



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO  
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO  
EM ENGENHARIA AGRÍCOLA**

**DISSERTAÇÃO**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM ARMAZENAMENTO  
E PROCESSAMENTO DE PRODUTOS AGRÍCOLAS**

**COMPORTAMENTO VISCOSO DE POLPAS DE UMBU-CAJÁ  
COM DIFERENTES TEORES DE SÓLIDOS**

**LUCICLÉIA BARROS DE VASCONCELOS TORRES**

**Campina Grande - Paraíba**

**Fevereiro - 2004**

---

**COMPORTAMENTO VISCOSO DE POLPAS DE umbu-cajá COM  
DIFERENTES TEORES DE SÓLIDOS**

**LUCICLÉIA BARROS DE VASCONCELOS TORRES**

**Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Agrícola.**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:** Armazenamento e Processamento de  
Produtos Agrícolas

**Orientadores:** Prof. Alexandre José de Melo Queiroz

Prof.<sup>a</sup> Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

Campina Grande - PB

Fevereiro – 2004

**COMPORTAMENTO VISCOSO DE POLPAS DE UMBU-CAJÁ  
COM DIFERENTES TEORES DE SÓLIDOS**

**LUCICLÉIA BARROS DE VASCONCELOS TORRES**

**Dissertação apresentada ao curso  
de Pós-Graduação em Engenharia  
Agrícola da Universidade Federal  
de Campina Grande, como parte  
dos requisitos necessários para a  
obtenção do título de Mestre em  
Engenharia Agrícola.**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:** Armazenamento e Processamento de  
Produtos Agrícolas

**Orientadores:** Prof. Alexandre José de Melo Queiroz  
Prof.<sup>ª</sup> Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

Campina Grande - PB  
Fevereiro – 2004

**FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA  
BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG**

T693c    Torres, Lucicléia Barros de Vasconcelos  
2005      Comportamento viscoso de polpas de umbu-cajá com  
            diferentes teores de sólidos / Lucicléia Barros de Vasconcelos. —  
            Campina Grande: UFCG, 2004.  
            96f.: il. col.

Inclui Bibliografia

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) — Centro de  
Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande.

1— Spondias 2— Umbu-Cajá 3— Reologia I— Título

CDU 634.442



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DA MESTRANDA

**LUCICLÉIA BARROS DE VASCONCELOS TORRES**

Comportamento Viscoso de Polpas de Umbu-Cajá com diferentes Teores de Sólidos

BANCA EXAMINADORA

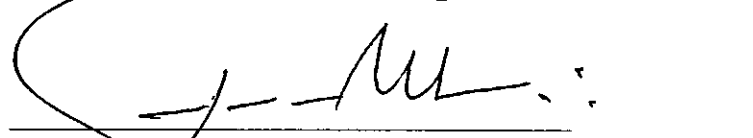
PARECER

  
Dr. Alexandre José de Melo Queiroz-Orientador

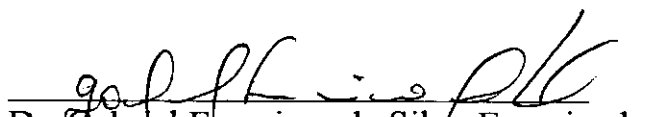
APROVADA

  
Dra. Rossana Maria F. de Figueiredo-Orientadora

Aprovada

  
Dr. Francisco de Assis Santos e Silva-Examinador

APROVADA

  
Dr. Gabriel Francisco da Silva-Examinador

APROVADA

FEVEREIRO - 2004

---

## *Dedico este Trabalho*

*A minha grande amiga e mãe,  
Lourdes sem a qual este trabalho  
não teria sido concluído.*

*A minha doce e querida Luiza,  
o real e mais forte motivo para  
seguir sempre em frente confiante,  
minha pura fonte de incentivos  
em todas as horas.*

*“Não é o desafio que determina quem somos, mas a maneira com que respondemos a esse desafio. Somos combatentes, mas idealistas, porque o ter consciência não nos obriga a sermos conscientes. Enquanto acreditarmos em nossos sonhos, nada será por acaso”*

*(Henfil)*

## *Agradecimentos*

*A Deus, pela minha vida, por guiar sempre e iluminar meus caminhos.*

*A meus pais, Wilson Vasconcelos Bezerra e Lordes Barros de Vasconcelos que, com palavras sábias, me mostraram maneiras inimagináveis de transpor obstáculos.*

*A meus irmãos, em especial a minha amiga Priscila, que sempre me encorajaram a seguir em frente.*

*A meu amado companheiro, Henrique Torres, por seu amor, dedicação e paciência em todas as horas.*

*A minha Luiza, que nos momentos mais difíceis me fez sorrir.*

*Aos meus queridos Cícero Torres e Erica Lopes Torres, pelo amor, incentivo e eterna dedicação, se dispondo a ajudar em todos os instantes.*

*Aos professores Rossana Maria Feitosa de Figueiredo e Alexandre José de Melo Queiroz, pela orientação, amizade, atenção, compreensão, dicas e apoio durante a realização deste trabalho.*



*Aos examinadores que compuseram a banca, Professor Dr. Francisco de Assis Santos e Silva e Professor Dr. Gabriel Francisco da Silva, pela atenção e disponibilidade de tempo para comigo.*

*Ao Professor Dr. Mario Eduardo Cavalcanti Mata, pelas informações e sugestões.*

*À Professora Dra. Maria Elita Duarte Braga, pela importante contribuição.*

*Aos amigos Myrla, Cláudio, Vyrna, Emanuel, Pablícia, Rqnilda, Concita, Granjeiro, Edênia, Alessandra, Marcelo, Diniz, Edilene, Jeane e Luciene, pela colaboração, amizade, parceria e alegrias vividas.*

*Às secretárias Rivanilda Diniz, de Engenharia Agrícola, e Cida, pela amizade e convivência.*

*A todas as pessoas que, de alguma maneira, contribuíram para meu engrandecimento profissional e pessoal.*

## SUMÁRIO

|  |      |
|--|------|
| <b>LISTA DE TABELAS</b> .....                        | iii  |
| <b>LISTA DE FIGURAS</b> .....                        | vi   |
| <b>RESUMO</b> .....                                  | viii |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                | ix   |
| <b>1. INTRODUÇÃO</b> .....                           | 1    |
| 1.1. Objetivo geral.....                             | 3    |
| 1.2. Objetivos específicos.....                      | 3    |
| <b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....                | 4    |
| 2.1. Umbu-cajá.....                                  | 4    |
| 2.2. Características químicas e físico-químicas..... | 6    |
| 2.2.1. pH.....                                       | 8    |
| 2.2.2. Sólidos solúveis totais (°Brix).....          | 9    |
| 2.2.3. Umidade / Sólidos totais.....                 | 10   |
| 2.2.4. Sólidos insolúveis.....                       | 11   |
| 2.2.5. Resíduo mineral fixo.....                     | 11   |
| 2.2.6. Pectinas.....                                 | 12   |
| 2.3. Reologia.....                                   | 14   |
| 2.3.1. Classificação dos fluidos.....                | 16   |
| 2.3.1.1. Fluido newtoniano.....                      | 17   |
| 2.3.1.2. Fluido não-newtoniano.....                  | 20   |
| 2.3.2. Viscosidade.....                              | 24   |
| 2.3.3. Modelos reológicos.....                       | 25   |
| 2.3.3.1. Ostwald-de-Waele (Lei da Potência).....     | 25   |
| 2.3.3.2. Modelo de Herschel-Bulkley.....             | 26   |
| 2.3.3.3. Modelo de Casson.....                       | 27   |
| 2.3.3.4. Modelo de Mizrahi-Berk.....                 | 28   |
| <b>3. MATERIAL E MÉTODOS</b> .....                   | 29   |
| 3.1. Matéria-prima.....                              | 29   |
| 3.2. Processamento da fruta.....                     | 29   |
| 3.3. Concentração.....                               | 31   |

|   |           |
|---|-----------|
| 3.4. Caracterização físico-química e química da polpa de umbu-cajá..... | 32        |
| 3.4.1. pH .....   | 32        |
| 3.4.2. Sólidos solúveis totais (°Brix) .....                            | 32        |
| 3.4.3. Resíduo mineral fixo (cinzas) .....                              | 32        |
| 3.4.4. Sólidos totais.....  | 32        |
| 3.4.5. Sólidos insolúveis .....   | 33        |
| 3.4.6. Pectina.....   | 33        |
| 3.5. Estudo reológico.....  | 33        |
| 3.5.1. Conversão dos dados experimentais.....                           | 34        |
| 3.5.2. Análise dos dados.....   | 34        |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                                   | <b>35</b> |
| 4.1. Caracterização físico-química e química da polpa de umbu-cajá..... | 35        |
| 4.1.1. pH .....   | 35        |
| 4.1.2. Sólidos totais.....  | 36        |
| 4.1.3. Sólidos insolúveis.....  | 38        |
| 4.1.4. Pectina.....   | 39        |
| 4.1.5. Resíduo mineral fixo (cinzas).....                               | 40        |
| 4.2. Estudo reológico.....  | 42        |
| 4.2.1. Viscosidade.....   | 42        |
| 4.2.2. Modelos reológicos.....  | 63        |
| <b>5. CONCLUSÕES.....</b>   | <b>74</b> |
| <b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                               | <b>75</b> |
| <b>APÊNDICE A.....</b>  | <b>89</b> |

## LISTA DE TABELAS

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| <b>Tabela 2.1.</b>  | Composição química dos frutos e polpa de umbu-cajá.....  | 5  |
| <b>Tabela 4.1.</b>  | Análise de variância do pH para as polpas de umbu-cajá em diferentes concentrações .....                       | 35 |
| <b>Tabela 4.2.</b>  | Valores médios do pH para a polpa de umbu-cajá a diferentes concentrações .....                                | 36 |
| <b>Tabela 4.3.</b>  | Análise de variância dos sólidos totais para as polpas de umbu-cajá a diferentes concentrações .....           | 37 |
| <b>Tabela 4.4.</b>  | Valores médios dos sólidos totais (%) para as polpas de umbu-cajá a diferentes concentrações .....             | 37 |
| <b>Tabela 4.5.</b>  | Análise de variância dos sólidos insolúveis para as polpas de umbu-cajá a diferentes concentrações .....       | 38 |
| <b>Tabela 4.6.</b>  | Valores médios dos sólidos insolúveis para as polpas de umbu-cajá a diferentes concentrações .....             | 39 |
| <b>Tabela 4.7.</b>  | Análise de variância do teor de pectina para as polpas de umbu-cajá a diferentes concentrações .....           | 39 |
| <b>Tabela 4.8.</b>  | Valores médios do teor de pectina das polpas de umbu-cajá a diferentes concentrações .....                     | 40 |
| <b>Tabela 4.9.</b>  | Análise de variância do conteúdo mineral (cinzas) para as polpas de umbu-cajá a diferentes concentrações ..... | 41 |
| <b>Tabela 4.10.</b> | Valores médios das cinzas para a polpa de umbu-cajá a diferentes concentrações .....                           | 41 |
| <b>Tabela 4.11.</b> | Viscosidades aparente (Pa.s) das polpas de umbu-cajá a diferentes concentrações a 10 <sup>0</sup> C .....      | 43 |
| <b>Tabela 4.12.</b> | Viscosidades aparente (Pa.s) das polpas de umbu-cajá em diferentes concentrações a 20 <sup>0</sup> C .....     | 45 |
| <b>Tabela 4.13.</b> | Viscosidades aparente (Pa.s) das polpas de umbu-cajá em diferentes concentrações a 30 <sup>0</sup> C .....     | 46 |

|                     |  |    |
|---------------------|--|----|
| <b>Tabela 4.14.</b> | Viscosidades aparente (Pa.s) das polpas de umbu-cajá em diferentes concentrações a 40 <sup>o</sup> C .....                                   | 48 |
| <b>Tabela 4.15.</b> | Viscosidades aparente (Pa.s) das polpas de umbu-cajá em diferentes concentrações a 50 <sup>o</sup> C .....                                   | 49 |
| <b>Tabela 4.16.</b> | Viscosidades aparente (Pa.s) das polpas de umbu-cajá em diferentes concentrações a 60 <sup>o</sup> C .....                                   | 51 |
| <b>Tabela 4.17.</b> | Equações lineares propostas para o cálculo da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em função da temperatura para a velocidade de 0,5 rpm ..... | 52 |
| <b>Tabela 4.18.</b> | Equações lineares propostas para o cálculo da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em função da temperatura para a velocidade de 1 rpm .....   | 53 |
| <b>Tabela 4.19.</b> | Equações lineares propostas para o cálculo da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em função da temperatura para a velocidade de 2,5 rpm ..... | 55 |
| <b>Tabela 4.20.</b> | Equações lineares propostas para o cálculo da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em função da temperatura para a velocidade de 5 rpm .....   | 56 |
| <b>Tabela 4.21.</b> | Equações lineares propostas para o cálculo da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em função da temperatura para a velocidade de 10 rpm .....  | 58 |
| <b>Tabela 4.22.</b> | Equações lineares propostas para o cálculo da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em função da temperatura para a velocidade de 20 rpm .....  | 59 |
| <b>Tabela 4.23.</b> | Equações lineares propostas para o cálculo da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em função da temperatura para a velocidade de 50 rpm .....  | 61 |
| <b>Tabela 4.24.</b> | Equações lineares propostas para o cálculo da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em função da temperatura para a velocidade de 100 rpm ..... | 62 |
| <b>Tabela 4.25.</b> | Parâmetros de ajuste do modelo Lei-da-Potência para a polpa de umbu-cajá, em diferentes temperaturas.....                                    | 65 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 4.26.</b> Parâmetros de ajuste para o modelo de Mizrahi-BerK (MB) para a polpa de umbu-cajá nas diferentes temperaturas estudadas..... | 66 |
| <b>Tabela 4.27.</b> Parâmetros de ajuste para o modelo de Casson para a polpa de umbu-cajá nas diferentes temperaturas estudadas.....            | 68 |
| <b>Tabela 4.28.</b> Parâmetros de ajuste para o modelo de Herschel-Bulkley para a polpa de umbu-cajá nas diferentes temperaturas estudadas.....  | 70 |

## LISTA DE FIGURAS

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Figura 2.1.</b> | Estrutura da pectina .....  | 13 |
| <b>Figura 2.2.</b> | Gráfico da $\eta$ em função de F e do gradiente D para fluidos newtonianos.....   | 19 |
| <b>Figura 2.3.</b> | Gráfico da variação de $\eta$ em função da variação de D ou F para fluidos newtonianos .....  | 19 |
| <b>Figura 2.4.</b> | Ilustração das curvas de escoamento para fluidos dependentes do tempo.....  | 21 |
| <b>Figura 2.5.</b> | Ilustração das curvas de escoamento para vários tipos de fluidos independentes do tempo.....  | 22 |
| <b>Figura 3.1.</b> | Fluxograma para obtenção da polpa de umbu-cajá .....  | 30 |
| <b>Figura 3.2.</b> | Conjunto banho maria e viscosímetro .....   | 33 |
| <b>Figura 4.1.</b> | Variação da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 0,5 rpm ..... | 53 |
| <b>Figura 4.2.</b> | Variação da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 1 rpm .....   | 54 |
| <b>Figura 4.3.</b> | Variação da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 2,5 rpm ..... | 56 |
| <b>Figura 4.4.</b> | Variação da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 5 rpm .....   | 57 |
| <b>Figura 4.5.</b> | Variação da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 10 rpm .....  | 59 |
| <b>Figura 4.6.</b> | Variação da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 20 rpm .....  | 60 |
| <b>Figura 4.7.</b> | Variação da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em seis  | 61 |

## LISTA DE FIGURAS

|                    |   |    |
|--------------------|---|----|
| <b>Figura 2.1.</b> | Estrutura da pectina .....  | 13 |
| <b>Figura 2.2.</b> | Gráfico da $\eta$ em função de F e do gradiente D para fluidos newtonianos.....   | 19 |
| <b>Figura 2.3.</b> | Gráfico da variação de $\eta$ em função da variação de D ou F para fluidos newtonianos .....  | 19 |
| <b>Figura 2.4.</b> | Ilustração das curvas de escoamento para fluidos dependentes do tempo.....  | 21 |
| <b>Figura 2.5.</b> | Ilustração das curvas de escoamento para vários tipos de fluidos independentes do tempo.....  | 22 |
| <b>Figura 3.1.</b> | Fluxograma para obtenção da polpa de umbu-cajá .....  | 30 |
| <b>Figura 3.2.</b> | Conjunto banho maria e viscosímetro .....   | 33 |
| <b>Figura 4.1.</b> | Variação da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 0,5 rpm ..... | 53 |
| <b>Figura 4.2.</b> | Variação da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 1 rpm .....   | 54 |
| <b>Figura 4.3.</b> | Variação da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 2,5 rpm ..... | 56 |
| <b>Figura 4.4.</b> | Variação da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 5 rpm .....   | 57 |
| <b>Figura 4.5.</b> | Variação da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 10 rpm .....  | 59 |
| <b>Figura 4.6.</b> | Variação da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 20 rpm .....  | 60 |



|                     |   |    |
|---------------------|---|----|
| <b>Figura 4.7.</b>  | Varição da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 50 rpm .....   | 61 |
| <b>Figura 4.8.</b>  | Varição da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 100 rpm .....  | 63 |
| <b>Figura 4.9.</b>  | Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para a polpa de umbu-cajá a 9°Brix, nas temperaturas de 10 a 60°C.....           | 71 |
| <b>Figura 4.10.</b> | Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para a polpa de umbu-cajá a integral (13°Brix), nas temperaturas de 10 a 60°C... | 73 |
| <b>Figura 4.11.</b> | Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para a polpa de umbu-cajá a 15°Brix, nas temperaturas de 10 a 60°C.....          | 74 |
| <b>Figura 4.12.</b> | Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para a polpa de umbu-cajá a 18°Brix, nas temperaturas de 10 a 60°C.....          | 75 |
| <b>Figura 4.13.</b> | Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para a polpa de umbu-cajá a 21°Brix, nas temperaturas de 10 a 60°C.....          | 76 |
| <b>Figura 4.14.</b> | Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para a polpa de umbu-cajá a 24°Brix, nas temperaturas de 10 a 60°C.....          | 76 |

Dissertação de Mestrado: **Comportamento viscoso de polpas de umbu-cajá**  
**com diferentes teores de sólidos**

Autora: **Lucicléia Barros de Vasconcelos Torres**

Orientadores: **Professor Alexandre José de Melo Queiroz**

**Professora Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**

Departamento de Engenharia Agrícola – DEAg. UFCG

### **RESUMO**

Neste trabalho determinaram-se as características físico-químicas de polpas de umbu-cajá (*Spondias spp*) em seis concentrações de sólidos para estudar o comportamento reológico das amostras em seis temperaturas; para isto foram utilizadas polpas de umbu-cajá nas concentrações de 9, 13, 15, 18, 21 e 24 °Brix, determinando-lhes pH, teor de sólidos totais, cinzas, concentração de sólidos insolúveis e pectinas. O estudo reológico foi realizado nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C e as aferições reométricas obtidas com um viscosímetro da marca Brookfield, modelo RVT, com velocidades de rotação de 0,5, 1, 2,5, 5, 10, 20, 50 e 100 rpm. Os dados experimentais de viscosidade aparente em função da temperatura, foram ajustados por equações do tipo linear, enquanto os dados experimentais de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação o foram através dos modelos reológicos de Ostwald-de-Waelle, Casson, Mizrahi & Berk e Herschel-Bulkley. O teor de sólidos solúveis para a polpa de umbu-cajá integral foi de 13 °Brix, com pH de 2,6, teor de pectina de 0,5% de pectato de cálcio, teor de cinzas de 0,54 %, com concentração de sólidos totais 11,19% e 1,01% de sólidos insolúveis. Todas as amostras apresentaram comportamento não-newtoniano e pseudoplástico. Os valores médios de viscosidade aparente variaram de 0,04 a 51,12 Pa.s. As viscosidades aparentes aumentaram com a concentração entre 9 e 18 °Brix, além de decrescerem com o aumento de temperatura, foram preditas de forma satisfatória, segundo uma relação de dependência linear com a temperatura. A variação de temperatura exerceu influência mais acentuada sobre as amostras com maiores teores de sólidos. O modelo de Herschel-Bulkley ajustou, com melhor precisão, a relação entre os dados experimentais de tensão de cisalhamento e taxa de deformação.

**Palavras-chave: Spondias , Umbu-cajá, Reologia.**

M. Sc. Thesis: **Viscous behavior of umbu-cajá pulp with different solid contents**  
Author: **Lucicléia Barros de Vasconcelos Torres.**

Supervisors: **Prof. Alexandre José de Melo Queiroz**

**Prof.<sup>a</sup> Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**

Department of Agricultural Engineering – DEAg/UFCG

### ***ABSTRACT***

This work was developed with the objective of determining the physicochemical characteristics of umbu-cajá (*Spondias spp*) pulp in six solid concentrations and of studying the rheological behavior of the samples in six temperatures. The umbu-cajá pulp was used in concentrations 9, 13, 15, 18, 21 e 24 °Brix in which the pH, total solid concentration, ash, insoluble solid and pectins were determined. The rheological study was developed in the temperatures of 10, 20, 30, 40, 50 and 60 °C, and the rheometrical measurements were obtained from a RVT Brookfield viscosimeter, with rotation speed of 0.5, 1, 2.5, 5, 10, 20, 50 and 100 rpm. The data concerning experimental apparent viscosity *versus* temperature were adjusted according to linear equations, while the experimental data concerning shear stress versus shear rate were adjusted according to Ostwald-de-Waele, Casson, Mizrahi & Berk e Herschel-Bulkley rheological models. The soluble solid concentration for the integral umbu-cajá pulp fruit was 13 °Brix, with a 2.6 ph, pectin concentration of 0.5% of calcium pectate, leached ashes text of 0.54 %, with total solid concentration 11.19% and 1.01% of insoluble solids. All samples presented non-newtonian and pseudoplastic behavior. The average apparent viscosity values varied from 0.04 to 51.12 Pa.s, and they increased for concentrations between 9 and 18 °Brix, besides decreaseig with the raising of temperature and were predicted satisfactorily, according to a linear dependency relation with the temperature. The temperature variation had more significant influence over samples with higher solid concentration. Herschel-Bulkley model adjusted better the experimental data of shear stress *and* shear rate.

**Key-words: Spondias, Umbu-cajá, Rheology**

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil, graças à sua localização geográfica e à dimensão territorial, é um dos maiores depósitos de espécies nativas do mundo, possuindo importantes centros de diversidade genética, tanto de plantas nativas quanto de cultivadas. Sua segunda maior reserva genética de espécies nativas, se encontra no ecossistema dos cerrados (Brasil central e Nordeste), ficando atrás apenas da região Amazônica, com mais de 500 espécies frutíferas nativas com potencial de uso pelo homem (RATTER & RIBEIRO, 1996).

O aproveitamento econômico de espécies nativas de reconhecidos méritos, como o umbu, o umbu-cajá, o cajá, bacuri, o cupuaçu e muitas outras, tem sido inibido pela forte pressão do mercado consumidor de frutas tradicionais de clima tropical e subtropical já adaptadas e às de clima temperado aclimatadas. Os estudos com fruteiras nativas também são postergados em benefício das espécies tradicionais de mercado garantido; por outro lado, a oferta de novas alternativas de frutas frescas para a agroindústria perpassa, necessariamente, pelas espécies nativas (GIACOMETTI, 1993), desta forma, as espécies frutíferas nativas constituem uma preciosa fonte de riqueza e de alimentos para o País, e precisam ser adequadamente preservadas, estudadas e utilizadas.

A comercialização mundial de suco de fruta tem crescido mais que cinco vezes nos últimos quinze anos. Somente nos últimos cinco anos o crescimento foi da ordem de US\$ 1,0 bilhão. Em relação aos países em desenvolvimento, o Brasil é o maior produtor de frutas, além de grande exportador. A exportação de seus sucos flutuava em torno de US\$ 1,1 bilhão e teve crescimento de US\$ 1,7 bilhões nos primeiros anos da década de 1990 (BUTLER, 1994).

As questões relacionadas ao manuseio de frutas em escala industrial têm, como uma das soluções mais práticas, a transformação da matéria-prima em polpa, viabilizando a utilização de inúmeros processos, que abrangem desde a preservação de longo prazo, por congelamento ou adição de conservantes, até a possibilidade de concentração, de elaboração de novos produtos etc. O crescimento da indústria frutícola brasileira é baseado, em grande parte, na produção de polpas de frutas congeladas em fábricas de pequeno porte criadas, inicialmente, com a finalidade de melhorar a renda familiar de pequenos produtores rurais ou até mesmo para aproveitar parte da matéria-prima não utilizada e, às

vezes, totalmente desperdiçada. No que se refere às indústrias de grande porte, ressalta-se o interesse no conhecimento das propriedades físicas de polpas pois, na fabricação de sucos, néctares, sorvetes, sobremesas, gelificados, iogurtes e outros, a fruta é geralmente utilizada na forma de polpa concentrada; com isto, faz-se necessária uma série de noções a respeito de suas características, com vistas à adaptação dos processos e instalações industriais as exigências específicas de cada um desses produtos (QUEIROZ, 1998).

