para todas as temperaturas, a curva de tensão de cisalhamento foi maior para as amostras contendo elevada quantidade de biopolímeros, sendo que, a tensão maior ocorreu nas amostras enriquecidas com 5 e 6% de polpa de banana verde e menor para a amostra de polpa de maracujá pura. O amido da banana verde estabilizou o sistema composto pela polpa de maracujá. A polpa de maracujá possui partículas soltas no sistema e a banana verde agiu como um estabilizante para a mistura.

Observa-se, ainda, que as inclinações das curvas de escoamento diminuem com o aumento da taxa de deformação, evidenciando o decréscimo da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, confirmando o comportamento pseudoplástico. Esse comportamento é comum para polpas e sucos de frutas, uma vez que a maioria destes produtos apresenta-se na forma de sólidos dispersos em meio líquido e um aumento da temperatura causa uma diminuição da viscosidade da fase fluida, aumentando a mobilidade das partículas em suspensão, diminuindo a viscosidade destes produtos (PELEGRINE, 1999). Este comportamento será confirmado nas curvas de viscosidade (item 5.2.1).

Resultados semelhantes foram descritos por outros autores (Sousa *et al.*, (2014) que analisou a polpa de pequi, Sato (2005) no estudo da polpa de jaboticaba, Fernandes *et al.*, (2009) na polpa de maracujá, Haminiuk *et al.*, (2006) com polpa de araçá integral na faixa de temperatura entre 10 e 60 °C, Guimarães e Gasparetto (2005) no estudo com suco industrializado de acerola no intervalo de temperatura de 5 °C a 85 °C e por Haminiuk *et al.*, (2005), em polpa de amora-preta na faixa de 10 °C a 60 °C).

### 5.3.1 Viscosidade aparente

As Figuras 17, 18 e 19 apresentam os resultados da viscosidade aparente das polpas de Maracujá pura e das polpas enriquecidas com polpa de banana verde nas temperaturas de 20, 40 e 60 °C.

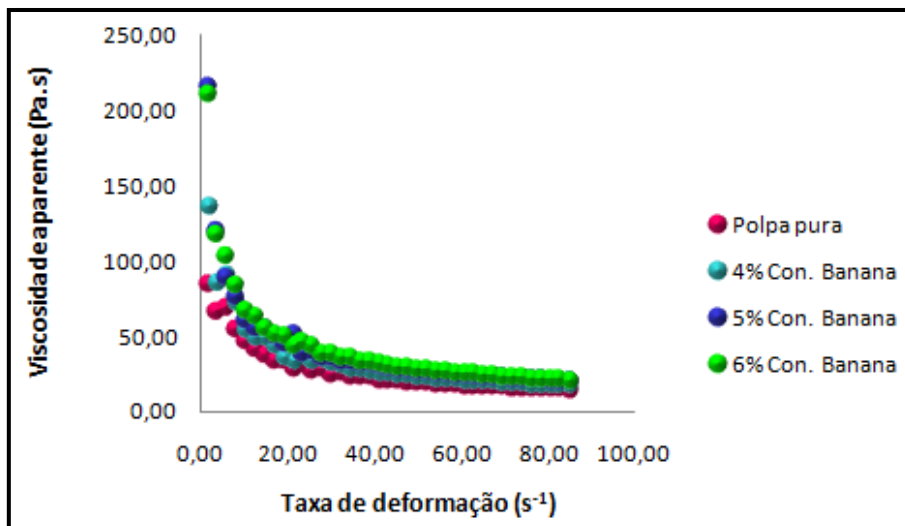


Figura 17. Relação da taxa de deformação com a viscosidade aparente na temperatura de 20 °C.

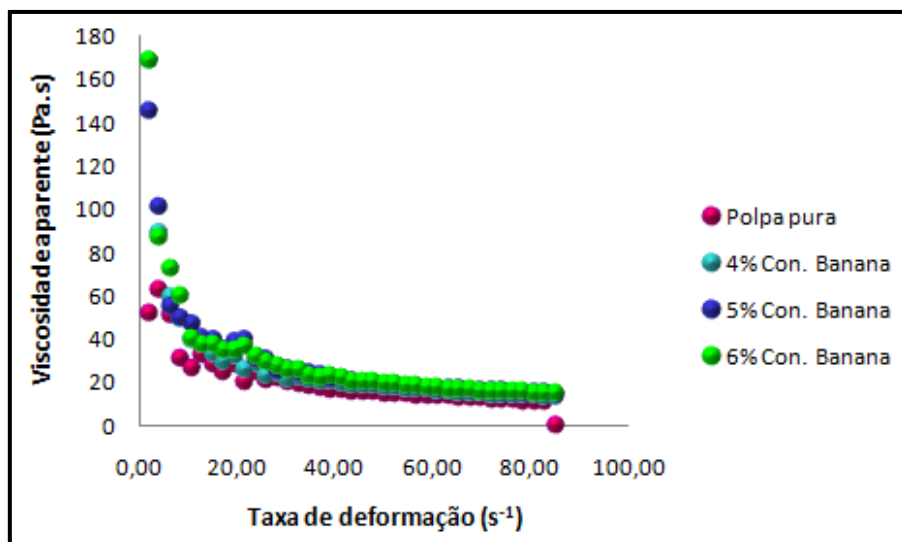


Figura 18. Relação da taxa de deformação com a viscosidade aparente na temperatura de 40 °C.

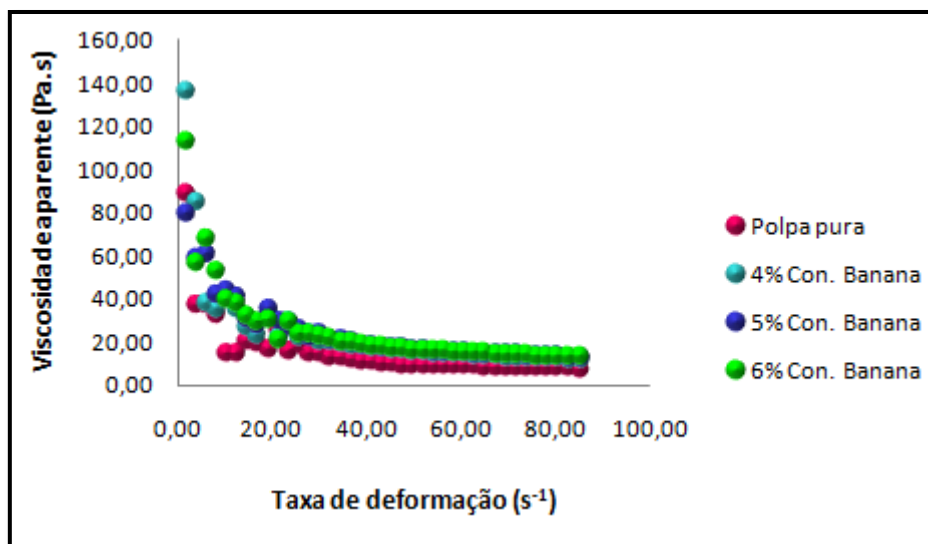


Figura 19. Relação da taxa de deformação com a viscosidade aparente na temperatura de 60 °C.

