

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

CAROLINE TEIXEIRA VASQUES

**REOLOGIA DO SUCO DE GOIABA: EFEITO DA DILUIÇÃO E DO TAMANHO
DE PARTÍCULA**

FLORIANÓPOLIS - SC

FEVEREIRO DE 2003

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

CAROLINE TEIXEIRA VASQUES
Bacharel em Química - UFPel

**REOLOGIA DO SUCO DE GOIABA: EFEITO DA DILUIÇÃO E DO TAMANHO
DE PARTÍCULA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Ribeiro de Souza
Co-orientador: Prof^ª. Dr^ª. Mara Gabriela Novy Quadri

Florianópolis, fevereiro de 2003

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. José Antonio Ribeiro de Souza pela orientação segura;

À professora Dr^a. Mara Gabriela pela orientação, pela amizade e compreensão nos momentos difíceis;

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Universidade Federal de Santa Catarina pelo suporte financeiro;

Aos meus pais, Volney e Marlene, minha irmã Clarissa, meu cunhado Sandro e, sobretudo ao meu filho Gabriel, pelo apoio e imensa força para vencer mais essa etapa da minha vida, pois sem vocês nada disso seria possível;

À Patrícia Albuquerque, pela amizade, apoio e força nos momentos em que mais precisei;

À professora e amiga Massako T. Dourado pelo apoio e incentivo prestados desde a graduação;

A Giandra pela amizade e força nos momentos mais difíceis; Ao Rafael seu namorado e, portanto também amigo pela ajuda em alguns momentos;

À todos que de alguma forma tornaram possível a conclusão deste trabalho;

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	III
LISTA DE TABELAS.....	IV
RESUMO.....	V
ABSTRACT.....	VII
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. INTRODUÇÃO.....	4
2.2. CLASSIFICAÇÃO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO.....	4
2.2.1 <i>Aplicação dos modelos reológicos para sucos de frutas.....</i>	<i>11</i>
2.2.2 <i>Aplicação dos modelos reológicos em purês de frutas.....</i>	<i>12</i>
2.2.3 <i>Efeito da temperatura e da composição na viscosidade.....</i>	<i>14</i>
2.2.4 <i>Viscosímetros.....</i>	<i>15</i>
2.2.4.1 Viscosímetro de cilindros concêntrico.....	15
2.2.4.2 Viscosímetro rotacional.....	16
2.3 GOIABA.....	20
2.4 DISPERSÕES.....	22
2.5 REOLOGIA DE SOLUÇÕES E DISPERSÕES.....	24
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	27
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA MATÉRIA-PRIMA.....	28
3.1.1 <i>Determinação de pH.....</i>	<i>28</i>
3.1.2 <i>Acidez titulável.....</i>	<i>28</i>
3.1.3 <i>Determinação de sólidos totais.....</i>	<i>29</i>
3.1.4 <i>Sólidos insolúveis em água.....</i>	<i>29</i>
3.1.5 <i>Sólidos solúveis.....</i>	<i>30</i>
3.1.6 <i>Determinação de carboidratos totais.....</i>	<i>30</i>
3.1.7 <i>Determinação de carboidratos redutores.....</i>	<i>31</i>
3.1.8 <i>Determinação de carboidratos não redutores.....</i>	<i>31</i>
3.1.9 <i>Determinação da densidade.....</i>	<i>32</i>
3.1.10 <i>Determinação de cinzas.....</i>	<i>32</i>
3.1.11 <i>Determinação de umidade.....</i>	<i>33</i>
3.1.12 <i>Determinação de °Brix.....</i>	<i>33</i>
3.1.13 <i>Determinação de fibras.....</i>	<i>34</i>
3.1.14 <i>Determinação de pectina.....</i>	<i>35</i>
3.2 METODOLOGIA PARA DETERMINAÇÃO DO TAMANHO DE PARTÍCULA.....	36
3.2.1 <i>Homogeneização.....</i>	<i>36</i>
3.2.2 <i>Pasteurização.....</i>	<i>36</i>
3.3 MICROSCOPIA DO TAMANHO DA PARTÍCULA.....	37
3.4 METODOLOGIA PARA OBTENÇÃO DOS DADOS REOLÓGICOS.....	37
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	39

4.1 CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA.....	39
4.2 ESTUDO DO TAMANHO E FORMA DA PARTÍCULA DA POLPA DE GOIABA.....	41
4.2.1 <i>Análise microscópica dos aglomerados formados pelas partículas da polpa de goiaba.</i>	45
4.3 COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DE GOIABA E SUAS DILUIÇÕES.....	49
4.3.1 <i>Ensaio preliminares</i>	49
4.3.2 <i>Estudo reológico</i>	51
4.3.2.1 Efeito da diluição da polpa.....	51
4.3.2.2 Efeito do tamanho e forma da partícula sobre a viscosidade.....	53
4.4 MODELAGEM.....	55
4.4.1 <i>Modelo da lei da potência</i>	55
4.4.2 <i>Modelo matemático utilizado para relacionar viscosidade aparente e tamanho de partícula da polpa de goiaba.</i>	57
5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	59
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.2.1 Relação entre taxa de cisalhamento e taxa de deformação para diferentes tipos de fluídos.....	11
Figura 2.2.4.1 Viscosímetro de cilindros concêntricos Rheotest 2.1	16
Figura 2.2.4.2. Ilustração esquemática de um viscosímetro rotacional	197
Figura 2.2.4.3 Viscosímetro HAAKE Viscotester 7/6l.	19
Figura 2.3.1 Goiabeira.....	20
Figura 2.4 Curva típica da viscosidade relativa em função da fração volumétrica.	26
Figura 4.2.1 Aglomerados formados pelas partículas da polpa de goiaba natural pasteurizada (a) e não pasteurizada (b).....	45
Figura 4.2.2 Aglomerados formados pelas partículas da polpa de goiaba homogeneizada a 22000 rpm pasteurizada (a) e não pasteurizada (b).....	47
Figura 4.2.3 Aglomerados formados pelas partículas da polpa de goiaba natural (a), homogeneizada a 11000 rpm por 1 minuto (b) e homogeneizada a 22000 rpm por 5 minutos (c).....	48
Figura 4.3.1 Comportamento Tixotrópico Polpa.....	49
Figura 4.3.2 Comportamento Tixotrópico da polpa de goiaba.....	50
Figura 4.3.2.1 Comportamento pseudoplástico do suco comercial.....	51
Figura 4.3.2.2 Comportamento pseudoplástico da diluição 1:1.	52
Figura 4.3.2.3 Relação entre a viscosidade aparente e a deformação aplicada para polpa de goiaba natural a diferentes diâmetros médios de massa.....	53
Figura 4.3.2.4 Relação entre a viscosidade aparente e a deformação da polpa de goiaba pasteurizada a diferentes diâmetros médios de massa.....	54
Figura 4.3.2.4 Relação viscosidade aparente e a deformação da polpa natural.	54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1 Principais frutas produzidas pelo Brasil em 2001.	2
Tabela 2.1- Parâmetros reológicos do modelo da lei da potência para purês de pêra, pêssego, maçã e ameixa	13
Tabela 2.2 Composição química das variedades de goiaba branca e vermelha	21
Tabela 2.3 Composição química do purê de goiaba de variedade desconhecida.	22
Tabela 2.4 Série americana padrão	23
Tabela 4.1. Resultados obtidos na caracterização físico-química da goiaba.	40
Tabela 4.2.1 Análise granulométrica da polpa de goiaba “ <i>in natura</i> ”.	41
Tabela 4.2.2 Análise granulométrica da polpa de goiaba homogeneizada a 22000 rpm por 5 minutos.	42
Tabela 4.2.3 Análise granulométrica da polpa de goiaba homogeneizada a 11000 rpm por 1 minuto.	42
Tabela 4.2.4 Análise granulométrica da polpa de goiaba natural pasteurizada.	43
Tabela 4.2.5 Análise granulométrica da polpa de goiaba pasteurizada homogeneizada a 22000 rpm por 5 minutos.	43
Tabela 4.4.1 Constantes reológicas estimadas baseadas na lei da potência para polpa de goiaba, a três diferentes diluições e suco comercial.	56
Tabela 4.4.2. Constantes reológicas estimadas baseadas na lei da potência para polpa de goiaba pasteurizada, natural, homogeneizada a 11000 rpm por 1 minuto e 22000 rpm por 5 minutos pasteurizada e não pasteurizada.	56

NOMENCLATURA

ϕ = Fração volumétrica das partículas

h = Altura do cilindro [m]

k = Índice de consistência [Pa.sⁿ]

m_{polpa} = Massa de polpa

n = Índice de comportamento do escoamento [adimensional]

N = Rotações por unidade de tempo

pH = Potencial hidrogênionico

τ = Tensão de cisalhamento [N.m⁻² = Pa]

τ_0 = Tensão inicial [N.m⁻² = Pa]

γ = Taxa de deformação [s⁻¹]

μ = Viscosidade absoluta [Pa.s]

μ_a = Viscosidade aparente [Pa.s]

$[\eta]$ = Viscosidade intrínseca [Pa.s]

η_R = Viscosidade relativa [Pa.s]

V_{pic} = Volume do picnômetro [mL]

R_i = Raio interno do cilindro [m]

R_o = Raio externo do cilindro [m]

RESUMO

O objetivo deste trabalho é o estudo do efeito da diluição e do tamanho de partícula na reologia do suco de goiaba, bem como a caracterização físico-química da polpa. Foram realizados estudos visando à obtenção de dados reológicos, os quais foram descritos segundo a lei da potência. Foram propostas equações matemáticas para descrever a influência do tamanho de partículas na reologia do suco. As amostras de polpa de goiaba e suas diluições apresentaram comportamento pseudoplástico e o modelo da lei da potência foi empregado com sucesso para estimar as constantes reológicas nas diversas condições estudadas. Além disso, a polpa de goiaba analisada apresentou um comportamento dependente do tempo, indicando efeito tixotrópico. A avaliação da granulometria da polpa de goiaba mostrou que os tratamentos de pasteurização e de homogeneização influenciaram o tamanho e estado de agregação das partículas. O aumento da intensidade de homogeneização diminuiu o diâmetro da partícula, enquanto que a aplicação do calor para a pasteurização aumentou. O tamanho das partículas teve influência direta na viscosidade aparente, uma vez que tamanhos maiores produziram viscosidades mais altas. Nas diversas condições de polpa estudadas foram estabelecidas equações simples correlacionando os índices de comportamento do escoamento e de consistência com o diâmetro de partícula.

ABSTRACT

The objective of this work is to study the effect of the dilution and the particle size on the rheology of guava juice, as well as the physical chemical characterization of the pulp. Studies have been carried through aiming at the attainment of rheological data that were described by the power law. Equations to describe the size particle influence on the rheological parameters were proposed. The guava sample and their dilutions had a shear thinning behavior. The power law model was used with success to estimate the rheological constants in the several conditions studied. Furthermore, the guava pulp presented a dependent behavior of time, showing a tixotropy effect. A granulometric study was carried out on guava pulp and it was verified that pasteurization and homogenization treatments had an influence on a particles size. Increasing homogenization intensity the particle diameter decreased, while the application of heat for pasteurization treatment increased this dimension. The particle size showed a clear influence on the apparent viscosity, since biggest size had produced higher viscosities. Simple equations were established correlating the flow and consistency indexes with the particle diameter.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil é um dos principais produtores de goiaba do mundo e São Paulo é o principal estado produtor, representando 65% da produção nacional. (GAVIOLI *et al*, 2003).

O Brasil é um grande exportador de frutas frescas, mas existe um mercado potencial internacional para frutas tropicais com a comercialização na forma de sucos concentrados, gerando mais lucros e menos perdas.

Apesar da importância econômica real e potencial da goiabeira, há falta de informações e de divulgação tecnológica que conduzam à otimização do seu cultivo e processamento.

O suco chega ao centro consumidor com mais facilidade, e é mais econômico comparado com o comércio da própria fruta, que deve chegar ao mercado externo com ótimas qualidades.

A Tabela 1.1 apresenta os dados de produção das principais frutas frescas pelo Brasil no ano de 2001.

Tabela 1.1 Principais frutas produzidas pelo Brasil em 2001 (IBGE, 2003).

Produtos	Quantidade (toneladas.)
Laranja	169.834.36
Maçã	716.030
Banana	6.177.293
Abacate	154.224
Manga	782.348
Mamão Papaya	1.489.324
Goiaba	281.102

Como conseqüência desta demanda do mercado externo, algumas indústrias de alimentos começaram a se preocupar em estudar o comportamento reológico de polpas e sucos, a fim de adequar suas instalações industriais ou mesmo projetar novas unidades de processamento, de modo a levar essas frutas não somente mais na forma “*in natura*”, mas também como outros tipos de produtos, que cheguem ao mercado externo de forma mais rápida, com alta qualidade e mais economia.

O conhecimento do comportamento reológico de sucos, concentrados ou não, é útil não só para o controle de qualidade do produto, mas principalmente no projeto de tubulações e bombas, sistemas de agitação e mistura, esterilização, estocagem, concentração, resfriamento, e outros.

O suco de goiaba ainda é pouco consumido no mercado externo, principalmente pela grande facilidade de se encontrar no mercado a fruta fresca. Na literatura existem poucas referências sobre os dados reológicos, composição e influência do tamanho de partículas na reologia da polpa e do suco dessa fruta. Esses dados são de fundamental importância na indústria de alimentos, uma vez que determinam o desenvolvimento de processos e equipamentos.