A escassez de dados sobre as propriedades físicas de polpa de frutas tropicais, inclusive o comportamento reológico, tem levado a indústria nacional a utilizar, no processo de fabricação de polpas, condições semelhantes às aplicadas na produção de suco de laranja. Por suas propriedades diferentes, os resultados não atingem o mesmo nível de qualidade. Para obter sucos concentrados, com qualidade capaz de conquistar o paladar dos consumidores, a indústria brasileira deve respeitar as características de cada fruta (VIDAL et al., 2000).

Todos os produtos líquidos derivados de frutas são sistemas bifásicos, compostos por partículas sólidas dispersas em um meio aquoso, alguns apresentam escoamentos newtonianos, embora a maioria flua com características pseudoplásticas mostrando, por vezes, uma resistência inicial ao fluir e/ou uma dependência do tempo. A variabilidade do comportamento reológico está relacionada à alteração estrutural provocada pelo cisalhamento (COSTELL & DURAN, 1982).

O comportamento reológico representa o comportamento mecânico dos materiais quando em processo de deformação, devido a um campo de tensões. Importantes nos fenômenos relacionados à transferência de massa que tem lugar nos processos industriais, as características reológicas são também imprescindíveis na otimização, no controle e nos cálculos de processos. Esses conhecimentos servem, igualmente, para o desenvolvimento de produtos e correlação ao de parâmetros físicos e sensoriais (BEZERRA, 2000).

CONCEIÇÃO (2000) sugere que o crescimento acentuado da procura por frutos regionais, torna importante e indispensável o estudo de suas propriedades reológicas para adaptação dos processos a essas frutas, visto que poucos trabalhos visando o tema, estão disponíveis na literatura.

Apesar da significância de que se revestem as fruteiras nativas, em epigrafe, e do seu elevado potencial econômico, muito pouco se tem feito para o conhecimento e uso das mesmas, quer seja na área de melhoramento genético, coleta, conservação e caracterização, física e, em alguns casos química, visando ao desenvolvimento de tecnologias e processos especificamente direcionados; assim, o desenvolvimento de trabalhos que resultem na geração de conhecimentos que possibilitem a exploração racional, além de melhores formas de aproveitamento das mesmas, é de fundamental importância.

### 1.1. Objetivo geral

Objetivou-se, através deste trabalho, avaliar as características físico-químicas da polpa de umbu-cajá e estudar seu comportamento reológico.

### 1.2. Objetivos específicos

- Elaborar polpas de umbu-cajá, a partir de frutas frescas
- Produzir, a partir da polpa integral de umbu-cajá, cinco outras amostras com diferentes teores de sólidos solúveis totais, na faixa de 9 a 24<sup>o</sup> Brix
- Determinar propriedades físico-químicas das polpas de umbu-cajá em todas as concentrações obtidas
- Estudar o comportamento reológico das polpas de umbu-cajá, nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60<sup>o</sup>C.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Umbu-cajá

A umbu-cajazeira (*Spondias spp*) pertence à família das Anacardiáceas e ao gênero *Spondias*. Considerada híbrido natural entre o umbuzeiro e a cajazeira (GIACOMETTI, 1993), apresenta características de planta xerófila, sendo encontrada em plantios não-organizados, disseminados em Estados do Nordeste (LIMA et al., 2002a). Estudos sobre esta espécie relatam que, devido à freqüente ausência de sementes nos endocarpos, praticamente a umbu-cajazeira não se propaga via sexual, sendo tradicionalmente propagada pelo método vegetativo assexuado. No Brasil, notadamente no Nordeste, essas espécies têm considerável importância social e econômica, fato comprovado pela crescente comercialização de seus frutos e produtos processados em mercados, supermercados e restaurantes da região (SOUZA, 1998).

Como apresentado na Figura 2.1, o umbu-cajá é caracterizado como uma drupa arredondada, de cor amarela, casca fina e lisa, com endocarpo (caroço) grande, branco, suberoso e enrugado, localizado na parte central do fruto, no interior do qual se encontram os lóculos, que podem ou não conter uma semente. A umbu-cajazeira apresenta cerca de 90% dos endocarpos desprovidos de sementes (SOUZA et al., 1997)

Segundo LIMA et al. (2002b) os frutos possuem excelente sabor e aroma, boa aparência e qualidade nutritiva, são muito consumidos na forma "in natura" e apresentam rendimento médio de 55 a 65% em polpa, com potencial para utilização na forma processada como polpa congelada, sucos, néctares e sorvetes.

Na Tabela 2.1 encontram-se alguns valores de referência da composição química dos frutos e polpa de umbu-cajá.

**Tabela 2.1.** Composição química dos frutos e polpa de umbu-cajá

| Composição                                     | Polpa | Fruto |
|--|-------|-------|
| Umidade (%)                                    | *     | 84,2  |
| PH   | 2,13  | 2,61  |
| Sólidos solúveis totais (°Brix)                | 11,25 | 10,4  |
| Acidez total titulável (%)                     | 1,78  | 1,85  |
| Sólidos solúveis totais/Acidez total titulável | 6,29  | *     |
| Vitamina C (mg/100g)                           | 17,75 | 14,2  |

Fonte: LIMA et al., 2002a.

A diversidade genética de populações nativas de umbu-cajazeira é aparentemente ampla, e deve ser avaliada e preservada em coleções de germoplasma, de modo a evitar o risco de perda de materiais genéticos, especialmente aqueles de valor agrônomico e industrial. Hoje, o conhecimento disponível da variabilidade genética de umbu-cajazeira é pequeno, requerendo esforços para ampliá-lo, de forma que se possa atingir um aproveitamento melhor do potencial de exploração econômica da cultura (SOUZA, 1998).

A fruticultura tropical é uma das atividades de maior perspectiva, sobretudo para o Nordeste, uma vez que, além das condições ecológicas favoráveis nos aspectos climáticos há, também, disponibilidade de áreas consideráveis, que permitem a instalação de parques industriais (BASTOS et al., 2002). De acordo com BASTOS et al. (1999) tem-se apresentado como uma das atividades mais importantes do setor de alimentos, contribuindo



para o desenvolvimento econômico e para a ampliação do mercado interno de frutas frescas e industrializadas, atingindo vários segmentos como doces, bebidas (sucos e refrigerantes) e polpas.

Apesar do crescimento de algumas espécies frutícolas, sabe-se que as espécies nativas do Brasil, ora consideradas exóticas, necessitam de maior atenção econômica, apesar do grande potencial de exploração, tanto para o mercado interno quanto para o mercado externo. Essas espécies são exploradas localmente e muitas vezes extrativamente, não permitindo que se percebam as perdas decorrentes (EMBRAPA MEIO-NORTE, 1999).

## **2.2. Características químicas e físico-químicas**

Em geral, informações sobre a composição de alimentos nacionais são escassas. Os sucos de frutas são consumidos por crianças e adultos, tornando-se convenientes informações nutricionais dos alimentos, para que as famílias sejam orientadas e possam melhor balancear suas dietas com relação à ingestão de bebidas (SOARES et al., 2004).

Segundo HASLER (1998) tem havido uma explosão do interesse dos consumidores no papel de alimentos específicos ou componentes alimentares ativos fisiologicamente, os supostos alimentos funcionais.

A qualidade dos frutos é atribuída aos caracteres físicos que respondem pela aparência externa, entre os quais se destacam o tamanho, a forma do fruto e a cor da casca. Essas características estão relacionadas ao conjunto de atributos referentes à aparência, ao sabor, odor, textura e valor nutritivo (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

O hábito do consumo de sucos de frutas e hortaliças processados tem aumentado, motivado pela falta de tempo da população em preparar suco de frutas *in natura*, pela praticidade oferecida através dos produtos, em substituição ao consumo de bebidas carbonatadas devido ao seu valor nutritivo e à preocupação com o consumo de alimentos mais saudáveis (MATSUURA & ROLIM, 2002).

Os materiais biológicos possuem características intrínsecas e, portanto, são diferenciados entre si em razão de sua forma, estrutura e dimensões. Em produtos com alto teor de umidade, como as frutas, ocorrem muitas transformações em sua característica original (SOUZA et al., 1999); desta forma, tornaram-se necessários o estudo e a caracterização dos produtos para que se possa contribuir para o melhoramento das espécies, e promover um processamento e armazenamento adequados.

considerando-se principalmente, a enorme variedade de compostos químicos que contêm as frutas, durante o processamento e o armazenamento, inúmeras transformações na sua composição se realizam, e as mais importantes são as de significância para o consumidor (SANTANA et. al., 2004)

Nos estados da Paraíba, Pernambuco e Bahia, o padrão dos produtos é acompanhado pela forma de registro, levando-se em consideração as características dos sólidos solúveis, pH, acidez, sabor e cor. Apesar da inexistência de laboratórios na maioria das unidades de processamento desses estados, nota-se preocupação dos produtores em relação ao controle de qualidade do produto final. Dentre as análises requeridas para aferir a qualidade da polpa, estão as físico-químicas e microbiológicas (BASTOS et al., 1999).

De maneira geral, a qualidade é um dos aspectos mais importantes que devem ser levados em consideração entre os produtos alimentícios. A medida em que a qualidade aumenta, através de sistemas bem implantados, os custos caem com a redução de falhas e detecção de gastos desnecessários (BUTOLO, 2002).

### 2.2.1. pH

Um processo de decomposição, seja por hidrólise, oxidação ou fermentação, quase sempre altera a concentração dos íons de hidrogênio. Um dos métodos de determinação da acidez fornece a concentração de íons de hidrogênio livres, por meio do pH. Os processos que avaliam o pH são colorimétricos ou eletrométricos. Os primeiros usam certos indicadores, que produzem ou alteram sua coloração em determinadas concentrações de íons de hidrogênio, são processos de aplicação limitada, pois as medidas são aproximadas e não se aplicam às soluções intensamente coradas ou turvas, nem às soluções coloidais, que podem absorver o indicador, falseando os resultados. Nos processos eletrométricos empregam-se aparelhos, que são potenciômetros especialmente adaptados e permitem uma determinação direta, simples e precisa do pH (INSTITUO ADOLFO LUTZ, 1985).

O pH é um dos fatores que exercem maior efeito seletivo sobre a microbiota capaz de se desenvolver em frutas e produtos derivados (JAY, 1992).

De maneira geral o pH mede a acidez dos alimentos, os quais normalmente apresentam pH inferior a 7,0. Com base nesta variável, indica-se o tipo de tratamento necessário para a conservação de determinado produto. Alimentos com pH acima de 4,5 exigem baixas temperaturas de armazenamento para se conservarem-se por um tempo

maior, pois esses produtos são susceptíveis ao desenvolvimento de microrganismos (CABRAL, 2001). O pH pode influenciar a viscosidade dos alimentos, sobretudo em produtos que contêm espessantes. Com o abaixamento do pH, muitos desses compostos sofrem hidrólise, ocasionando o desempenho inadequado do aditivo em relação à viscosidade (GONÇALVES, 1989).

### 2.2.2. Sólidos solúveis totais (°Brix)

Os sólidos solúveis totais (SST) são compostos solúveis em água importantes na determinação da qualidade da fruta. O teor de SST oferece um indicativo da quantidade de açúcares existentes na fruta, considerando-se que outros compostos, embora em reduzidas proporções, também fazem parte: como exemplo: ácidos, vitaminas, aminoácidos e algumas pectinas. Os teores de SST aumentam, usualmente, no decorrer do processo de maturação da fruta, seja por biossíntese ou pela degradação de polissacarídeos (KLUGE et al., 2002).

RODRIGUES et al. (1977) afirmaram que o valor dos sólidos solúveis nos frutos é importante, uma vez que, quanto maior a quantidade de sólidos solúveis existentes, menor será a quantidade de açúcar a ser adicionada na indústria, quando os frutos são processados, diminuindo o custo de produção e aumentando a qualidade do produto.

Os sólidos solúveis totais representam a percentagem, em grama, dos sólidos que se encontram dissolvidos no suco ou polpa. No caso de frutas, esses sólidos aquo-solúveis são constituídos por açúcares (65 a 85% dos sólidos dissolvidos), ácidos orgânicos, sais minerais, vitamina C e do complexo B e outras substâncias aquo-solúveis (FAPEP/SINE, 1997).

A importância de sólidos solúveis para a agroindústria é enorme, pois auxilia no controle de qualidade do produto final, controle de processos, controle de ingredientes e de produtos utilizados em indústrias: doces, sucos, néctares, polpas, leite condensado, álcool, açúcar, licores, bebidas em geral, sorvetes etc. (CIABOTTI, 2000).

### **2.2.3. Umidade / Sólidos Totais**

A água é o maior componente dos frutos, perfazendo o total de 80 até 95% de sua composição. O conteúdo de água é bastante variável entre as espécies e depende do suprimento dado ao tecido, na época da colheita, da temperatura e umidade relativa do meio (CHITARRA, 1994). De acordo com GLICKSMAN (1969) a redução do teor de água aumenta a rigidez da estrutura do produto.

Segundo MORETTO et al. (2002) a determinação do teor de umidade é o ponto de partida da análise dos alimentos, além de sua grande importância, uma vez que a preservação do alimento depende da quantidade de água e, além disso, quando se compara o valor nutritivo de dois ou mais alimentos, tem-se que levar em consideração os respectivos teores de umidade.

O teor de água presente em um alimento é umas das determinações de difícil execução, visto que os métodos usuais para a sua quantificação envolvem a destilação da água presente no alimento e, com isto, outros compostos voláteis também são evaporados. Em suma, na determinação do teor de água de um produto alimentício o termo umidade refere-se à somatória da água volatilizada nas condições do método analítico e dos demais

componentes, também volatilizados ou decompostos pelo calor; assim, o teor de sólidos totais de um produto representa, teoricamente, valor igual ou inferior ao valor real (ANGELUCCI et al., 1987)

Avaliando a composição físico química da polpa de umbu-cajá *in natura*, DINIZ (2003) encontrou valores para a umidade, em torno de 88,8%.

#### **2.2.4. Sólidos insolúveis**

O teor de sólidos insolúveis presentes em bebidas não-alcoólicas compreende vários componentes, como celulose, hemicelulose, pentosanas, lignina, amido, pectina, proteínas, sais inorgânicos e outros (OLIVEIRA, 1997).

As referências que tratam de derivados de frutas têm estabelecido os elementos principais que respondem por seu comportamento reológico; referidos. Estes elementos seriam a temperatura, a concentração de sólidos solúveis (principalmente açúcares), o teor de pectinas e a concentração de sólidos insolúveis (QUEIROZ, 1998).

#### **2.2.5. Resíduo mineral fixo**

Resíduo por incineração, teor de minerais ou cinzas é o nome dado ao resíduo obtido por aquecimento de um produto em temperatura próxima a 550-570°C. Nem sempre este resíduo representa toda a substância inorgânica presente na amostra, pois alguns sais podem sofrer redução ou volatilização nesse aquecimento (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985). De acordo com HORN (1996) o resíduo mineral é considerado uma análise importante na avaliação da qualidade e origem do produto.

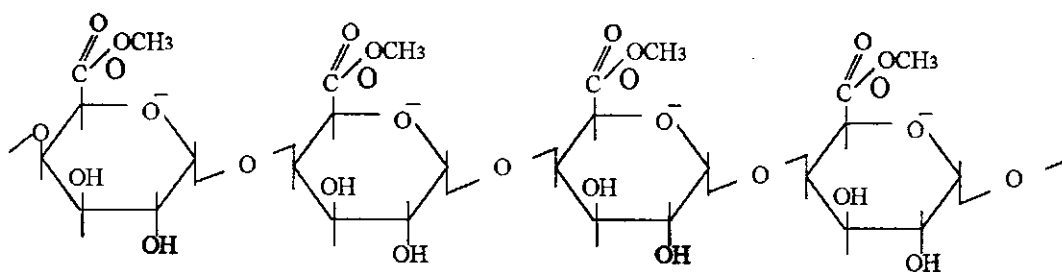
Os elementos minerais, reconhecidos como essenciais, são comumente divididos entre macroelementos (cálcio, fósforo, potássio, sódio, cloro, magnésio, enxofre) e microelementos (ferro, cobre, cobalto, manganês, zinco, iodo, flúor, molibidênio, selênio, cromo, silício), de acordo com as quantidades maiores ou menores em que são encontrados no organismo humano. A importância de sua inclusão na dieta tem sido amplamente discutida, em textos sobre nutrição (SGABIERI, 1987) Os minerais estão presentes nos frutos em pequenas quantidades, variando entre 0,02% a 1,0% (MORSE & HOOPER, 1986).

As cinzas contêm cálcio, magnésio, ferro, fósforo, chumbo, mercúrio e outros componentes minerais. O teor muito alto de cinzas indica a presença de adulterantes (OLIVEIRA, 1997).

Segundo SILVA (1981), a determinação das cinzas ou matéria mineral é feita, muitas vezes, apenas para se conhecer o extrato não nitrogenado e/ou a matéria orgânica de determinadas amostras, sem a preocupação do teor de minerais.

#### **2.2.6. Pectinas**

Pectina (Figura 2.1) é um polissacarídeo que, junto com a celulose e a hemicelulose, forma o material estrutural das paredes celulares dos vegetais. Com o envelhecimento do vegetal a pectina é enzimaticamente degradada com perda de rigidez do material celular, em parte compensada pela formação da lignina, que torna o tecido vegetal duro (BOBBIO & BOBBIO, 1995).



**Figura 2.1.** Estrutura da pectina

As substâncias pécicas são polímeros compostos principalmente de unidades de ácidos galacturônicos unidos por ligações glicosídicas  $\alpha$  (1 $\rightarrow$ 4) e cujos grupos carboxilados podem estar parcialmente metoxilados e/ou totalmente neutralizados por bases (MORETTO et al., 2002)

Conforme OLIVEIRA (1997) as substâncias pécicas estão presentes em pequenas quantidades em relação a outras substâncias que ocorrem nas paredes celulares e nas camadas intercelulares; constituem cerca de 1 a 4% dos polissacarídeos das paredes celulares, embora sejam mais abundantes em tecidos especializados de determinadas plantas, como na casca de frutas cítricas que contêm cerca de 30% de pectina.

Segundo EVANGELISTA (1992) as substâncias pécicas se constituem de ácidos pectínicos, ácidos pécicos, pectinas e protopectina, embora a pectina possua a mesma estrutura dos ácidos pectínicos, com maior número, porém de grupos metil-éster que, sob condições favoráveis, podem formar gel com açúcar e ácido e, também, com íons metálicos. Ainda segundo o autor, as frutas maduras, em especial e os vegetais, têm maior conteúdo de pectina, o qual é o elemento responsável pela formação de gel, que confere às geléias características especiais e a consistência dos doces em pasta (tipo marmelada).



HOLDSWORTH (1971) afirmou que o conteúdo de pectina em sucos e purês de frutas parece ser o principal responsável pelas características não-newtonianas, incluindo o efeito de dependência com o tempo.

PELEGRINE (1999) afirma que os sucos clarificados e despectinizados geralmente apresentam comportamento newtoniano, cuja afirmação foi verificada também por IBARZ et al. (1992) para o suco e a polpa do pêssego despectinizado.

### 2.3. Reologia

A ciência que estuda a relação entre a deformação do fluido, devido à força nele aplicada, é chamada reologia. O termo reologia significa o estudo do escoamento de fluidos, ou seja, o estudo da resposta interna dos materiais quando submetidos à ação de forças externas, e enquanto a reometria é o estudo das metodologias e técnicas experimentais e da interpretação das medidas das propriedades reológicas dos materiais. A reologia dos fluidos é estudada principalmente através da medida da viscosidade, ou seu inverso a fluidez.

A maior ou menor fluidez de um alimento está na dependência da interação física entre as moléculas que o compõem e esta interação depende principalmente das forças de atração e repulsão entre as moléculas. A propriedade inversa da fluidez é a viscosidade, ou seja, a resistência do alimento ao sofrer deslocamentos quando submetido a uma força externa (BOBBIO & BOBBIO, 2003).

O estudo das propriedades reológicas dos alimentos exerce papel fundamental na ciência e tecnologia desses produtos, pois referidas propriedades estão intimamente relacionadas com a composição e estrutura dos alimentos influenciando, de forma direta na textura e na qualidade sensorial. Por outro lado, é de grande interesse industrial o conhecimento do comportamento reológico dos alimentos durante o processo de elaboração (concentração, mistura, pasteurização e outras operações unitárias) tanto para condições de processamento como nos projetos de seleção de equipamentos (DURÁN, 1991).

O processo de obtenção de polpa e o grau de beneficiamento ainda são feitos de forma artesanal e com baixo índice tecnológico; suas características físicas, necessárias a uma exploração em nível industrial, ainda são pouco estudadas, porém são essenciais no projeto de bombas, trocadores de calor, evaporadores e misturadores (PEREIRA et al., 2002).

Na produção de frutos destinados á indústria de sucos, deve-se enfatizar a tecnologia que confirma, aos frutos, alto rendimento em suco, boa consistência, maior teor de açúcar e acidez elevada (PINTO et al., 2003).

De acordo com BASTOS et al. (2002), deve-se considerar a necessidade de estudos para levantar parâmetros técnicos de polpas, objetivando uma adequação melhor de suas características reológicas, de forma a garantir melhor rendimento de extração dessas polpas em escala industrial.

Os alimentos são materiais estruturalmente e reologicamente complexos. Muitos alimentos ainda apresentam características que variam de um ponto a outro, dentro de sua

massa. Apesar dessas variações, pesquisadores têm observado que os alimentos se comportam de maneira previsível e que conceitos baseados nas teorias de elasticidade, plasticidade e viscosidade podem ser usados para interpretar suas respostas a forças a eles aplicadas (FINNEY Jr., 1973).

As referências que tratam da reologia de derivados de frutas estabelecem que a temperatura, a concentração de sólidos solúveis, o teor de pectina e os sólidos insolúveis são os principais responsáveis pelo comportamento reológico (QUEIROZ, 1998).

### **2.3.1. Classificação dos fluidos**

Os fluidos podem ser classificados como newtonianos ou não-newtonianos. Esta classificação envolve a determinação e análise da relação entre a tensão de cisalhamento e o gradiente de velocidade, chamado taxa de deformação, para determinada condição de temperatura e pressão (RAO, 1986).

Segundo BOBBIO & BOBBIO (2001), os fluidos newtonianos são aqueles que se comportam como fluidos ideais, isto é, seus componentes não teriam qualquer interação entre si, enquanto os não-newtonianos seriam os fluidos reais. Não existem, naturalmente, fluidos ideais, mas tão somente fluidos cujo comportamento se aproxima do ideal, como é o caso dos líquidos puros, soluções verdadeiras diluídas e alguns sistemas coloidais.

### 2.3.1.1. Fluido newtoniano

Os fluidos são denominados newtonianos quando obedecem ao postulado de Newton e de acordo com GONÇALVES (1989), apresentam relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, ou seja, a viscosidade é constante, gerando um comportamento onde a viscosidade independe da taxa de deformação.

Matematicamente, os fluidos newtonianos são definidos pela Equação 2.1:

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (2.1)$$

Em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa);

$\dot{\gamma}$  - taxa de deformação ( $s^{-1}$ ), e

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

Alguns produtos alimentícios que apresentam esse tipo de comportamento, são: leite, café, cerveja, vinho, óleo, mel e sucos clarificados de maçã e uva (CABRAL, 2001). Ressalta-se que o comportamento reológico dos sucos é influenciado por sua composição, tanto quantitativa como qualitativamente e, por consequência, dependerá do tipo de fruta e dos tratamentos realizados no seu processo de elaboração. Os sucos clarificados e despectinizados apresentam comportamento newtoniano, ao passo que os sucos concentrados e as polpas não seguem a lei da viscosidade de Newton (PELEGRINE, 2000).

Para VARSHNEY & KUMBHAR (1978) a reologia, ou consistência de líquidos newtonianos semelhantes à água, leite ou suco de frutas clarificadas, pode ser simplesmente caracterizada pelo termo viscosidade.

Em estudos reológicos a respeito do suco de tamarindo na faixa de 7 a 62°Brix, MANOHAR et al. (1991) constataram que até a concentração de 19°Brix o suco apresentava comportamento newtoniano e, acima de 23°Brix, de natureza pseudoplástica.

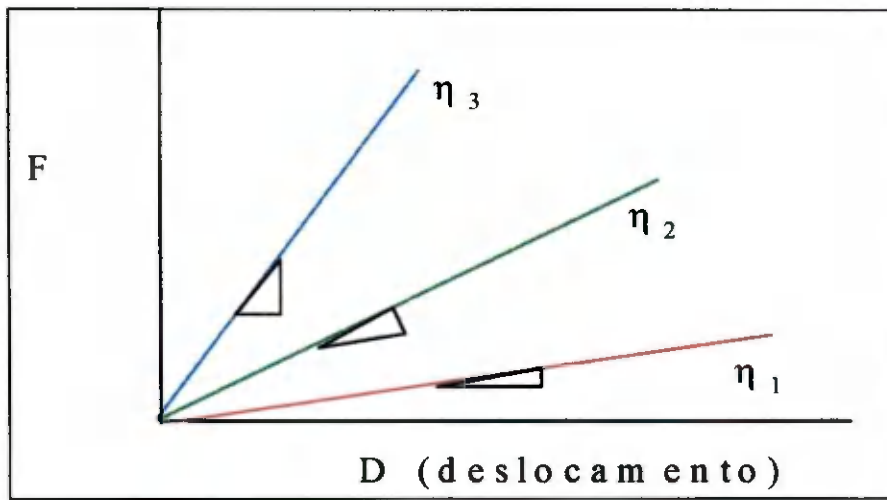
IBARZ et al. (1992) determinaram o comportamento reológico do suco de groselha (despectinizado e clarificado) com concentrações variando entre 35 a 64,5°Brix e faixa de temperatura entre 5 a 60°C, utilizando um viscosímetro de cilindros concêntricos (Haake Rotovisco RV-12) avaliado como fluido newtoniano, para todas as amostras.