Nas Figuras acima observa-se que a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação, bem como com o aumento da temperatura. Este decréscimo na viscosidade aparente significa que a resistência das amostras ao escoamento e a energia requerida para mantê-los a uma alta taxa de deformação é reduzida.

A Figura 20 compara a viscosidade da polpa de maracujá enriquecida com 5% de polpa de banana verde. Este resultado confirma que o comportamento reológico das polpas é fortemente influenciado pela temperatura, ocorrendo uma diminuição na viscosidade conforme aquecimento. As demais concentrações também foram analisadas e apresentaram o mesmo comportamento.



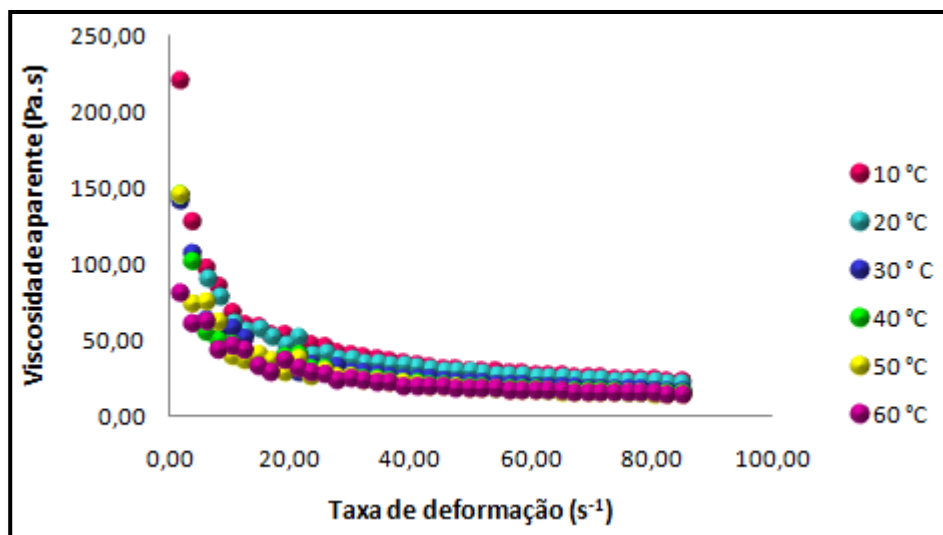


Figura 20. Relação da taxa de deformação com a viscosidade aparente da polpa de Maracujá enriquecida com 5% de polpa de Banana verde.

Reduções de viscosidade com o aquecimento também são reportadas em Vidal *et al.*, (2000) em trabalhos com polpa de manga, em Karwowski (2012) em estudo da polpa de Uvaia e Pitanga e por Ferreira; Queiroz; conceição (2002) em estudo reológico de polpas de caju e goiaba e Branco; Gasparetto (2005) em misturas ternárias de manga, laranja e cenoura.

Em amostras de suco de cajá nas temperaturas de 0 a 60 °C e concentrações de 7,8 a 30 °Brix também verificaram as reduções na viscosidade aparente com o aumento da concentração e com o aumento da taxa de deformação. Neste estudo, pode-se observar ainda que a viscosidade aparente a partir da taxa de deformação de 20 s<sup>-1</sup> tende a ficar constante para as temperaturas de 10 a 60 °C (ASSIS; TADINI; LANNES, 2005).

Os parâmetros reológicos obtidos através dos modelos matemáticos Lei da Potência, Bingham, Casson e Herschell-Buckley estão exibidos na Tabela 5, 6, 7 e 8, respectivamente.

Tabela 5. Dados reológicos polpa de Maracujá enriquecida com polpa de Banana Verde ajustado pelo modelo Lei da Potência nas temperaturas de 10 °C a 60 °C.

Polpa de Maracujá pura					Polpa de Maracujá enriquecida com 4% de polpa de banana verde				
T (°C)	K (Pa.s <sup>n</sup> )	n*	R <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	K (Pa.s <sup>n</sup> )	n*	R <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	
10	2,176	0,429	0,986	0,163	2,536	0,409	0,988	0,163	
20	1,640	0,453	0,988	0,106	2,178	0,431	0,991	0,117	
30	1,549	0,412	0,971	0,141	1,695	0,422	0,982	0,124	
40	1,559	0,402	0,971	0,148	1,584	0,445	0,982	0,141	
50	1,471	0,374	0,947	0,198	1,307	0,426	0,966	0,155	
60	1,013	0,419	0,915	0,226	1,484	0,425	0,957	0,245	

Polpa de Maracujá enriquecida com 5% de polpa de banana verde					Polpa de Maracujá enriquecida com 6% de polpa de banana verde				
T (°C)	K (Pa.s <sup>n</sup> )	n*	R <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	K (Pa.s <sup>n</sup> )	n*	R <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	
10	2,750	0,441	0,989	0,231	2,784	0,436	0,994	0,124	
20	2,623	0,419	0,991	0,146	2,857	0,414	0,996	0,065	
30	1,963	0,430	0,974	0,251	2,253	0,402	0,998	0,123	
40	1,952	0,414	0,975	0,218	1,957	0,407	0,984	0,126	
50	1,935	0,401	0,971	0,218	1,706	0,425	0,971	0,200	
60	1,485	0,453	0,980	0,145	1,448	0,452	0,979	0,147	

\*Adimensional. Onde: K é o índice de consistência, n é o índice de comportamento, x<sup>2</sup> (chi-quadrados), e R<sup>2</sup> é o coeficiente de determinação.

Tabela 6. Dados reológicos polpa de Maracujá enriquecida com polpa de Banana Verde ajustado pelo modelo Bingham nas temperaturas de 10 °C a 60 °C.

Polpa de Maracujá pura					Polpa de Maracujá enriquecida com 4% de polpa de banana verde				
T (°C)	$\tau_0$ (Pa)	$K_B$	R <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	$\tau_0$ (Pa)	$K_B$	R <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	
10	4,703	0,113	0,945	0,653	5,208	0,136	0,921	1,059	
20	3,688	0,111	0,942	0,508	5,400	0,150	0,917	1,359	
30	3,261	0,083	0,942	0,283	4,293	0,117	0,941	0,564	
40	3,114	0,081	0,874	0,636	3,981	0,109	0,900	0,879	
50	2,905	0,064	0,863	0,430	3,855	0,101	0,895	0,794	
60	2,081	0,058	0,845	0,413	3,277	0,101	0,928	0,535	

Polpa de Maracujá enriquecida com 5% de polpa de banana verde					Polpa de Maracujá enriquecida com 6% de polpa de banana verde				
T (°C)	$\tau_0$ (Pa)	$K_B$	R <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	$\tau_0$ (Pa)	$K_B$	R <sup>2</sup>	x <sup>2</sup>	
10	6,057	0,174	0,949	1,084	5,970	0,174	0,929	1,537	
20	3,981	0,109	0,900	0,879	5,831	0,159	0,916	1,541	
30	3,855	0,100	0,895	0,794	4,517	0,117	0,908	0,925	
40	3,277	0,101	0,927	0,535	3,947	0,105	0,913	0,699	

50	3,688	0,111	0,942	0,508	3,706	0,098	0,935	0,447
60	3,114	0,081	0,874	0,636	3,146	0,099	0,929	0,506

Onde:  $\tau_0$  é a tensão residual,  $n$  é o índice de comportamento,  $x^2$ (chi-quadrados), e  $R^2$  é o coeficiente de determinação, e  $K_B$  é o índice de consistência.