Sabe-se que os frutos da goiabeira têm uma importância econômica real, dadas as suas amplas e variadas formas de utilização. Em todas as regiões tropicais e subtropicais do mundo a goiaba não só é empregada na indústria sob múltiplas formas (purê ou polpa, néctar, suco, compota, sorvete), como é amplamente consumida como fruta fresca (MARTIN, 1967).

O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da diluição e do tamanho de partícula na reologia do suco, e ainda caracterizar físico quimicamente a polpa de goiaba. Verificou-se a validação dos dados reológicos segundo a lei da potência e foi proposto um modelo matemático empírico para descrever a influência do tamanho de partículas na reologia do suco.

Este trabalho, estruturado em capítulos, mostra no capítulo 2, embasamentos teóricos pertinentes à análise dos resultados, bem como antecedentes bibliográficos encontrados. O capítulo 3 descreve a metodologia utilizada na condução dos experimentos e os resultados e discussões estão apresentados no capítulo 4, sendo que as conclusões e sugestões são apresentadas no capítulo 5.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Introdução

Neste capítulo apresenta-se um panorama geral sobre comportamento reológico de fluidos, sua classificação e definição de viscosidade aparente, bem como aplicação dos modelos reológicos para sucos de frutas e purês, além dos efeitos de concentração e temperatura na reologia. Apresenta também uma revisão sobre medidas de tamanho de partículas, bem como sua influência na reologia, e ainda uma visão geral sobre a goiaba, seu valor nutricional, importância econômica e industrial.

2.2. Classificação do comportamento reológico

Os fluidos podem ser classificados em Newtonianos ou não-Newtonianos. Nos fluidos Newtonianos as propriedades reológicas são independentes da taxa de deformação e do histórico anterior de cisalhamento, dependendo somente da temperatura e da composição. Exemplos de fluidos Newtonianos são: leite líquido, sucos de frutas (clarificados), solução de sacarose, substâncias de baixo peso molecular e gases (HOLDSWORTH, 1971; RAO, 1977 a, 1977b; RAO, 1986).

Os fluidos Newtonianos apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e taxa de deformação. A equação matemática de um fluido newtoniano é:

$$\tau = \mu \gamma$$

[2.1]

onde:

τ = tensão de cisalhamento [N.m⁻² = Pa]

γ = taxa de deformação [s⁻¹]

μ = viscosidade absoluta [Pa.s]

Os fluidos que exibem o comportamento descrito pela equação. [2.1] são chamados de fluidos Newtonianos e podem ser classificados como dependentes ou independentes do tempo (HOLDSWORTH, 1971; RAO, 1977 a, 1977b; RAO, 1986).

A maioria dos fluidos alimentares se apresenta na bibliografia como independentes do tempo, ou seja, suas propriedades reológicas não são função do tempo.

Viscosidade é uma medida de resistência ao escoamento de um fluido. A grandeza de força necessária para induzir um escoamento a uma certa velocidade é denominada viscosidade de um fluido (TOLEDO, 1999).

O termo viscosidade é comumente utilizado para fluidos Newtonianos, enquanto que para fluidos não-Newtonianos o termo mais apropriado a se utilizar é viscosidade aparente.

A viscosidade aparente de fluidos não-Newtonianos independentes do tempo, à temperatura e composição constantes, depende somente da magnitude da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento. Os fluidos onde a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação, são chamados pseudoplásticos. Muitos fluidos alimentares apresentam esse tipo de comportamento, entre eles, os sucos concentrados e purês de frutas.

Se a viscosidade aparente aumenta com o aumento da taxa de deformação, o fluido recebe o nome de dilatante. Esse tipo de comportamento foi encontrado em mel (HOLDSWORTH, 1971), amido de milho, soro de purê de tomate, entre outros.

Um dos modelos reológicos mais utilizados para descrever o comportamento dos fluidos em amplas faixas da taxa de deformação é o modelo da lei da potência ou de Ostwald-Dewaele (BIRD et al.; 1960):

$$\tau = k\dot{\gamma}^n$$

[2.2]

onde:

k =índice de consistência [Pa.sⁿ]

n =índice de comportamento do escoamento [adimensional]

Para fluidos pseudoplásticos, o índice de comportamento do escoamento do fluido (n) é menor que a unidade. O valor de n decresce com o aumento do conteúdo de sólidos sendo pouco afetado pela temperatura. O índice de consistência (k) aumenta com o conteúdo de sólidos e geralmente decresce com a temperatura.

Existem fluidos não-Newtonianos independentes do tempo que não podem ser representados pelo Modelo da Lei da Potência, pois devido a sua estrutura interna, que impede a deformação, necessita de uma tensão inicial para começar o escoamento. Abaixo dessa tensão o material exhibe características de um sólido e permanece em repouso, e só começa a escoar acima do valor da tensão inicial. O modelo usado para descrever o comportamento desse tipo de fluido é o Modelo de Herschel-Bulkley (H-B):

$$\tau = \tau_0 + k(\dot{\gamma})^n \quad [2.3]$$

onde:

τ = tensão de cisalhamento [$\text{N.m}^{-2} = \text{Pa}$]

τ_0 = tensão inicial [$\text{N.m}^{-2} = \text{Pa}$]

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação [s^{-1}]

k = índice de consistência [Pa.s^n]

n = índice de comportamento do escoamento [adimensional]

O modelo H-B é muito útil porque os comportamentos do tipo Newtoniano, Lei da Potência (pseudoplástico ou dilatante) e plástico de Bingham ($n=1$), podem ser considerados como casos particulares da equação [2.3].

Um outro modelo reológico desenvolvido para fluidos não-Newtonianos independentes do tempo: modelo reológico de Casson, que é usado para suspensões de partículas em meio Newtoniano, levando-se em conta a interação entre eles:

$$\tau^{0,5} = k_{0,c} + k_c(\gamma)^{0,5} \quad [2.4]$$

onde $k_{0,c}$ e k_c são constantes. O valor de $(k_{0,c})^2$ tem sido utilizado como estimativa do valor da tensão inicial (RAO, 1977a, 1977b; RAO, 1986).

A escolha do modelo reológico é uma função das características do fluido. O modelo da lei da potência tem se mostrado, em muitos, casos, adequado para os cálculos de engenharia e devido à sua simplicidade, tem sido amplamente utilizado nesta área (RAO & ANANTHESWARAM, 1982).

Alguns fluidos apresentam propriedades dependentes do tempo e podem ser divididos em duas categorias:

- 1) Fluido Tixotrópico – São aqueles em que a viscosidade aparente diminui com o tempo de cisalhamento, quando a temperatura, a composição e a taxa de deformação são mantidas constantes. A tixotropia pode ser explicada pela ocorrência de rupturas estruturais reversíveis, ou seja, a estrutura se recupera com a retirada da tensão aplicada.
- 2) Fluido Reopético – São aqueles em que a viscosidade aparente aumenta com o tempo de cisalhamento, mantidas as outras condições constantes.

O aumento ou decréscimo da consistência pode ser total ou parcialmente irreversível.

O comportamento tixotrópico foi observado em leite concentrado açucarado, maionese e sucos concentrados, enquanto que o comportamento reopético que raramente é previsto para alimentos foi constatado na clara de ovo (RAO, 1977; RAO, 1986).

Para quantificar os fluidos dependentes do tempo, dois métodos são usados:

- 1) Avaliação do “loop” de histerese através de um diagrama de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação.
- 2) Determinação da tensão de cisalhamento em função do tempo, a uma ou mais taxas de deformação (STEFFE, 1990).

Viscosidade aparente

O termo “viscosidade” é usado somente para fluidos Newtonianos. Para fluidos não-Newtonianos, a viscosidade avaliada a uma dada taxa de deformação é denominada “viscosidade aparente”. Este termo é definido como o quociente entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação:

$$\mu_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}}$$

[2.3]

onde:

μ_a = viscosidade aparente [Pa.s]

O conceito de “aparente” não é muito útil para projetos, já que varia com a taxa de deformação. Entretanto, é um dado procurado pelas indústrias para controle de qualidade do produto.

Se um fluido é Newtoniano, as viscosidades newtoniana e aparente são idênticas, independentes do valor da taxa de deformação. Para fluidos do tipo lei da potência, seja ele pseudoplástico ($n < 1$) ou dilatante ($n > 1$), a viscosidade aparente é dada por:

$$\mu_a = K\dot{\gamma}^{n-1}$$

[2.5]

Para fluidos do tipo pseudoplástico e plástico de Bingham, a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação, para os Newtonianos é constante e aumenta com o aumento da taxa de deformação para os fluidos dilatantes (HOLDSWORTH, 1971; RAO, 1977; RAO 1986; STEFFE, 1990).

Na Figura 2.2.1 podemos observar a relação entre taxa de cisalhamento e taxa de deformação para vários tipos de fluidos.

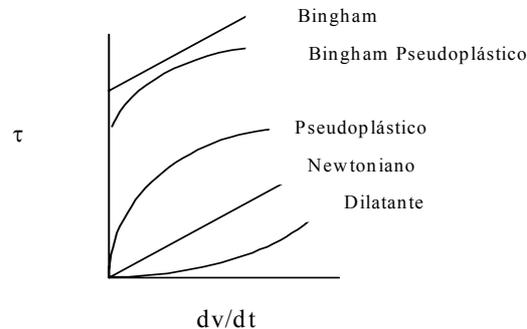


FIGURA 2.2.1 RELAÇÃO ENTRE TAXA DE CISALHAMENTO E TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA DIFERENTES TIPOS DE FLUIDOS.

2.2.1 Aplicação dos modelos reológicos para sucos de frutas

Uma completa revisão das propriedades reológicas de sucos de frutas pode ser encontrada em JIMÉNEZ & DURÁN (1979) E HOLDSWORTH (1971).

EZELL (1959), utilizando um viscosímetro rotacional Brookfield modelo LVF, estudou o comportamento de sucos concentrados comerciais de laranja a 42° Brix e 30° Brix, verificando um comportamento pseudoplástico e dependente do tempo (tixotrópico). Os parâmetros reológicos não puderam ser determinados porque a viscosidade aparente foi obtida a uma única velocidade de rotação. Para valores fixos do teor de polpa entre 9,1 a 15,5%, a viscosidade aparente aumentou continuamente com o teor de sólidos solúveis (na faixa de 23 a 55° Brix). O aumento da viscosidade foi maior na concentração mais elevada. Para os valores fixos de teor de sólidos solúveis, foi reportado um aumento da viscosidade aparente com o aumento do teor de polpa. A viscosidade aparente de amostras comerciais do suco a 42° Brix variou durante o período de safra, caracterizando efeito de variação da matéria-prima.

GARCIA et al. (1974), também estudaram o suco de mamão à concentração de 12,6° Brix e temperatura de 40°C. Utilizaram um viscosímetro Brookfield LVF, encontrando comportamento pseudoplástico. Os valores dos parâmetros reológicos foram: $n=0,23$ e $k=53,3 \text{ dinas.s}^n.\text{cm}^{-2}$.

GUNJAL & WAGHMARE (1987) utilizando um viscosímetro Brookfield RVT, estudaram o comportamento reológico do suco de manga à concentração de 20° Brix e faixa de temperatura entre 40°C a 80°C. O comportamento encontrado foi pseudoplástico, com o índice de consistência (k) decrescendo com o aumento da temperatura.

2.2.2 Aplicação dos modelos reológicos em purês de frutas

Os purês são estudados de forma análoga aos sucos de frutas, pois apresentam uma natureza complexa e diversa que dificulta a generalização dos dados obtidos, já que são submetidos a diferentes condições de medida e diferentes métodos de obtenção.

SARAVACOS & MOYER (1967) estudaram os purês de pêra, pêssego, maçã e ameixa às temperaturas de 30 a 82°C, empregando um viscosímetro rotacional Brookfield RVT. Todos os produtos apresentaram comportamento pseudoplástico descrito pelo modelo da lei da potência. O purê de maçã apresentou também o comportamento tixotrópico. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 2.1 e indicam diminuição dos valores do índice de consistência (k) com o aumento da temperatura, enquanto que o índice de comportamento de escoamento (n) permaneceu praticamente constante.

Tabela 2.1- Parâmetros reológicos do modelo da lei da potência para purês de pêra, pêssego, maçã e ameixa (SARAVACOS & MOYER,1967).

Produto	Sólidos Totais (%p/p)	Temperatura (°C)	k (Pa.s ⁿ)	n (-)
Purê de Maçãs	11,0	30	11,6	0,30
		82	9,0	0,30
Purês de Pêras	16,0	30	5,6	0,35
		82	4,6	0,35
Purês de Pêssegos	11,7	30	7,2	0,28
		82	5,8	0,27
Purês de Ameixa	14,0	30	2,2	0,34
		82	2,0	0,34

RAO & PALOMINO (1974) e GARCIA *et al.* (1974), estudaram o comportamento de purês de frutas tropicais (goiaba, manga, banana e mamão), utilizando um viscosímetro de tubo capilar e um viscosímetro Brookfield LVF respectivamente. Todos apresentaram comportamento pseudoplástico, seguindo o modelo da lei da potência.