RAO et al. (1974) trabalhando com viscosímetro de cilindros concêntricos (Haake, RV2) encontraram, para sucos comerciais de maçã (despectinizado e filtrado) na faixa de 41 a 68,3°Brix e faixa de temperatura -10 a 40°C, comportamento newtoniano.

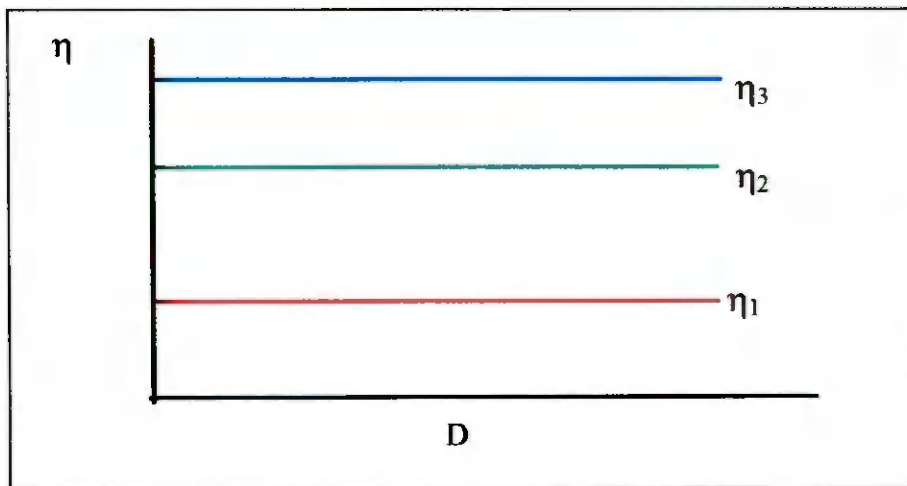
SARAVACOS (1970) estudou o comportamento reológico de vários sucos de fruta em função da concentração e temperatura, observando comportamento newtoniano para suco de maçã clarificado filtrado e despectinizado na faixa de temperatura 20-70°C e concentrações entre 10 e 75°Brix. Ao contrário, suco de maçã não-despectinizado e filtrado foi newtoniano a 50°Brix e abaixo; enquanto a maiores concentrações foi um fluido pseudoplástico.

No fluido newtoniano ocorrem apenas efeitos de atrito mecânico e o nível energético dessas interações se aproxima do nível energético para ruptura e formação de

pontes de hidrogênio num líquido; nestes fluidos, o gradiente  $D$ , da deformação, é diretamente proporcional à força (tensão) aplicada,  $F$ , sendo a proporcionalidade dada por uma constante intrinsecamente dependente da natureza do fluido; tal constante é o coeficiente de viscosidade ( $\eta_N$ ) que representa o atrito mecânico entre as camadas:  $F = \eta_N D$ . Como o atrito, por definição é independente da variação de  $F$  e do gradiente  $D$ , a relação entre  $\eta_N$  e  $D$  pode ser representada como nas Figuras 2.2 e 2.3 (BOBBIO & BOBBIO, 2001)



**Figura 2.2.** Gráfico da  $\eta$  em função de  $F$  e do gradiente  $D$  para fluidos newtonianos (BOBBIO & BOBBIO, 2001)



**Figura 2.3.** Gráfico da variação de  $\eta$  em função da variação de  $D$  ou  $F$  para fluidos newtonianos (BOBBIO & BOBBIO, 2001)

### 2.3.1.2. Fluido não-newtoniano

Todos os fluidos que não seguem o comportamento newtoniano são chamados fluidos não-newtonianos e se classificam em duas categorias: dependentes do tempo e independentes do tempo (RAO, 1977; RAO, 1986).

A viscosidade aparente ( $\eta_a$ ) para qualquer fluido não-newtoniano é expressa por:

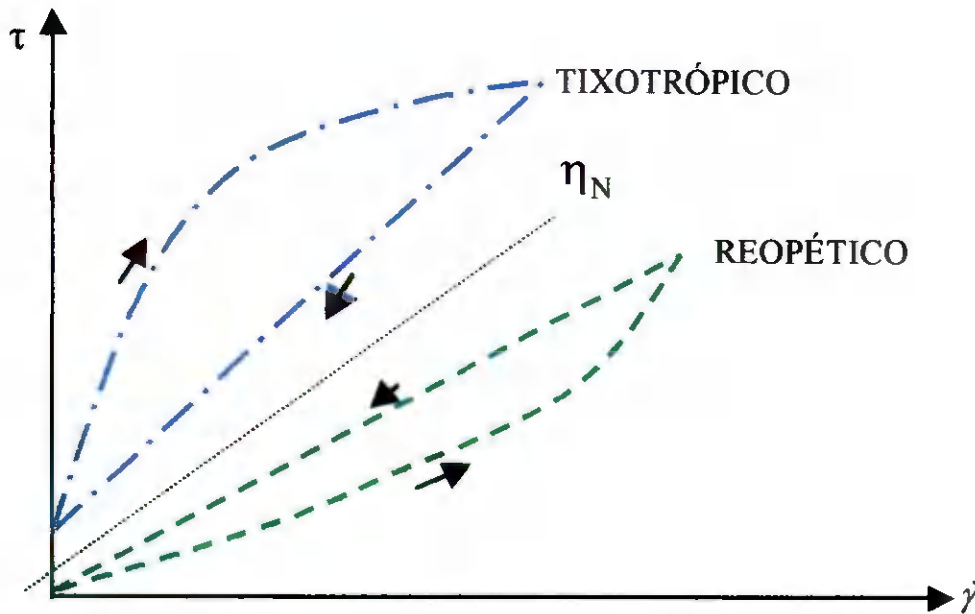
$$\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.2)$$

Para valores de  $n < 1$  a viscosidade aparente decresce com o aumento do gradiente de velocidade, caracterizando o fluido como pseudoplástico, para  $n > 1$ , é caracterizado como fluido dilatante e, para  $n = 1$ , o fluido é classificado como newtoniano.

De acordo com PELEGRINE (1999) as polpas e néctares apresentam, geralmente, comportamento não-newtoniano.

#### Fluidos dependentes do tempo

Esse tipo de fluido possui relação dependente entre a viscosidade aparente, taxa de deformação e duração do cisalhamento, se subdividido em duas classificações: tixotrópicos e reopéticos (Figura 2.4).



**Figura 2.4.** Ilustração das curvas de escoamento para fluidos dependentes do tempo.

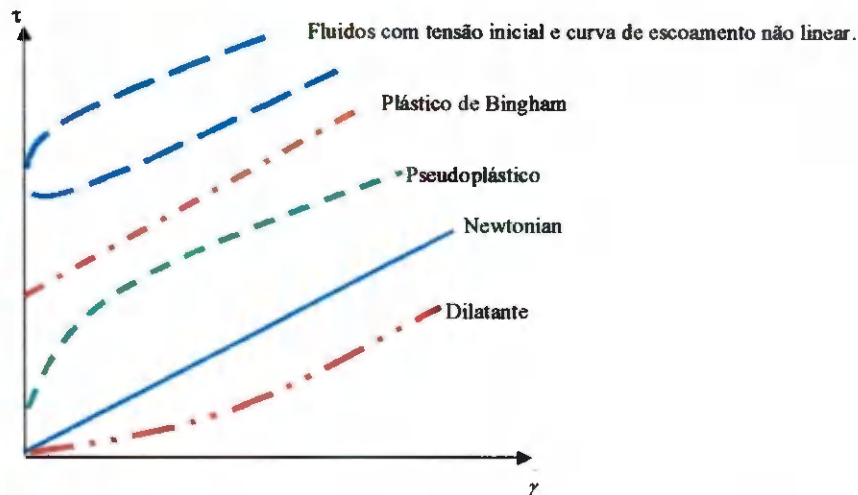
Segundo com GONÇALVES (1989), nos fluidos tixotrópicos a viscosidade aparente diminui com o aumento do tempo de aplicação da tensão de cisalhamento. Suco de maçã com polpa, suco concentrado de maracujá, alguns méis de abelha, leite condensado açucarado, claro de ovo e maionese são produtos alimentícios considerados tixotrópicos.

O comportamento reopético não é muito comum em alimentos (HOLDSWORTH, 1993). Apresentam comportamento inverso aos fluidos tixotrópicos, sendo por isso conhecidos também como fluidos de tixotropia negativa ou anti-tixotrópicos (CABRAL, 2001).



### Fluidos independentes do tempo

São fluidos que, submetidos a uma temperatura constante, possuem sua viscosidade aparente dependente apenas da taxa de deformação. Estão subdivididos em três categorias: pseudoplástico, dilatante e plástico de Bingham (Figura 2.5).



**Figura 2.5.** Ilustração das curvas de escoamento para vários tipos de fluidos independentes do tempo.

BEZERRA (2000) afirmou que neste grupo se encontra a maioria dos fluidos de comportamento não-newtoniano; são fluidos independentes do tempo, sem tensão residual, que começam a escoar sob a ação de tensões de cisalhamento infinitesimais.

Nos fluidos pseudoplásticos, a taxa de acréscimo na tensão de cisalhamento diminui com o aumento da taxa de deformação, isto é, o índice de comportamento do fluido é menor que 1 e a viscosidade aparente do fluido diminui ao aumentar sua taxa de deformação. Esta classe é representada por produtos como polpas e sucos concentrados de frutas, caldos de fermentação, melão de cana (CHARM, 1960; HOLDSWORTH, 1971).

HOLDSWORTH (1971) afirma que, geralmente, os alimentos fluidos derivados das frutas apresentam comportamento pseudoplástico, em que a viscosidade aparente decresce com o aumento da taxa de deformação.

TRIFIRÓ et al. (1987) relataram que, em sua maioria, sucos e purês de frutas são fluidos pseudoplásticos e o afastamento do comportamento newtoniano é originado pelo conteúdo de polpa, de modo que sucos clarificados se comportam como newtonianos e seu comportamento reológico se altera em função do conteúdo de polpa, por ação enzimática ou mesmo mecânica que modifiquem a estrutura da polpa; por outro lado, TANGLERTPAIBUL & RAO (1987) reportaram que o comportamento reológico de sucos e purês de fruta estão ligados ao teor de sólidos solúveis em suspensão, em função da forma, tamanho e concentrações das partículas suspensas e da estrutura do sistema.

CONCEIÇÃO (2000), utilizando um viscosímetro Brookfield RVT, analisou o comportamento reológico da polpa de goiaba tratada com pectinase nas concentrações de 0,001, 0,0013 e 0,0018%, e temperaturas de 30 a 70°C, verificando comportamento pseudoplástico em todas as amostras.

GUERRERO & ALZAMORA (1997), estudaram o efeito da temperatura, pH e adição de glucose no comportamento do purê de banana e notaram que todas as amostras se comportaram como fluidos pseudoplásticos.

Os fluidos dilatantes são raramente encontrados, tendo sido reportados em mel de abelha proveniente da florada do eucalipto, cujas propriedades dilatantes viscoelásticas, são atribuídas a polímeros de dextrana e em suspensões de goma de amido. São

caracterizados pelo aumento da viscosidade aparente com a taxa de deformação, ou seja, a tangente em cada ponto da curva de escoamento (viscosidade aparente) cresce com o aumento da taxa de deformação (HOLDSWORTH, 1971; RAO, 1986; SILVA, 1999).

De acordo com VAN WAZER et al. (1963) os fluidos plásticos de Bingham são, em geral, soluções e/ou suspensões concentradas de polímeros, como o são, também, o amido e as proteínas. Segundo SILVA (2001) são exemplos desse comportamento, mostarda, catchup, chocolate fundido, purê de batata e creme batido.

### 2.3.2. Viscosidade

De acordo com BARNES et al. (1989), Isaac Newton introduziu o conceito de viscosidade em 1687, dando atenção aos líquidos (água e óleos) e apresentou hipóteses associadas ao escoamento simples de fluidos entre duas placas paralelas. Esses autores definem viscosidade como a consequência dos atritos internos na massa dos fluidos, representada pela resistência ao escoamento entre camadas de moléculas do fluido.

A viscosidade ou, mais abrangente, o comportamento reológico dos alimentos fluidos, é usado de um lado, como medida de qualidade desses produtos e, por outro, é indispensável ao projeto, avaliação e operação dos equipamentos de processos (IBARZ et al., 1996).

A viscosidade de um alimento líquido é uma importante propriedade de escoamento influenciada por vários fatores, como: temperatura, composição, quantidade e tamanho de partículas e pode também depender da taxa de deformação aplicada, da

duração da aplicação da taxa de deformação e do histórico anterior de cisalhamento (HOLDSWORTH, 1971; RAO, 1977; RAO, 1986).

A viscosidade e as constantes reológicas também são significativas na evaporação de alimentos fluidos, em particular de sucos de frutas, pois estão diretamente relacionadas com a transferência de calor e as possíveis incrustações que podem formar nas superfícies de aquecimento, particularmente nos trocadores de calor dos evaporadores (SARAVACOS, 1974).

### 2.3.3. Modelos reológicos

De acordo com SILVA (2000), a descrição do comportamento reológico é feita através dos modelos empíricos utilizados para relacionar os dados de tensão de cisalhamento e a taxa de deformação.

#### 2.3.3.1. Ostwald-de-Waele (Lei da Potência)

O modelo de Ostwald-de-Waele, também conhecido como Lei da Potência é um dos modelos reológicos mais utilizados para descrever o comportamento dos fluidos não-newtonianos (pseudoplásticos e dilatantes) em amplas faixas de taxa de deformação, representado pela Equação 2.3.

$$\tau = K(\dot{\gamma})^n \quad (2.3)$$

Em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa);

$K$  - índice de consistência;

$\dot{\gamma}$  - taxa de deformação ( $s^{-1}$ ), e

$n$  - índice de comportamento do fluido.

Apesar de se tratar de um modelo que não se aplica para todo e qualquer fluido nem a todo intervalo de taxa de deformação, o modelo da Lei da Potência tem-se mostrado, em muitos, casos adequado para cálculos de engenharia e, devido a sua simplicidade, tem sido amplamente utilizado nesta área (RAO & ANANTHESWARAN, 1982).

### 2.3.3.2. Modelo de Herschel–Bulkley

Este modelo apresenta três parâmetros reológicos e é uma forma modificada do modelo de Ostwald-de-Waele, ao qual se adiciona um novo parâmetro, a tensão inicial ( $\tau_0$ ). É um modelo análogo ao de Bingham, representado pela Equação 2.4.

$$\tau - \tau_{0H} = K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (2.4)$$

Em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa);

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

$\tau_{0H}$  - tensão de cisalhamento inicial (Pa);

$K_H$  - índice de consistência ( $Pa \cdot s^n$ ), e

$n_H$  - índice de comportamento do fluido (adimensional).

FERREIRA et al. (2002a) ao avaliarem o comportamento reológico da polpa de cajá constataram que o modelo que melhor representou os dados experimentais foi o de Herschel-Bulkley, com a tensão inicial e o índice de comportamento do fluido diminuindo com o aumento da temperatura.

Em estudos desenvolvidos com a polpa de umbu integral notou-se que, dentre os modelos avaliados, o de Herschel-Bulkley proporcionou o melhor ajuste, sendo a referida polpa classificada como fluido não-newtoniano, com características pseudoplásticas, e o índice de consistência diminuindo com o aumento da temperatura (FERREIRA, 2002b).

#### 2.3.3.3. Modelo de Casson

O modelo de Casson (Equação 2.5) foi desenvolvido para representar o escoamento de uma suspensão de partículas interagindo em meio newtoniano.

$$\tau^{0,5} = K_{0C} + K_C \dot{\gamma}^{0,5} \quad (2.5)$$

Em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa);

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

$K_{0C}^2 = \tau_{0C}$  - tensão de cisalhamento inicial (Pa), e

$K_C$  - viscosidade plástica de Casson (Pa.s).

Este modelo é o oficialmente admitido para a caracterização de amostras de chocolate, pelo Instituto Internacional do Chocolate (RAO, 1986).

#### 2.3.3.4. Modelo de Mizrahi-Berk

O modelo reológico de Mizrahi & Berk é uma modificação do modelo de Casson, o qual foi alterado para descrever o comportamento reológico do suco de laranja concentrado (RAO, 1986), foi baseado em uma suspensão de partículas interagindo em solvente pseudoplástico, sendo reduzido ao modelo de Casson, quando  $n_M$  é igual a 0,5.

$$\tau^{0,5} = K_{0M} + K_M \dot{\gamma}^{n_M} \quad (2.6)$$

Em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa);

$K_{0M}$  - raiz quadrada da tensão inicial (Pa);

$K_M$  - índice de consistência (Pa.s);

$n_M$  - índice de comportamento do fluido (adimensional), e

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

Estudos reológicos realizados por VIDAL et al. (2000) com polpa de manga, e por FERREIRA et al. (2002) com polpa de cajá, demonstraram a eficiência dos ajustes dos dados ao modelo de Mizrahi & Berk.

### **3. MATERIAL E MÉTODOS**

Esse trabalho foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas, pertencente ao Departamento de Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Campus I, Campina Grande – PB.

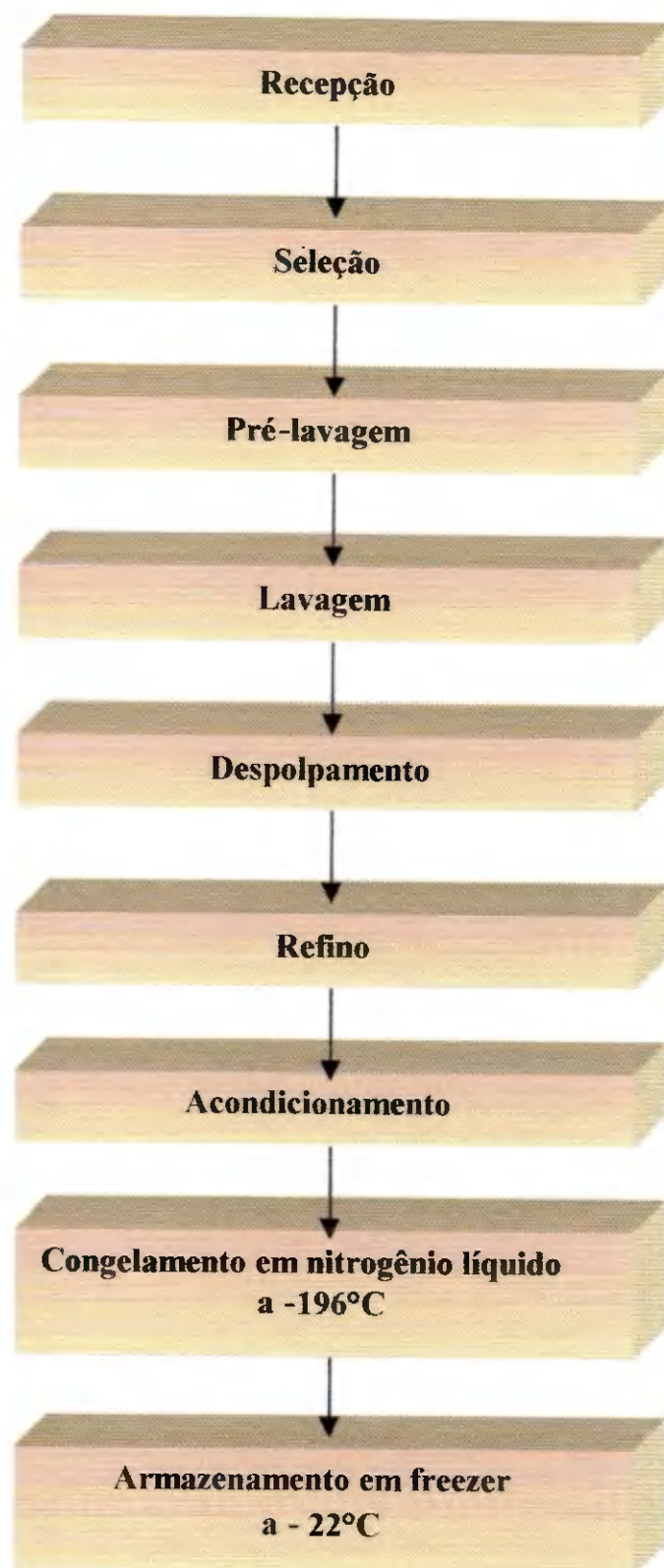
#### **3.1. Matéria-prima**

Os frutos de umbu-cajá utilizados para desenvolver esse trabalho foram adquiridos em estágio de maturação “maduros”, provenientes da cidade de Açu – RN.

#### **3.2. Processamento da fruta**

As frutas adquiridas, acondicionadas em caixas plásticas, foram transportadas até o laboratório onde foram processadas de acordo com as etapas apresentadas no fluxograma da Figura 3.1.





**Figura 3.1.** Fluxograma para obtenção da polpa de umbu-cajá

Os frutos maduros adquiridos no comércio foram recebidos e selecionados manualmente, para que fossem eliminados os frutos danificados e materiais estranhos. A seguir foram pré-lavados em água corrente com o objetivo de eliminar terra, sujeiras e resíduos que estivessem aderidos nas frutas.

Os frutos foram lavados por imersão em recipiente plástico contendo solução de hipoclorito de sódio com concentração de 50 ppm, durante 10 minutos e posteriormente enxaguados em água corrente e colocados para secar naturalmente, antes do despulpamento.

O despulpamento foi realizado em despulpadeira da marca LABOREMUS modelo DF – 200 com motor de 20 CV e capacidade aproximada de 400 kg/h. Os frutos foram desintegrados, separando-se a polpa das cascas e sementes, com o auxílio de uma peneira de malha de 2,5mm.

O refinamento da polpa foi feito utilizando os mesmos procedimentos da etapa anterior, exceto por substituir a peneira de malha 2,5 mm por uma de 1 mm de diâmetro.

A polpa refinada de umbu-cajá foi acondicionada em embalagens de polietileno de baixa densidade, com capacidade aproximada para 500 g.

Após a etapa de embalagem, as amostras foram imersas em nitrogênio líquido a  $-196^{\circ}\text{C}$ , para obter um congelamento rápido. Em seguida o produto foi armazenado em freezer a  $-22^{\circ}\text{C}$  até o momento da concentração e análise na polpa.

### **3.3. Concentração**

A polpa de umbu-cajá integral foi concentrada em evaporador rotativo, marca QUIMIS modelo Q-344B2, acoplado a uma bomba a vácuo, marca QUIMIS modelo Q-355D2, com a finalidade de obter diferentes teores de sólidos solúveis totais.

A polpa de umbu-cajá apresentou em sua forma integral valor de sólidos solúveis totais igual a 13°Brix, medidos com o auxílio de um refratômetro de marca CARL ZEISS modelo 94815.

A polpa integral foi concentrada em quatro teores de sólidos solúveis totais diferentes (15, 18, 21 e 24°Brix), e diluída com água destilada para a concentração de 9°Brix.

### **3.4. Caracterização físico-química e química da polpa de umbu-cajá**

#### **3.4.1. pH**

Para a determinação do pH da polpa de umbu-cajá foi utilizado potenciômetro, marca DIGIMED modelo DMPH-2, previamente calibrado com soluções tampões de pH 7,0 e 4,0, sendo realizada a leitura direta da amostra no aparelho.

#### **3.4.2. Sólidos solúveis totais (°Brix)**

Os sólidos solúveis totais (°Brix) foram determinados por leitura direta em refratômetro, marca CARL ZEISS modelo 94815, colocando-se de uma a duas gotas da polpa de umbu-cajá sobre o prisma do refratômetro.

#### **3.4.3. Resíduo mineral fixo (cinzas)**

A concentração do resíduo mineral fixo (cinzas) foi determinado segundo o método da A.O.A.C. (1997).

#### **3.4.4. Sólidos totais**

A determinação dos sólidos totais foi realizada de acordo com o método descrito pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985). Os resultados foram expressos em percentagem (p/p).

### 3.4.5. Sólidos insolúveis

O conteúdo de sólidos insolúveis em água foi determinado pelo método descrito pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).

### 3.4.6. Pectina

Esta determinação foi realizada segundo método proposto por Carré e Haynes (PEARSON, 1970). Os resultados foram expressos em porcentagem de pectato de cálcio (p/p).

## 3.5. Estudo reológico

As determinações das medidas reológicas foram realizadas utilizando um viscosímetro, marca Brookfield, modelo RVT, fabricado por Brookfield Engineering Laboratories, Inc. E.U.A. As medidas foram efetuadas às temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60°C.

Para a obtenção das temperaturas desejadas utilizou-se um banho termostático com circulação forçada de água. As amostras eram colocadas em béqueres e mergulhadas no banho até atingir a temperatura desejada, em seguida iniciava-se as medições com o viscosímetro, nas diferentes velocidades de rotação do equipamento. Na Figura 3.2 é ilustrado o conjunto dos equipamentos (banho maria e viscosímetro) utilizados nesse experimento.