Tabela 7. Dados reológicos polpa de Maracujá enriquecida com polpa de Banana Verde ajustado pelo modelo Casson nas temperaturas de 10 °C a 60 °C.

Polpa de Maracujá pura					Polpa de Maracujá enriquecida com 4% de polpa de banana verde			
T (°C)	$\tau_0$ (Pa)	K (Pa.s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	$x^2$	$\tau_0$ (Pa)	K (Pa.s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	$x^2$
10	1,680	0,241	0,985	0,177	1,785	0,244	0,973	0,367
20	1,465	0,228	0,982	0,155	1,651	0,247	0,971	0,369
30	1,418	0,189	0,979	0,104	1,550	0,210	0,971	0,201
40	1,381	0,188	0,937	0,316	1,411	0,222	0,976	0,189
50	1,371	0,159	0,923	0,243	1,270	0,189	0,950	0,223
60	1,117	0,162	0,894	0,281	1,370	0,198	0,946	0,303

Polpa de Maracujá enriquecida com 5% de polpa de banana verde					Polpa de Maracujá enriquecida com 6% de polpa de banana verde			
T (°C)	$\tau_0$ (Pa)	K (Pa.s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	$x^2$	$\tau_0$ (Pa)	K (Pa.s <sup>n</sup> )	R <sup>2</sup>	$x^2$
10	1,894	0,282	0,988	0,260	1,878	0,282	0,978	0,474
20	1,800	0,260	0,970	0,493	1,877	0,266	0,972	0,510
30	1,610	0,228	0,978	0,208	1,665	0,226	0,965	0,357
40	1,549	0,220	0,953	0,412	1,550	0,215	0,965	0,282
50	1,537	0,209	0,949	0,387	1,503	0,208	0,974	0,177
60	1,375	0,219	0,970	0,224	1,343	0,218	0,969	0,221

Onde:  $\tau_0$  é a tensão residual, K é o índice de consistência, n é o índice de comportamento,  $x^2$  (chi-quadrados), e  $R^2$  é o coeficiente de determinação.

Tabela 8. Dados reológicos polpa de Maracujá enriquecida com polpa de Banana Verde ajustado pelo modelo Herschell-Buckley nas temperaturas de 10 °C a 60 °C.

Polpa de Maracujá pura						Polpa de Maracujá enriquecida com 4% de polpa de banana verde				
T (°C)	$\tau_0$ (Pa)	$n_h^*$	R <sup>2</sup>	$x^2$	$K_h$	$\tau_0$ (Pa)	$n_h^*$	R <sup>2</sup>	$x^2$	$K_h$
10	1,569	0,521	0,993	0,086	1,309	0,969	0,455	0,990	0,138	1,952
20	1,036	0,526	0,992	0,070	1,097	0,410	0,452	0,991	0,115	1,938
30	1,382	0,538	0,983	0,085	0,769	0,687	0,471	0,984	0,113	1,290
40	-0,031	0,040	0,971	0,152	1,579	0,723	0,500	0,984	0,130	1,173
50	0,805	0,443	0,944	0,182	0,977	0,269	0,450	0,966	0,157	1,144
60	0,099	0,429	0,915	0,231	0,953	0,651	0,478	0,959	0,239	1,105

Polpa de Maracujá enriquecida com 5% de polpa de banana verde						Polpa de Maracujá enriquecida com 6% de polpa de banana verde				
T (°C)	$\tau_0$ (Pa)	$n_h^*$	R <sup>2</sup>	$x^2$	$K_h$	$\tau_0$ (Pa)	$n_h^*$	R <sup>2</sup>	$x^2$	$K_h$
10	1,991	0,530	0,995	0,102	1,678	0,850	0,470	0,995	0,104	2,299
20	0,369	0,435	0,991	0,146	2,397	0,313	0,426	0,997	0,064	2,664
30	1,727	0,546	0,984	0,154	1,036	0,387	0,422	0,988	0,122	2,009
40	0,231	0,427	0,975	0,222	1,809	0,387	0,430	0,985	0,125	1,714
50	0,258	0,416	0,971	0,222	1,771	1,467	0,537	0,982	0,130	0,912
60	0,579	0,496	0,982	0,138	1,168	0,387	0,481	0,980	0,147	1,228

\*Adimensional. Onde:  $\tau_0$  é a tensão residual,  $n_h$  é o índice de comportamento,  $x^2$ (chi-quadrados), R<sup>2</sup> é o coeficiente de determinação, e  $K_h$  é o índice de consistência.

O modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) tem como parâmetros reológicos o índice de consistência,  $K$ , e o índice de comportamento,  $n$ . O índice de comportamento define o comportamento dos fluidos e o índice de consistência,  $K$ , indica o grau de resistência do fluido durante o escoamento (MACHADO, 2002). Esse modelo descreve bem o comportamento de fluidos pseudoplásticos, como é o caso das polpas de frutas analisadas neste trabalho.

O modelo da Lei da Potência ajustou apropriadamente o reograma da polpa de Maracujá com alto coeficiente de determinação (R<sup>2</sup>). De acordo com a Tabela 6, em todas as temperaturas estudadas, os valores de R<sup>2</sup> foram maiores que 0,90 e os valores do qui-quadrado ( $x^2$ ) foram todos menores que 1,00 com uma variação de 0,065 a 0,250. Para a polpa pura os valores de R<sup>2</sup> ficaram entre 0,99 e 0,92, enquanto que para as amostras adicionadas diferentes concentrações de banana verde sofreram variações de 0,99 e 0,96, verificando uma diminuição do R<sup>2</sup> e um aumento do  $x^2$  com o aumento da temperatura. Ainda de acordo com a Tabela 6, as amostras também exibiram um comportamento pseudoplástico para todas as temperaturas, devido os valores do índice de comportamento do fluido ( $n$ ) serem menores que 1 ( $n < 1$ ) para todas as temperaturas.