VITALI & RAO (1982) empregando um viscosímetro de tubo pressurizado, estudaram os purês de goiaba na faixa de 9,9 a 16,0 °Brix e temperatura entre 25 e 60°C. Todos foram definidos como pseudoplásticos, exibindo comportamento com tensão de cisalhamento inicial. O modelo Mizrahi-Berk descreveu bem o comportamento.

2.2.3 Efeito da temperatura e da diluição na viscosidade

Durante o processamento, os alimentos são submetidos a diversas temperaturas nos diversos equipamentos usados para obtenção de sucos e purês. Com a concentração dos sucos e purês, ocorre o aumento dos sólidos solúveis e totais variando a composição dos mesmos em cada etapa do processamento. Evidentemente as propriedades reológicas são afetadas por mudanças tanto na temperatura como na composição e têm sido objeto de estudo por vários pesquisadores (RAO, 1977a, 1977b; RAO & ANANTHESWARAM, 1982; RAO, 1986).

O conhecimento destas alterações no comportamento reológico é de fundamental importância nos projetos de tubulações, bombas, evaporadores e trocadores de calor. Além disso, as propriedades reológicas são importantes para o controle de qualidade de produto durante a estocagem, transporte e comercialização.

Para fluidos Newtonianos, o conhecimento da viscosidade como função da temperatura e concentração é suficiente para o dimensionamento de equipamentos. Para os fluidos não-Newtonianos, como a viscosidade aparente varia também com a taxa de deformação, é necessário conhecer a variação das características reológicas dos produtos com a taxa de deformação, temperatura e concentração (HOLDSWORTH, 1971; RAO & ANANTHESWARAN, 1982).

2.2.4 Viscosímetros

2.2.4.1 Viscosímetro de cilindros concêntricos

Comercialmente existem muitos viscosímetros que podem ser usados no estudo reológico de fluidos alimentares (VAN WAZER *et al.* 1963).

O viscosímetro de cilindros concêntricos vem a ser uma opção para medidas de viscosidade fluidos (VITALI & RAO ,1984). Esse equipamento foi projetado para fornecer os parâmetros reológicos fundamentais. Uma das vantagens desse aparelho é que permite a medida contínua da relação tensão de cisalhamento e taxa de deformação, permitindo a análise de comportamento dependente do tempo (HELDMAN & SINGH, 1981).

O cálculo da taxa de deformação é facilmente realizado para fluidos que obedecem a relação tipo potência entre a velocidade angular e a tensão de cisalhamento, incluindo fluidos Newtonianos. É necessário também que o espaço entre os dois cilindros (“gap”) seja pequeno para determinar a taxa de deformação para fluidos sabidamente não-Newtonianos. Entretanto, não é recomendado o estudo em viscosímetros de cilindros concêntricos para fluidos que contenham partículas sólidas grandes, tais como alguns purês e polpas de frutas (CHARM, 1960; RAO, 1975; RAO, 1977a, 1977b; RAO, 1986), assim como para baixas taxas de deformação.

SMITH (1984) citado por RAO (1986) estudou o efeito do espaçamento entre os cilindros (“gap”) em viscosímetro de cilindros concêntricos e mostrou que os erros significativos ocorrem em sistemas com espaçamentos grandes, particularmente no caso de fluidos com comportamento pseudoplástico muito intenso.

A Figura 2.2.4.1 mostra um viscosímetro de cilindros concêntricos

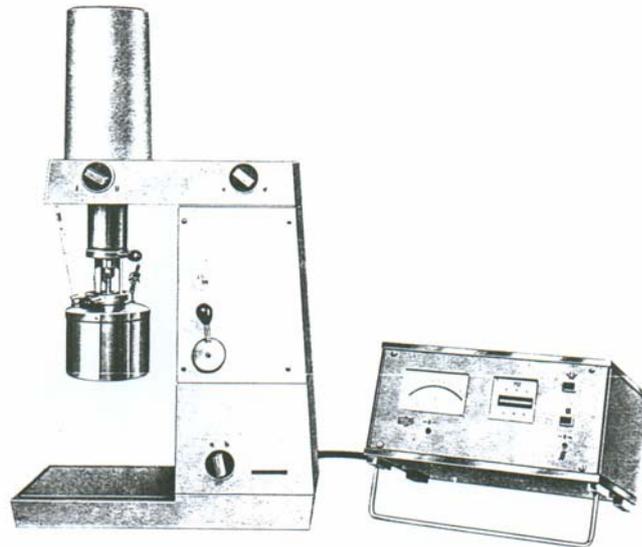


FIGURA 2. 2.4.1 VISCOSÍMETRO DE CILINDROS CONCÊNTRICOS RHEOTEST 2.1

2.2.4.2 Viscosímetro rotacional

Para os fluidos alimentares não-Newtonianos, o viscosímetro rotacional tem sido muito utilizado (SARAVACOS & MOYER, 1967; GUNJAL & WAGHMARE, 1987; RAO & PALOMINO, 1974; GARCIA *et al.* 1974). Este viscosímetro é composto por discos , os quais são submersos na substância a ser testada e a força de resistência entre a viscosidade e a rotação é medida. O torque, valor medido com o viscosímetro é calculado baseado na velocidade e geometria dos discos, o resultado final dado pelo viscosímetro é a viscosidade em mPa.s.(HAAKE,2000).

Os parâmetros reológicos k e n e a viscosidade aparente podem ser obtidos em viscosímetros de cilindros concêntricos, onde para o esquema abaixo se obtém as seguintes relações, segundo HELDMAN & SINGH (1981).

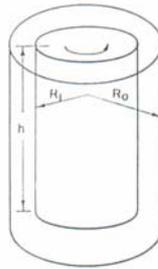


FIGURA 2.2.4.2 ILUSTRAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM VISCOSÍMETRO ROTACIONAL.

A velocidade angular na qual o cilindro interno gira é:

$$\omega_i = 2\pi N = \frac{n}{2} \times \left(\frac{\Omega}{2\pi h K} \right)^{1/n} \times \left[\frac{1}{R_i^{2/n}} - \frac{1}{R_o^{2/n}} \right]$$

[2.6]

onde:

R_o = raio externo do cilindro [m]

R_i = raio interno do cilindro [m]

h = altura do cilindro [m]

N = rotações por unidade de tempo

A variável Ω é o torque no cilindro, dado por:

$$\Omega = 2 \pi N r h \tau r \quad [2.7]$$

A viscosidade de um fluido Newtoniano é obtida fazendo-se $n = 1$, resultando a equação de Margules,

$$\mu = \frac{\Omega}{4\pi h \omega_i} \left[\frac{1}{R_i^2} - \frac{1}{R_o^2} \right]$$

[2.8]

Para o caso em que R_o tende ao infinito, tem-se a equação 2.9:

$$\omega_i = 2\pi N = \frac{n}{2} \times \left(\frac{\Omega}{2\pi h K} \right)^{1/n} \times \left[\frac{1}{R_i^{2/n}} \right]$$

[2.9]

E a viscosidade aparente de um fluido não-Newtoniano é obtida combinando-se as equações 2.9 e 2.6 com $R_o \rightarrow \infty$,

$$\mu_a = \left(\frac{1}{n} \right)^n (4\pi N)^{n-1} k$$

[2.10]

A Figura 2.2.4.3 mostra o viscosímetro HAAKE Viscotester7/6L.

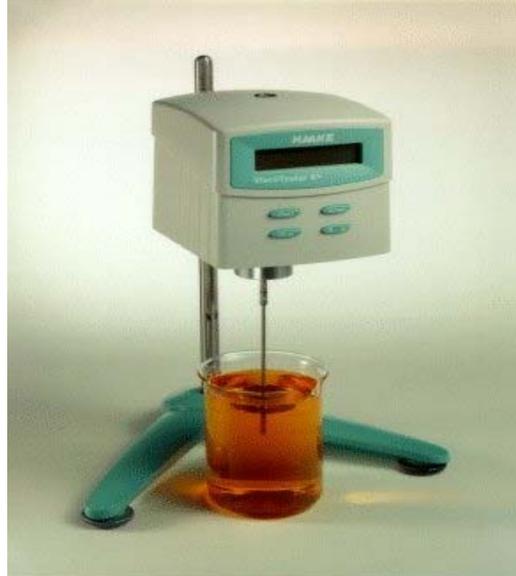


FIGURA 2.2.4.3 VISCOSÍMETRO HAAKE VISCOTESTER 7/6L.

2.3 Goiaba



FIGURA 2.3.1 GOIABEIRA

A goiabeira (Figura 2.3.1) é classificada como sendo uma árvore de clima tropical muito conhecida pela sua grande adaptação de crescimento e de produção em diferentes locais do mundo, em climas subtropicais e mesmo nas regiões de clima frio. Pertence ao gênero *psidium**L da família *myrtaceae*, compreende mais de 100 espécies de árvores e arbustos que produzem frutos comestíveis.

A fruta é rica em vitamina C (ácido ascórbico) superando de longe o conteúdo desta nos sucos cítricos; possui um sabor e aroma que lhe são característicos, tendo uma alta digestibilidade e ótima qualidade nutritiva, além de um grande conteúdo de fibras, um fator favorável à saúde humana (MANICA *et al.*, 2000).

A cor da polpa varia do vermelho ao branco, passando pelo rosado, salmão, amarelo e creme. Quanto às variedades de consumo ao natural, as preferidas são as de cores brancas, firmes, aromáticas, polpas grossas e sabor doce.

A goiaba possui alto rendimento por hectare, além de uma polpa de elevada qualidade industrial, o que permite seu aproveitamento como doces na forma de massa

(goiabada), geléias, sucos, néctar, sorvete e bases para xaropes e bebidas. A maior parte da fruta produzida no país é enviada diretamente para as unidades de processamento, transformando-se em doce em massa ou goiabada, chegando a representar 90% do total quando se considera a produção artesanal, em inúmeras pequenas fábricas. Os restantes 10% são utilizados principalmente na produção de goiaba em calda ou fatias (compotas) e de outros produtos como geléia, néctar, polpa e suco. (MANICA *et al.*, 2000).

No Brasil os principais estados produtores de goiabas são: Pernambuco, Rio de Janeiro e São Paulo. No ano de 1992 o Brasil exportou 180 toneladas dessa fruta (CHITARRA & CHITARRA, 1994).

A composição química das frutas frescas pode variar em função da variedade, fertilidade do solo, grau de maturação, porção do fruto entre outros fatores. A Tabela 2.2 apresenta a composição química das variedades branca e vermelha.

Tabela 2.2 Composição química das variedades de goiaba branca e vermelha (MEDINA *et al.*, 1978).

Análises Químicas	Branca	Vermelha
Sólidos Totais (%)	12,37	15,73
Açúcares Totais (%)	4,83	6,21
Açúcares Redutores (%)	3,25	4,50
Fibras (%)	5,73	5,06
Cinzas (%)	0,32	0,53
pH	5,50	5,90

VITALI & RAO (1982), no estudo do purê de goiaba da cor vermelha e variedade indeterminada, e determinaram algumas características físicas e químicas que estão apresentadas Na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 Composição química do purê de goiaba de variedade desconhecida.

Análise	Resultados
°Brix	9,8
Sólidos Totais (%)	10,4
Pectina (%)	0,5

2.4 Dispersões

A caracterização de dispersões é de fundamental importância na indústria de alimentos, uma vez que é necessária para o desenvolvimento de processos e equipamentos. Esta caracterização se obtém medindo tamanho, forma e densidade.

Os termos tamanho e forma são específicos para partículas regulares como esferas e cubos. Entretanto partículas irregulares devem ser claramente definidas.

A forma de uma partícula é convenientemente expressa pelo termo de esfericidade, o qual independe do seu tamanho.

O tamanho de uma partícula pode ser expresso em diferentes unidades, dependendo do tipo envolvido, ou seja, partículas grossas são medidas em centímetros, já as finas são determinadas em termo dos tamanhos das peneiras; partículas muito finas em micrometros ou nanômetros, e ainda partícula ultrafinas são algumas vezes descritas em termos de área por unidade de massa, usualmente em metro quadrado por grama.

A medida do tamanho de partícula por peneiramento é um processo de separação mecânico por tamanho, amplamente utilizado na indústria de alimentos para separar

partículas finas das grossas. Geralmente, é utilizado um jogo de peneiras na separação de frações de vários tamanhos, provenientes de uma mistura. Neste dispositivo, a fase sólida é colocada no topo de uma série de peneiras. Cada peneira tem aberturas menores que as da precedente, usualmente formando uma série em $2^{1/n}$. Quando as peneiras são agitadas, as partículas passam através delas até que seja atingida uma que tenha as aberturas muito pequenas para as partículas passarem. O tamanho das partículas coletadas em qualquer peneira é expresso como um comprimento médio apropriado entre as aberturas da peneira anterior e a abertura da peneira coletora.

A indústria americana utiliza com frequência peneiras padronizadas da série Tyler ou da série americana; estas duas séries usam peneiras de malha 200 quase idênticas, mas diferem ligeiramente quanto aos outros tamanhos.

A Tabela 2.4 apresenta a série padrão americana de peneiras.

Tabela 2.4 Série americana padrão (TOLEDO, 1999).