**Figura 3.2.** Conjunto banho maria e viscosímetro

### 3.5.1. Conversão dos dados experimentais

Para a transformação das leituras (torque) realizadas no viscosímetro, em medidas reológicas utilizou-se a metodologia proposta por MITSCHKA (1982), obtendo-se os valores da tensão de cisalhamento e da taxa de deformação, nas diferentes velocidades de rotação.

### 3.5.2. Análise dos dados

Os modelos reológicos de Ostwald-de-Waelle (Lei da potência) (Eq. 2.3), Casson (Eq. 2.5) e Herschel-Bulkley (Eq. 2.4) foram ajustados às curvas da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação. Os parâmetros desses modelos foram determinados utilizando-se o software STATISTICA, versão 5.0, por meio de regressão não-linear, utilizando o método Quasi-Newton. Foi utilizado o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P), calculado pela Equação 3.1, para avaliar o ajuste dos modelos aos dados experimentais

$$P = \frac{100}{n} \cdot \sum_{i=1}^n \frac{|(M_{\text{exp}} - M_{\text{teor}})|}{M_{\text{exp}}} \quad (3.1)$$

em que:

$M_{\text{exp}}$  - valor experimental

$M_{\text{teor}}$  - valor predito pelo modelo

$n$  - número de dados experimentais

A análise estatística dos dados da viscosidade aparente e caracterização físico-química foi realizada utilizando o programa computacional ASSISTAT versão 6.6 (SILVA & AZEVEDO, 2002) em esquema fatorial 6 (concentração) x 8 (velocidade de rotação) x 5 (repetições).

Regressões lineares dos dados da viscosidade aparente em função da temperatura foram realizadas para representar os dados experimentais.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Caracterização físico-química e química da polpa de umbu-cajá

Em geral, frutas apresentam grande variação na sua composição, de acordo com o estágio de maturação e da região onde são produzidas.

#### 4.1.1. pH

A análise de variância para a variável pH é apresentada na Tabela 4.1, por meio da qual se observa diferença significativa entre os tratamentos (concentração de sólidos solúveis totais) a em nível de 1% de probabilidade pelo teste F, significando que existem mais de 99% de probabilidade de pelo menos um contraste entre médias de tratamento diferir de zero.

**Tabela 4.1.** Análise de variância do pH para as polpas de umbu-cajá a diferentes concentrações.

| Fonte de variação | G. L. | S. Q.  | Q. M.  | F         |
|-------------------|-------|--------|--------|-----------|
| Tratamentos       | 5     | 0,0830 | 0,0166 | 249,32 ** |
| Resíduo           | 12    | 0,0008 | 0,0001 |           |
| Total             | 17    | 0,0838 |        |           |

\*\* : Significativo a nível de 1% de probabilidade

G.L.: Grau de liberdade; S.Q.: Soma dos quadrados; Q.M.: Quadrado médio dos desvios; F.: Variável do teste F

Na Tabela 4.2 encontram-se os valores médios do pH das polpas de umbu-cajá nas diferentes concentrações. Verifica-se, que, de forma geral, os valores referentes ao pH não apresentam tendências significativas crescentes ou decrescentes, quando relacionados com a concentração de sólidos solúveis totais, de modo que se observa uma variação irregular dos dados obtidos.

Vê-se que o valor médio do pH obtido para a polpa integral (2,62) do umbu-cajá coincide com o valor determinado por SILVA (2003) e os valores obtidos nas demais

concentrações se encontram acima da faixa de resultados (2,01 e 2,09) publicados por LIMA (2002a).

SILVA (1999), em estudos realizados com o fruto da cajazeira, relatou o pH em torno de 2,99, sendo esse valor próximo aos encontrados para a polpa do umbu, de 2,72 e 2,90 descritos por POLICARPO (2002) e NARAIN et al. (1992), respectivamente; assim, o pH do umbu-cajá está mais próximo dos valores do cajá.

O pH inferior a 4,0 classifica o umbu-cajá como fruto muito ácido, condição que inibe o desenvolvimento de um grande número de bactérias (ALVES et al., 2002).

**Tabela 4.2.** Valores médios do pH para a polpa de umbu-cajá a diferentes concentrações.

| Concentração (°Brix) | pH      |
|----------------------|---------|
| 9                    | 2,78 a  |
| 13*                  | 2,62 d  |
| 15                   | 2,70 c  |
| 18                   | 2,77 ab |
| 21                   | 2,75 b  |
| 24                   | 2,62 d  |

\* Polpa integral

DMS = 0,022; MG = 2,71; CV = 0,30%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo.

Obs.: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade

#### 4.1.2. Sólidos totais

Através dos dados da análise de variância (Tabela 4.3) do conteúdo de sólidos totais da polpa de umbu-cajá nas diferentes concentrações, verifica-se diferença significativa a nível de 1% de probabilidade, pelo teste F, entre as amostras.

**Tabela 4.3.** Análise de variância dos sólidos totais para as polpas de umbu-cajá a diferentes concentrações.

| Fonte de variação | G. L. | S. Q.  | Q. M.  | F            |
|-------------------|-------|--------|--------|--------------|
| Tratamentos       | 5     | 388,18 | 77,64  | 19.531,61 ** |
| Resíduo           | 12    | 0,0477 | 0,0040 |              |
| Total             | 17    | 388,23 |        |              |

\*\* : Significativo a nível de 1% de probabilidade

G.L.: Grau de liberdade; S.Q.: Soma dos quadrados; Q.M.: Quadrado médio dos desvios; F.: Variável do teste F

Quanto aos teores médios de sólidos totais da polpa de umbu-cajá (Tabela 4.4) constatou-se, como esperado, o acréscimo dos valores com o aumento dos sólidos solúveis totais (°Brix), ocorrendo diferença significativa entre todas as amostras. O valor médio dos sólidos totais da polpa integral (11,19%) é semelhante ao relatado por DINIZ (2003); já os valores obtidos por SILVA (2003) para a polpa de umbu-cajá e por FERREIRA (2000) para a polpa de umbu, de 10,71% e 8,47%, respectivamente, se encontram abaixo dos valores observados neste trabalho.

Na legislação vigente sobre padrões de identidade e qualidade de polpa de frutas (BRASIL, 2000) não existe nenhuma referência para a polpa de umbu-cajá, porém é estabelecido um valor mínimo de sólidos totais, de 9,5%, para a polpa de cajá e sendo assim, uma vez que se trata de frutas de mesmo gênero, pode-se considerar que a polpa de umbu-cajá integral está dentro do padrão de qualidade, uma vez que seus valores estão em patamares semelhantes.

**Tabela 4.4.** Valores médios dos sólidos totais (%) para as polpas de umbu-cajá a diferentes concentrações

| Concentração (°Brix) | Sólidos totais (%) |
|----------------------|--------------------|
| 9                    | 8,46 f             |
| 13*                  | 11,19 e            |
| 15                   | 13,87 d            |
| 18                   | 15,73 c            |
| 21                   | 18,94 b            |
| 24                   | 22,40 a            |

\* Polpa integral. DMS = 0,17; MG = 15,10%; CV = 0,42%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo.

Obs.: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade



### 4.1.3. Sólidos insolúveis

A Tabela 4.5 apresenta a análise de variância dos valores médios dos sólidos insolúveis (%) para a polpa de umbu-cajá em diferentes concentrações. Verifica-se que houve diferença significativa a nível de 1% de probabilidade pelo teste F, para o fator estudado (concentração)

**Tabela 4.5.** Análise de variância dos sólidos insolúveis para as polpas de umbu-cajá a diferentes concentrações.

| Fonte de variação | G. L. | S. Q.  | Q. M.  | F        |
|-------------------|-------|--------|--------|----------|
| Tratamentos       | 5     | 1,2199 | 0,2440 | 18,78 ** |
| Resíduo           | 12    | 0,1559 | 0,0130 |          |
| Total             | 17    | 1,3758 |        |          |

\*\* : Significativo a nível de 1% de probabilidade

G.L.: Grau de liberdade; S.Q.: Soma dos quadrados; Q.M.: Quadrado médio dos desvios; F.: Variável do teste F

Na Tabela 4.6 tem-se os valores médios dos sólidos insolúveis (%) para a polpa de umbu-cajá em diferentes concentrações e nela se nota que a concentração dos sólidos insolúveis cresce com o aumento da concentração, não havendo diferença significativa entre as polpas com 15, 18, 21 e 24°Brix, que, por sua vez, diferem significativamente dos valores obtidos para a polpa diluída (9°Brix). CARVALHO et al. (2001) em estudos direcionados ao comportamento da parede celular de goiabas, também constataram aumento no percentual de sólidos insolúveis com o acréscimo da concentração dos sólidos solúveis totais.

Os sólidos insolúveis da polpa de umbu-cajá integral estão na mesma faixa de valores determinado por SOARES JUNIOR et al. (2003) para manga, que foi de 1g/100g.

**Tabela 4.6.** Valores médios dos sólidos insolúveis para as polpas de umbu-cajá a diferentes concentrações

| Concentração (°Brix) | Sólidos insolúveis (%) |
|----------------------|------------------------|
| 9                    | 0,72 c                 |
| 13*                  | 1,01 bc                |
| 15                   | 1,26 ab                |
| 18                   | 1,38 a                 |
| 21                   | 1,31 ab                |
| 24                   | 1,50 a                 |

\* Polpa integral

DMS = 0,31; MG = 1,20%; CV = 9,51%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo.

Obs.: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade

#### 4.1.4. Pectina

Pelos dados da análise de variância (Tabela 4.7) do conteúdo de pectinas para a polpa de umbu-cajá em diferentes concentrações, observa-se diferença significativa a nível de 1% de probabilidade entre os tratamentos.

**Tabela 4.7.** Análise de variância do teor de pectina para as polpas de umbu-cajá a diferentes concentrações

| Fonte de variação | G. L. | S. Q.  | Q. M.  | F        |
|-------------------|-------|--------|--------|----------|
| Tratamentos       | 5     | 0,8498 | 0,1700 | 64,62 ** |
| Resíduo           | 12    | 0,0316 | 0,0026 |          |
| Total             | 17    | 0,8814 |        |          |

\*\* : Significativo a nível de 1% de probabilidade

G.L.: Grau de liberdade; S.Q.: Soma dos quadrados; Q.M.: Quadrado médio dos desvios; F.: Variável do teste F

A Tabela 4.8 mostra os valores médios de pectina determinados nas polpas de umbu-cajá em diferentes concentrações. Verifica-se, de forma geral, aumento no percentual de pectinas com o aumento da concentração. Constata-se que não existe, estatisticamente, diferença significativa ( $p < 0,05$ ) entre os teores de pectina das amostras com 13°Brix, 15°Brix e 18°Brix.

O valor de pectina para a amostra a 9°Brix se assemelha-se ao reportado por SILVA et al. (1999), para polpa de cajá, de 0,35% de pectato de cálcio. O valor citado por POLICARPO et al. (2002) de pectina total de 0,636mg/100g para a polpa de umbu encontra-se próximo ao da amostra a 18°Brix. Na polpa integral (13°Brix) o teor de pectina, de 0,57% de pectato de cálcio, representa um conteúdo relativamente pequeno se comparado com outros frutos, como limão (3-4%), banana (0,7-1,2%) e maçã (0,5-1,6%) (FOGARTY & WARD, 1972).

O teor de pectina aumentou cerca de 96% na polpa a 24 °Brix com relação à polpa integral, explicando a alteração de textura observada nesta amostra, mais encorpada em relação às demais, uma vez que, conforme afirmam CHITARRA & CHITARRA (1990), as substâncias pécticas seriam os principais componentes químicos responsáveis pelas mudanças de textura em frutas.

**Tabela 4.8.** Valores médios do teor de pectina das polpas de umbu-cajá a diferentes concentrações.

| Concentração (°Brix) | Pectina (% pectato de cálcio) |
|----------------------|-------------------------------|
| 9                    | 0,3464 d                      |
| 13*                  | 0,5098 c                      |
| 15                   | 0,5722 c                      |
| 18                   | 0,6099 c                      |
| 21                   | 0,8525 b                      |
| 24                   | 1,0005 a                      |

\* Polpa integral

DMS = 0,1407; MG = 0,6486% pectato de cálcio; CV = 7,91%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo.

Obs.: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade

#### 4.1.5. Resíduo mineral fixo (cinzas)

Na Tabela 4.9 encontra-se a análise de variância do resíduo mineral fixo (cinzas) das polpas de umbu-cajá concentradas. Verificam-se diferenças significativas a nível de 1% de probabilidade pelo teste F, entre os tratamentos.

**Tabela 4.9.** Análise de variância do conteúdo mineral (cinzas) para as polpas de umbu-cajá a diferentes concentrações

| Fonte de variação | G. L. | S. Q.  | Q. M.  | F        |
|-------------------|-------|--------|--------|----------|
| Tratamentos       | 5     | 0,8498 | 0,1700 | 91,30 ** |
| Resíduo           | 12    | 0,0223 | 0,0019 |          |
| Total             | 17    | 0,8721 |        |          |

\*\* : Significativo a nível de 1% de probabilidade

G.L.: Grau de liberdade; S.Q.: Soma dos quadrados; Q.M.: Quadrado médio dos desvios; F.: Variável do teste F

O resíduo mineral fixo (cinzas) das polpas de umbu-cajá nas diferentes concentrações (Tabela 4.10), é superior ao obtido por LIMA et al. (2002a) de 0,33%. Constata-se que o valor dessa variável aumenta acompanhando o crescimento da concentração, porém não existe diferença significativa entre as polpas a 15°Brix e 18°Brix, entre 18 e 21 °Brix, nem entre as polpas de 21 e 24°Brix. As cinzas na polpa de umbu-cajá integral (13°Brix) estão na mesma faixa de valor encontrada para o umbu, de 0,53%, determinado por FERREIRA (2000a) e acima do relatado em estudos com acerola (0,46%) realizados por SOARES et al. (2001).

**Tabela 4.10.** Valores médios das cinzas para a polpa de umbu-cajá a diferentes concentrações.

| Concentração (°Brix) | Cinzas (%) |
|----------------------|------------|
| 9                    | 0,4275 e   |
| 13*                  | 0,5428 d   |
| 15                   | 0,7037 c   |
| 18                   | 0,7867 bc  |
| 21                   | 0,9641 ab  |
| 24                   | 1,0723 a   |

\* Polpa integral

DMS = 0,1877; MG = 0,7720%; CV = 8,87%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo.

Obs.: Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade

## 4.2. Estudo reológico

### 4.2.1. Viscosidade

Tem-se, nas Tabelas 4.11 a 4.16, os resultados experimentais das viscosidades aparentes das polpas de umbu-cajá com diferentes concentrações e temperaturas, nas quais se observam reduções das viscosidades aparentes com o aumento da velocidade de rotação; nas amostras com concentrações mais altas (18, 21 e 24°Brix) e velocidades de rotações entre 0,5 e 20 rpm, tal comportamento é estatisticamente diferente ( $p < 0,05$ ) entre todos os valores médios da viscosidade, porém nas demais concentrações (9, 13 e 15°Brix) não existe diferença significativa entre as viscosidades nas velocidades de 50 e 100rpm. Os decréscimos de viscosidade com a velocidade de rotação em todas as concentrações estudadas também foi verificado por EVANGELISTA et al. (2003) ao trabalharem com polpa de umbu. Nota-se aumento dos valores de viscosidade com o aumento dos sólidos solúveis totais (°Brix) em todas as temperaturas, concordando com o estudo de SILVA (1999).

Na Tabela 4.11 tem-se as viscosidades aparentes das polpas de umbu-cajá para cada concentração, em função da velocidade de rotação do spindle. Observam-se reduções das viscosidades aparentes com aumento da velocidade de rotação. De maneira geral são observados, nas velocidades até 50 rpm, valores de viscosidade aparente diferentes entre si, exceto na concentração de 9°Brix, onde diferenças significativas não são detectadas entre 10 e 20 rpm. Entre as velocidades de 50 e 100 rpm também não são constatadas diferenças significativas nas amostras a 9, 13 e 15°Brix.

Ao se analisar os resultados entre concentrações (linhas) ter-se-ão aumentos significativos de viscosidade com aumento da concentração na maioria das amostras entre 9 e 18°Brix, nas velocidades de rotação entre 0,5 e 20. Na velocidade de 50 rpm a viscosidade aparente da polpa a 9°Brix não difere estatisticamente da polpa a 13°Brix, e a polpa a 13°Brix não difere estatisticamente da polpa a 15°Brix. Na velocidade de 100 rpm, as viscosidades das três amostras com menor teor de sólidos solúveis totais não diferem estatisticamente entre si. As maiores viscosidades foram medidas nas concentrações de 18 e 24°Brix, com valores maiores para 24°Brix apenas nas velocidades de 10 e 20 rpm, e estatisticamente iguais nas velocidades de 2,5, 5, 50 e 100 rpm.

Comportamento semelhante com relação ao decréscimo da viscosidade, com o aumento da velocidade de rotação, foi observado por EVANGELISTA et al.(2003) em estudo direcionado ao comportamento reológico de polpas de umbu.

O aumento das viscosidades entre as concentrações extremas de 9 e 24°Brix foi em termos percentuais, de 910%, 1.140%, 1.344%, 1.485%, 1.582%, 1.619% e 1.339%, 1.343%, nas velocidades de 0,5 rpm a 100 rpm, respectivamente.

**Tabela 4.11.** Viscosidades aparentes (Pa.s) das polpas de umbu-cajá em diferentes concentrações a 10°C

| Velocidade<br>de rotação<br>(rpm) | Concentração (°Brix) |          |          |          |          |          |
|-----------------------------------|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                   | 9                    | 13       | 15       | 18       | 21       | 24       |
| 0,5                               | 4,55 aF              | 9,77 aE  | 15,63 aD | 51,12 aA | 34,74 aC | 49,95 aB |
| 1                                 | 2,97 bF              | 6,73 bE  | 11,18 bD | 37,17 bA | 24,82 bC | 36,82 bB |
| 2,5                               | 1,44 cF              | 3,45 cD  | 6,22 cC  | 20,52 cA | 13,67 cB | 20,80 cA |
| 5                                 | 1,08 dE              | 3,03 dD  | 3,80 dC  | 16,80 dA | 11,45 dB | 17,12 dA |
| 10                                | 0,62 eF              | 1,69 eE  | 2,26 eD  | 10,01 eB | 6,99 eC  | 10,43 eA |
| 20                                | 0,37 eF              | 0,85 fE  | 1,34 fD  | 5,89 fB  | 4,26 fC  | 6,36 fA  |
| 50                                | 0,23 fD              | 0,43 gCD | 0,68 gC  | 2,99 gA  | 2,24 gB  | 3,31 gA  |
| 100                               | 0,14 fC              | 0,28 gC  | 0,42 gC  | 1,86 hA  | 1,42 hB  | 2,02 hA  |

DMS colunas = 0,36; DMS para linhas = 0,34; MG = 9,83 Pa.s; CV = 1,67%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo.

Obs.: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade

São observadas na Tabela 4.12, as viscosidades aparentes das polpas de umbu-cajá para cada concentração, em função da rotação do spindle. Constatam-se decréscimos das viscosidades aparentes com aumento da velocidade de rotação. Para as amostras de 18, 21 e 24°Brix são comprovados, nas velocidades até 50 rpm, valores de viscosidade aparente diferentes entre si, exceto na concentração de 21°Brix na qual não são verificadas diferenças significativas das viscosidades entre os valores nas velocidades de 20 e 50 rpm. Nas amostras com menores concentrações de sólidos solúveis totais, 9, 13 e 15°Brix, não são observadas diferenças significativas das viscosidades entre várias velocidades consecutivas, havendo diferença significativa entre os valores, nas duas menores (0,5 e 1,0

rpm) com relação as maiores (2,5 a 100 rpm), entre 1 e 2,5 rpm para a amostra de 9°Brix, entre as viscosidades nas velocidades de 0,5 a 2,5 rpm para a amostra de 13°Brix e entre as viscosidades, nas velocidades de 0,5 a 5 rpm, para a amostra de 15°Brix. Não são observados valores de viscosidade aparente estatisticamente diferentes, entre as velocidades de 50 e 100 rpm.

Analisando-se cada velocidade de rotação separadamente, constata-se aumentos da viscosidade aparente em relação à concentração de sólidos solúveis totais, além de diferenças significativas entre todos os valores na velocidade de rotação mais baixa (0,5 rpm), ao contrário do que se verifica na velocidade mais alta (100 rpm) onde não são observados valores estatisticamente diferentes da viscosidade com relação à concentração. Entre as concentrações de 9 e 21°Brix nas velocidades de 0,5 a 5 rpm, são observados valores que diferem estatisticamente entre si, salvo entre concentrações subsequentes de 9 e 13°Brix e de 13 e 15°Brix na velocidade de 5 rpm onde não existem valores estatisticamente diferentes. Em todos os casos, nas velocidades de 20 e 50 rpm as viscosidades aparentes não diferem estatisticamente entre as concentrações de 9, 13 e 15°Brix nem entre as de 18, 21 e 24°Brix. As maiores viscosidades foram medidas nas concentrações de 18 e 24°Brix, repetindo-se o constatado nos dados determinados na temperatura de 10 °C, apresentados na Tabela 4.11.

Decréscimos da viscosidade aparente com a redução da concentração de sólidos solúveis totais também foram comprovados por SOUZA et al. (2004) em trabalho com polpas de abacaxi e acerola concentradas, e por ALVARO & ROMERO (1989) estudando a viscosidade de diversas polpas de frutas.

O aumento nas viscosidades entre as concentrações extremas 9 e 24°Brix, atingiu em termos percentuais, valores de 1.030%, 945%; 1.120%, 1.190%, 1.239%, 1.278%, 1.143% e 1.244%, respectivamente, para as velocidades de 0,5 rpm a 100 rpm.

**Tabela 4.12.** Viscosidades aparentes (Pa.s) das polpas de umbu-cajá em diferentes concentrações a 20°C

| Velocidade<br>de rotação<br>(rpm) | Concentração (°Brix) |           |          |          |           |          |
|-----------------------------------|----------------------|-----------|----------|----------|-----------|----------|
|                                   | 9                    | 13        | 15       | 18       | 21        | 24       |
| 0,5                               | 4,12 aF              | 8,59 aE   | 12,80 aD | 42,24 aB | 33,32 aC  | 46,56 aA |
| 1                                 | 3,17 aE              | 6,50 bD   | 9,93 bC  | 33,63 bA | 20,99 bB  | 33,13 bA |
| 2,5                               | 1,49 bE              | 3,33 cD   | 5,40 cC  | 18,34 cA | 12,78 cB  | 18,19 cA |
| 5                                 | 0,86 bD              | 1,89 cdCD | 3,18 dC  | 11,05 dA | 7,80 dB   | 11,10 dA |
| 10                                | 0,49 bC              | 1,08 deC  | 1,79 deC | 6,61 eA  | 4,69 eB   | 6,56 eA  |
| 20                                | 0,28 bB              | 0,60 deB  | 1,03 eB  | 3,84 fA  | 2,84 fA   | 3,86 fA  |
| 50                                | 0,16 bB              | 0,31 deB  | 0,52 eAB | 1,92 gA  | 1,49 fgAB | 1,99 gA  |
| 100                               | 0,09 bA              | 0,20 eA   | 0,33 eA  | 1,18 gA  | 0,93 gA   | 1,21 gA  |

DMS colunas = 1,67; DMS para linhas = 1,57; MG = 8,22 Pa.s; CV = 9,32%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo.

Obs.: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade

Na Tabela 4.13 tem-se as viscosidades aparentes das polpas de umbu-cajá para cada concentração, em função da rotação do spindle. Observa-se redução das viscosidades aparente com aumento da velocidade de rotação. De maneira geral, para as polpas de 15, 18, 21 e 24°Brix são constatados, em todas as velocidades, valores de viscosidades aparentes estatisticamente diferentes entre si, exceto entre as velocidades de 50 e 100 rpm, para as polpas de 15 e 21°Brix. Com relação às amostras de menor concentração de sólidos solúveis totais encontram-se valores com diferenças significativas entre as velocidades de 0,5 e 2,5 rpm para a polpa a 9°Brix e entre 0,5 e 10 rpm para a polpa a 13°Brix, não havendo diferença estatística entre as viscosidades aparentes determinadas nas demais velocidades relacionadas a essas amostras.

Entre concentrações tem-se aumento das viscosidades, a medida em que o teor de sólidos solúveis totais aumenta, desde a concentração, de 9 até a de 18 °Brix, ocorrendo diferenças significativas entre todos os valores de viscosidades obtidos na velocidade de 0,5 rpm, o que repete os resultados obtidos para as amostras a 10 e a 20 °C (Tabelas 4.11 e 4.12). Entre as polpas de 9 a 21°Brix são observadas viscosidades estatisticamente



diferentes nas velocidades de 0,5 a 20 rpm, com exceções apenas entre as concentrações subseqüentes de 9 e 13°Brix e de 13 e 15°Brix na velocidade de 20 rpm, resultados esses verificados também para a temperatura de 20 °C (Tabela 4.12) na velocidade de 50 rpm. Nas velocidades de 50 e 100 rpm, as viscosidades das três amostras com menor teor de sólidos solúveis totais não diferem estatisticamente entre si. As maiores viscosidades foram medidas nas concentrações de 18 e 24°Brix, sem diferenças significativas nas velocidades acima de 0,5.