O mesmo comportamento pseudoplástico de polpa de frutas foi encontrado em estudos anteriores realizados com a polpa de cenoura pasteurizada, polpa de pitanga (LOPES, 2005), polpa de jabuticaba (SATO, 2005), polpa de acerola (SILVA; GUIMARÃES; GASPARETO, 2005; GOMES *et al.*, 2001), polpa de graviola e maracujá (GRATÃO; BERTO; SILVEIRA

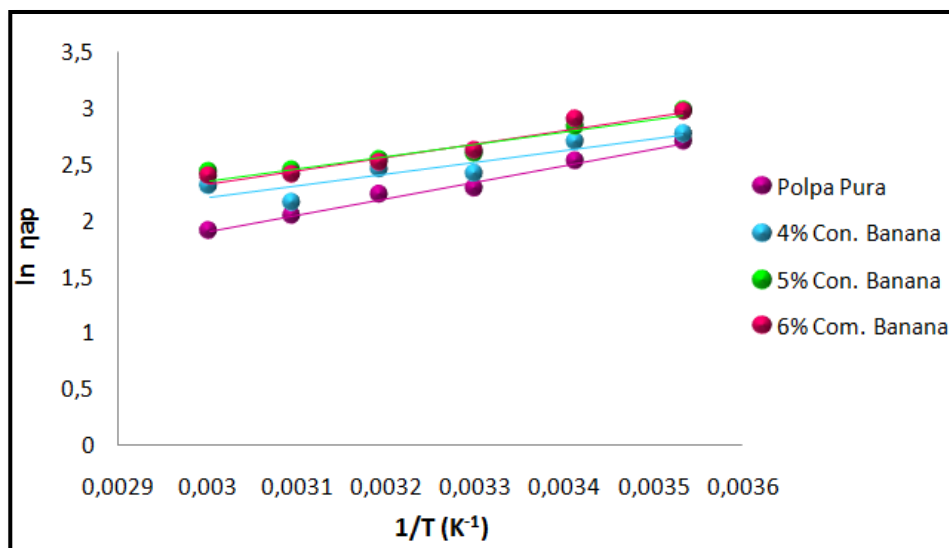
JÚNIOR, 2004), polpa integral de manga (VIDAL; GASPARETTO; GRANDINI, 2000; SUGAI, 2002; MANISH DAK; VERMA; SHARMA, 2005), polpa de goiaba (FERREIRA; QUEIROZ; CONCEIÇÃO, 2002) e polpa de abacaxi (PELEGRINE; VIDAL; GASPARETTO, 2000).

O modelo de Herschell-Buckley também ajustou ao reograma da polpa de Maracujá enriquecido com polpa de Banana Verde, apresentando alto coeficiente de Resistência ( $R^2$ ) com variações de 0,99 e 0,91 para polpa de maracujá pura, e 0,99 e 0,96 para polpa de maracujá enriquecida com polpa de banana verde. Porém este modelo apresentou valores de ( $x^2$ ) maior esquando comparados com os resultados obtidos pelo modelo Lei da Potência, como mostra a Tabela 9, exibindo também um comportamento pseudoplástico para todas as temperaturas. Assim como para a polpa de maracujá, o modelo de Herschel-Bulkley também foi utilizado para descrever o comportamento de escoamento de diversos fluidos alimentícios, tal como polpa de jabuticaba (SATO, 2005).

Com os resultados obtidos foi encontrada uma tendência de diminuição dos parâmetros reológicos índice de consistência ( $K$ ) e índice de comportamento do fluido ( $n$ ) com o aumento da temperatura, isto é existe, uma sensibilidade definida destes parâmetros com a variação da temperatura.

### 5.3.2 Efeito da temperatura

A equação de Arrhenius (Equação 3) apresentou o efeito da temperatura na viscosidade aparente das polpas a uma taxa de deformação constante de  $85 \text{ s}^{-1}$ , como pode ser visto na Figura 21.



**Figura 21. Efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente das polpas ajustado pela equação de Arrhenius.**

Na Tabela 9 apresentam-se os valores de energia de ativação ( $E_a$ ) das amostras da polpa de maracujá. Os valores de  $R^2$  para as polpas de maracujá enriquecidas com polpa de banana verde apresentaram valores menores que 0,95, enquanto que para polpa de maracujá pura a energia de ativação apresentou um valor de  $R^2$  de 0,99.

**Tabela 9. Valores da energia de ativação ( $E_a$ ) das amostras em diferentes teores de sólidos solúveis na taxa de deformação de  $85 \text{ s}^{-1}$ .**

Concentração da polpa de maracujá	$E_a$ (KJ/mol)	$R^2$
PMP	12,08	0,99
4% PBV	8,60	0,83
5% PBV	8,91	0,93
6% PBV	9,99	0,94

Onde: PMP: Polpa de Maracujá Pura, PBV: Polpa de Banana Verde.

As energias de ativação aumentaram com o aumento da concentração de polpa de banana adicionado a polpa de maracujá, mas quando comparado com a polpa pura a energia de ativação diminuiu. Provavelmente a adição de polpa de banana no sistema interferiu nas ligações moleculares da polpa de maracujá, necessitando de uma menor quantidade de energia para desestruturar o sistema, no entanto, uma conclusão somente pode ser confirmada com o estudo simultâneo com a microscopia.

A energia de ativação ( $E_a$ ) nem sempre varia de acordo com o aumento ou queda de viscosidade. Sato e Cunha (2007) em seu estudo da energia de ativação em polpa de jabuticaba relatam que o material com viscosidade baixa apresentou maior energia de ativação, enquanto que em amostras com viscosidade mais elevada a energia de ativação tendeu a diminuir (SOUSA *et al.*, 2014).

De acordo com Steffe (1996), em um sistema, baixos valores de  $E_a$  indicam uma mudança mais lenta na viscosidade com a temperatura. A energia de ativação é necessária para movimentar as moléculas, como uma função do aumento da temperatura o fluido escoar mais facilmente devido à alta energia de ativação em altas temperaturas.

Em outros trabalhos os valores da  $E_a$  foram menores do que os encontrados neste estudo, como por exemplo, Alexandre (2002), ao analisar o comportamento reológico da polpa de açaí integral, encontrou o valor igual a 6,28 kJ/mol. Ferreira *et al.* (2002), que estudaram o comportamento reológico da polpa de goiaba integral ( $E_a = 6,11$  kJ/mol), Pereira *et al.* (2008) que analisou a polpa de umbu ( $E_a = 6,15$  kJ/mol) e por Guerrero; Alzamora (1997) ( $E_a = 7,99$  kJ/mol), ao estudar o comportamento do purê de banana. Estas faixas de valores para energia de ativação é característica dos sistemas com altos teores de sólidos em suspensão (KARWOWSKI, 2012).