Peneira americana padrão (mesh)	Abertura (mm)	Peneira americana padrão (mesh)	Abertura (mm)
2,5	8	35	0,5
3	6,73	40	0,42
3,5	5,66	45	0,354
4	4,76	50	0,297
5	4	60	0,25
6	3,36	70	0,21
7	2,83	80	0,177
8	2,38	100	0,149
10	2	120	0,125
12	1,68	140	0,105
14	1,41	170	0,088
16	1,19	200	0,074
18	1	230	0,063
20	0,841	270	0,053
25	0,707	325	0,044
30	0,595	400	0,037

Existem vários fatores que influenciam a reologia de suspensões, tais como total de sólidos que pode ser descrito pela fração volumétrica da partícula, tamanho da partícula, densidade da partícula, forças interpartículas, agregação, entre outros.

KIMBALL & KERTESZ (1952) determinando tamanho de partículas suspensas em produtos de tomate, desenvolveram uma metodologia para essa análise por ser este produto de grande importância na indústria de alimentos. Os produtos como os de tomate formam uma camada amarela líquida, a qual interfere na consistência, alterando a qualidade do produto. Esse importante fator determina o valor comercial do produto.

SERVAIS *et al.* (2001) estudaram a influência do tamanho de partícula no processamento de alimentos e constataram que uma alta concentração de sólidos em suspensão aumenta consideravelmente a viscosidade.

TANGLERTPAIBUL & RAO (1987) avaliaram o efeito do tamanho das partículas nas propriedades reológicas de concentrados de tomate e constataram que partículas grandes aumentam a viscosidade.

Macroscopicamente, suspensões concentradas são fluidos não-Newtonianos, os quais são influenciados por vários fatores como tamanho de partícula, forças da superfície, forças eletroviscosas e concentração de partículas. Entretanto não existe uma teoria geral para prever ou descrever o comportamento reológico de suspensões concentradas de partículas em meio Newtoniano (JEFFREY & ACRIVOS, 1976).

O estado de agregação de uma fase dispersa é determinado por vários fatores como tamanho, distribuição, presença de cargas ou componentes adsorvidos.(LAPASIN *et al* 1996).

VITALI & RAO (1984a, 1984b) ao estudar suco de laranja concentrado concluíram que a viscosidade pode diminuir com a redução do tamanho de partícula.

GENOVESE & LOZANO (2000), ao trabalharem com suco de maçã, examinado a influência do tamanho, forma, distribuição e carga das partículas na viscosidade concluíram que muitas variáveis devem ser consideradas como composição química, polaridade, concentração eletrolítica, tamanho e distribuição das partículas, bem como um efeito eletroviscoso pode influenciar na viscosidade.

2.5 Reologia de soluções e dispersões

A caracterização de microestruturas é difícil, mas a maioria das variáveis envolvidas são refletidas em um parâmetro denominado fração volumétrica das partículas (ϕ). Soluções de dispersões podem ser modeladas em termos de viscosidade intrínseca $[\eta]$ (SHERMAN, 1970) que dependem da forma e distribuição das partículas, bem como do 1º efeito eletroviscoso (KRIEGER, 1972 e RUSSELL, 1980).

A Figura 2.4 mostra esquematicamente a variação da viscosidade relativa com a fração volumétrica para uma dispersão.

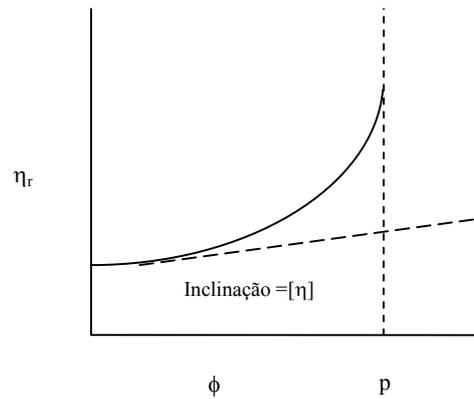


FIGURA 2.4 CURVA TÍPICA DA VISCOSIDADE RELATIVA EM FUNÇÃO DA FRAÇÃO VOLUMÉTRICA.

A inclinação inicial da Figura 2.4 de η_r (viscosidade relativa) em função da fração volumétrica (ϕ) é chamada de viscosidade intrínseca.

3. MATERIAL E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentada a metodologia utilizada nas análises físicas e químicas, bem como na condução dos experimentos para a determinação do tamanho de partícula, e ainda na caracterização reológica da polpa e suas diluições.

As análises foram realizadas nos laboratórios de processamento de alimentos (PROALI) e de propriedades físicas (PROFI), ambos localizados no Departamento de Engenharia Química e Engenharia de Alimentos, da UFSC.

As goiabas obtidas no mercado local foram escolhidas de modo a apresentar tamanho e grau de maturação homogêneo e isentas de machucados. Essas foram processadas em centrífuga de uso caseiro para obtenção da polpa, e armazenadas em potes plásticos congeladas até utilização nos testes.

3.1 Caracterização da matéria-prima

3.1.1 Determinação de pH

Foram pesadas 10g de polpa em um vidro de relógio e transferidas para um erlenmeyer de 250mL, seco, com o auxílio de 100mL de água a 25°C, previamente fervida. O conteúdo do frasco foi agitado até que as partículas ficassem uniformemente suspensas. Foi feita agitação ocasional por mais 30 minutos. Caso não houvesse dissolução completa, a amostra era deixada em repouso por 10 minutos. Após decantação o líquido sobrenadante foi transferido para um frasco seco e o pH determinado.

3.1.2 Acidez titulável

Foi pesado 1g de amostra em um vidro de relógio e transferido para um frasco erlenmeyer de 125 mL, com o auxílio de 50 mL de água. Quando necessário foi procedida a filtração. Após foram adicionadas duas gotas do indicador fenolftaleína. Foi feita uma titulação com solução de hidróxido de sódio 0,1 ou 0.01N, até coloração rósea.

3.1.3 Determinação de sólidos totais

Foram pesadas 20g da amostra em cápsula de níquel de fundo chato, com tampa. A fase líquida foi evaporada em banho-maria, aquecida durante 6 horas a 70°C em estufa, sob pressão reduzida (não superior a 100mm de mercúrio) e resfriada em dessecador até temperatura ambiente e posteriormente pesada.

3.1.4 Sólidos insolúveis em água

Foram colocadas 25 a 50g da amostra para um béquer de 400 mL, com 200 mL de água quente e aquecida até ebulição, durante 20 minutos, substituindo-se a água evaporada. Depois foram filtradas em papel de filtro Whatman n.º 4 ou equivalente e previamente lavado com água quente, colocado em pesa-filtro e aquecido em estufa a 100-110°C, durante 1 hora, resfriado em dessecador até temperatura ambiente e pesado). A amostra foi lavada com 800 mL de água quente. O excesso de água foi eliminado por sucção. O papel de filtro com o resíduo foi colocado no mesmo pesa-filtro e aquecido em estufa a 100-110°C, resfriado em dessecador e pesado. A filtração a vácuo foi feita em funil de Buchner.

3.1.5 Sólidos solúveis

O n.º de g de sólidos insolúveis por cento p/v do n.º de g de sólidos totais por cento p/v foi feito por subtração, considerando a diferença como o n.º de g de sólidos solúveis em água por cento p/v.

3.1.6 Determinação de carboidratos totais (DUBOIS, et al., 1956)

Esse método baseia-se no princípio de que açúcares simples, oligossacarídeos, polissacarídeos e seus derivados formam uma cor amarela alaranjado estável quando tratados com fenol e ácido sulfúrico concentrado.

Reagentes:

- Fenol 5%
- H₂SO₄ concentrado, grau analítico

Teste: em um tubo de ensaio foram adicionados 500µL de amostra, 500µL de fenol 5% e 2,5 mL de ácido sulfúrico, em seguida agitados, incubados a temperatura ambiente por 30 minutos e finalmente lidos a 490nm.

Esta leitura é comparada a uma curva padrão de glicose 0.1g/L, 0.01% p/v feita à concentrações de 0, 0.025, 0.05, 0.075 e 0.1g/L.

3.1.7 Determinação de carboidratos redutores

A metodologia utilizada foi a do DNS (3,5- Dinitro Salicilato), cuja análise é a seguinte: em tubos de 7,0 cm de altura e 1,0 cm de diâmetro um volume de 200 µL de sobrenadante provenientes da amostra, previamente diluído, é adicionado a 200 µL de reativo DNS e depois colocado em ebulição, durante 5 minutos, em banho-maria. Após o resfriamento em banho de gelo foram adicionados 2 mL de água destilada. Um tempo de 15 minutos foi necessário para que a amostra se estabilizasse à temperatura ambiente. A leitura espectrofotométrica foi realizada a 540 nm contra um branco de água destilada. A escala está compreendida entre 0 e 2 g.L⁻¹ de glicose.

3.1.8 Determinação de carboidratos não redutores

Foram obtidos através da diferença entre carboidratos totais e redutores.

3.1.9 Determinação da massa específica

A massa específica foi determinada com o auxílio de um picnômetro. Para a calibração do volume do picnômetro, pesou-se o mesmo com tampa. Encheu-se com água destilada à temperatura de 20°C, pesando-se novamente. Posteriormente a água foi descartada e a vidraria seca com acetona.

A partir da massa e massa específica da água, foi calculado o volume do picnômetro. Depois disso encheu-se o picnômetro com a polpa na mesma temperatura e pesou-se. Para determinação da massa específica, utilizou-se a seguinte equação:

$$\rho = \frac{m_{polpa}}{V_{pic}}$$

onde: m_{polpa} = Massa de Polpa

V_{pic} = Volume do Picnômetro

3.1.10 Determinação de cinzas (ADOLFO LUTZ, 1985).

Foram pesados 5g da amostra em cápsula de porcelana, previamente aquecida em mufla a 550°C, resfriada em dessecador até a temperatura ambiente e pesada. A Amostra foi seca em estufa, carbonizada em temperatura baixa e incinerada em mufla a 500°C.

Após resfriamento em dessecador até a temperatura ambiente foi pesada. As operações de aquecimento e resfriamento foram repetidas até peso constante.

3.1.11 Determinação de umidade (ADOLFO LUTZ, 1985)

Foram pesadas 5g de amostra em cápsula de porcelana tarada, previamente aquecida em estufa a 105°C por 1h, resfriada em dessecador até temperatura ambiente e pesada.

Posteriormente foi aquecida em estufa a 105°C por 3h. Esfriada em dessecador até temperatura ambiente e pesada. Repetiu-se estas operações de aquecimento por meia hora e resfriamento até peso constante.

3.1.12 Determinação de °Brix (ADOLFO LUTZ, 1985)

Foram homogeneizadas as amostra e transferidas de 1 a 2 gotas para o prisma do refratômetro, desprezando partículas grandes de polpa. Esperou-se até que a temperatura da amostra e a do aparelho se iguallassem antes da leitura. Leu-se o índice de refração e os °Brix na escala do aparelho.

3.1.13 Determinação de fibras (ADOLFO LUTZ 1985)

Esse método baseia-se na determinação do resíduo orgânico insolúvel, da amostra, após uma digestão ácida e outra alcalina.

Foram pesadas de 1 a 3g da amostra, conforme o teor de fibra bruta estimada; secou-se, desengordurou-se com 4 porções de 20 mL de éter etílico, desprezando o éter e secando em estufa a 105°C por 1h; transferiu-se o resíduo para um frasco erlenmeyer ou cadinho de vidro sinterizado (sistema automático); adicionou-se 200 mL de ácido sulfúrico 1,25% em ebulição (sistema automático injetar 150 mL) e algumas gotas de solução anti-espumante; digeriu-se com refluxo por exatamente 30 minutos; filtrou-se quantitativamente sob vácuo e funil de Buchner provido de nylon ou poliéster, ou aço inox, ou cadinho de vidro sinterizado (sistema automático); lavou-se o resíduo com água fervente até completa neutralização; passou-se o resíduo quantitativamente para erlenmeyer já usado, lavando a tela com 200 mL de NaOH 1,25% em ebulição (sistema automático injetar 150 mL) e adicionou-se algumas gotas de solução anti-espumante; digeriu-se com refluxo pó exatamente 30 minutos; filtrou-se diretamente em cadinho de vidro sinterizado utilizando água destilada para transferência; lavou-se aproximadamente com 20 mL de álcool etílico ou acetona, e 20 mL de acetona ou éter de petróleo. Colocou-se em estufa a 105°C até peso constante (4h à 6h), retirou-se, deixou-se em dessecador até temperatura ambiente e pesou-se. Queimou-se em mufla a 500°C por 3h (colocou-se o cadinho em mufla ainda fria e então se iniciou o aquecimento); desligou-se a mufla, e quando ficou entre 250°C e 300°C retirou-se o cadinho, colocou-se em dessecador, deixou-se esfriar até temperatura ambiente e pesou-se.