Em estudo com suco clarificado de cajá SILVA et al. (1999) observaram uma viscosidade aparente média de 5,5 Pa.s, valor próximo ao apresentado para a polpa integral de umbu-cajá (5,85 Pa.s) na velocidade de rotação de 1 rpm, a temperatura de 30°C.

O aumento nas viscosidades entre as concentrações extremas, 9 e 24°Brix atingiu, nas velocidades de 0,5 rpm a 100 rpm, os percentuais de 1.141%, 1.153%, 1.547%, 1.102%, 1.823%, 2.372%, 1.491% e 1.428%, respectivamente.

**Tabela 4.13.** Viscosidades aparentes (Pa.s) das polpas de umbu-cajá em diferentes concentrações a 30°C

| Velocidade<br>de rotação<br>(rpm) | Concentração (°Brix) |           |          |          |          |          |
|-----------------------------------|----------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
|                                   | 9                    | 13        | 15       | 18       | 21       | 24       |
| 0,5                               | 3,22 aF              | 7,38 aE   | 11,42 aD | 38,78 aB | 29,16 aC | 39,96 aA |
| 1                                 | 2,37 bE              | 5,85 bD   | 9,50 bC  | 29,51 bA | 19,44 bB | 29,69 bA |
| 2,5                               | 0,99 cE              | 2,89cD    | 5,29 cC  | 16,75 cA | 11,42 cB | 16,31 cA |
| 5                                 | 0,55 cdE             | 1,71dD    | 3,09 dC  | 10,03 dA | 6,81 dB  | 6,61dA   |
| 10                                | 0,30 deE             | 0,99 eD   | 1,71 eC  | 5,92 eA  | 3,94 eB  | 5,77 eA  |
| 20                                | 0,18 deD             | 0,57 efCD | 0,93 fC  | 3,47 fA  | 2,24 fB  | 4,45 fA  |
| 50                                | 0,11 deC             | 0,28 fC   | 0,46 gC  | 1,68 gA  | 1,15 gB  | 1,75 gA  |
| 100                               | 0,07 eC              | 0,19 fC   | 0,28 gBC | 1,04 hA  | 0,71gAB  | 1,07 hA  |

DMS colunas = 0,47; DMS para linhas = 0,44; MG = 7,28 Pa.s; CV = 2,97%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo.

Obs: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade

Na Tabela 4.14 tem-se as viscosidades aparentes das polpas de umbu-cajá para cada concentração, em função da rotação do spindle. Constatam-se decréscimos das viscosidades aparentes com aumento da velocidade de rotação. Para as amostras de 15 a 24°Brix, são observados, entre todas as velocidades de rotação, valores de viscosidades aparentes estatisticamente diferentes entre si, exceto na concentração de 15°Brix, na qual não são verificadas diferenças entre as velocidades de 50 e 100 rpm. Nas amostras com menores concentrações de sólidos solúveis totais, 9 e 13 °Brix, não se notam diferenças significativas entre várias velocidades consecutivas, havendo diferença significativa, na ordem de aumento da velocidade, entre as velocidades de 0,5 a 5 rpm para a amostra de 9 °Brix e de 0,5 a 20 rpm para a amostra a 13°Brix.

Para cada velocidade de rotação em particular, verificaram-se acréscimos de viscosidade aparente em relação à concentração de sólidos solúveis totais, assim como nas temperaturas de 10, 20 e 30 °C (Tabelas 4.11, 4.12 e 4.13), que todos os valores de viscosidades determinados para a velocidade de 0,5 rpm diferem estatisticamente entre si, repetindo-se para a temperatura de 40 °C nas velocidades de 0,5 a 5 rpm. Não são notadas diferenças significativas entre as amostras de 18 e 24 °Brix nas velocidades acima de 10 rpm nem entre as amostras com concentração de 13 e 15°Brix nas velocidades mais altas (20 a 100 rpm), ocorrendo da mesma maneira entre a polpa de 9 e 13 °Brix na velocidade de 50 rpm. As maiores viscosidades foram medidas nas concentrações de 18 e 24°Brix, repetindo-se o constatado nas temperaturas de 10, 20 e 30 °C, conforme as Tabelas 4.11, 4.12 e 4.13.

Em estudo a respeito do comportamento reológico do suco de mirtilo CEPEDA et al. (2002) também observaram reduções das viscosidades aparentes com o aumento da temperatura e acréscimo da mesma com aumento da concentração de sólidos solúveis totais.

Em termos percentuais, o aumento nas viscosidades entre as concentrações extremas, 9 e 24°Brix, atingiu nas velocidades de 0,5 rpm a 100 rpm, 1.334%, 1.532%, 2.064%, 2.217%, 2.343%, 2.314%, 2.075% e 2.020% respectivamente.

**Tabela 4.14.** Viscosidades aparentes (Pa.s) das polpas de umbu-cajá em diferentes concentrações a 40°C

| Velocidade<br>de rotação<br>(rpm) | Concentração (°Brix) |           |          |          |          |          |
|-----------------------------------|----------------------|-----------|----------|----------|----------|----------|
|                                   | 9                    | 13        | 15       | 18       | 21       | 24       |
| 0,5                               | 2,67 Af              | 7,68 aE   | 10,17 aD | 35,25 aB | 23,45 aC | 38,30 aA |
| 1                                 | 1,75 bF              | 6,18 bE   | 8,16 bD  | 27,98 bB | 18,55 bC | 28,57 bA |
| 2,5                               | 0,75 cF              | 3,10 cE   | 4,44 cD  | 17,11 cA | 11,14 cC | 16,23 cB |
| 5                                 | 0,41 dF              | 1,71 dE   | 2,46 dD  | 10,04 dA | 6,59 dC  | 9,50 dB  |
| 10                                | 0,23 deE             | 0,97 eD   | 1,41 eC  | 5,61 eA  | 3,86 eB  | 5,67 eA  |
| 20                                | 0,14 deD             | 0,52 fC   | 0,78 fC  | 3,17 fA  | 2,24 fB  | 3,38 fA  |
| 50                                | 0,08 eD              | 0,28 fgCD | 0,38 gC  | 1,46 gA  | 1,07 gB  | 1,74 gA  |
| 100                               | 0,05 eE              | 0,19 gC   | 0,23 gC  | 0,88 hAB | 0,65 hB  | 1,06 hA  |

DMS colunas = 0,32; DMS para linhas = 0,30; MG = 6,84 Pa.s; CV = 2,13%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade

Tem-se, na Tabela 4.15, as viscosidades aparentes das polpas de umbu-cajá para cada concentração, em função da rotação do spindle, e decréscimo das viscosidades com o aumento da velocidade de rotação. Para as amostras de 13 a 24°Brix são observados, entre todas as velocidades, valores de viscosidade aparente significativamente diferentes entre si, exceto nas concentrações de 13 e 15°Brix onde não são verificadas diferenças significativas entre as velocidades mais altas (50 e 100 rpm). Na amostra de menor concentração de sólidos solúveis totais (9°Brix) notam-se diferenças significativas entre os valores obtidos nas velocidades abaixo de 5 rpm, não havendo diferença significativa entre as viscosidades a 10 rpm e a rotações superiores.

Constatarem-se acréscimos da viscosidade aparente em relação à concentração de sólidos solúveis totais para cada velocidade de rotação isoladamente. É possível observar que todos os valores das viscosidades, obtidos entre as concentrações nas velocidades abaixo de 50 rpm, diferem estatisticamente entre si e, nas velocidades mais altas, valores sem diferença estatística entre as concentrações subseqüentes de 9 e 13°Brix e de 13 e 15°Brix para as velocidades de 50 rpm e 100 rpm, assim como entre as concentrações de

18 e 21°Brix e de 18 e 24°Brix para a velocidade de 100 rpm. As maiores viscosidades foram medidas na concentração de 24°Brix, diferindo do que se obteve para as temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C, apresentado nas Tabelas de 4.11 a 4.14, onde os maiores valores se alternavam entre as concentrações de 18 e 24°Brix.

O aumento nas viscosidades entre as concentrações extremas, 9 e 24°Brix atingiu, em termos percentuais, 1.295%, 1.319%; 1.829%, 1.990%, 2.108%, 2.035%, 1.533% e 1.489%, nas velocidades de 0,5 rpm a 100 rpm, respectivamente.

Assim como para o umbu-cajá, a relação entre a viscosidade do suco de uva e o teor de sólidos solúveis totais é decrescente, ao passo que decresce a concentração, sendo este comportamento inverso com relação ao aumento do gradiente de temperatura (BAYINDIRLI, 1993).

**Tabela 4.15.** Viscosidades aparentes (Pa.s) das polpas de umbu-cajá em diferentes concentrações a 50°C

| Velocidade<br>de rotação<br>(rpm) | Concentração (°Brix) |           |         |          |          |          |
|-----------------------------------|----------------------|-----------|---------|----------|----------|----------|
|                                   | 9                    | 13        | 15      | 18       | 21       | 24       |
| 0,5                               | 2,57 aF              | 6,45 aE   | 9,66 aD | 27,70 aB | 20,49 aC | 35,85 aA |
| 1                                 | 1,82 bF              | 5,10 bE   | 7,55 bD | 21,45 bB | 18,17 bC | 25,84 bA |
| 2,5                               | 0,79 cF              | 2,65 cE   | 4,26 cD | 12,81 cB | 11,70 cC | 15,24 cA |
| 5                                 | 0,43 dF              | 1,48 dE   | 2,52 dD | 7,53 dB  | 6,60 dC  | 8,99 dA  |
| 10                                | 0,24 deF             | 0,85 eE   | 1,50 eD | 4,22 eB  | 3,62 eC  | 5,30 eA  |
| 20                                | 0,14 eff             | 0,48 fE   | 0,82 fD | 2,36 fB  | 1,99 fC  | 2,99 fA  |
| 50                                | 0,09 eD              | 0,24 fgCD | 0,37 gC | 1,10 gB  | 0,97 gB  | 1,47 gA  |
| 100                               | 0,056 eC             | 0,15 gC   | 0,23 gC | 0,65 hAB | 0,60 hB  | 0,89 hA  |

DMS colunas = 0,25; DMS para linhas = 0,24; MG = 6,03 Pa.s; CV = 1,91%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade

Na Tabela 4.16 tem-se as viscosidades aparentes das polpas de umbu-cajá para cada concentração, em função da rotação do spindle. Verificadas reduções das

viscosidades aparentes com aumento da velocidade de rotação e, para as amostras de 15 a 24°Brix, de maneira geral, entre todas as velocidades de rotação, valores de viscosidades aparentes estatisticamente diferentes entre si, exceto na concentração de 15 e 21°Brix, nas quais não são verificadas diferenças significativas nas viscosidades entre as velocidades mais altas (50 e 100 rpm). Nas amostras com menores concentrações de sólidos solúveis totais, 9 e 13°Brix, não são observadas diferenças significativas entre várias velocidades consecutivas, ocorrendo diferença significativa entre as velocidades consecutivas de 0,5 a 5 rpm, para a amostra de 9°Brix, e de 0,5 a 20 rpm para a amostra de 13°Brix.

Comprovaram-se acréscimos da viscosidade aparente em relação à concentração de sólidos solúveis totais para cada velocidade de rotação isoladamente e, de maneira geral, entre as concentrações de 13 a 24°Brix todos os valores das viscosidades diferem estatisticamente entre si, nas velocidades de 0,5 a 20 rpm. Nas velocidades mais elevadas não há diferença significativa entre as amostras de 9 e 13°Brix, de 13 e 15 °Brix, de 15 e 21°Brix, e de 18 e 21°Brix na velocidade de 50 rpm, nem entre 9, 13 e 15°Brix, entre 13, 15 e 21°Brix, e entre 15, 18 e 21°Brix na velocidade de 100rpm. Como verificado na Tabela 4.15, os maiores valores das viscosidades foram obtidos na amostra com maior teor de sólidos solúveis totais (24°Brix).

O aumento nas viscosidades, entre as concentrações extremas, 9 e 24°Brix atingiu, em termos percentuais, 1.247%, 1.340%; 2.308%, 2.448%, 2.006%, 2.016%, 1.685% e 1.775%, respectivamente, nas velocidades de 0,5 rpm a 100 rpm.

CEPEDA & VILLARÁN (1999) observaram, em estudo com o suco de *Mahus floribunda*, comportamento da viscosidade aparente bem semelhante ao aqui relatado, com tendências contínuas de acréscimos de viscosidade com aumento da concentração de sólidos solúveis totais.

**Tabela 4.16.** Viscosidades aparentes (Pa.s) das polpas de umbu-cajá em diferentes concentrações a 60°C

| Velocidade<br>de rotação<br>(rpm) | Concentração (°Brix) |          |           |          |          |          |
|-----------------------------------|----------------------|----------|-----------|----------|----------|----------|
|                                   | 9                    | 13       | 15        | 18       | 21       | 24       |
| 0,5                               | 2,441 aF             | 4,40 aE  | 10,35 aD  | 15,88 aB | 12,99 aC | 32,88 aA |
| 1                                 | 1,552 bF             | 3,08 bE  | 7,17 bD   | 11,34 bB | 9,17 bC  | 22,33 bA |
| 2,5                               | 0,57 cF              | 1,80 cE  | 3,79 cD   | 4,33 cC  | 5,31 cB  | 13,73 cA |
| 5                                 | 0,31 dF              | 0,97 dE  | 2,22 dD   | 4,33 cB  | 2,95 dC  | 7,90 dA  |
| 10                                | 0,21 deF             | 0,53 eE  | 1,30 eD   | 2,34 dB  | 1,72 eC  | 4,55 eA  |
| 20                                | 0,12 deE             | 0,29 fE  | 0,76 fD   | 1,27 eB  | 1,01 fC  | 2,54 fA  |
| 50                                | 0,07 eE              | 0,15 fDE | 0,36 gCD  | 0,68 fB  | 0,47 gBC | 1,25 gA  |
| 100                               | 0,04 eD              | 0,11 fCD | 0,23 gBCD | 0,37 gB  | 0,28 gBC | 0,75 hA  |

DMS colunas = 0,23; DMS para linhas = 0,22; MG = 4,23 Pa.s; CV = 2,50%

MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo

Obs.: Médias seguidas pelas mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade

Apresentaram-se, nas Tabelas 4.17 a 4.24, os resultados dos ajustes lineares aos dados experimentais das viscosidades aparentes das polpas de umbu-cajá, em função da temperatura, para as diferentes concentrações e velocidades de rotação.

Tem-se, na Tabela 4.17, o resumo dos ajustes aos dados de viscosidade experimentais, em função da temperatura, por equações lineares e os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para a polpa de umbu-cajá em seis concentrações, na velocidade de 0,5 rpm. Os coeficientes de determinação acima de 0,94 indicam uma adequação razoável das equações do tipo linear, na interpretação do efeito da temperatura sobre as viscosidades aparentes do material estudado. A média dos valores de  $R^2$  atingiu valor igual a 0,968, isto significa que 96,8% da variação em torno da média é explicada pela regressão, ficando apenas 3,2% com os resíduos.

**Tabela 4.17.** Equações lineares propostas para o cálculo da viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá, em função da temperatura para a velocidade de 0,5 rpm

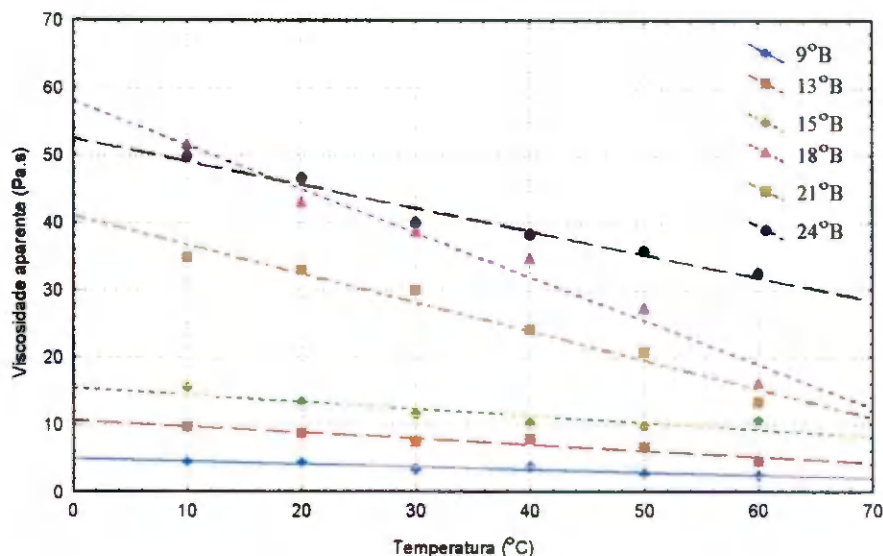
| Concentração (°Brix) | Equação                    | R <sup>2</sup> |
|----------------------|----------------------------|----------------|
| 9                    | $\eta = 4,9036 - 0,0429T$  | 0,945          |
| 13                   | $\eta = 10,5519 - 0,0912T$ | 0,951          |
| 15                   | $\eta = 15,4437 - 0,1062T$ | 0,961          |
| 18                   | $\eta = 57,9051 - 0,6513T$ | 0,985          |
| 21                   | $\eta = 40,9821 - 0,4299T$ | 0,982          |
| 24                   | $\eta = 52,5703 - 0,3449T$ | 0,983          |

$\eta$  = viscosidade aparente (Pa.s); T = temperatura (°C)

Nas Figuras 4.1 a 4.8 são expostas as representações gráficas das viscosidades aparentes obtidas em oito velocidades de rotação para as amostras da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas de sólidos solúveis totais (9, 13\*, 15, 18, 21e 24°Brix) em função das temperaturas trabalhadas. Observam-se, em todas as figuras, tendência de redução da viscosidade aparente com aumento da rotação e da temperatura, ocasionando declínio nas retas plotadas, sendo possível observar a convergência de todas as retas para valores cada vez menores de viscosidade.

Na Figura 4.1 tem-se a representação gráfica dos ajustes lineares aos valores experimentais de viscosidade aparente, em função da temperatura, da polpa de umbu-cajá em seis concentrações, na velocidade de 0,5 rpm. Evidenciam-se decréscimos de viscosidade em todas as amostras com o aumento de temperatura. Nas amostras de maior concentração, 18, 21 e 24°Brix, constatam-se decréscimos mais acentuados a medida em que as amostras passam por aquecimento. Viscosidades maiores acompanham as amostras mais concentradas, exceto no caso da polpa a 18°Brix e na temperatura de 10°C.

Aspectos semelhantes de decréscimos de viscosidade com aumento da temperatura, também foram relatados por EVANGELISTA et al. (2003) ao trabalharem com polpa de umbu em várias concentrações.



**Figura 4.1.** Variação da viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 0,5 rpm

Na Tabela 4.18 tem-se as equações lineares e os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos ajustes aos dados experimentais da viscosidade aparente, em função da temperatura para a polpa de umbu-cajá, em seis concentrações, na velocidade de 1 rpm. Os  $R^2$  resultaram em valores inferiores aos obtidos com as equações de ajuste na velocidade de 0,5 rpm, exceto nas concentrações de 15 e 24°Brix, variando numa amplitude maior, entre 0,91 e 0,99 e se situando ainda em um nível razoável para a interpretação do comportamento das viscosidades com a variação de temperatura; enfim, o valor médio para o coeficiente de determinação foi de 0,951.

**Tabela 4.18.** Equações lineares propostas para o cálculo da viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá, em função da temperatura para a velocidade de 1 rpm

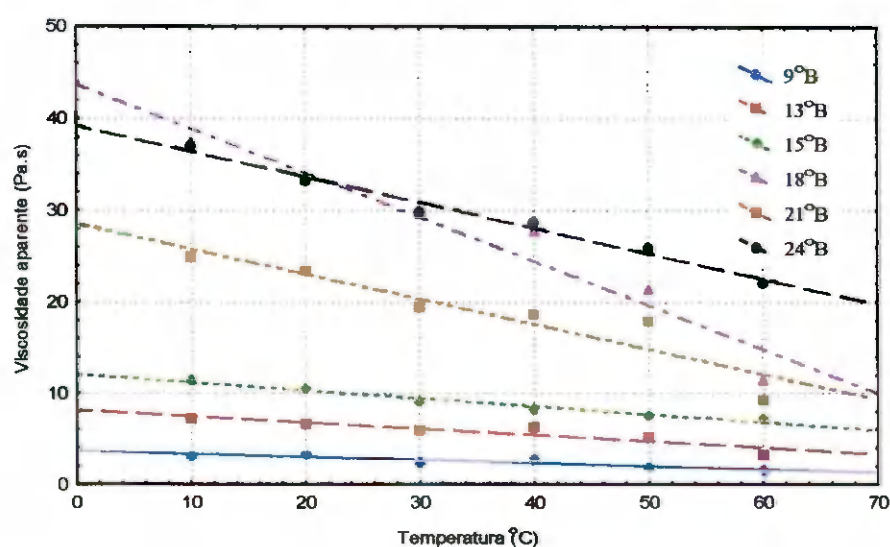
| Concentração (°Brix) | Equação                    | $R^2$ |
|----------------------|----------------------------|-------|
| 9                    | $\eta = 3,5534 - 0,0330T$  | 0,925 |
| 13                   | $\eta = 8,0616 - 0,0692T$  | 0,911 |
| 15                   | $\eta = 11,9901 - 0,0876T$ | 0,983 |
| 18                   | $\eta = 43,642 - 0,4817T$  | 0,967 |
| 21                   | $\eta = 28,4819 - 0,2741T$ | 0,931 |
| 24                   | $\eta = 39,2280 - 0,2779T$ | 0,990 |

$\eta$  = viscosidade aparente (Pa.s); T = temperatura (°C)



A Figura 4.2 mostra os pontos representativos das viscosidades aparentes obtidas experimentalmente em função da temperatura, na velocidade de 1 rpm, para a polpa de umbu-cajá nas seis concentrações e com ajustes lineares aos pontos experimentais. Visualiza-se reduções de viscosidade em todas as amostras, com o aumento de temperatura, reduções que se intensificam nas três maiores concentrações, 18, 21 e 24 °Brix, de forma análoga ao ocorrido na velocidade de 0,5 rpm, mostrado na Figura 4.1, de mesma forma, as amostras de maior concentração apresentam as maiores viscosidades, exceto no caso da polpa a 18 °Brix na temperatura de 10 °C.

CABRAL (2001) ao trabalhar com polpa de cupuaçu, observou reduções nas viscosidades com a redução do teor de sólidos solúveis totais (°Brix).



**Figura 4.2.** Variação da viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 1 rpm

Na Tabela 4.19 tem-se as equações lineares e os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos ajustes aos dados experimentais da viscosidade, em função da temperatura, para a polpa de umbu-cajá em seis concentrações, na velocidade de 2,5 rpm. Os valores obtidos para o coeficiente de determinação se situaram acima de 0,90 para as viscosidades de cinco entre as seis concentrações estudadas; já para a concentração de 21 °Brix tem-se o pior  $R^2$  entre todos os ajustes propostos, em todas as velocidades de rotação utilizadas. A média dos valores de  $R^2$  da Tabela 4.19 resultou em valor igual a 0,927.

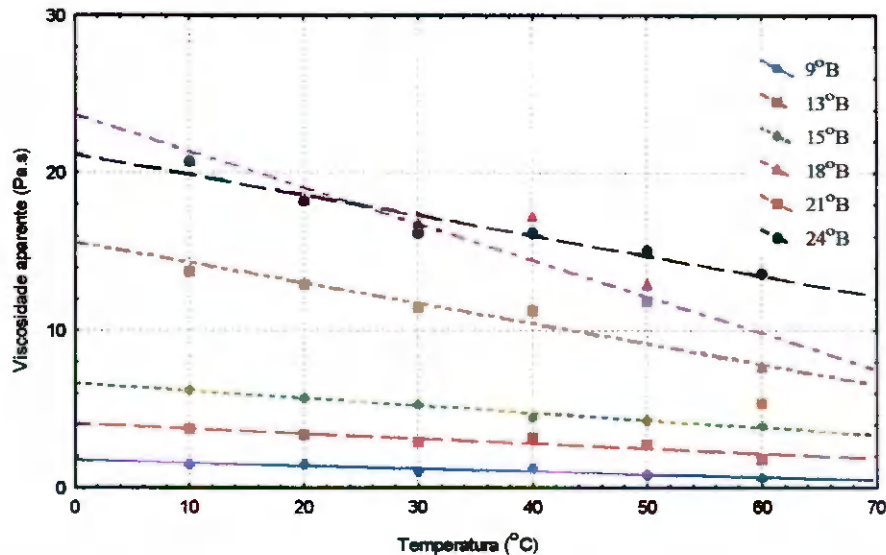
**Tabela 4.19.** Equações lineares propostas para o cálculo da viscosidade da polpa de umbu-cajá, em função da temperatura para a velocidade de 2,5 rpm

| Concentração (°Brix) | Equação                    | R <sup>2</sup> |
|----------------------|----------------------------|----------------|
| 9                    | $\eta = 1,7048 - 0,0181T$  | 0,942          |
| 13                   | $\eta = 4,0355 - 0,0321T$  | 0,920          |
| 15                   | $\eta = 6,6094 - 0,0470T$  | 0,987          |
| 18                   | $\eta = 23,6466 - 0,2312T$ | 0,933          |
| 21                   | $\eta = 15,5809 - 0,1293T$ | 0,815          |
| 24                   | $\eta = 21,1865 - 0,1284T$ | 0,963          |

$\eta$  = viscosidade aparente (Pa.s); T = temperatura (°C)

Apresentam-se, na Figura 4.3, os ajustes lineares aos pontos experimentais da viscosidade aparente versus temperatura, para as amostras de umbu-cajá, na velocidade de rotação de 2,5 rpm. Das inclinações das curvas apresentadas nesta figura, constata-se diminuição das viscosidades em todas as amostras, com o aumento de temperatura. Acima da temperatura de 10°C, as amostras de maior concentração são responsáveis pelas maiores viscosidades. Comparando-as com as Figuras 4.1 e 4.2, observa-se que todas as curvas, para cada concentração, partem e terminam de valores iniciais e finais de viscosidade, inferiores aos observados para a velocidade de 0,5 rpm mostrados na Figura 4.1.