## CONCLUSÃO

- A polpa concentrada apresentou um caráter não-newtoniano, com o comportamento pseudoplástico e os valores de viscosidade apresentaram tendência de aumento com o aumento das concentrações de polpa de Banana Verde, onde pode-se verificar que além dos nutrientes o enriquecimento com a polpa de banana verde apresentou bons resultados reológicos;
- As amostras com maior quantidade de polpa de banana verde, 5% e 6% foram as que apresentaram maior tensão de cisalhamento, maior viscosidade aparente e tensão inicial;
- Os sistemas apresentaram um caráter não-newtoniano, com o comportamento pseudoplástico, devido ao índice de comportamento das polpas terem sido menores do que 1 nas faixas de temperatura de 10, 20, 30, 40 , 50 e 60 °C;
- Os modelos da Lei da Potência e Herschel- Bulkley ajustaram-se bem aos dados reométricos, com melhores resultados para o da Lei da Potência.
- A equação de Arrhenius na taxa de deformação estudada pode ser utilizada para expressar a influência da temperatura sobre a viscosidade aparente da polpa de Maracujá enriquecida com polpa de Banana Verde.
- Foi encontrada uma tendência definida para os parâmetros reológicos índice de consistência (K) e índice de comportamento do fluido (n) com o aumento da temperatura para as polpas;
- A viscosidade aparente obtida pelo modelo da Lei da Potência diminuiu com o aumento da taxa de deformação e temperatura, conforme esperado para polpas de frutas.
- A partir dos parâmetros reológicos, pode-se verificar que o enriquecimento da polpa de maracujá com a polpa de banana verde é um processo viável, interferindo de forma controlável nos processos que envolvem as diversas operações unitárias.



**SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS:**

- Comparar as análises reológicas com as análises de sedimentação utilizando dados da viscosidade, determinada a partir da equação (1).
- Realizar a caracterização físico-química e funcional da polpa de banana.

## REREFENCIAS

**AGRIANUAL**, Anuário Estatístico da Agricultura Brasileira. Argos Comunicação. p. 371-372. São Paulo, 2013.

ALENCAR, L. O.; SANTOS, E. D. S.; FERNANDES, A. C. C. F. Desenvolvimento, aceitabilidade e valor nutricional de brigadeiro com biomassa de banana verde. Centro Universitário Uninovafapi **Rev. Interdisciplinar**, v. 7, n. 4, p. 91-98, out./ nov. /dez. 2014.

ALEXANDRE, D. **Conservação da polpa de açaí através da tecnologia de obstáculos e caracterização reológica**. 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, 2002.

ALPARSLAN, M.; HAYTA, M. Rheological and sensory properties of pekmez (grape molasses)/tahin (sesame paste) blends. **Journal of Food Engineering**, v. 54 n.1, p.89-93, 2002.

ASSIS, M.M.M.; TADINI, C.C.; LANNES S.C.S. Influence of temperature and concentration on rheological properties of Caja Juice (*Spondia mombin*, L). In: **EUROTHERM 77 Heat and Mass Transfer in Food Proceedings**. Parma, v.1, p.65- 68, 2005.

BARNES, H. A.; HUTTON, J. F.; WALTERS, K. **An introduction to Rheology**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1989. 199p.

BELCHIOR, N. C. **Transferência de calor no congelamento de polpa de maracujá**. Dissertação (Programa de Pós - Graduação em Ciência dos Alimentos) – Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2012.

BEVERIDGE, T. Opalescent and cloudy fruit juices: formation and particle stability. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v.42, p.317-337, 2002.

BISCO, A. P. R. **A influência de algumas variáveis sobre a reologia de polpas minerais.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Minas) Universidade Federal de Minas Gerais. 99 f. Belo Horizonte, 2009.

BRANCO, I.G. **Suco de laranja concentrado – comportamento reológico a baixas temperaturas.** 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade de Campinas, Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, 1995.

BRANCO, I.G.; GASPARETTO, C.A. Comportamento reológico de misturas de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura utilizando modelo de Casson. **Brazilian Journal of Food Technology.** Campinas, v. 8, n. 2, p. 183-189, 2005.

BRASIL, Instrução normativa nº1, de 7 de janeiro de 2000. **Estabelece o Regulamento Técnico Geral para fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para polpa de fruta.** Diário oficial da República Federativa do Brasil, 2000.

BRUNINI, M. A.; DURIGAN, J. F.; OLIVEIRA, A. L. Avaliação das alterações em polpa de manga ‘Tommy-Atkins’ congeladas. **Revista Brasileira de Fruticultura,** Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 651-653, 2002.

CASTALDO, D.; LOVOI, A.; QUAGLIUOLO, L.; SERVILLO, L.; BALESTRIERI, C.; GIOVANE, A. Orange juice and concentrates stabilization by a proteic inhibitor of pectin methylesterase. **Journal of Food Science,** Chicago, v.56, n.6, p.1632-1634, 1991.

CORREDIG, M.; KERR, W.; WICKER, L. Particle size distribution of orange juice cloud after addition of sensitized pectin. **Journal of Agriculture and Food Chemistry,** v.49, p.2523-2526, 2001.

EMBRAPA 2013. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.** Disponível em:

<[https://www.embrapa.br/documents/1355135/1529009/Maracuja\\_Brasil\\_2013.pdf/f5d12c66-0a38-4ee2-9777-58d7efec84b3](https://www.embrapa.br/documents/1355135/1529009/Maracuja_Brasil_2013.pdf/f5d12c66-0a38-4ee2-9777-58d7efec84b3)> Acesso em: 15 de set. 2015.

EMBRAPA 2013. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária**. Disponível em:

<[https://www.embrapa.br/documents/1355135/0/Banana\\_Brasil\\_2013/9027a417-ae4f-40d4-b088-cc79350568c1](https://www.embrapa.br/documents/1355135/0/Banana_Brasil_2013/9027a417-ae4f-40d4-b088-cc79350568c1)>. Acesso em: 16 set. 2015.

FENIMAN, C.M. **Caracterização de raízes de mandioca (*Maniõth esculenta* Crantz) do cultivar IAC 576-70 quanto à cocção, composição química e propriedades do amido em duas épocas de colheita**. 99f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". Universidade de São Paulo. 2004.

FERNANDES, T. K. S.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; MELO, K. S.; BEZERRA, M. C. T. Estudo do Comportamento Reológico da Polpa de Umbu Cajá em Função da Concentração de Maltodextrina. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 171-180, 2008.

FERREIRA, E. E.; BRANDÃO, P. R. G.; KLEIN, B.; PERES, A. E. C. **Reologia de suspensões minerais: uma revisão**. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, jan./ mar. 2005.

FERREIRA, G.M.; QUEIROZ, A.J.M.; CONCEIÇÃO, R.S.; GASPARETTO, C.A. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 4, p.175-184, 2002.

FRANÇA, F. A. **Caracterização nutricional e avaliação do potencial antioxidante de farinhas obtidas de resíduos de frutas**. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. Bahia, Itapetinga, 2014.

GUERRERO, S. N., e 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, p.239-256, 1997.

GODOY, R. B. **Gomas na estabilidade do Néctar e do Suco de Goiaba (*Psidium guayava* L.)**. 52f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Agroindustrial) - Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 1997.

GRATÃO, A.C.A.; BERTO, M.I.; SILVEIRA JÚNIOR, V. Reologia do açúcar líquido invertido: influência da temperatura na viscosidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, n.4, v.24, p. 652-656, 2004.