3.1.14 Determinação de pectina (ADOLFO LUTZ 1985)

Foram transferidos 200 mL da solução da amostra, para um béquer de 400 mL. Adicionar de 8 a 12g de sacarose, se a amostra não contiver açúcar. Evaporar em banho-maria até cerca de 25 mL. Esfriar. Adicionar 3 mL de ácido sulfúrico 1N e adicionar, lentamente, agitando sempre, 200 mL de álcool. Deixar em repouso por 10 horas. Filtrar. Lavar o filtro com 50 mL de álcool A 95%. Transferir o precipitado para o mesmo béquer em que foi feita a evaporação, com o auxílio de um jato de água quente. Evaporar até reduzir a 40 mL. Esfriar. Adicionar 5 mL de solução de hidróxido de sódio a 10% e 5 mL de água. Deixar em repouso por 15 minutos. Adicionar 40 mL de ácido clorídrico (1:9). Ferver por 15 minutos. Filtrar rapidamente. Lavar o béquer e o filtro com água quente. Transferir o precipitado para um béquer de 200 mL, com auxílio de um jato de água quente. Lavar bem o papel filtro com água quente. Completar com água o volume de 40ml. Esfriar. Adicionar 5 mL de solução de hidróxido de sódio a 10% e 5ml de água. Deixar em repouso por 15 minutos. Adicionar 49 mL de água e 10 mL de ácido clorídrico (1:9). Ferver por 5 minutos. Filtrar em cadinho de Gooch que foi previamente aquecido por 30 minutos em mufla a 550°C e resfriado até temperatura ambiente em dessecador com cloreto de cálcio anidro, pesado. Lavar o cadinho de Gooch com água quente e depois com álcool a 95%. Aqueceu-se por 1 hora em estufa a 100°C. Resfriar até temperatura ambiente em dessecador, e pesar. Repetir as operações de aquecimento (30 minutos na estufa) e resfriamento até peso constante. Aquecer por 30 minutos em mufla a 550°C resfriou-se e pesou-se. Repetir as operações de aquecimento (30 minutos na mufla) e resfriamento até peso constante. A perda de peso equivale à quantidade de ácido pécico.

3.2 Metodologia para determinação do tamanho de partícula

Na determinação do tamanho de partículas foram avaliados vários tipos de amostras: polpa natural, homogeneizada a 11000 rpm em um tempo de 1 minuto, homogeneizada a 22000 rpm em um tempo de 5 minutos e além dessas amostras foram determinados ainda o tamanho médio das partículas de amostras pasteurizadas (polpa natural e homogeneizada a 22000 rpm por 5 minutos).

3.2.1 Homogeneização

Na homogeneização foi utilizado aparelho homogeneizador Ultra Turrax t 25 basic Ika Labortechnik.

3.2.2 Pasteurização

As últimas amostras foram pasteurizadas a uma temperatura de 65°C por 30 minutos.

O tamanho das partículas foi determinado baseado no método de KIMBALL & KERTESZ (1952) utilizando-se um jogo de peneiras de diferentes aberturas (10, 20, 40, 60, 100, 140 mesh).

Aproximadamente 10g de amostra (polpa de goiaba) foram pesadas e colocadas no jogo de peneiras. Um jato de água corrente foi passado sobre a amostra, agitando-se manualmente as peneiras, a fim de separar as partículas em diferentes tamanhos. A massa retida em cada peneira foi pesada, utilizando-se uma filtração a vácuo.

Finalmente, a massa de amostra contida em cada malha foi pesada. O peso do papel de filtro úmido foi determinado inicialmente e descontado do peso total. Com isso, obtiveram-se os diâmetros das peneiras e a massa retida em cada uma delas, possibilitando o cálculo médio do diâmetro das partículas.

3.3 Microscopia do tamanho da partícula

Para análise microscópica das partículas foram preparadas lâminas das amostras de polpa pasteurizadas: natural e homogeneizada a 22.000 rpm e não pasteurizadas: natural e homogeneizadas a 11.000 e 22.000 rpm. Estas foram analisadas por meio de lupa estereoscópica no estereomicroscópio Optech SFZ.

3.4 Metodologia para obtenção dos dados reológicos

Foram feitos dois tipos de análise reológica. Numa primeira etapa foi utilizado reômetro de cilindros concêntricos (Rheotest 2.1), onde as medidas foram feitas em duplicatas a uma temperatura de 25°C, utilizou-se a taxa de deformação variando de 0 a 200s⁻¹ na subida e de 200 a 0 s⁻¹ para descida, sendo o tempo total de medida de 15 minutos com intervalo de 1 minuto. No momento em que a amostra estava sendo analisada, tomou-se cuidado para que o volume da mesma fosse suficiente para deixar o

cilindro interno mergulhado, evitando assim falhas durante a medida. As amostras foram homogeneizadas cuidadosamente para evitar a formação bolhas sendo posteriormente transferidas para o copo vagorosamente. Esse equipamento foi utilizado somente para ensaios preliminares.

As análises reológicas definitivas foram feitas em viscosímetro rotacional do tipo Haake viscotester vt6/71, que trabalha a 19 frequências de agitação (0,3; 0,5; 0,6; 1; 1,5; 2; 2,5; 3; 4; 5; 6; 10; 12; 20; 30; 50; 60; 100 e 200 min^{-1}) e 4 discos. A temperatura de análise foi de 23°C num tempo de corrida de 15 minutos, os cilindros utilizados foram L 4 e L 2 . No momento em que a amostra estava sendo analisada, tomou-se cuidado para que o volume da mesma fosse suficiente para deixar o disco mergulhado e o recipiente de medida suficientemente largo, evitando assim efeito de parede. Foram feitas análises em duplicatas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar e discutir os resultados da caracterização físico-química da goiaba, bem como da determinação do tamanho de partícula, além do comportamento reológico da polpa.

4.1 Caracterização físico-química.

Os resultados obtidos pela média de três amostras durante as análises físicas e químicas do lote de goiaba vermelha comum utilizado neste experimento podem ser observados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Resultados obtidos na caracterização físico-química da goiaba*.

Análises	Polpa
Sólidos Totais (%)	14,24
Sólidos Insolúveis (%)	2,72
Sólidos Solúveis (%)	11,51
° Brix	12
Açúcares Totais (%)	6,24
Açúcares Redutores (%)	4,0
Açúcares Não Redutores (%)	2,24
Pectina (%)	0,45
pH	5,0
Densidade	1,035
Umidade (%)	89,26
Fibras (%)	5,01
Cinzas (%)	0,41
Acidez Titulável (%)	0,3

*média de 3 amostras

Pode-se verificar, pelos dados das análises químicas efetuadas, para goiaba vermelha comum que os resultados encontrados são próximos daqueles fornecidos por MEDINA *et al.*(1978).

A composição química das frutas frescas pode variar em função da variedade, fertilidade do solo, época do ano, grau de maturação, porção do fruto, entre outros fatores.

VITALI & RAO (1982), analisando purê de goiaba vermelha encontraram uma quantidade de pectina de 0,5%, bem semelhante ao resultado encontrado de 0,45%. Ainda no mesmo estudo os autores citados encontraram um valor de 9,8 °Brix para sólidos solúveis um pouco diferente dos resultados obtido nestas análises que foi de 12 °Brix.

Diferentes fatores podem ter influenciado este resultado; dentre eles podemos citar um grau de maturação maior que aquele usado por VITALI & RAO (1982).

4.2 Estudo do tamanho e forma da partícula da polpa de goiaba.

A determinação do tamanho das partículas da polpa de goiaba nas diferentes formas foi feita de acordo com o descrito no capítulo III.

Os resultados das análises granulométricas, obtidos com a média de três ensaios são apresentados nas Tabelas 4.2.1 a 4.2.5, para polpa de goiaba “*in natura*”, homogeneizada a 22000 rpm por 5 minutos, homogeneizada a 11000 rpm por 1 minuto, natural pasteurizada e pasteurizada homogeneizada a 22000 rpm por 5 minutos:

Tabela 4.2.1 Análise granulométrica da polpa de goiaba “*in natura*”.

Peneira (Mesh)	D _{pen} (mm)	massa (g)	D _{part.} (mm)	fração ponderal	\bar{D}_{massa} (mm)
10	2	0	0	0	0
20	0,84	0,087	1,42	0,018	0,025
40	0,42	0,696	0,63	0,476	0,299
60	0,25	0,685	0,335	0,101	0,034
100	0,149	1,326	0,199	0,07	0,015
140	0,105	1,039	0,127	0,021	0,002
finos	0	6,435	0,052	0,308	0,016
			\bar{D}_{massa} (mm)=	0,393	

* \bar{D}_{massa} = diâmetro médio de massa das partículas

Tabela 4.2.2 Análise granulométrica da polpa de goiaba homogeneizada a 22000 rpm por 5 minutos.

Peneira (Mesh)	D _{pen} (mm)	massa (g)	D _{part.} (mm)	fração ponderal	\bar{D}_{massa} (mm)
10	2	0	0	0	0
20	0,84	0,087	1,42	0	0
40	0,42	0,696	0,63	0,129	0,008
60	0,25	0,685	0,335	0,54	0,018
100	0,149	1,326	0,199	0,108	0,02
140	0,105	1,039	0,127	0,24	0,03
finos	0	6,435	0,052	0,806	0,042
			\bar{D}_{massa} (mm)=	0,092	

* \bar{D}_{massa} = diâmetro médio de massa das partículas

Tabela 4.2.3 Análise granulométrica da polpa de goiaba homogeneizada a 11000 rpm por 1 minuto.

Peneira (Mesh)	D _{pen} (mm)	massa (g)	D _{part.} (mm)	fração ponderal	\bar{D}_{massa} (mm)
10	2	0	0	0	0
20	0,84	0,087	1,42	0,85	0,012
40	0,42	0,696	0,63	0,677	0,042
60	0,25	0,685	0,335	0,669	0,022
100	0,149	1,326	0,199	0,129	0,025
140	0,105	1,039	0,127	0,101	0,012
finos	0	6,435	0,052	0,626	0,032
			\bar{D}_{massa} (mm)=	0,145	

* \bar{D}_{massa} = diâmetro médio de massa das partículas

Tabela 4.2.4 Análise granulométrica da polpa de goiaba natural pasteurizada.

Peneira (Mesh)	Dpen(mm)	massa (g)	Dpart.(mm)	Fração ponderal	\overline{D}_{massa} (mm)
10	2	0	0	0	0
20	0,84	0,206	1,42	0,788	0,112
40	0,42	5,424	0,63	0,311	0,196
60	0,25	1,157	0,335	0,666	0,22
100	0,149	0,855	0,199	0,499	0,09
140	0,105	0,239	0,127	0,215	0,003
finos	0	2,734	0,052	0,271	0,014
			\overline{D}_{massa} (mm)=	0,635	

* \overline{D}_{massa} = diâmetro médio de massa das partículas

Tabela 4.2.5 Análise granulométrica da polpa de goiaba pasteurizada homogeneizada a 22000 rpm por 5 minutos.

Peneira (Mesh)	Dpen(mm)	massa (g)	Média do Dpen.(mm)	Fração ponderal	\overline{D}_{massa} (mm)
10	2	0	0	0	0
20	0,84	0	1,42	0,004	0,006
40	0,42	0,132	0,63	0,749	0,047
60	0,25	0,555	0,335	0,78	0,026
100	0,149	1,063	0,199	0,842	0,016
140	0,105	0,246	0,127	0,651	0,008
finos	0	8,056	0,052	0,801	0,041
			\overline{D}_{massa} (mm)=	0,144	

* \overline{D}_{massa} = diâmetro médio de massa das partículas

As análises granulométricas da polpa de goiaba natural, natural pasteurizada, homogeneizada a 11000 rpm por 1 minuto, homogeneizada a 22000 rpm por 5 minutos e homogeneizada a 22000 rpm por 5 minutos pasteurizada, resultaram em uma suspensão de partículas de tamanho e forma irregulares, variando de 0,003mm até 0,290mm. Os diâmetros médios de massa encontrados foram 0,393mm para polpa natural, 0,092mm para polpa homogeneizada a 22000 rpm, 0,148mm para polpa homogeneizada a 11000 rpm, 0,633mm para polpa natural pasteurizada e finalmente 0,145mm para polpa

homogeneizada a 22000 rpm pasteurizada. Foi observada uma diferença significativa no diâmetro médio da partícula entre as polpas natural e natural pasteurizada, sendo que o diâmetro médio de massa da polpa natural pasteurizada praticamente dobrou em relação ao da polpa natural. Este fato provavelmente se deve a um efeito eletroviscoso característico das partículas. Esses ensaios granulométricos mostraram uma influência da temperatura de processamento e do grau de homogeneização da polpa no diâmetro médio da partícula. Em geral, à medida que a homogeneização foi mais intensa, menor foi o tamanho da partícula.

4.2.1 Análise microscópica dos aglomerados formados pelas partículas da polpa de goiaba.

Foram feitas análises microscópicas das amostras, nas quais foi possível perceber os diferentes tipos de aglomerados formados (Figuras 4.2.1 a 4.2.3.).