Com base no decréscimo de viscosidade aparente com o aumento da temperatura, OLIVEIRA (1997) em estudo com acerola, constatou comportamento semelhante.



**Figura 4.3.** Variação da viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 2,5 rpm

Na Tabela 4.20 encontram-se as equações lineares e os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos ajustes aos dados experimentais da viscosidade aparente, em relação à temperatura para a polpa de umbu-cajá em seis concentrações, na velocidade de 5 rpm. Os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) se situam em sua grande maioria, acima de 0,90, indicando um ajuste razoável das equações lineares sobre o comportamento viscoso das amostras analisadas, porém a amostra de maior concentração acompanha um  $R^2$ , determinação abaixo do observado nas demais amostras, enquanto a média dos valores de  $R^2$  atingiu valor igual a 0,92.

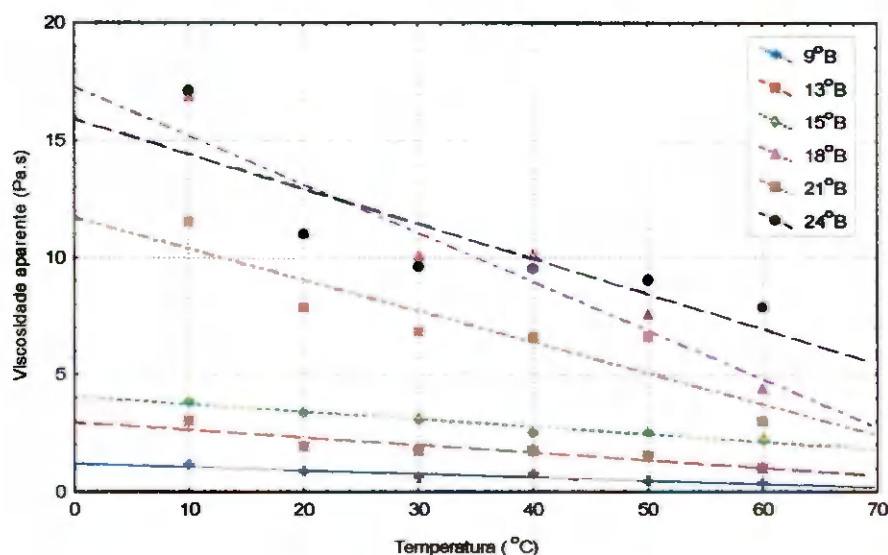
**Tabela 4.20.** Equações lineares propostas para o cálculo da viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá, em função da temperatura para a velocidade de 5 rpm

| Concentração (°Brix) | Equação                    | $R^2$ |
|----------------------|----------------------------|-------|
| 9                    | $\eta = 1,1579 - 0,0143T$  | 0,931 |
| 13                   | $\eta = 2,9218 - 0,0323T$  | 0,908 |
| 15                   | $\eta = 4,0350 - 0,0322T$  | 0,974 |
| 18                   | $\eta = 17,2564 - 0,2079T$ | 0,939 |
| 21                   | $\eta = 11,6835 - 0,1329T$ | 0,909 |
| 24                   | $\eta = 15,9258 - 0,1491T$ | 0,845 |

$\eta$  = viscosidade aparente (Pa.s); T = temperatura (°C)

São notados, na Figura 4.4, os ajustes lineares aos pontos experimentais da viscosidade aparente versus temperatura, para as amostras de umbu-cajá, na velocidade de rotação de 5 rpm e, ainda, o efeito da temperatura sobre o comportamento viscoso das polpas de umbu-cajá nas concentrações estudadas, cujas curvas apresentam comportamento decrescente de viscosidade, com o aumento de temperatura, sendo os decréscimos mais evidentes nas amostras com maior concentração de sólidos solúveis totais.

Ao trabalharem com polpa de umbu, EVANGELISTA et al. (2003) também observaram acréscimos da viscosidade aparente com aumento da concentração de sólidos solúveis totais das amostras.



**Figura 4.4.** Variação da viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 5 rpm

Na Tabela 4.21 tem-se as equações lineares acompanhadas de seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) para os ajustes aos dados experimentais das viscosidades aparentes, relacionadas à temperatura para a polpa de umbu-cajá nas concentrações estudadas na velocidade de 10 rpm. Os  $R^2$  variam de 0,95 a 0,85 resultando no mesmo valor médio observado para a velocidade de 5 rpm (Tabela 4.20) possuindo ainda um nível razoável para a interpretação do comportamento das viscosidades com a variação da temperatura.

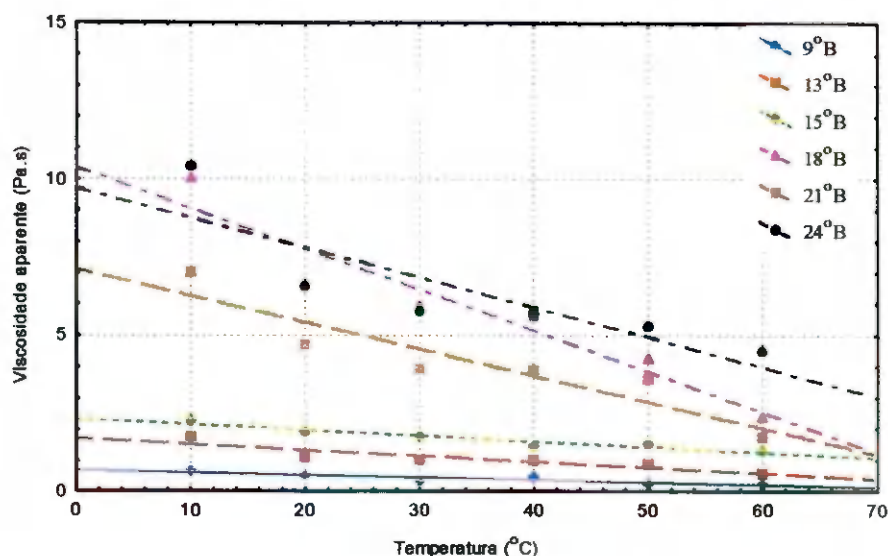
**Tabela 4.21.** Equações lineares propostas para o cálculo da viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá, em função da temperatura para a velocidade de 10 rpm

| Concentração (°Brix) | Equação                    | R <sup>2</sup> |
|----------------------|----------------------------|----------------|
| 9                    | $\eta = 0,6576 - 0,0079T$  | 0,915          |
| 13                   | $\eta = 1,6845 - 0,0189T$  | 0,912          |
| 15                   | $\eta = 2,3221 - 0,0185T$  | 0,951          |
| 18                   | $\eta = 10,3576 - 0,1307T$ | 0,955          |
| 21                   | $\eta = 7,0965 - 0,0848T$  | 0,926          |
| 24                   | $\eta = 9,7249 - 0,0955T$  | 0,855          |

$\eta$  = viscosidade aparente (Pa.s); T = temperatura (°C)

A Figura 4.5 indica os ajustes lineares aos pontos experimentais de viscosidade aparente versus temperatura, para as amostras de umbu-cajá, na rotação de 10 rpm. De acordo com os resultados obtidos para as concentrações de 0,5 a 5 rpm, verificam-se reduções de viscosidade aparente com o aumento de temperatura para todas as concentrações estudadas, com curvas de inclinação mais acentuadas nas amostras de maior concentração.

O comportamento viscoso do suco de laranja foi representado graficamente, de maneira similar, por HERNANDEZ et al. (1995) ao relacionarem os decréscimos da viscosidade e o aumento da temperatura.



**Figura 4.5.** Variação da viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 10 rpm

Na Tabela 4.22 são expostos as equações lineares e os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos ajustes aos dados experimentais da viscosidade aparente, em função da temperatura, para a polpa de umbu-cajá em seis concentrações, na velocidade de 20 rpm. Para cinco entre as seis concentrações estudadas, os valores dos coeficientes de determinação são superiores a 0,91; já para a concentração de 24 °Brix, tem-se o pior  $R^2$  entre todos os ajustes propostos nesta rotação. A média dos valores de  $R^2$  da Tabela 4.22 é igual a 0,922.

**Tabela 4.22.** Equações lineares propostas para o cálculo da viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá, em função da temperatura para a velocidade de 20 rpm

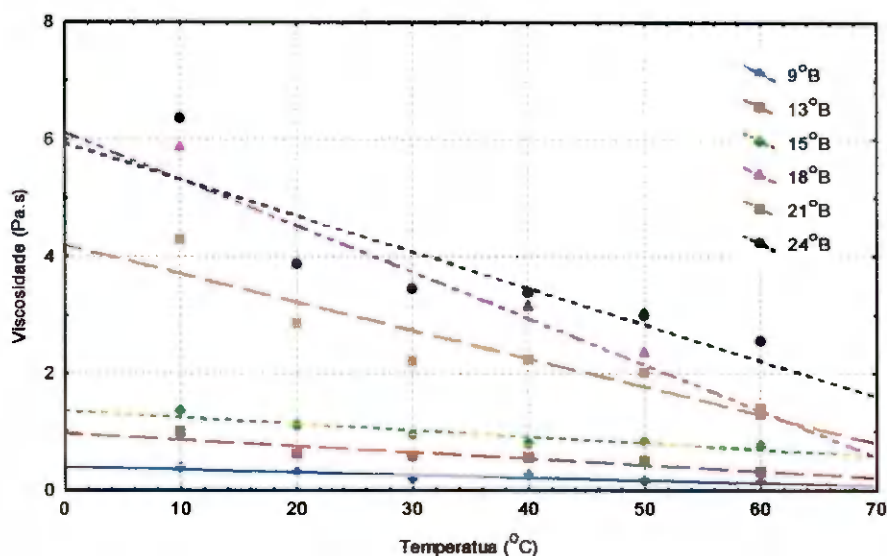
| Concentração (°Brix) | Equação                   | $R^2$ |
|----------------------|---------------------------|-------|
| 9                    | $\eta = 0,1441 - 0,0018T$ | 0,928 |
| 13                   | $\eta = 0,3070 - 0,0033T$ | 0,915 |
| 15                   | $\eta = 0,4277 - 0,0039T$ | 0,919 |
| 18                   | $\eta = 1,9185 - 0,0263T$ | 0,959 |
| 21                   | $\eta = 1,4398 - 0,0192T$ | 0,942 |
| 24                   | $\eta = 1,9040 - 0,0210T$ | 0,872 |

$\eta$  = viscosidade aparente (Pa.s); T = temperatura (°C)



A Figura 4.6 apresenta os ajustes lineares aos pontos experimentais de viscosidade aparente versus temperatura, para as amostras de umbu-cajá, na velocidade de rotação de 20 rpm. O conjunto de resultados apresentados na Figura 4.6 praticamente repete o observado no comportamento da viscosidade com os aumentos de temperatura, em velocidades de rotação mais baixas, na qual se notam valores mais reduzidos de viscosidade, em relação às rotações mais baixas, desde as menores temperaturas, com viscosidades aparentes abaixo de 8 Pa.s.

Pesquisando o efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura, BRANCO et al. (2003), constataram comportamento viscoso do fluido, semelhante ao observado neste trabalho para o umbu-cajá.



**Figura 4.6.** Variação da viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 20 rpm

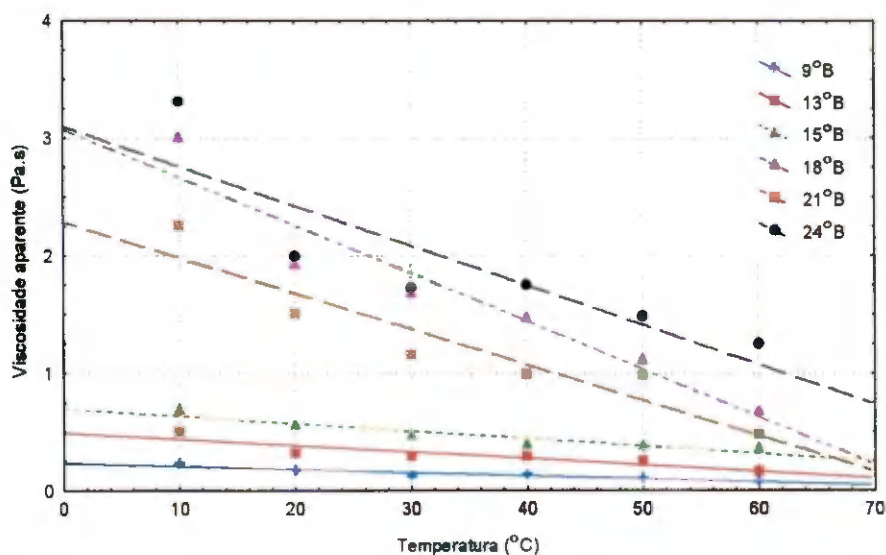
A Tabela 4.23 relaciona as equações lineares e os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos ajustes aos dados experimentais da viscosidade aparente, relacionados com a temperatura para a polpa de umbu-cajá em concentrações distintas, na velocidade de 50 rpm. Os  $R^2$  são superiores a 0,91, exceto para a amostra de 24°Brix, demonstrando que as equações lineares se enquadram, de modo razoável, na interpretação do efeito da temperatura sobre a viscosidade do material estudado. A média dos valores de  $R^2$  atingiu valor igual a 0,925.

**Tabela 4.23.** Equações lineares propostas para o cálculo da viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá, em função da temperatura para a velocidade de 50 rpm

| Concentração (°Brix) | Equação                   | R <sup>2</sup> |
|----------------------|---------------------------|----------------|
| 9                    | $\eta = 0,2225 - 0,0026T$ | 0,935          |
| 13                   | $\eta = 0,4834 - 0,0055T$ | 0,910          |
| 15                   | $\eta = 0,6921 - 0,0064T$ | 0,938          |
| 18                   | $\eta = 3,0667 - 0,0408T$ | 0,958          |
| 21                   | $\eta = 2,2794 - 0,0303T$ | 0,942          |
| 24                   | $\eta = 3,0983 - 0,0337T$ | 0,869          |

$\eta$  = viscosidade aparente (Pa.s); T = temperatura (°C)

Apresentam-se, na Figura 4.7, os ajustes lineares aos pontos experimentais da viscosidade aparente versus temperatura, para as amostras de umbu-cajá, na rotação de 50 rpm. Das inclinações das curvas apresentadas nesta figura, constatam-se reduções das viscosidades, em todas as amostras, com relação ao aumento da temperatura, repetindo o que se constatou em velocidades de rotações menores. De maneira geral, as maiores concentrações são responsáveis pelas também maiores viscosidades, exceto para a polpa de 18<sup>o</sup>Brix que apresenta viscosidades superiores às observadas na polpa a 21<sup>o</sup>Brix.



**Figura 4.7.** Variação da viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura, na velocidade de 50 rpm.



Na Tabela 4.24 encontram-se as equações lineares e os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) dos ajustes aos dados experimentais da viscosidade aparente em relação à temperatura, para a polpa de umbu-cajá em seis concentrações, na velocidade de 100 rpm. Os coeficientes de determinação se encontram, em sua grande maioria, com valor superior a 0,91; no entanto, como ocorrido entre as velocidades de 5 a 50 rpm (Tabela 4.20 a 4.23) a amostra de maior concentração acompanha um índice de determinação abaixo do observado nas demais amostras, indicando um ajuste razoável das equações lineares sobre o comportamento viscoso das amostras analisadas. A média dos valores de  $R^2$  atingiu valor igual a 0,922.

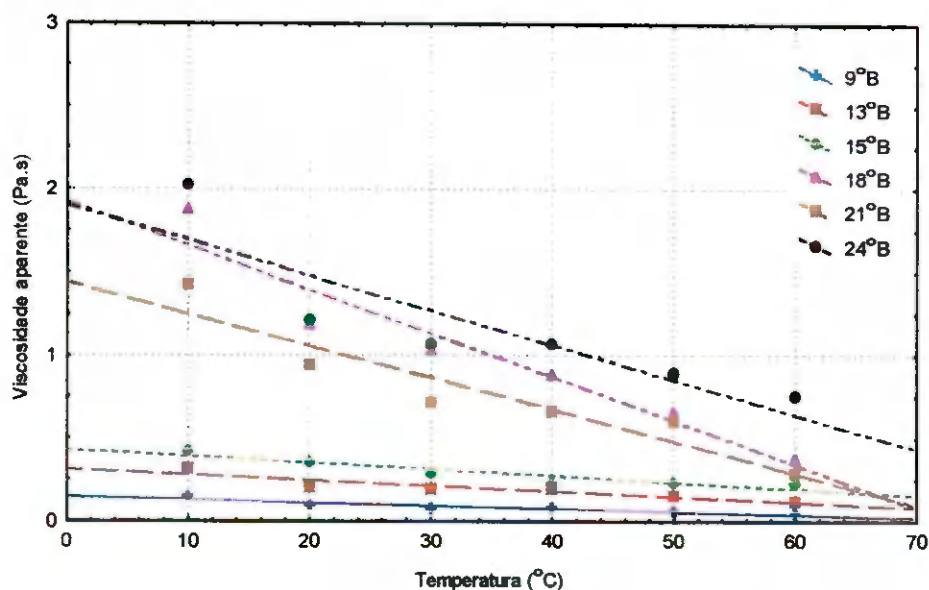
**Tabela 4.24.** Equações lineares propostas para o cálculo da viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá, em função da temperatura para a velocidade de 100 rpm

| Concentração (°Brix) | Equação                   | $R^2$ |
|----------------------|---------------------------|-------|
| 9                    | $\eta = 0,1441 - 0,0018T$ | 0,928 |
| 13                   | $\eta = 0,3070 - 0,0033T$ | 0,915 |
| 15                   | $\eta = 0,4277 - 0,0039T$ | 0,919 |
| 18                   | $\eta = 1,9185 - 0,0263T$ | 0,959 |
| 21                   | $\eta = 1,4398 - 0,0192T$ | 0,942 |
| 24                   | $\eta = 1,9040 - 0,0210T$ | 0,872 |

$\eta$  = viscosidade aparente (Pa.s); T = temperatura (°C)

Na Figura 4.8 apresentam-se os ajustes lineares aos pontos experimentais da viscosidade aparente versus temperatura, para as amostras de umbu-cajá, na rotação de 100 rpm. Todas as curvas mostram comportamento decrescente da viscosidade com a temperatura, com destaque para as amostras de maior concentração.

No conjunto de resultados apresentados nas Figuras 4.1 a 4.8, repetem-se o efeito de decréscimo da viscosidade com o aumento da temperatura, a influência mais acentuada dos decréscimos nas amostras de concentrações maiores e os valores mais elevados de viscosidade, na amostra de 18°Brix em relação à amostra a 21°Brix, ao contrário do que se poderia esperar tendo em vista o efeito dos sólidos sobre esta propriedade.



**Figura 4.8.** Variação da viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá, em seis concentrações distintas, em função da temperatura na velocidade de 100 rpm

#### 4.2.2. Modelos reológicos

Os dados experimentais obtidos para cada amostra submetida a diferentes temperaturas foram correlacionados através de quatro modelos reológicos: Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Casson.

Os parâmetros de ajuste do modelo Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) para as polpas de umbu-cajá, encontram-se na Tabela 4.25; analisando-se os resultados na tabela, vê-se que o índice de consistência (K) decresce com o aumento da temperatura em todas as concentrações, menos para as polpas de 9°Brix, 13°Brix e 18°Brix na temperatura de 40°C, quando é observado um aumento pontual.

Também se observa, de maneira geral, que os valores de K aumentaram com o aumento do conteúdo de sólidos solúveis totais (°Brix), refletindo a influência desses constituintes no comportamento reológico dos materiais.

Em particular, na amostra de 18°Brix os valores de K atingem seu valor máximo, mantendo-se em nível semelhante ao determinado para 24°Brix, superando assim os resultados para 21°Brix.

O índice de comportamento do fluido ( $n$ ) foi menor que a unidade em todas as amostras, caracterizando-a como um fluido pseudoplástico, onde se observa que a partir da concentração de 18°Brix, o valor de  $n$  se reduziu com o aumento da temperatura; resultado idêntico foi obtido por SILVA (1999) ao trabalhar com suco de acerola.

ADORNO (1997) estudando as propriedades do suco de mamão nas concentrações de 10 a 40°Brix, descreveu comportamento semelhante para o índice de consistência (K) que diminuiu com o aumento da temperatura para as concentrações de 10 e 15°Brix e aumentou com o aumento do conteúdo de sólidos solúveis totais.

Estudando a reologia de polpa de cupuaçu, CABRAL (2001) observou o mesmo comportamento de K com relação à temperatura e ao conteúdo de sólidos solúveis totais.

**Tabela 4.25.** Parâmetros de ajuste do modelo da Lei-da-Potência para a polpa de umbu-  
cajá, a diferentes temperaturas

| Amostras              | Temperatura<br>(°C) | Parâmetros |        | R <sup>2</sup> | P (%) |
|-----------------------|---------------------|------------|--------|----------------|-------|
|                       |                     | K (Pa.s)   | n      |                |       |
| 9°Brix                | 10                  | 2,0067     | 0,3317 | 0,9942         | 5,96  |
|                       | 20                  | 2,1900     | 0,2712 | 0,9935         | 5,61  |
|                       | 30                  | 1,4874     | 0,2869 | 0,9792         | 9,76  |
|                       | 40                  | 1,8994     | 0,2491 | 0,9966         | 9,51  |
|                       | 50                  | 1,1264     | 0,3000 | 0,9779         | 11,15 |
|                       | 60                  | 0,9603     | 0,2816 | 0,9825         | 10,46 |
| 13°Brix<br>(Integral) | 10                  | 5,6034     | 0,2707 | 0,9884         | 5,54  |
|                       | 20                  | 4,8591     | 0,2542 | 0,9797         | 6,71  |
|                       | 30                  | 4,1629     | 0,2667 | 0,9815         | 7,08  |
|                       | 40                  | 4,3930     | 0,2593 | 0,9684         | 8,61  |
|                       | 50                  | 3,8703     | 0,2438 | 0,9819         | 6,88  |
|                       | 60                  | 2,3108     | 0,2789 | 0,9400         | 9,58  |
| 15°Brix               | 10                  | 8,5061     | 0,2814 | 0,9947         | 4,66  |
|                       | 20                  | 7,8512     | 0,2641 | 0,9858         | 6,91  |
|                       | 30                  | 7,5135     | 0,2319 | 0,9669         | 9,91  |
|                       | 40                  | 6,5567     | 0,2269 | 0,9747         | 7,74  |
|                       | 50                  | 6,2952     | 0,2303 | 0,9660         | 9,97  |
|                       | 60                  | 5,8172     | 0,2452 | 0,9870         | 4,76  |
| 18°Brix               | 10                  | 29,5935    | 0,2917 | 0,9919         | 5,52  |
|                       | 20                  | 25,2753    | 0,2712 | 0,9908         | 6,07  |
|                       | 30                  | 23,2876    | 0,2617 | 0,9863         | 7,56  |
|                       | 40                  | 24,1500    | 0,2291 | 0,9543         | 12,56 |
|                       | 50                  | 18,6602    | 0,2256 | 0,9588         | 11,45 |
|                       | 60                  | 10,4863    | 0,2285 | 0,9525         | 12,31 |
| 21°Brix               | 10                  | 19,0223    | 0,3238 | 0,9962         | 4,49  |
|                       | 20                  | 17,1756    | 0,3007 | 0,9977         | 3,27  |
|                       | 30                  | 16,2910    | 0,2643 | 0,9900         | 5,98  |
|                       | 40                  | 15,2887    | 0,2502 | 0,9637         | 11,19 |
|                       | 50                  | 14,8853    | 0,2394 | 0,9487         | 9,99  |
|                       | 60                  | 8,2335     | 0,2272 | 0,8695         | 11,97 |
| 24°Brix               | 10                  | 28,7494    | 0,3127 | 0,9933         | 5,93  |
|                       | 20                  | 25,4081    | 0,2782 | 0,9958         | 4,19  |
|                       | 30                  | 22,4351    | 0,2762 | 0,9943         | 4,62  |
|                       | 40                  | 21,6111    | 0,2821 | 0,9942         | 5,05  |
|                       | 50                  | 21,5751    | 0,2525 | 0,9845         | 7,68  |
|                       | 60                  | 19,5219    | 0,2424 | 0,9804         | 8,09  |

Na Tabela 4.26 encontram-se valores dos parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk e os parâmetros estatísticos dos ajustes para a polpa de umbu-cajá em suas distintas concentrações de sólidos solúveis totais.