HAMINIUK, C.H.I. **Comportamento Reológico e Fracionamento Péctico das Polpas Integrais de Araçá (*Psidium cattleianum sabine*) e Amora-Preta (*Rubus spp*)**. Tese (Mestrado em Tecnologia de Alimentos). Programa de pós-graduação em tecnologia de alimentos, setor de tecnologia da Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

HAMINIUK, C.W.I.; SIERAKOWSKI, M.R.; VIDAL, J.R.M.B.; MASSON, M.L. Influence of temperature on the rheological behavior of whole araçá pulp (*Psidium cattleianum sabine*). **Lebensmittel Wissenschaft und Technologie**, London, v. 39, n. 4, p. 426-430, 2006.

IBARZ, A.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Operaciones unitarias en la ingeniería de alimentos. **Technomic. Publishing companing**, Inc. Pennsylvania – USA : 85 – 204, 1996.

IZIDORO, D. R. **Influência da polpa de Banana (*Musa cavvendishii*) verde no comportamento reológico, sensorial e físico-químico de emulsão**. Dissertação (Tecnologia de Alimentos) – Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2007.

IZIDORO, D. R.; SCHEER, A. P.; NEGRE, M. F. O.; HAMINIUK, C. W. I.; SIERAKOWSKI, W. R. **Avaliação físico-química, colorimétrica e aceitação**

**sensorial de emulsão estabilizada com polpa de banana verde.** Revista Instituto Adolfo Lutz, 67 (3): 167-176, 2008.

KARWOWSKI, M. S. M. **Estudo da estabilidade, comportamento reológico e dos compostos fenólicos de frutas da Mata Atlântica.** 89 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Paraná, Setor de Tecnologia, Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Alimentos. Curitiba, 2012.

LIMA, R. M. F.; LUZ, J.A. M. Análise granulométrica por técnicas que se baseiam na sedimentação gravitacional: Lei de Stokes. **Rem: Revista Escola Minas**, Ouro Preto, v. 54, n. 2, Jun. 2001.

LINS, A. D. F.; LIMA, A. L. R.; COSTA, M. L.; FEITOSA, R. M.; MORAES, M. S.; QUIRINO, D. J. G.; SAMPAIO, A. C. F. Impacto sobre a aceitação sensorial de iogurtes enriquecidos com polpa de maracujá adoçados com açúcar e mel. **Revista AGROTEC** - v. 36, n. 1, p. 103-108, 2015.

LOPES, A. S.; **Pitanga e acerola: estudo de processamento, estabilidade e formulação de néctar misto.** 193f. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia de Alimentos, 2005.

MARTINS, G. J. M. **Influência da dureza da água em suspensões de esmalte cerâmico.** 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais) - Faculdade de Engenharia de Materiais. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

MUSSI, L. P.; PEREIRA, N. R. **Desidratação osmótica de fatias de banana nanica revestidas com biofilmes comestíveis.** XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química. Universidade Estadual Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Laboratório de Tecnologia de Alimentos. Florianópolis, 2014.

NACANO, E. T. **Avaliação do comportamento reológico e colorimétrico de chocolates.** 2013. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso. (Engenharia de

Alimentos), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Campo Mourão, 2013.

ORMENESE, R. C. S. C. **Obtenção de farinha de banana verde por diferentes processos de secagem e aplicação em produtos alimentícios.** Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, SP, 2010.

PELEGRINE, D.H. **Comportamento reológico das polpas de manga e abacaxi.** 115f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – FEA, UNICAMP, Campinas, 1999.

PELEGRINE, D. H.; VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). **Ciência Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.1, p.128-131, 2000.

PEREIRA, E.A.; BRANDÃO, E.M.; BORGES, S.V.; MAIA, M.C.A. 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.

PEREIRA, M.A. **Perfil cromatográfico das substâncias fenólicas presentes em extratos de mel de assa peixe e avaliação de seu poder antioxidante.** 77f. Trabalho de conclusão de curso (licenciatura), 2010. Graduação em Química. Universidade Rural do Rio de Janeiro, 2010.

PERRY, R. H.; CHILTON, C. H. **Manual de Engenharia Química**, Rio de Janeiro: Guanabara Dois, p. 3-53, 1986.

QIN, L.; XU, S.; ZHANG, W. Effect of enzymatic hydrolysis on the yield of cloudy carrot juice and the effects of hydrocolloids on color and cloud stability during ambient storage. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 85, p.505-512, 2005.

QUEIROZ, A. J. M. **Estudo do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga.** Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, 1998. 170 p. Tese de Doutorado.

RAIMUNDO, K.; MAGRI, R. S.; SIMIONATO, E. M. R.S.; SAMPAIO, A. **Avaliação física e química da polpa de maracujá congelada comercializada na região de Bauru.** *Revista Brasileira Fruticultura.* Jaboticabal - SP, v. 31, n. 2, p. 539-543, Jun. 2009.

RAMOS, D. P.; LEONEL, I. M.; LEONEL II. S. **Amido resistente em farinhas de banana verde;** 2009.

REITER, M.; NEIDHART, S.; CARLE, R. Sedimentation behavior and turbidity of carrot juices in relation to the characteristics of their cloud particles. **Journal of Science of Food and Agriculture**, v. 83, p.745-751, 2003.

SANTOS, C. S.; SILVA, G. F.; SANTOS, J. A. B.; OLIVEIRA, A. M. J. **Processamento e avaliação da estabilidade de farinha de banana verde.** *Exacta*, vol. 8, n. 2, p. 219-224. São Paulo, 2010.

SATO, A. C. K., **Influência do tamanho de partículas no comportamento reológico da polpa de jabuticaba.** 2002. 73 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

SATO, A. C. K; CUNHA, R. L. Influência da Temperatura no Comportamento Reológico da Polpa de Jabuticaba. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 27, n. 4, p. 890-896, 2007.

SILVA, A. S. A.; MELO, K. S.; ALVES, N. M. C.; FERNANDES, T. K. S.; FARIAS, P. A. Cinética de secagem em camada fina da banana maçã em secador de leito fixo. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 11, n. 2, p.129-136, 2009.



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

SOUSA, E. P.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. ; LEMOS, D. M.. **Comportamento reológico e efeito da temperatura da polpa de pequi em diferentes concentrações**. Brazilian Journal of Food Technology (Online), v. 17, p. 226-235, 2014.

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

TOLEDO, N. M. V. **Aproveitamento de subprodutos da industrialização do maracujá para elaboração de iogurte**. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-Graduação em Ciências. Área de Concentração: Química na Agricultura e no Ambiente) – Centro de Energia Nuclear na Agricultura da Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

TRIFIRÓ, A.; SACCANI, G.; GHERARDI, S.; BIGLIARDI, D. **Effect of content and sizes of suspended particles on the rheological behavior of apricot purees**. *Industria Conserve*. Napoli, v.62, p.97-104, 1987.

VENDRÚSCOLO, A. T. **Comportamento reológico e estabilidade física de polpa de Carambola (*Averrhoa Carambola L.*)**. 90 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Universidade Federal de Santa Catarina - Centro Tecnológico Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. Florianópolis, 2005.

VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A.; GRANDIN, A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v.1, n.2, p.69-76, 2000.

VRIESMANN, L. C., **Polysaccharides from the pulp of cupuassu (*Theobroma grandiflorum*): structural characterization of a pectic fraction.** *Carbohydrate Polymers*, p. 2-4, 2008.