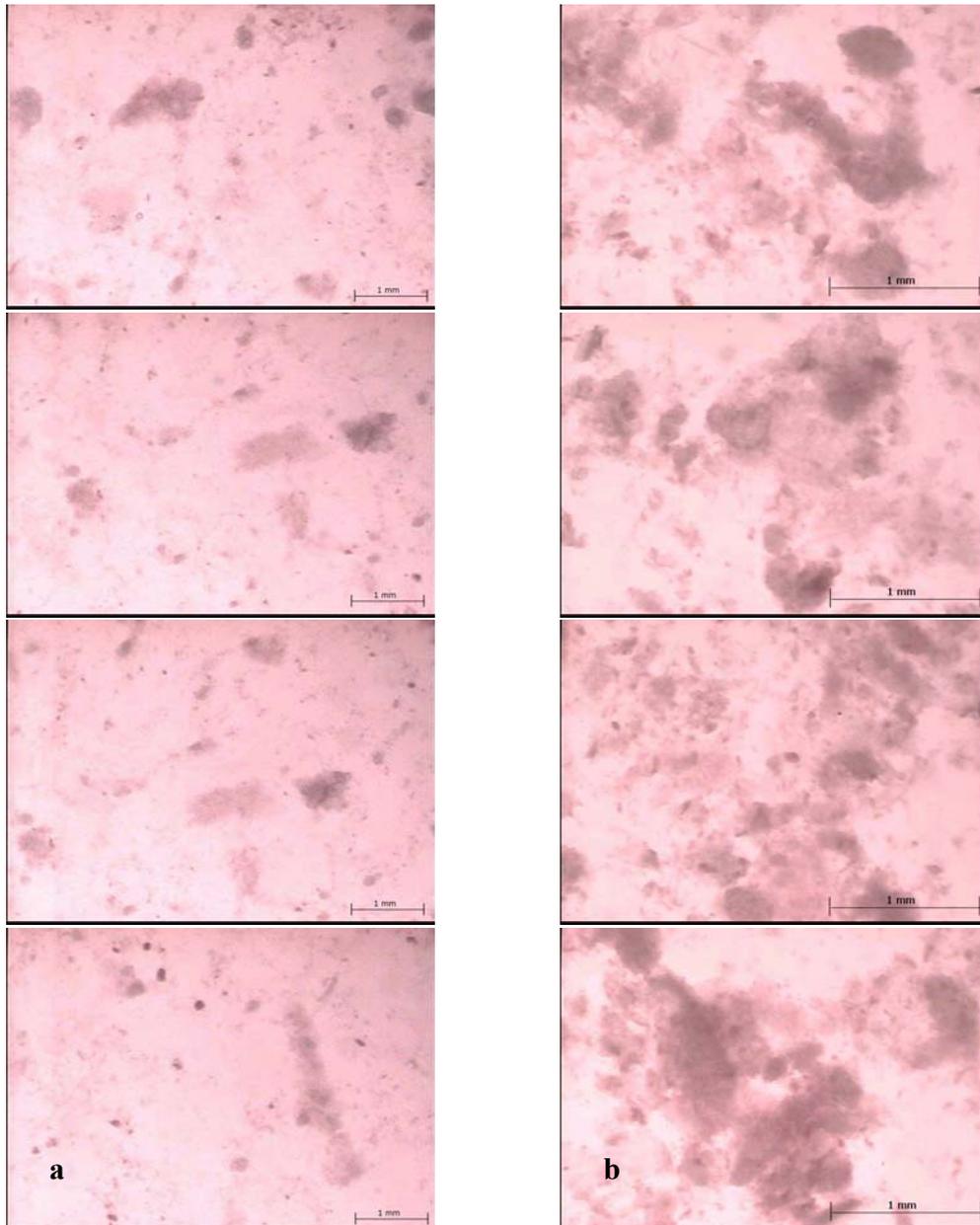


FIGURA 4.2.1 AGLOMERADOS FORMADOS PELAS PARTÍCULAS DA POLPA DE GOIABA NATURAL PASTEURIZADA (A) E NÃO PASTEURIZADA (B).

A Figura 4.2.1 mostra a análise dos aglomerados formados pelas partículas das polpas de goiaba natural pasteurizada e não pasteurizada observadas em uma lupa.

Pode-se observar que na análise microscópica da polpa de goiaba natural pasteurizada e não pasteurizada (Figura 4.2.1) existe uma grande diferença na forma e tamanho dos aglomerados. A polpa não pasteurizada mostra aglomerados mais densos que a polpa pasteurizada. O aquecimento deste material resulta em um produto modificado. A análise de tamanho por peneiras mostrou que partículas pasteurizadas são maiores que as não pasteurizadas. No entanto, quando vistas ao microscópio parecem menores, o que nos leva a concluir que são, apesar de maiores, partículas menos densas e mais transparentes. Pode-se supor que a pasteurização provocou uma gelatinização parcial entre a pectina e o açúcar presentes na suspensão.

Além do mais, foi possível observar, a olho nú, uma modificação física do suco como na estrutura das partículas quando peneiradas que pareciam ficar mais tempo retidas em cada peneira.

A Figura 4.2.2 mostra a imagem vista em lupa da polpa de goiaba homogeneizada a 22000 rpm, pasteurizada e não pasteurizada. Do mesmo modo pode-se ver que a polpa homogeneizada pasteurizada aparenta ter partículas menores que a não pasteurizada, enquanto o $\bar{D}_{massa \text{ past}} = 0,145\text{mm}$ é maior que o $\bar{D}_{massa} = 0,092\text{mm}$ da não pasteurizada.

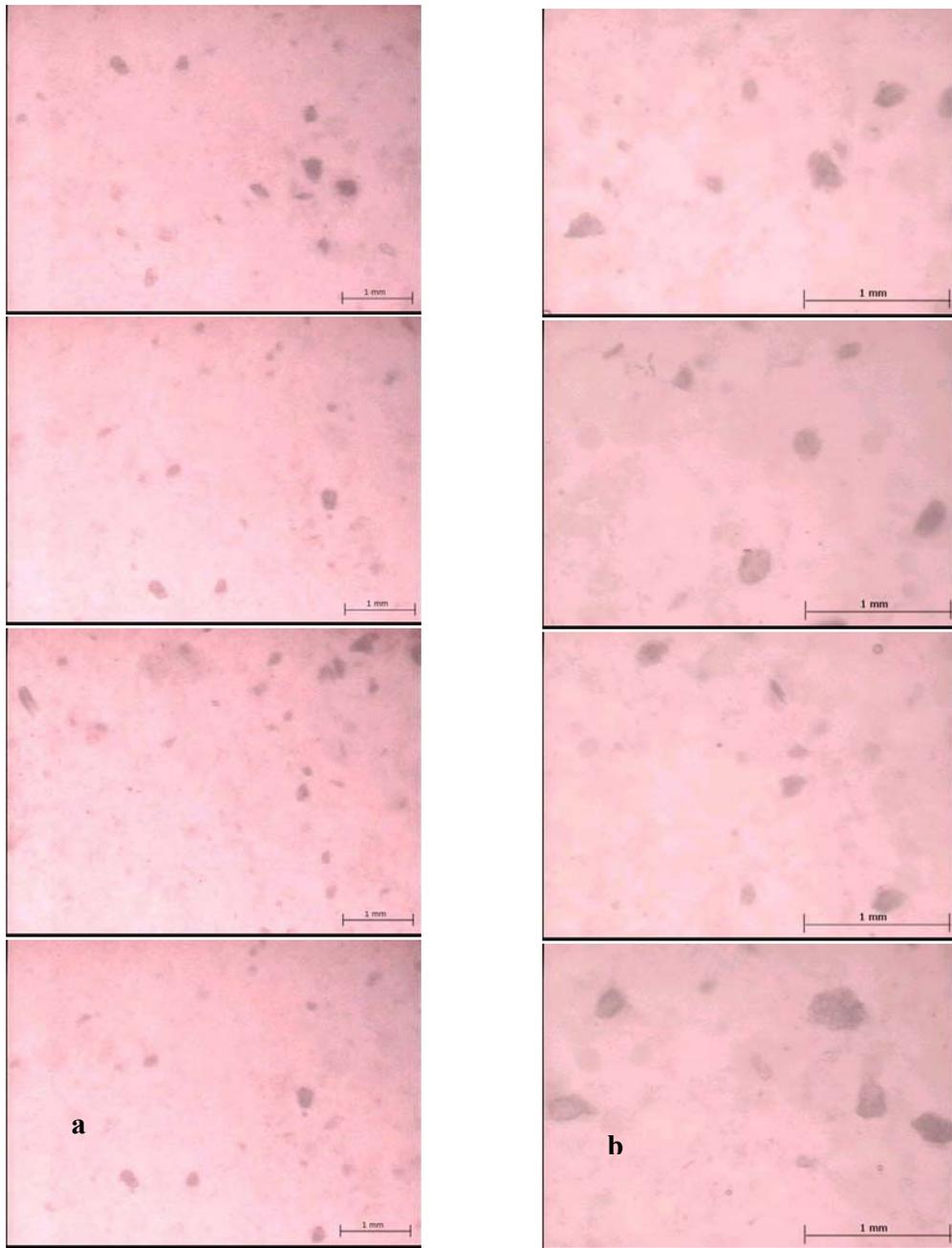


FIGURA 4.2.2 AGLOMERADOS FORMADOS PELAS PARTÍCULAS DA POLPA DE GOIABA HOMOGENEIZADA A 22000 RPM PASTEURIZADA (A) E NÃO PASTEURIZADA (B).

Na Figura 4.2.2 observou-se o mesmo efeito (Figura 4.2.1), confirmando uma influência da temperatura.

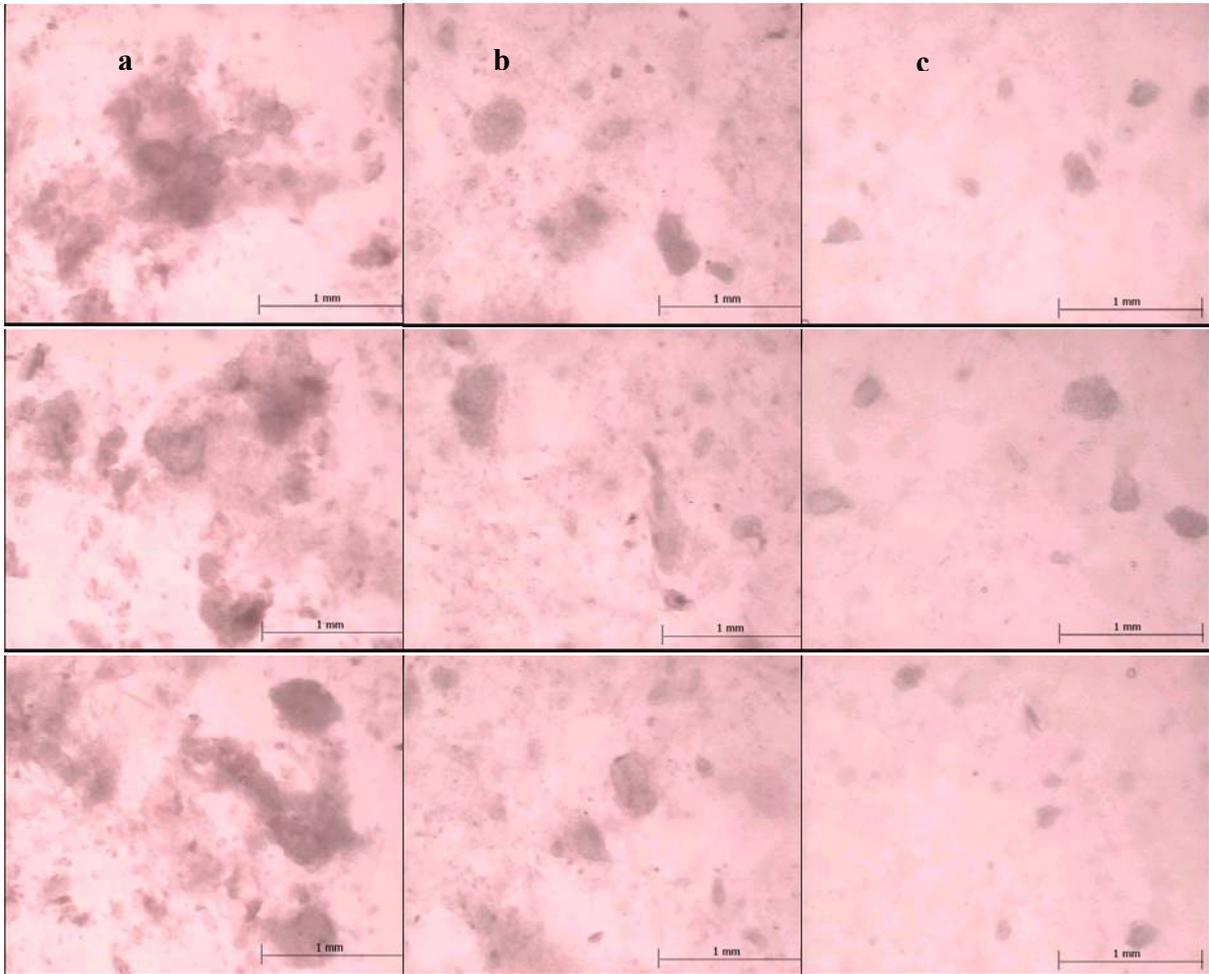


FIGURA 4.2.3 AGLOMERADOS FORMADOS PELAS PARTÍCULAS DA POLPA DE GOIABA NATURAL (A), HOMOGENEIZADA A 11000 RPM POR 1 MINUTO (B) E HOMOGENEIZADA A 22000 RPM POR 5 MINUTOS (C).

Analisando-se a Figura 4.2.3 pôde-se observar a formação de três tipos de aglomerados, à medida que a homogeneização foi mais intensa menor o tamanho e mais regular o formato dessas estruturas como resultado da ruptura das partículas.

4.3 Comportamento reológico da polpa de goiaba e suas diluições

4.3.1 Ensaios preliminares

Para o estudo do comportamento reológico da polpa de goiaba a três diferentes diluições, foram realizados experimentos preliminares em duplicatas, em aparelho Rheotest 2.1 marca MLW, a uma temperatura de 25°C como descrito no capítulo III (Item 3.4). Foram avaliadas as possibilidades de um comportamento tixotrópico, e a existência de histerese no fluido em questão.