**Tabela 4.26.** Parâmetros de ajuste para o modelo de Mizrahi-Berk para a polpa de umbu-cajá, nas diferentes temperaturas estudadas

| Amostras              | Temperatura<br>(°C) | Parâmetros           |                       |                | R <sup>2</sup> | P (%) |
|-----------------------|---------------------|----------------------|-----------------------|----------------|----------------|-------|
|                       |                     | K <sub>0M</sub> (Pa) | K <sub>M</sub> (Pa.s) | n <sub>M</sub> |                |       |
| 9°Brix                | 10                  | 0,8307               | 0,6231                | 0,2853         | 0,9975         | 2,71  |
|                       | 20                  | 0,4694               | 1,0241                | 0,1768         | 0,9920         | 3,71  |
|                       | 30                  | 1,0372               | 0,2440                | 0,3840         | 0,9887         | 2,65  |
|                       | 40                  | -0,1974              | 1,5733                | 0,1121         | 0,9952         | 3,33  |
|                       | 50                  | 0,8953               | 0,2219                | 0,3875         | 0,9874         | 2,87  |
|                       | 60                  | 0,8295               | 0,1973                | 0,3784         | 0,9902         | 1,75  |
| 13°Brix<br>(Integral) | 10                  | -12,1425             | 14,4853               | 0,0272         | 0,9895         | 11,38 |
|                       | 20                  | -0,7317              | 2,9370                | 0,1002         | 0,9775         | 3,15  |
|                       | 30                  | -1,7346              | 3,7687                | 0,0802         | 0,9794         | 3,13  |
|                       | 40                  | 0,0494               | 2,0574                | 0,1300         | 0,9646         | 3,28  |
|                       | 50                  | -9,0103              | 10,9604               | 0,0267         | 0,9788         | 3,30  |
|                       | 60                  | 0,7114               | 0,8387                | 0,2095         | 0,9499         | 2,17  |
| 15°Brix               | 10                  | -10,2185             | 13,0981               | 0,0388         | 0,9963         | 4,02  |
|                       | 20                  | -23,5289             | 26,2988               | 0,0178         | 0,9850         | 3,08  |
|                       | 30                  | -52,6205             | 55,2898               | 0,0075         | 0,9728         | 3,28  |
|                       | 40                  | -22,5836             | 25,0922               | 0,0146         | 0,9753         | 3,56  |
|                       | 50                  | -42,8912             | 45,3297               | 0,0083         | 0,9780         | 3,04  |
|                       | 60                  | 0,0000               | 1,0000                | 0,5000         | 0,9815         | 1,60  |
| 18°Brix               | 10                  | -49,1211             | 54,4832               | 0,0187         | 0,9962         | 11,82 |
|                       | 20                  | -43,6944             | 48,6311               | 0,0180         | 0,9943         | 3,56  |
|                       | 30                  | -58,2454             | 62,9642               | 0,0131         | 0,9928         | 5,69  |
|                       | 40                  | -34,5368             | 39,2326               | 0,0180         | 0,9198         | 2,07  |
|                       | 50                  | -87,0148             | 91,1968               | 0,0070         | 0,9698         | 1,97  |
|                       | 60                  | -5,5849              | 8,3708                | 0,0620         | 0,8272         | 1,37  |
| 21°Brix               | 10                  | -7,7459              | 12,0559               | 0,0702         | 0,9981         | 4,11  |
|                       | 20                  | -3,2447              | 7,3595                | 0,0952         | 0,9973         | 4,66  |
|                       | 30                  | -12,2763             | 16,2681               | 0,0399         | 0,9908         | 3,39  |
|                       | 40                  | -49,7956             | 53,6014               | 0,0119         | 0,9755         | 1,98  |
|                       | 50                  | -67,7320             | 71,4602               | 0,0086         | 0,9524         | 1,47  |
|                       | 60                  | -136,0620            | 138,8200              | 0,0032         | 0,9260         | 1,12  |
| 24°Brix               | 10                  | -41,4558             | 46,7288               | 0,0233         | 0,9987         | 2,34  |
|                       | 20                  | -13,4754             | 18,4544               | 0,0463         | 0,9972         | 1,89  |
|                       | 30                  | -13,1199             | 35,1153               | 0,4135         | 0,9968         | 1,80  |
|                       | 40                  | -19,4187             | 24,0051               | 0,0342         | 0,9975         | 1,70  |
|                       | 50                  | -145,5610            | 149,7963              | 0,0052         | 0,9965         | 1,37  |
|                       | 60                  | -93,4960             | 97,8080               | 0,0071         | 0,9942         | 0,99  |

Constata-se que o parâmetro  $K_{OM}$  (Tabela 4.26) não sofreu variação coerente com aumento da temperatura, sendo ainda observados valores negativos para este parâmetro e observado na Tabela 4.28, para o modelo de Herschel-Bulkley. Os valores do índice de comportamento do fluido ( $n_M$ ) encontram-se abaixo da unidade, configurando caráter pseudoplástico para as amostras; contudo, não verificou tendência definida, ou seja, aumento ou decréscimo regular deste parâmetro com a temperatura. Em relação ao índice de consistência ( $K_M$ ) não é observado tendência definida com relação à variação da temperatura sendo obtido o menor valor (0,1973 Pa.s) na temperatura de 60°C para polpa de 9°Brix, e maior valor na polpa com 24°Brix a 50°C. O modelo apresentou bom ajuste aos valores experimentais, gerando valores do coeficiente de determinação ( $R^2$ ) na média de 0,9778 sendo superado apenas pelo modelo Herschel-Bulkley. Alcançaram-se os menores desvios percentuais médios (P) neste modelo, com valor médio de 3,20%. Comportamento idênticos foi confirmado por FERREIRA (2002) para a polpa de caju e goiaba, em que ambas não apresentaram tendência bem definida do parâmetro  $K_{OM}$  com relação à variação da temperatura.

Os parâmetros do modelo de Casson e os valores dos coeficientes de determinação e dos desvios percentuais médios, encontram-se na Tabela 4.27, na qual se verifica que o parâmetro  $K_{OC}$  e a viscosidade plástica de Casson ( $K_C$ ), de modo geral, diminuíram com o aumento da temperatura. Exceções ocorrem nesse comportamento do  $K_{OC}$  nas amostras a 9, 13 e 18°Brix na temperatura de 40°C.

O parâmetro  $K_{OC}$  não sofreu variação coerente, com aumento da temperatura, mas ainda assim se observa que os menores valores para todas as amostras foram obtidos na temperatura mais elevada (60°C). CABRAL (2001) observou comportamento semelhante em estudo com a polpa de cupuaçu.

O coeficiente de determinação ( $R^2$ ), apresentou um valor médio de 0,89, estando abaixo dos coeficientes de determinação alcançados nos demais modelos, enquanto os desvios percentuais médios (P) observados alcançaram seu maiores percentuais, possuindo valor médio acima de 6%.

**Tabela 4.27.** Parâmetros de ajuste para o modelo de Casson para a polpa de umbu-cajá, nas diferentes temperaturas estudadas

| Amostras              | Temperatura<br>(°C) | Parâmetros                          |                                     | R <sup>2</sup> | P (%) |
|-----------------------|---------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|----------------|-------|
|                       |                     | K <sub>0C</sub> (Pa) <sup>0,5</sup> | K <sub>C</sub> (Pa.s <sup>n</sup> ) |                |       |
| 9°Brix                | 10                  | 1,2636                              | 0,2170                              | 0,9890         | 3,53  |
|                       | 20                  | 1,3773                              | 0,1630                              | 0,9703         | 5,13  |
|                       | 30                  | 1,1603                              | 0,1374                              | 0,9862         | 3,48  |
|                       | 40                  | 1,2912                              | 0,1358                              | 0,9606         | 0,75  |
|                       | 50                  | 1,0036                              | 0,1277                              | 0,9849         | 3,85  |
|                       | 60                  | 0,9334                              | 0,1076                              | 0,9868         | 3,55  |
| 13°Brix<br>(Integral) | 10                  | 2,1251                              | 0,2898                              | 0,9016         | 6,78  |
|                       | 20                  | 2,0622                              | 0,2230                              | 0,9172         | 6,02  |
|                       | 30                  | 1,8812                              | 0,2246                              | 0,9110         | 6,62  |
|                       | 40                  | 1,9617                              | 0,2167                              | 0,9167         | 51,17 |
|                       | 50                  | 1,8369                              | 0,1907                              | 0,8914         | 6,86  |
|                       | 60                  | 1,4227                              | 0,1708                              | 0,9241         | 22,72 |
| 15°Brix               | 10                  | 2,6111                              | 0,3606                              | 0,9024         | 7,97  |
|                       | 20                  | 2,5583                              | 0,3112                              | 0,8899         | 7,80  |
|                       | 30                  | 2,5306                              | 0,2579                              | 0,8220         | 9,31  |
|                       | 40                  | 2,3902                              | 0,2294                              | 0,8411         | 8,20  |
|                       | 50                  | 2,3122                              | 0,2353                              | 0,8137         | 9,58  |
|                       | 60                  | 2,2515                              | 0,2354                              | 0,9001         | 6,42  |
| 18°Brix               | 10                  | 4,7435                              | 0,7596                              | 0,9007         | 7,85  |
|                       | 20                  | 4,5180                              | 0,5928                              | 0,8830         | 8,50  |
|                       | 30                  | 4,3561                              | 0,5425                              | 0,8658         | 8,99  |
|                       | 40                  | 4,4336                              | 0,4546                              | 0,7893         | 10,37 |
|                       | 50                  | 3,9828                              | 0,3950                              | 0,7914         | 10,27 |
|                       | 60                  | 2,5673                              | 0,3619                              | 0,7371         | 15,36 |
| 21°Brix               | 10                  | 3,6921                              | 0,7098                              | 0,92410        | 7,61  |
|                       | 20                  | 3,6853                              | 0,5568                              | 0,9251         | 7,42  |
|                       | 30                  | 3,7042                              | 0,4431                              | 0,9008         | 7,71  |
|                       | 40                  | 3,5861                              | 0,4154                              | 0,8316         | 10,25 |
|                       | 50                  | 3,4909                              | 0,3932                              | 0,78624        | 11,40 |
|                       | 60                  | 2,6317                              | 0,2659                              | 0,7435         | 9,99  |
| 24°Brix               | 10                  | 4,5438                              | 0,8410                              | 0,9037         | 8,46  |
|                       | 20                  | 4,5420                              | 0,6076                              | 0,9054         | 7,77  |
|                       | 30                  | 4,2698                              | 0,5663                              | 0,9006         | 7,85  |
|                       | 40                  | 4,2217                              | 0,5854                              | 0,9115         | 7,93  |
|                       | 50                  | 4,2309                              | 0,4930                              | 0,8587         | 9,04  |
|                       | 60                  | 4,0676                              | 0,4382                              | 0,8507         | 9,04  |

A Tabela 4.28 apresenta os valores dos parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley obtidos através de ajustes aos reogramas experimentais das polpas de umbu-cajá, nas concentrações estudadas, constatando-se que este modelo proporcionou os melhores ajustes aos dados experimentais, apresentando os maiores valores para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ), os quais se mantiveram em torno de 0,99, na maioria dos casos. Em relação ao desvio percentual médio (P) vê-se que, em sua maioria os valores estão abaixo de 5%.

Verifica-se, pelos resultados obtidos, que o índice de consistência ( $K_H$ ) nas polpas não apresenta variação que possa ser correlacionada com o fator temperatura, embora alguns valores obtidos nas temperaturas de 40 a 50°C, nas concentrações de 18 e 21°Brix, superem, de forma acentuada, aqueles observados nas temperaturas de 10 a 30°C. Comparando-se os valores de  $K_H$  determinados em cada concentração, constatam-se aumentos de  $K_H$  entre 9 e 18°Brix nas seis temperaturas estudadas, com os resultados atingindo o nível máximo em 18°Brix e não progredindo a partir de 21°Brix.

Nas concentrações de 18 e 21°Brix o índice de comportamento do fluido ( $n_H$ ) diminui, na maioria dos casos, com a temperatura, mas não se pode concluir que este índice tenha sofrido influência direta do aumento da temperatura para o conjunto de amostras, uma vez que nas demais concentrações tal efeito não se verifica. No que se refere à concentração, não se constata qualquer tendência de  $n_H$  acompanhando esta variável. Todas as amostras apresentaram características de fluido não-newtoniano, com comportamento pseudoplástico, conforme se verifica pelos valores de  $n_H$  inferiores a 1.



Tabela 4.28. Parâmetros de ajuste do modelo de Herschel-Bulkley para a polpa de umbu-  
cajá, nas diferentes temperaturas

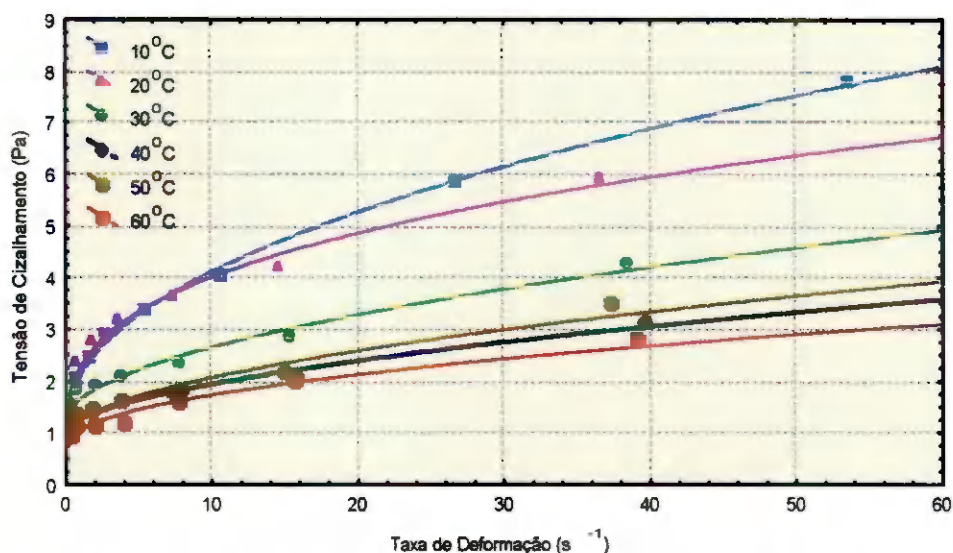
| Amostras            | Temperatura<br>(°C) | Parâmetros       |                            |        | R <sup>2</sup> | P (%) |
|---------------------|---------------------|------------------|----------------------------|--------|----------------|-------|
|                     |                     | $\tau_{0H}$ (Pa) | $K_H$ (Pa.s <sup>n</sup> ) | $n_H$  |                |       |
| 9°Brix              | 10                  | 1,1200           | 0,9983                     | 0,4745 | 0,9982         | 3,89  |
|                     | 20                  | 0,7919           | 1,4520                     | 0,3430 | 0,9947         | 5,91  |
|                     | 30                  | 1,2503           | 0,3985                     | 0,5416 | 0,9928         | 6,92  |
|                     | 40                  | -0,0264          | 1,9246                     | 0,2471 | 0,9966         | 5,51  |
|                     | 50                  | 0,9034           | 0,3434                     | 0,5312 | 0,9897         | 7,62  |
|                     | 60                  | 0,7077           | 0,3364                     | 0,4776 | 0,9926         | 5,25  |
| Integral<br>13°Brix | 10                  | -3,1059          | 8,6236                     | 0,2031 | 0,9904         | 4,65  |
|                     | 20                  | 1,1406           | 3,7778                     | 0,2958 | 0,9805         | 7,19  |
|                     | 30                  | 0,3268           | 3,8518                     | 0,2795 | 0,9816         | 7,25  |
|                     | 40                  | 1,9120           | 2,6028                     | 0,3502 | 0,9716         | 9,13  |
|                     | 50                  | -0,8952          | 4,7352                     | 0,2137 | 0,9823         | 6,54  |
|                     | 60                  | 1,6996           | 0,7769                     | 0,4869 | 0,9532         | 11,38 |
| 15°Brix             | 10                  | -4,9392          | 13,2794                    | 0,2113 | 0,9972         | 3,15  |
|                     | 20                  | -3,5886          | 11,3244                    | 0,2080 | 0,9873         | 6,26  |
|                     | 30                  | -43,2027         | 50,4687                    | 0,0507 | 0,9828         | 5,61  |
|                     | 40                  | -16,8170         | 23,1858                    | 0,0872 | 0,9842         | 5,86  |
|                     | 50                  | -70,9426         | 76,9985                    | 0,0289 | 0,9890         | 3,97  |
|                     | 60                  | -1,9102          | 7,6641                     | 0,2046 | 0,9878         | 4,02  |
| 18°Brix             | 10                  | -25,9963         | 54,9361                    | 0,1929 | 0,9964         | 2,76  |
|                     | 20                  | -25,9843         | 50,6081                    | 0,1698 | 0,9961         | 3,74  |
|                     | 30                  | -39,9015         | 62,4756                    | 0,1302 | 0,9953         | 3,49  |
|                     | 40                  | -427,8940        | 451,0450                   | 0,0191 | 0,9860         | 5,41  |
|                     | 50                  | -336,0050        | 353,9789                   | 0,0184 | 0,9893         | 4,79  |
|                     | 60                  | -147,5920        | 157,6522                   | 0,0235 | 0,9791         | 6,09  |
| 21°Brix             | 10                  | -9,3691          | 28,0393                    | 0,2543 | 0,9984         | 2,23  |
|                     | 20                  | -3,3703          | 20,3761                    | 0,2714 | 0,9981         | 2,93  |
|                     | 30                  | -6,9626          | 23,0036                    | 0,2116 | 0,9913         | 4,51  |
|                     | 40                  | 53,3415          | 68,1345                    | 0,0806 | 0,9888         | 4,84  |
|                     | 50                  | -231,1920        | 245,5852                   | 0,0226 | 0,9728         | 4,65  |
|                     | 60                  | -364,2690        | 372,0651                   | 0,0081 | 0,9086         | 6,81  |
| 24°Brix             | 10                  | -27,7800         | 55,7827                    | 0,2031 | 0,9991         | 1,76  |
|                     | 20                  | -13,7324         | 38,6560                    | 0,2958 | 0,9980         | 2,65  |
|                     | 30                  | -13,1200         | 35,1154                    | 0,2795 | 0,9968         | 3,38  |
|                     | 40                  | -13,0362         | 34,2059                    | 0,3502 | 0,9968         | 3,55  |
|                     | 50                  | -48,3512         | 69,2111                    | 0,2137 | 0,9955         | 2,89  |
|                     | 60                  | -52,8790         | 71,7395                    | 0,4869 | 0,9922         | 3,79  |

Resultados semelhantes foram obtidos por OLIVEIRA & MENEGALLI (1998) trabalhando com suco de acerola a várias concentrações (8 a 27°Brix) e temperaturas (10,

30 e 50°C), o que também foi observado por RAO et al. (1981) ao trabalharem com suco concentrado de tomate e por VIDAL et al. (2000b) ao lidarem com polpa de manga.

Nas Figuras de 4.9 a 4.14 estão representadas, graficamente, as curvas de escoamento das polpas de umbu-cajá em seis distintas concentrações e temperaturas ajustadas pelo modelo de Herschel-Bulkley. Constatou-se que essas curvas não apresentam relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, sendo essas polpas de umbu-cajá consideradas fluidos não-newtonianos.

Os reogramas experimentais das polpas de umbu-cajá a 9°Brix, para a faixa de temperatura de 10°C a 60°C, e as curvas ajustadas com o modelo de Herschel-Bulkley estão representados na Figura 4.9, mas, de maneira geral, para uma taxa de deformação fixa a tensão de cisalhamento diminui gradualmente com o aumento da temperatura; CABRAL et al. (2003) também verificaram este comportamento para a polpa integral de cupuaçu. Exceção neste comportamento ocorreu entre as curvas de 40 e 50°C, havendo inversão da posição, isto é, a curva a 50°C está localizada acima da curva a 40°C, porém isto pode ser justificado pela proximidade dos valores. FERREIRA et al. (2002a) e FERREIRA et al. (2002b) também constataram inversão na posição das curvas, ao estudarem as polpas de cajá e umbu, respectivamente.



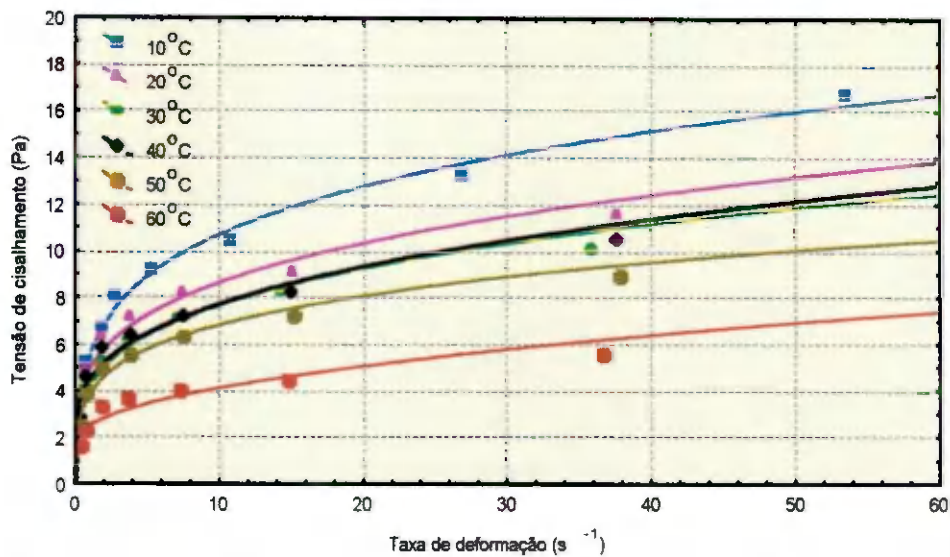
**Figura 4.9.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para a polpa de umbu-cajá a 9°Brix, nas temperaturas de 10 a 60°C

Ainda de acordo com a Figura 4.9, verifica-se que as tensões de cisalhamento determinadas para polpa de umbu-cajá a 9°Brix, nas temperaturas entre 10°C e 60°C, são menores que 10 Pa, estando próximo à faixa de valores determinado por FERREIRA (2002) para a polpa de goiaba integral. Constata-se que os maiores valores da tensão de cisalhamento são observados nas temperaturas mais baixas, ocorrendo entre as temperaturas de 10°C e 20°C.

Constata-se na Figura 4.10, da mesma forma que na amostra a 9°Brix (Figura 4.9), que a tensão de cisalhamento decresce com o aumento da temperatura, para uma taxa de deformação fixa, fato este comum em sucos e polpa de frutas, tendo sido constatado por CARNEIRO (2000) para a polpa de açaí e por CABRAL (2001) para polpa de cupuaçu. Nas curvas ajustadas a 30 e 40°C, referido comportamento não é evidente, pois praticamente em toda a faixa de taxa de deformação as curvas coincidem ou estão muito próximas, com ligeira superioridade da curva a 40°C.

Vê-se que dentre as temperaturas trabalhadas, as curvas correspondentes às temperaturas extremas (10 e 60 °C) apresentam distâncias maiores que as observadas entre as curvas das temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C.

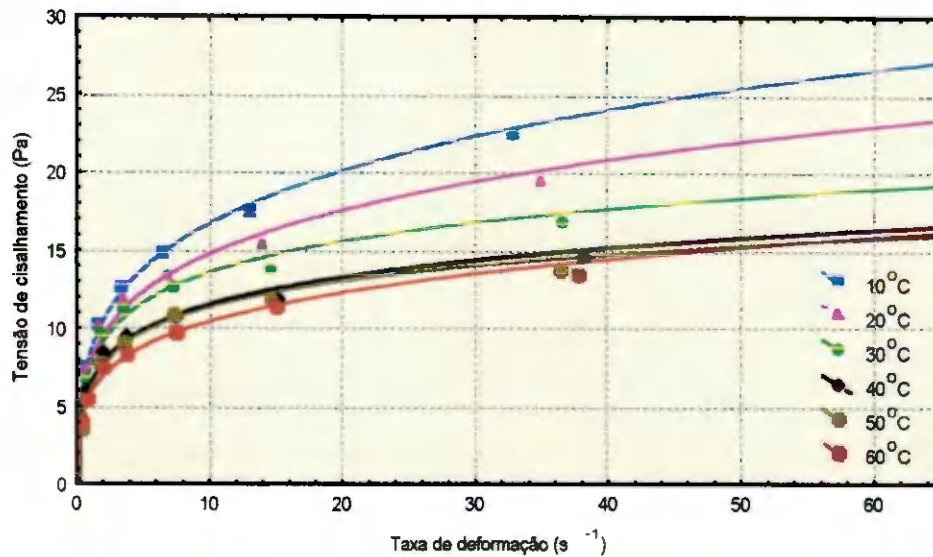
A faixa das tensões de cisalhamento na polpa de umbu-cajá a 13°Brix (integral) é superior à das amostras a 9°Brix, atingindo valores próximos a 18 Pa, já era esperado, uma vez que a tensão de cisalhamento é diretamente proporcional à viscosidade e o aumento da concentração geralmente resulta em aumento da viscosidade (SILVA, 2000).