## ANEXO

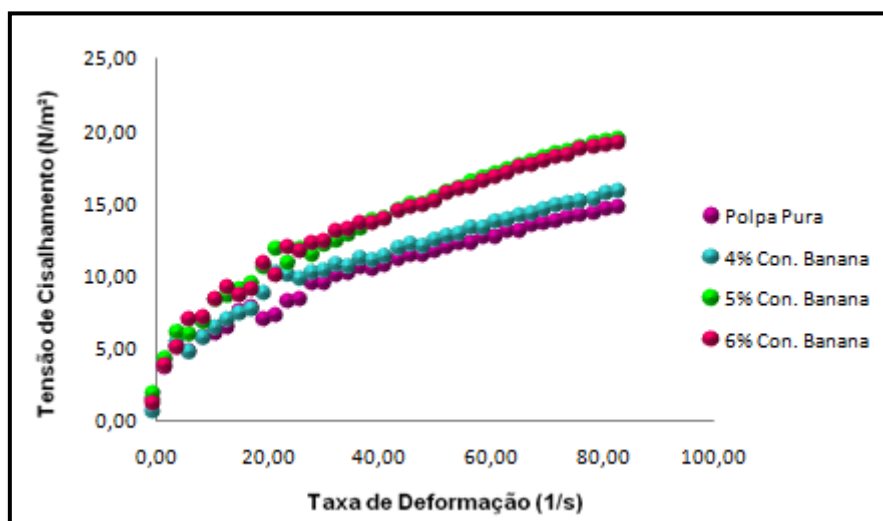


Figura A1. Relação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação na temperatura de 10 °C.

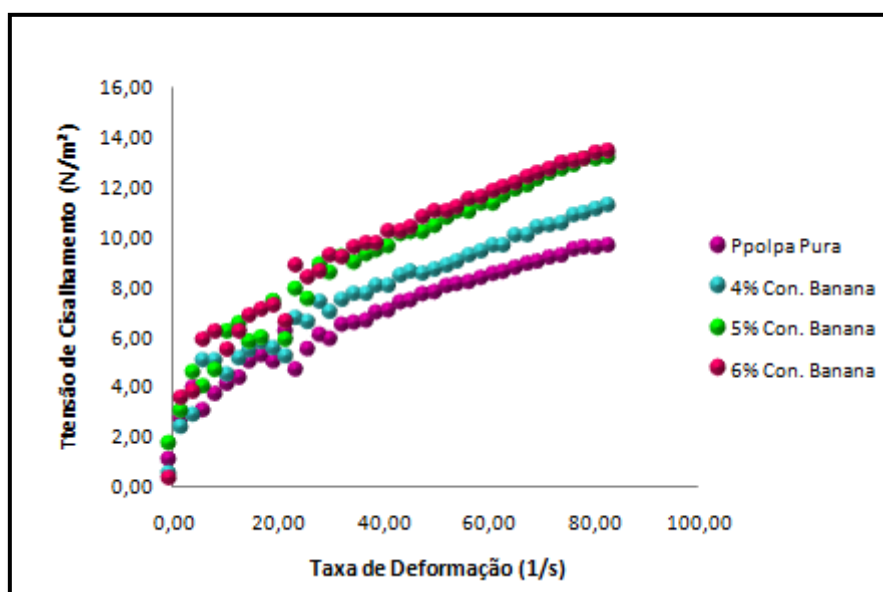


Figura A2. Relação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação na temperatura de 30 °C.

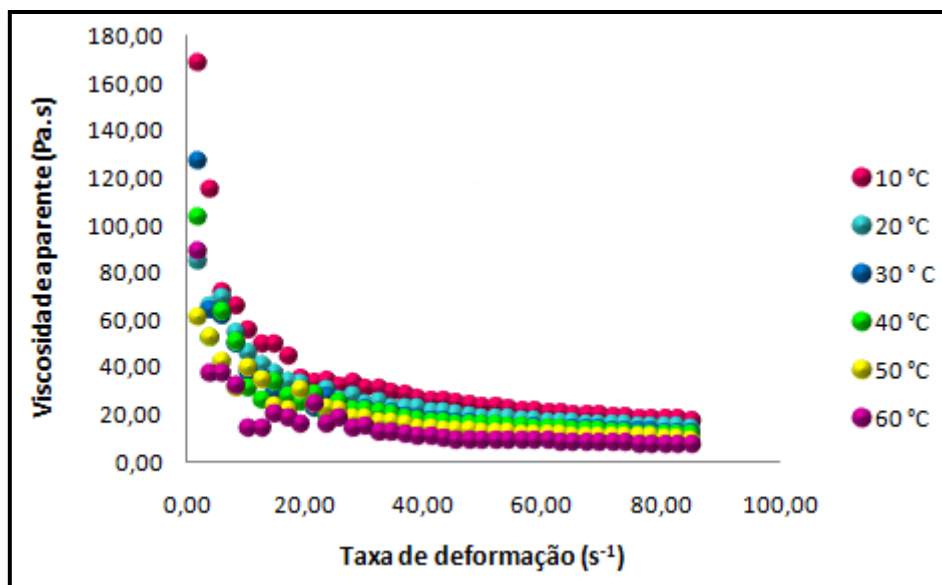


Figura A3. Relação da taxa de deformação com a viscosidade aparente da polpa de Maracujá pura.

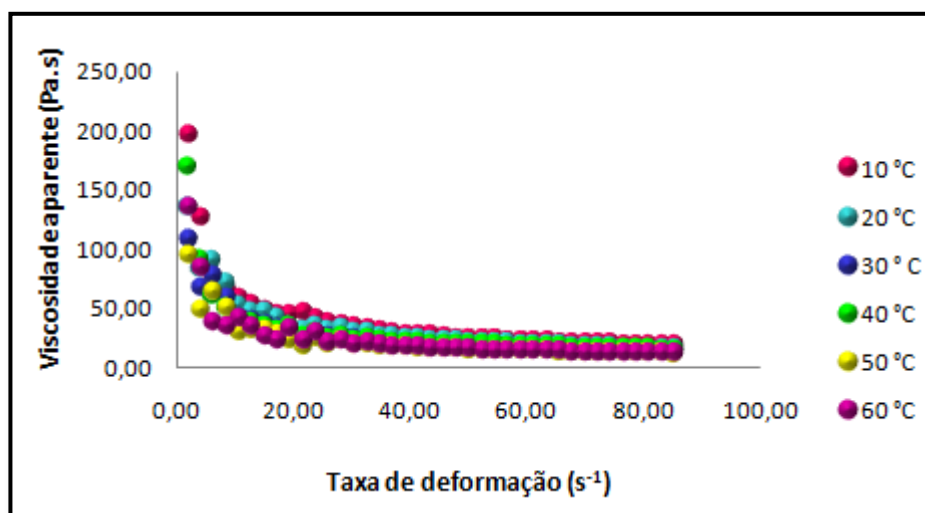


Figura A4. Relação da taxa de deformação com a viscosidade aparente da polpa de Maracujá enriquecida com 4% de polpa de Banana verde.