As medidas realizadas permitiram a verificação de um comportamento tixotópico para a polpa. A tensão de cisalhamento diminuiu com o tempo nas três taxas de deformação analisadas como pode ser observado na Figura 4.3.1.

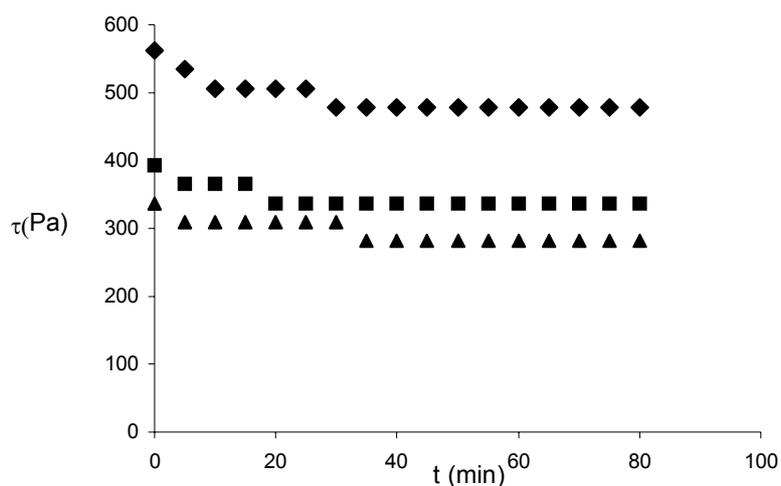
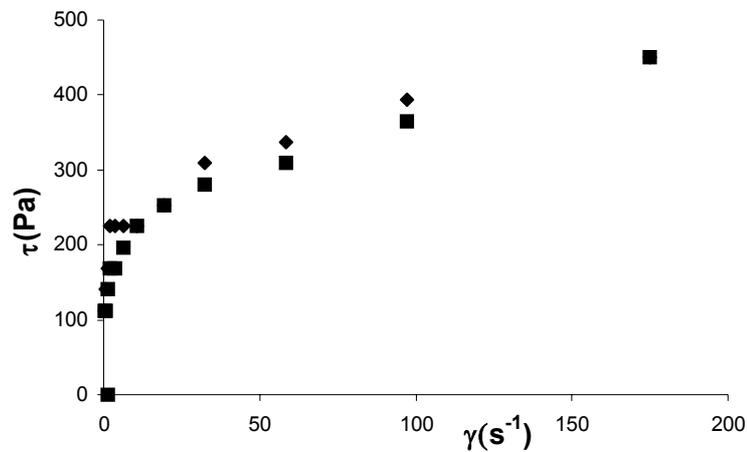


FIGURA 4.3.1 COMPORTAMENTO TIXOTRÓPICO POLPA PARA TRÊS TAXAS DE DEFORMAÇÃO. 174,96 s⁻¹ (◆); 58,32 s⁻¹ (■); 32,40 s⁻¹ (▲).

A Figura 4.3.2 mostra a variação da taxa de cisalhamento em função da taxa de deformação, iniciando a uma pequena taxa de deformação e aumentando gradativamente até 200s^{-1} e em seguida voltando no sentido descendente observando-se assim a existência de uma curva de histerese.

FIGURA 4.3.2 COMPORTAMENTO TIXOTRÓPICO DA POLPA DE GOIABA. DESCENDENTE (■) ASCENDENTE (▲).



Estes resultados são coerentes com aqueles encontrados por SARAVACOS & MOYER (1967). Estes encontraram um comportamento pseudoplástico descrito pelo modelo da lei da potência, e ainda um efeito tixotrópico para purês de maçã avaliados por eles.

4.3.2 Estudo reológico

4.3.2.1 Efeito da diluição da polpa

Estudos mais detalhados do comportamento reológico foram feitos para polpa de goiaba e três diferentes diluições da mesma. Os ensaios foram desenvolvidos utilizando viscosímetro rotacional do tipo Haake viscotester vt6/71, que possui 19 frequência de rotação. A temperatura de análise foi de 23°C e os resultados obtidos são mostrados nas Figuras 4.3.2.1 e 4.3.2.2.

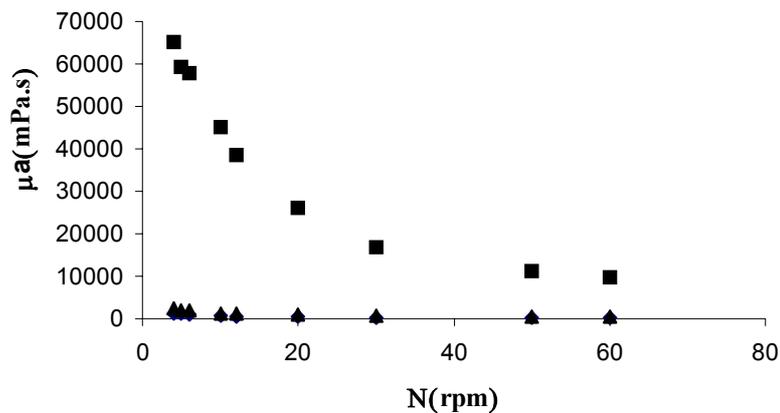


FIGURA 4.3.2.1 COMPORTAMENTO PSEUDOPLÁSTICO DO SUCO COMERCIAL (◆); DA POLPA (■); DA DILUIÇÃO 1:1 (▲).

A polpa (Figura 4.3.2.1) mostra um comportamento pseudoplástico, com viscosidade, a baixa rotação, muito mais alta que a diluição (quase 70000 mPa.s). Esta diferença diminui cerca de 10000 mPa.s a altas velocidades de rotação.

Quando comparada à polpa, a diluição mostra uma viscosidade muito baixa quase nula devido ao efeito da concentração, ou seja, quanto mais diluída estiver amostra menor é a viscosidade.

Ao observarmos o comportamento reológico de 3 diluições da polpa (1:1, 1:2 e 1:4), vemos que o comportamento também é pseudoplástico, semelhante à polpa. Contudo, a baixas velocidades de rotação a viscosidade máxima é dada pela solução menos diluída (em torno de 2400 mPa.s) e a mínima pela solução mais diluída (cerca de 400 mPa.s). O comportamento da polpa diluída é muito semelhante ao da polpa sem diluição variando apenas em magnitude para cada caso. Quando a diluição $\rightarrow \infty$, a viscosidade $\mu \rightarrow [\eta]$ (viscosidade intrínseca) podendo apresentar um comportamento newtoniano.

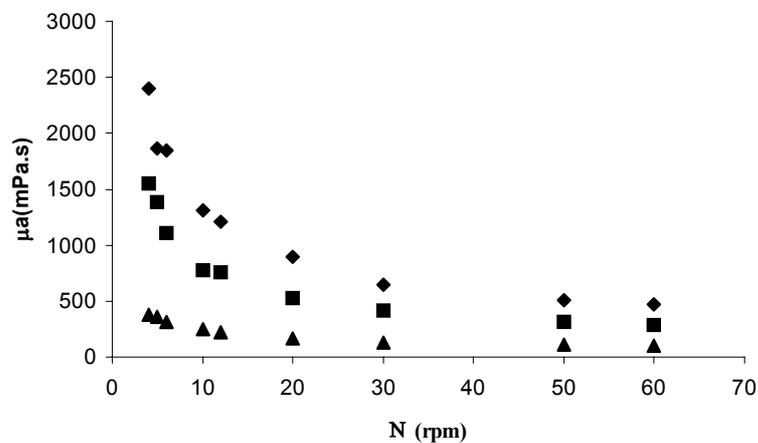


FIGURA 4.3.2.2 COMPORTAMENTO PSEUDOPLÁSTICO DA DILUIÇÃO 1:1 (◆); DA DILUIÇÃO 1:2 (■); DA DILUIÇÃO 1:4 (▲).

4.3.2.2 Efeito do tamanho e forma da partícula sobre a viscosidade.

A influência do diâmetro de massa das partículas do suco e da polpa de goiaba (Figura 4.3.2.3) verifica-se um aumento da viscosidade com o aumento do diâmetro de partícula

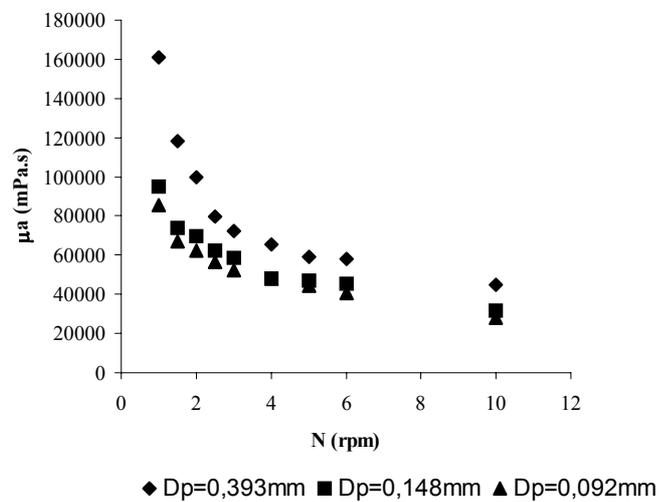


FIGURA 4.3.2.3 RELAÇÃO ENTRE A VISCOSIDADE APARENTE E A DEFORMAÇÃO APLICADA PARA POLPA DE GOIABA NATURAL A DIFERENTES DIÂMETROS MÉDIOS DE MASSA.

Nas Figuras 4.3.2.4 e 4.3.2.5 pode-se observar que quanto maior o diâmetro médio de massa maior a viscosidade aparente, mantendo-se o comportamento verificado na Figura 4.3.2.3.

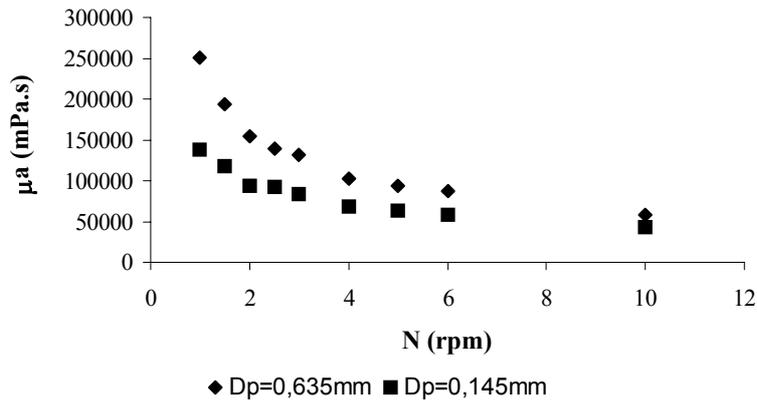


FIGURA 4.3.2.4 RELAÇÃO ENTRE A VISCOSIDADE APARENTE E A DEFORMAÇÃO DA POLPA DE GOIABA PASTEURIZADA E HOMOGENEIZADA A DIFERENTES DIÂMETROS MÉDIOS DE MASSA.

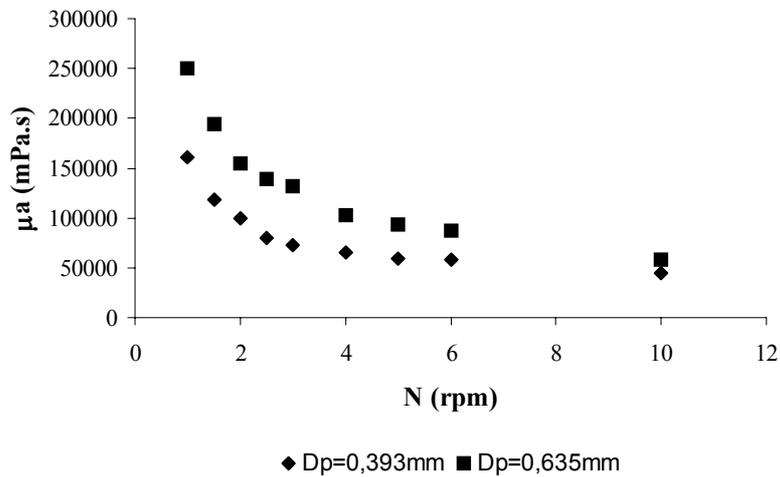


FIGURA 4.3.2.5 RELAÇÃO VISCOSIDADE APARENTE E A DEFORMAÇÃO DA POLPA NATURAL E PASTEURIZADA.

Os resultados encontrados indicaram um comportamento pseudoplástico para todas as amostras analisadas, mostraram ainda que a viscosidade aparente depende da forma e distribuição do tamanho da partícula, os quais são dependentes da temperatura e da homogeneização. Verificou-se através dos experimentos que a viscosidade aumentou com o tamanho da partícula. E ainda, que para a amostra pasteurizada da polpa natural a aplicação do calor praticamente dobrou o tamanho da partícula. Segundo GENOVESE & LOZANO (2000) no estudo do comportamento reológico de dispersões, as fases sólida e líquida, podem ser caracterizados pela viscosidade, composição química, polaridade e concentração eletrolítica, bem como pelo tamanho e distribuição das partículas e ainda por um efeito eletroviscoso. Quando uma dispersão é diluída, uma dupla camada elétrica é alterada. Supõe-se que esse efeito eletroviscoso tenha sido responsável pelo aumento da viscosidade.

4.4 Modelagem empírica.

4.4.1 Modelo da lei da potência

O modelo da lei da potência (Equação 2.2) foi empregado para estimar as constantes reológicas.

A equação 2.9 foi utilizada para obtenção da viscosidade aparente em função da frequência de rotação N , dada em rpm (HELDMAN & SINGH, 1981).

$$\log \mu_a = \left(n \log \frac{1}{n} + \log K \right) + (n-1) \log (4\pi N) \quad [4.1]$$

O ajuste da equação 4.1 aos dados experimentais forneceu os valores de k e n para as diferentes situações estudadas, conforme ilustrado nas Tabelas 4.4.1 e 4.4.2.

Tabela 4.4.1 Constantes reológicas estimadas baseadas na lei da potência para polpa de goiaba, a três diferentes diluições e suco comercial.

	T (°C)	K (Pa.s ⁿ)	n	R ²
Polpa	23	1,436	0,3053	0,991
Suco comercial	23	1,441	0,3288	0,999
Diluição 1:1	23	1,444	0,3835	0,998
Diluição 1:2	23	1,441	0,4094	0,998
Diluição 1:4	23	1,427	0,4658	0,995

Pôde-se observar que a diluição praticamente não afeta a viscosidade aparente, mas aumenta o valor de n , o índice de escoamento. Isto é facilmente compreendido, visto que valores de $n < 1$ apresentam um comportamento pseudoplástico, enquanto que quando n tende a 1, o fluido tende a ser Newtoniano. Desse modo, um aumento da quantidade de água faz com que a solução tenda ao comportamento Newtoniano ($n \rightarrow 1$) da água.

Os resultados da Tabela 4.4.2 obtidos para diferentes condições de pré-tratamento dado à polpa, e conseqüentemente dependem do tamanho de partícula após o processamento. Esta relação de k e n com o tamanho de partícula não é evidente porque soluções concentradas dependem de variáveis outras como composição química, polaridade, concentração eletrolítica, tamanho e distribuição das partículas, e ainda efeito eletroviscoso.

Tabela 4.4.2. Constantes reológicas estimadas baseadas na lei da potência para polpa de goiaba pasteurizada, natural, homogeneizada a 11000 rpm por 1 minuto e 22000 rpm por 5 minutos pasteurizada e não pasteurizada.

	T (°C)	K (Pa.s ⁿ)	n	R ²
Polpa D _p =393µm	23	1,436	0,3053	0,991
Polpa homog. 11000rpm D _p =148µm	23	1,439	0,4187	0,999
Polpa homog. 22000rpm D _p =92µm	23	1,444	0,3587	0,998
Polpa pasteurizada D _p =635µm	23	1,436	0,3043	0,998
Polpa pasteur. Homog. 22000rpm D _p =145µm	23	1,434	0,4427	0,995

Pôde-se ver que os coeficientes de determinação foram bastante satisfatórios, sendo todos eles maiores que 0,99.

RAO & PALOMINO (1974) estudaram o purê de goiaba a concentração de 10,3° Brix e temperatura de 23,4°C, utilizando um viscosímetro de tubo capilar, e encontraram comportamento pseudoplástico, o valor de índice de comportamento de escoamento encontrado foi de 0,49 e o do índice de consistência foi de 0,4863 (Pa.sⁿ).

É importante mencionar ainda, os resultados obtidos por VITALI & RAO (1982), trabalhando com suco a 9,8 e 16° Brix, com goiaba vermelha em reômetro de dutos. Estes autores correlacionaram seus dados pelos modelos da lei da potência, Casson e Mizrahi-Berk. Os autores não discutem qual apresenta o melhor ajuste. Para o modelo da lei da potência, o valor do índice de comportamento de fluxo foi aproximadamente constante e igual a 0,43 e os valores do índice de consistência variam para temperaturas de 10 a 50°C, de 8,38 até 3,73 Pa.sⁿ (valores estes calculados a partir da correlação fornecida pelos autores).

Comparando os dados encontrados pelos autores mencionados com os calculados neste trabalho para o modelo descrito anteriormente neste item, verificamos que os índices de comportamento do escoamento (n) são muito próximos, existindo divergências nos valores encontrados para o índice de consistência (k).

4.4.2 Equações matemáticas utilizadas para relacionar viscosidade aparente e tamanho de partícula da polpa de goiaba.

Para quantificar o efeito do diâmetro de partícula no comportamento reológico das amostras de polpa de goiaba tratada diferentemente, foi proposto uma relação entre os

parâmetros do modelo e o diâmetro médio de massa da partícula. Esta relação foi feita utilizando-se os valores do índice de consistência obtido nas análises reológicas dessas amostras, bem como os diâmetros das partículas das análises granulométricas. Foram obtidas as seguintes equações:

$$\log k = 0,0082 \log D_p^2 + 0,0079 D_p + 0,159 \quad R^2 = 0,999$$

[4.2]

$$\log n = -1,029 \log D_p^2 - 1,5939 D_p - 0,9923 \quad R^2 = 0,999$$

[4.3]

5. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

No trabalho aqui apresentado, as amostras de polpa de goiaba e diluições apresentaram comportamento pseudoplástico.

O modelo da lei da potência foi empregado com sucesso para estimar as constantes reológicas nas diversas condições estudadas. Além disso, a polpa de goiaba analisada mostrou um comportamento dependente do tempo, indicando a existência de tixotropia.

No estudo da granulometria da polpa de goiaba foi observada uma influência do tratamento aplicado às amostras: pasteurização e homogeneização.

Observou-se que o aumento da intensidade de homogeneização diminuiu o diâmetro da partícula, enquanto que a aplicação do calor para pasteurização aumentou esta dimensão. O tamanho destas influenciou diretamente na viscosidade aparente, já que tamanhos maiores em geral produziram viscosidades mais altas.

Para a polpa, nas diversas condições estudadas, foi possível estabelecer equações simples dos índices de comportamento do escoamento e de consistência em função do diâmetro da partícula. A compreensão dos diversos fenômenos envolvidos deve ainda ser estudada com maiores cuidados, avaliando-se a influência de outras variáveis além do diâmetro médio de massa das partículas.

Como sugestão para outros estudos tem-se a avaliação da estabilidade das partículas em suspensão, como uma função de seu tamanho, para determinação da vida de prateleira do suco.

E ainda, o estudo do efeito da adição de estabilizantes sobre a viscosidade, tamanho de partícula e estabilidade da suspensão, bem como o efeito da temperatura sobre a viscosidade do suco de goiaba, a diferentes diâmetros de partícula, para obtenção de equações empíricas mais gerais.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BIRD, R.B.; STEWART, W.E.; LIGHTFOOT, E.N. Transporte Phenomena **John Wiley & Sons Inc**, New York – London, 1960.
- CHITARRA, A.B.; CHITARRA, M.I.F. GT Fisiologia pós-Colheita de frutos e hortaliças. **In. CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS**, 14, 1994, São Paulo. Relatórios Dos Grupos De Trabalho São Paulo. SBCTA., 1994 p. 41-56.
- DUBOIS, M. et al Colorimetric method for determination of sugar and related Substances **Analytical Chemistry** v.28, p. 350, 1956.
- EZELL, G.H. Viscosity of concentrated orange and grapefruit juices. **Food Technology** v.13, n.1, p 9-13, 1959.
- GARCIA, R.; RIVERA, J. & ROLZ, C. Rheological properties of some tropical fruit products and their enzyme clarification. **Proc. Iv Int. Congress Food Science And Technology, II**, p 18-26, 1974.
- GAVIOLI, V.O.;TAKAKURA,V., Goiaba oferece vantagens nutricionais, **Revista Coopercitrus**, n 182, 2003. Disponível na Internet <http://www.revistacoopercitrus.com.br>, 23 de novembro de 2003
- GENOVESE, D.B. & LOZANO, J.E. Effect of cloud characteristics on the viscosity of cloudy apple juice. **Journal of Food Science** v.65, n.4, p. 641-645, 2000
- GUNJAL, B. B. & WAGHMARE, N. J. Flow characteristics of pulp, juice and nectar of “Baneshan” and “Neelum” mangoes. **Journal of Food Science and Thecnology** v.24, p 20-23, 1987.

- HAAKE. Haake Viscometers – **Instruction Manual Viscotest 61/R**. Haake Mess-Technik GmbH Co.; W. Germany, 2000.
- HELDMAN, D.R.; SINGH, R.P. Food Process Engineering, **Avi Publishing Company**, 1981.
- HOLDSWORTH, S.D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behavior of Fluid products. **Journal Texture Studies** v.2, n.4, p.393-418, 1971.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo, S. P.) **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz**. 3 ed. São Paulo: O Instituto. 1985. 1v. 533p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, **Censo Agropecuário 2001**, Disponível na Internet <http://www.ibge.org.br>, 23 de novembro de 2003.
- INSTITUTO DE TECNOLOGIA DE ALIMENTOS **Série Frutas Tropicais 6: Goiaba da Cultura ao Processamento e Comercialização** Campinas. 1988.
- JEFFREY, D.J. & ACRIVOS, A. The rheological properties of suspensions of rigid particles. **Am. Inst. Chem. Engrs. J**, v.22, p.417.
- JIMÉNEZ, G. & DURÁN, L. Propriedades reológicas de produtos derivados de frutas y de tomate. Revisión Bibliográfica. **Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment.** v.19, n.2, p. 203-217, 1979.
- KIMBALL, L.B. & KERTEZ, Z. I. Practical determination of size distribution of suspended particles in macerated tomato products. **Food Technology** p. 68-71, 1952.
- KRIEGER, I.M., Rheology of monodisperse lattices, **Adv. Colloid Interface Sci**, v.3, p. 111-136, 1972
- MANICA I. et al. Fruticultura tropical 6 Goiaba. Porto Alegre. **Cinco Continentes**, 2000. 374.p.
- MARTIN, A. Industrialização da goiaba. **Boletim do Centro de Pesquisa e Tecnologia de Alimentos** v.12, p. 37-54, 1967.
- MEDINA, J.C.; GARCIA, J.L.M.; DE MARTIN, Z.J.; VIEIRA, L.F.; RENESTO, O.V. Goiaba – da cultura ao processamento e comercialização. **Instituto de Tecnologia de Alimentos**. Campinas, v.6, 1978.

- MILLER, G.L. Use of dinitrosalicylic acid reagents for determination of reducing sugar
Analytical Chemistry v.31, p.426, 1959
- RAO, M.A. Rheology of liquid foods- A Review. **Journal Texture Studies**, v.8, n.2, p. 135-168, 1977a.
- RAO, M.A. Measurement of flow properties of fluid foods-developments, limitation, and interpretation of phenomena. **Journal Texture Studies** v.8, n.3, p. 257-282, 1977b.
- RAO, M.A. Rheological properties of fluid foods. In Rao, M.A. & Rizvi, S.S.H. (Eds). Engineering Properties of Foods, P. 1-47, Marcel Dekker, New York (USA) **Food Science And Technology Series**, n.19, 1986.
- RAO, M.A. & ANANTHESWARAN, R.C. Rheology of fluids in Food processing. **Food Technology** v.36, n.2, p. 116-126, 1982.
- RAO, M.A. & PALOMINO, N.O. Flow properties of tropical fruit purees. **Journal of Food Science** v.39, n.1, p.160-161, 1974.
- RUSSELL, W.B., Review of the role colloidal forces in the rheology suspensions
Journal of Rheology, v.24, p.287-317, 1980.
- SARAVACOS, G.D. & MOYER, J.C. Heating rates of fruit products in an agitated kettle.
Food Technology v.21, n.3a, p. 54a-58a, 1967.
- SAVAGE, R.M. Effects of rheology modifiers on the flow curves of idealized and food suspensions **Food Hydrocolloids** v.14, p. 209-215, 2000.
- SHERMAN R, Rheology of dispersed systems, **In Industrial rheology, London Academic press. Inc**, p 97-1970.
- SERVAIS, C. ; JONES, R. ; IAN, R. The influence of particle size distribution on the processing of food. **Journal of Food Engineering** v.51, p. 201-208, 2002.
- STEFFE, J.F. Simulation of Food Processing Systems: Rheology. Lecture Notes Of Course Ena 289a. **Dept. Of Agricultural Engineering, University of California-Davis**, 1990.
- TANGLERTPAIBUL, T. & RAO, M.A. Rheological properties of tomato concentrates as affected by particle size and methods of concentration. **Journal of Food Science** v.52 n.1, p.141-145, 1987.

- TOLEDO, R.T.; **Fundamentals of food process engineering**, 2^oed., An Aspen Publications, Inc. Galthersburg, Maryland, 1999.
- VITALI, A.A. & RAO, M.A. Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: serum viscosity and effect of pulp content. **Journal Food Science**, v.49, n.3, p. 876-881, 1984a
- VITALI, A.A. & RAO, M.A. Flow Properties of Low-Pulp Concentrated Orange Juice: Effect of Temperature and Concentration. **Journal Food Science**, V.49, N.3, P. 882-888, 1984b.
- VITALI, A.A. & RAO, M.A. Flow Behavior of Guava Puree as Function of Temperature and Concentration. **Journal Texture Studies** V.13, N.3, P. 275-289, 1982.
- VAN WAZER, J.R. ; LYONS, J.W. ; KIM, K.Y. & COLWELL, R.E. **Viscosity and Flow Measurement: a Laboratory Handbook of Rheology**. Interscience, New York, 1963.