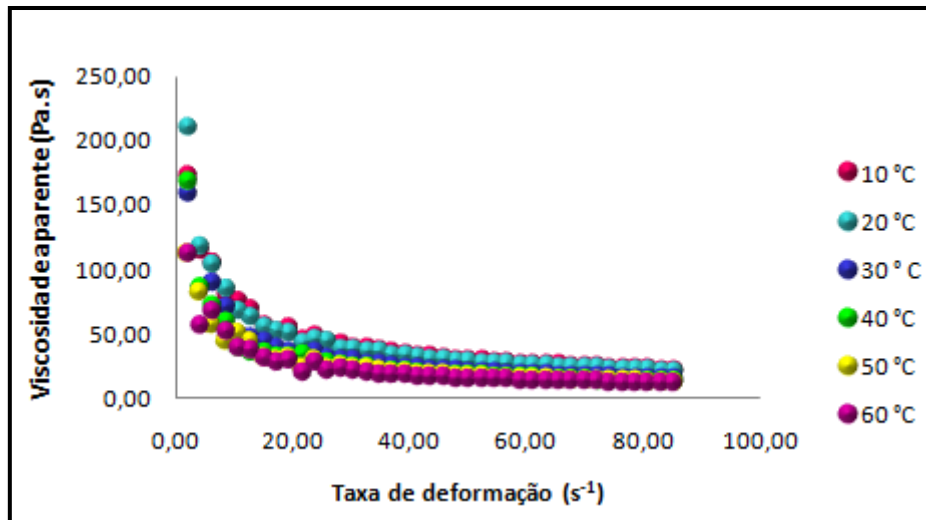


Figura A5. Relação da taxa de deformação com a viscosidade aparente da polpa de Maracujá enriquecida com 6% de polpa de Banana verde.

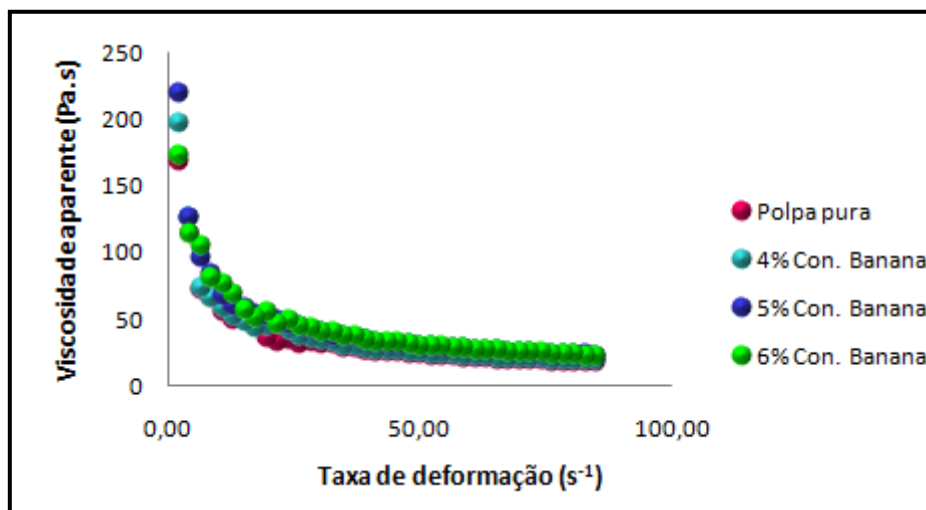


Figura A6. Relação da taxa de deformação com a viscosidade aparente na temperatura de 10 °C.

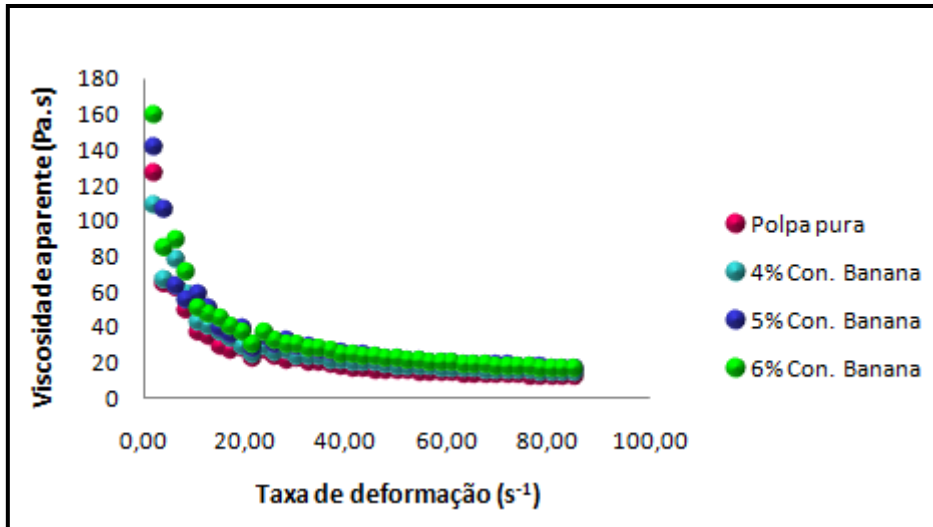


Figura A7. Relação da taxa de deformação com a viscosidade aparente na temperatura de 30 °C.

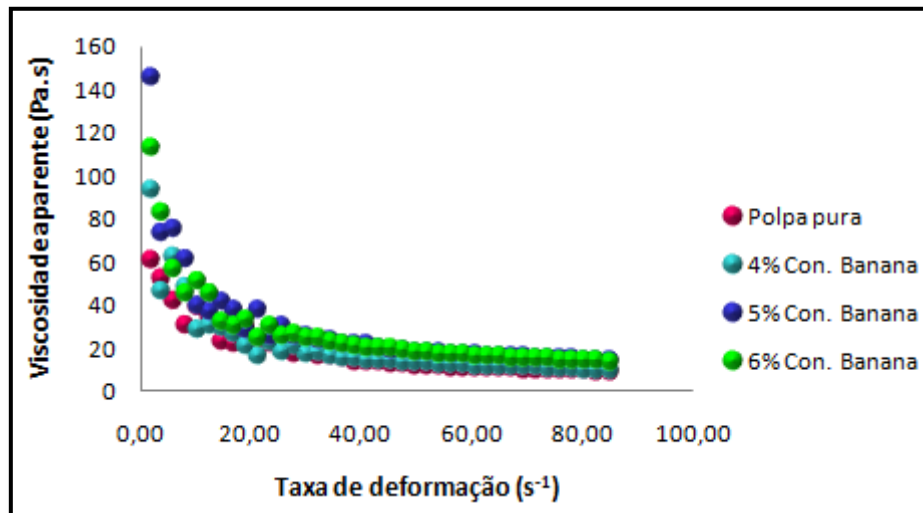


Figura A8. Relação da taxa de deformação com a viscosidade aparente na temperatura de 50 °C.