**Figura 4.10.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para a polpa de umbu-cajá a integral (13°Brix), nas temperaturas de 10 a 60°C

O comportamento geral das curvas na Figura 4.11, fixando uma taxa de deformação, é de diminuição da tensão de cisalhamento com o aumento da temperatura, como observado nas amostras, a 9 e 13°Brix. Nas curvas referentes a 40 e 50°C, o comportamento das amostras está muito próximo, ocorrendo sobreposição das curvas, em alguns trechos. Na temperatura a 60°C, nota-se uma aproximação da curva a 50°C, com sobreposição a partir da taxa de deformação de 40 s<sup>-1</sup>.

De maneira geral, as tensões de cisalhamento na polpa de umbu-cajá a 15°Brix, superam os valores das amostras com concentrações inferiores, atingindo valores próximos a 25 Pa na temperatura de 10°C. O comportamento gráfico apresentado para o umbu-cajá é similar ao relatado por SATO & CUNHA (2004), para a polpa de jabuticaba, utilizando o mesmo modelo.



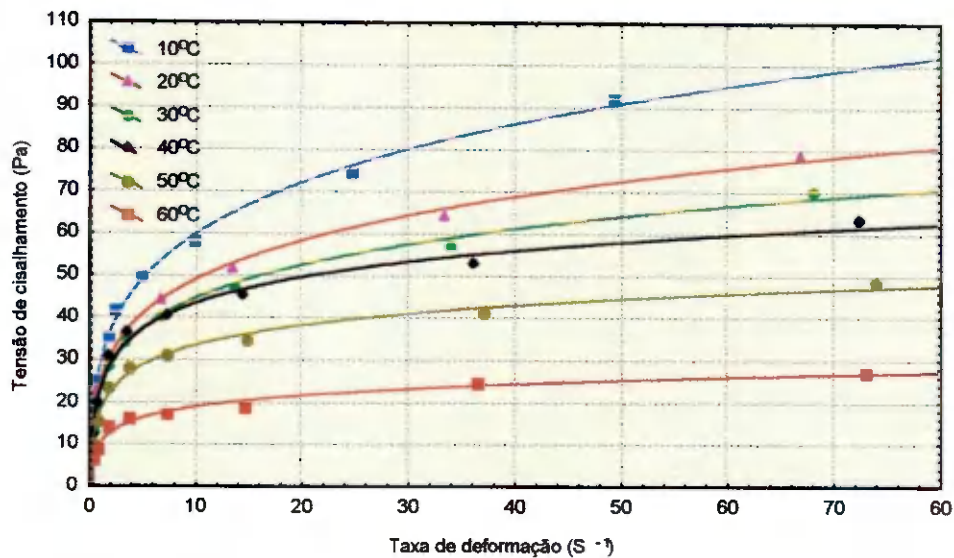
**Figura 4.11.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para a polpa de umbu-cajá a 15°Brix, nas temperaturas de 10 a 60°C

Na representação do comportamento reológico da polpa concentrada de umbu-cajá a 18°Brix, apresentado na Figura 4.12, as temperaturas mais altas sempre resultam em relações da tensão de cisalhamento com a taxa de deformação maior, fato também verificado nas concentrações mais baixas.

O aumento da faixa de valores da tensão de cisalhamento para a amostra a 18°Brix triplicou em relação à amostra a 15°Brix, com valores de até 90 Pa.

PEREIRA et al. (2004) em pesquisa sobre o efeito da temperatura no comportamento reológico de polpa de umbu, obtiveram curvas de escoamento similares às do umbu-cajá, com as curvas superiores correspondendo às temperaturas mais baixas.

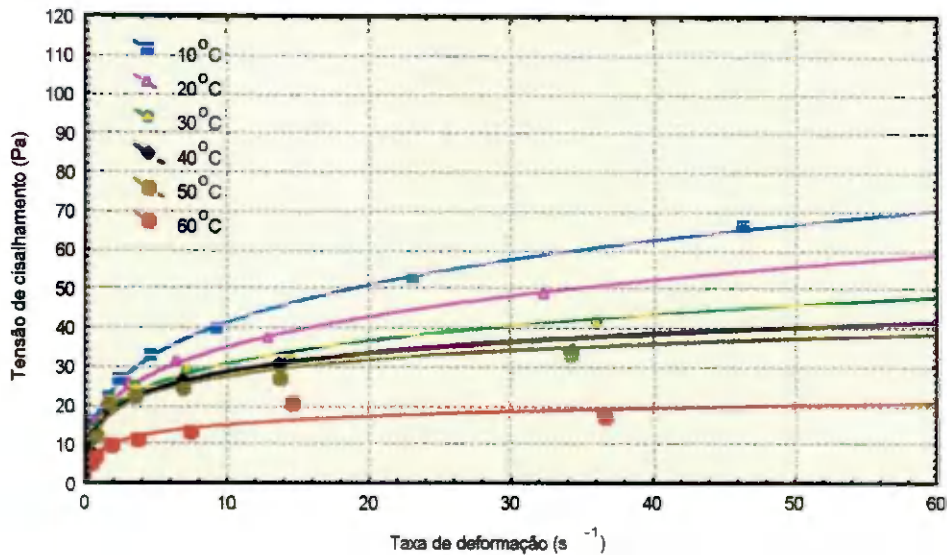




**Figura 4.12.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para a polpa de umbu-cajá a 18°Brix, nas temperaturas de 10 a 60°C

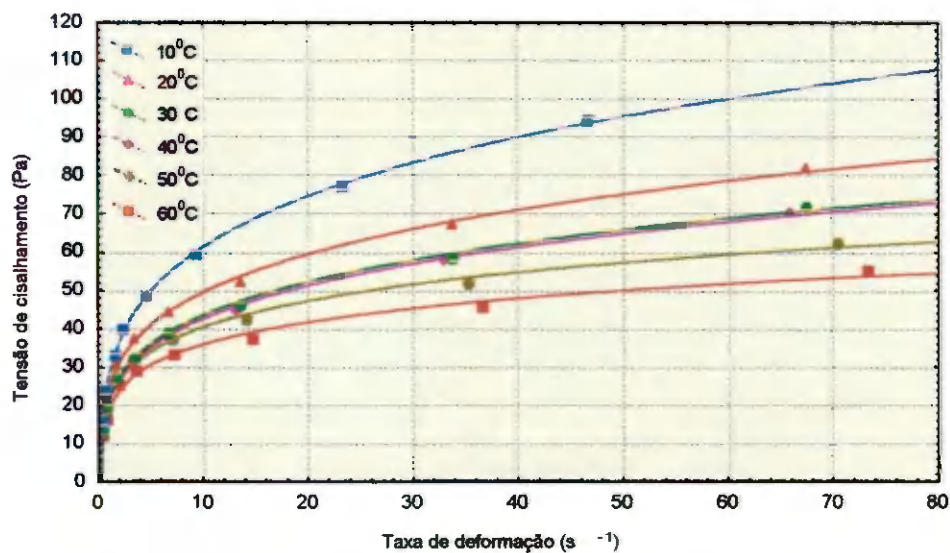
No comportamento reológico das amostras a 21°Brix, observado na Figura 4.13, praticamente se repete o constatado no comportamento das outras amostras de concentrações inferiores, com relação ao desempenho da tensão de cisalhamento, em função da temperatura. As tensões de cisalhamento, especialmente na amostra a 10°C, são inferiores aos valores obtidos na amostra a 18°Brix, justificando tratar-se de um produto alimentício passível de diferenças entre o tamanho das partículas insolúveis presentes nas amostras que interferem no escoamento dos fluidos.

Comparando-se o comportamento gráfico da relação tensão de cisalhamento e taxa de deformação obtido para umbu-cajá com os resultados obtidos por FERREIRA et al. (2002), para a goiaba, observa-se, em ambos, a redução da viscosidade quando submetida a um gradiente de temperatura.



**Figura 4.13.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para a polpa de umbu-cajá a 21°Brix, nas temperaturas de 10 a 60°C

Observa-se, na Figura 4.14, o efeito da temperatura sobre o comportamento viscoso da amostra. As curvas denotam com clareza reduções na tensão de cisalhamento com o aumento de temperatura, para uma taxa de deformação fixa, concordando com os resultados obtidos por SILVA (2000) ao trabalhar com suco de acerola, IBARZ et al. (1989) em estudo com sucos de maçã e pêra.



**Figura 4.14.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para a polpa de umbu-cajá a 24°Brix, nas temperaturas de 10 a 60°C

Do conjunto das Figuras 4.9 a 4.14 constata-se que, de maneira geral, em todas as amostras a tensão de cisalhamento diminui com o aumento da temperatura, para uma taxa de deformação fixa; observa-se, também, tendência de crescimento da tensão de cisalhamento com o aumento da concentração de sólidos solúveis totais.

Os decréscimos das viscosidades aparentes e tensões de cisalhamento, em decorrência do aumento de temperatura, ocorreram de forma repetitiva, como já era esperado, visto que a separação das moléculas do fluido é acentuada pelo número de colisões ocasionadas pelo efeito da temperatura, promovendo redução das forças que atuam no sentido contrário ao escoamento do fluido.

O efeito da variação da concentração dos sólidos solúveis totais refletiu em todas as análises comparativas com o comportamento da viscosidade aparente, taxa de deformação e tensão de cisalhamento, uma vez que referidas propriedades estão estritamente relacionadas com o efeito sofrido pelo fluido, de maneira que, na presença de uma amostra mais concentrada, com maior número de partículas, observa-se contato maior entre o fluido e as partes, promovendo também maior deformação do mesmo, como previsto.



## 5. CONCLUSÕES

A polpa de umbu-cajá integral apresentou-se com concentração de sólidos solúveis de 13 °Brix, ácida, pH de 2,6 e teor de pectina de 0,5% de pectato de cálcio.

As polpas apresentaram comportamento pseudoplástico em todas as concentrações estudadas.

As viscosidades aparentes aumentaram com a concentração entre 9 e 18 °Brix; entre 18 e 24 °Brix não foram observados aumentos consistentes de viscosidade associados a concentrações mais elevadas.

Os valores médios de viscosidade aparente variaram entre o valor mínimo de 0,04 e o valor máximo de 51,12 Pa.s.

As viscosidades aparentes decresceram com o aumento de temperatura, podendo ser preditas, segundo uma relação de dependência linear com a temperatura.

As amostras com maiores teores de sólidos sofreram influência mais acentuada da variação de temperatura.

Dentre os modelos reológicos utilizados, o de Herschel-Bulkley ajustou-se, com melhor precisão, aos dados experimentais de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS. (A.O.A.C.). **Official methods of analysis**. WILLIAMS, S. (Ed.) 14. Ed. Arlington, 1984. 1141p.

ADORNO, R. A. C. **Reologia de sucos de frutas tropicais: manga, maracujá, mamão e goiaba**. 1997. 178 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ALVES, M. A.; DAMASCENO, K. S. F. S. C.; GUERRA, N. B.; LEDERMAN, I. E.; MENDONÇA, S. C. Avaliação físico-química de caramboleira sob diferentes condições de armazenamento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA, 17., 2002, Belém. **Anais...** Belém: SBF, 2002. CD.

ALVARO, J. D.; ROMERO, C. H. Physical properties of fruits: I-II. Density and viscosity of juices as functions of soluble solids content and temperature. **Latin American Applied Research**, Bahía Blanca, v. 19, n. 15, p. 15-21, 1989.

ANGELUCCI, E. et al. **Análises químicas de alimentos**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1987. 123 p.

BARNES, H. A.; HUTTON, J. F.; WALTERS, K. An introduction to rheology. **Elsevier Science Publishers**, New York:, 1989. v. 3, 263 p.

BASTOS, M. S. R.; GURGEL, T. E. P.; SOUSA, M. S. M. S.; LIMA, I. F. B.; SOUZA, A. C. R.; SILVA, J. B. Efeito da aplicação de enzimas pectinolíticas no rendimento da extração de polpa de cupuaçu. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 240-242, 2002.

BASTOS, M. S. R.; FEITOSA, T.; OLIVEIRA, M. E. B. Análise qualitativa e tecnológica da agroindústria de polpa de fruta na região Nordeste. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 21, n. 3, p. 359-364, 1999.

BAYINDIRLI, L. Density and viscosity of grape as a function of concentration and temperature. **Journal of Food Processing and Preservation**, Connecticut, v. 17, n. 2, p. 147-151, 1993.

BEZERRA, J. R. M. V. **Comportamento reológico da polpa de manga**. 2000. 184 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. **Química do processamento de alimentos**. 3. ed. São Paulo: Varela, 2001. 142 p.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, E. P. A. **Manual de laboratório de química de alimentos**. 1. ed. São Paulo: Varela, 2003. 135 p.

BRANCO, I. G.; GASPARETTO, C. A. Aplicação da metodologia de superfície de resposta para o estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. supl., p. 166-171, 2003.

BRASIL. Instrução normativa nº 1, de 7 de janeiro de 2000. Estabelece o Regimento Técnico para fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para polpa de fruta. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 10 jan. 2000. Seção 1, n.6, p. 54 – 58.

BUTLER, D. Word trade is set to climb, says FAO. **Fruit Processing**, New Delhi, v. 4, n. 1, p. 21-22, 1994.

CABRAL, M. F. P. **Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.)**. 2001. 106 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

CABRAL, M. F. P.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Estudo do comportamento reológico da polpa do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) integral. In:

FITO, P.; MULET, A.; CHIRALT, A.; ANDRÉS, A. **Ingeniería de alimentos nuevas fronteras em el siglo XXI: propiedades físicas y aspectos fisicoquímicos en relación con los procesos alimentarios.** Valencia: Editorial UPV, p. 203-208, 2003.

CARNEIRO, F. R. B. D. **Uso de tecnologia de barreiras na obtenção da polpa de açaí e sua caracterização reológica.** 2000. 135 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

CARVALHO, H. A.; CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B.; CARVALHO, H. **Efeito da atmosfera modificada sobre componentes da parede celular da goiaba.** *Ciência e Agrotecnologia*, Lavras, v. 25, n. 3, p. 605-615, 2001.

CEPEDA, E.; HERMOSA, M.; LLORENS, F.; VILLARÁN, M. C. Rheological behaviour of blueberry cloudy juice (*Vaccinium corymbosum* L.). **International Journal of Food Science and Technology**, Londres, v. 37, n. 3, p. 271-276, 2002.

CEPEDA, E.; VILLARÁN, M. C. Density and viscosity of *Malus floribunda* as a function of concentration and temperature. **Journal Food Engineering**, New York, v. 41, n. 2, p. 103-107, 1999.

CHARM, S. Viscometry of on-newtonian food materials. **Food Research**, Chicago, v.25, n.1, p. 351-362, 1960.

CHITARRA, M. I. F. Colheita e qualidade pós-colheita de frutas. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 17, n. 179, p. 8-18, 1994.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio.** Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 320 p.

CHOI, Y.; OKOS, M. R. Thermal properties of liquid food: review. In: OKOS, M.R. **Physical and chemical properties of food.** St. Joseph: ASAE, 1986. p. 35-77.

CIABOTTI, E. D. **Alterações das propriedades físico-químicas do suco de maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.) para diferentes técnicas de congelamento inicial, ao longo do período de armazenagem frigorificada.** 2000. 107 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

CONCEIÇÃO, R. S. **Comportamento reológico da polpa de goiaba.** 2000. 68 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

COSTELL, E.; DURAN, L. **Reología físico-química del puré de albaricoque: Parte I. Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos, Valencia, v. 22, n.3, p. 381-394, 1982.**

CRANE, E. **O livro do mel.** São Paulo: Nobel 1983. 226 p.

DINIZ, E. **Atividade de água e condutividade elétrica de polpas de frutas concentradas.** 2003. 100 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

DURÁN, L. **Controle de qualidade na indústria de alimentos.** In: Seminário de controle de qualidade na indústria de alimentos: resumos. Campinas, ITAL, 1991.

EMBRAPA MEIO-NORTE. **Inovação tecnológica para a fruticultura irrigada no semi-árido nordestino: relatório executivo de acompanhamento.** Teresina: EMBRAPA, 1999. 5 p.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de alimentos.** 2. ed. São Paulo: Atheneu, 1992. 674 p.

EVANGELISTA, J. I.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de. **Viscosidades aparentes de polpas de Umbu.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 32., 2003, Goiânia. **Anais...** Goiânia: SBEA, 2003. CD.

FAPEP/SINE. **Curso de tecnologia e industrialização de frutas**. João Pessoa: FAPEP/SINE, 1997. 24p.

FERREIRA, G. M. **Reologia de polpas de caju (*Anacardium occidentale*, L.) e goiaba (*Psidium guajava*, L.)**. 2002. 101 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

FERREIRA, G. M.; QUEIROZ, A. J. M.; CONCEIÇÃO, R. S.; GASPARETO, C. A. **Comportamento reológico da polpa de cajá (*Spondias lutea* L.)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31., Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002a. CD.

FERREIRA, G. M.; QUEIROZ, A. J. M.; CONCEIÇÃO, R. S.; GASPARETO, C. A. **Comportamento reológico da polpa de umbu (*Spondias tuberosa*)**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18., Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: Sociedade Brasileira de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2002b. CD.

FERREIRA, J. C.; CAVALCANTI MATA, M. E. R. M.; BRAGA, M. E. D. **Análise sensorial da polpa de umbu submetida a congelamento inicial em temperaturas criogênicas e armazenadas em câmaras frigoríficas**. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 2, n. 1, p. 7–17, 2000.

FERREIRA, J. C. **Efeito do congelamento ultra-rápido sobre as características físico-químicas e sensoriais da polpa de umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Câmara) durante a armazenagem frigorificada**. 2000a. 112 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

FINNEY Jr., E. **Elementary concepts of rheology relevant to food texture studies**. In: KRAMER, A.; SZCZESNIAK, A. S. **Texture measurements of foods**. Holland: D. Riedel Publishing Co., 1973. p. 33-51.

FOGARTY, W. M.; WARD, O. P. Pectic substances and pectinolytic enzymes. **Process Biochemistry**, Inglaterra, v. 6, n. 7, p. 11-13, 1972.

GIACOMETTI, D. C. Recursos genéticos de fruteiras nativas do Brasil. In: SIMPÓSIO NACIONAL de RECURSOS GENÉTICOS de FRUTEIRAS NATIVAS, 1992, Cruz das Almas. **Anais...** Cruz das Almas: Embrapa-CNPMP, 1993. p. 13-27.

GLICKSMAN, M. **Gum technology the food industry**. New York: Academic Press, 1969. cap. 6, p. 159-89.

GONÇALVES, J. R. **Introdução à reologia de alimentos fluidos**. Reologia e textura em alimentos. Campinas: ITAL, 1989. cap. 2, p.6-11.

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

HASLER, C.M. A new look at an ancient concept. **Chemistry and Industry**, London, v. 3, n. 2, p. 84-89, 1998.

HERNANDEZ, E.; CHEN, C. S.; JOHNSON, J.; CARTER, R. D. **Viscosity changes in Orange juice after ultrafiltration and evaporation**. **Journal Food Engineering**, New York, v. 25, n. 3, p. 387-396, 1995.

HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of low and processing behavior of fluid products. **Journal of Texture Studies**, Chicago, v. 2, n. 4, p. 393-418, 1971.

HOLDSWORTH, S. D. Rheological models used for the prediction of the flow properties of food products: a literature review. **Trans. I. Chem. E., Part. C**, p.139-78, sept., 1993.

HORN, H. The international honey market and its importance to Brazil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE APICULTURA, 13., Salvador. *Anais...* p.31 – 35, 1998.

IBARZ, A.; GONÇALVES, C.; EXPLUGAS, S. Rheology of clarified passion fruit juices. *Fruit Processing*, New Delhi, v. 6, n. 8, p. 330-333, 1996.

IBARZ, A.; PAGAN, J.; MIGUELSANZ, R. Rheology of clarified fruit juices: II - blackcurrant juices. *Journal of Food Engineering*, New York, v. 15, n. 1, p. 63-73, 1992.

IBARZ, A.; GONÇALVES, C.; ESPLUGAS, S. Rheological behaviour of apple juice and pear juice and their concentrates. *Journal of Food Engineering*, New York, v.6, n.8, p.257-267, 1987.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos químicos e físicos para análise de alimentos.** 3 ed. São Paulo: O Instituto, 1985. v. 1, 533 p.

JAY, J. M. **Modern food microbiology.** 4. ed. New York: Nostrand Reinhold, 1992. 642 p.

KLUGE, R. A. BILHALVA, A. B. CANTILLANO, R. F. F. Influência do estágio de maturação e da embalagem de polietileno na frigoconservação de ameixas. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 34, n. 3, p. 323-329, março 1999.

LIMA, E. D. P. A.; LIMA, C. A. A.; ALDRIGUE, M. L.; GONDIM, P. J. S. Caracterização física e química dos frutos da umbu-cajazeira (*Spondias ssp*) em cinco estádios de maturação, da polpa congelada e néctar. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 338-343, 2002a.



LIMA, E. D. P. A.; LIMA, C. A. A.; ALDRIGUE, M. L.; GONDIM, P. J. S. **Umbu-*cajá* (*Spondias* spp): aspectos de pós-colheita e processamento.** João Pessoa: Ed. Universitária/Idéia, 2002b. 57 p.

MANOHAR, B.; RAMAKRISHNA, P.; RAMTEKE, R.S. Effect of Pectin Content on Flow Properties of Mango Pulp Concentrates. **Journal of texture Studies**, Chicago, v.21, n.2, p.179-190, 1990.

MATSUURA, F. C. A. U.; ROLIM, R. B. Avaliação da adição de suco de acerola em suco de abacaxi visando a procura de um “BLEND” com alto teor de vitamina C. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 138-141, 2002.

MITSCSKA, P. Simple conversion of brookfield RVT: readings into viscosity functions. **Rheol. Acta**, Prague, v.21, p.207-209, 1982.

MORETTO, E.; FETT, R.; GONZAGA, L. V.; KUSKOSKI, E. M. **Introdução à ciência de alimentos.** Florianópolis: UFSC, 2002. 255 p.

MORSE, R.; HOOPER, T. **Enciclopédia ilustrada de apicultura.** Portugal: Publicações Europa-América, 1986. 256 p. (Coleção Euroagro).

NARAIN, N.; BORA, P. S.; HOLSCHUH, H. J.; VASCONCELOS, M. A. S. Variation in physical and chemical composition during maturation of umbu (*Spondias tuberosa*) fruits. **Food Chemistry**, Inglaterra, v. 44, n. 4, p. 255-259, 1992.

OLIVEIRA, R. P. S.; MENEGALLI, F. C. Comportamento reológico do suco de acerola. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS, 2., 1998, Bahia Blanca, Argentina. **Anales...** Bahia Blanca: PALPIQUI, 1998. CD.

OLIVEIRA, R. P. S. **Determinação das propriedades físicas e de transporte de suco da acerola.** 1997. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

PEARSON, D. **The chemical analysis of food**. 6. ed London: J & A. CHURCHILL, 1970.

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

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

PEREIRA, E. A.; BRANDÃO, E. M.; MAIA, M. C. A.; BORGES, S. V. Efeito da temperatura no comportamento reológico de polpa de umbu. In.: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 19., Recife. **Anais...** Recife: SBCTA, 2004. CD.

PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIREDO, R. M. F. Massa específica de polpa de açaí em função do teor de sólidos totais e da temperatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 526-530, 2002.

PINTO, W. S.; DANTAS, A. C. V. L.; FONSECA, A. A. O.; LEDO, C. A. S.; JESUS, S. C.; CALAFANGE, P. L. P.; ANDRADE, E. M. Caracterização física, físico-química de frutos de genótipos de cajazeiras. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 38, n. 9, p. 1059-1066, 2003.

POLICARPO, V. M. N.; RESENDE, J. M.; ENDO, E.; BORGES, S. V.; CAVALCANTI, N. B.; OLIVEIRA, V. M. Caracterização físico-química da polpa de umbu em diferentes estádios de maturação. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 18, 2002, Porto Alegre. **Anais...** Porto Alegre: SBCTA, 2002. CD.

QUEIROZ, A. J. M. **Estudo do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga.** 1998. 170 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

RAO, M. A.; OTOYA-PALOMINO, L. N.; BERNHARDT, L. W. Flow properties of tropical fruit purees. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 39, n. 1, p. 160-161, 1974.

RAO, M. A. Rheology of liquid foods - a review. **Journal of Texture Studies**, Chicago, v. 8, n. 2, p. 135-68, 1977.

RAO, M. A. **Rheological properties of fluid foods.** In: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H.; **Engineering properties of foods.** New York: Marcel Dekker, 1986. Cap. 5, p. 1-47.

RAO, M. A.; ANANTHESWARAN, R. C. Rheology of fluids in food processing. **Food Technology**, New York, v. 36, n. 2, p. 116-126, 1982.

RATTER, J.A.; RIBEIRO, J.F. Biodiversity of the flora of the Cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, 8., 1996, Brasília. **Anais ... Planaltina: Embrapa Cerrados**, 1996. p.3-5.

RODRIGUES, J. A. S.; PINHEIRO, R. V. R.; MANICA, I.; CASALI, V. W. D.; CONDÊS, A. R. Comportamento de dez variedades de manga (*Mangifera indica*) em Viçosa e Visconde do Rio Branco. **Ceres**, Viçosa, v. 24, n. 136, p. 580-595, 1977.

SANTANA, L. R. R.; MATSUURA, F. C. A. U.; CARDOSO, R. L. Genótipos melhorados de mamão (*Carioca papaya* L.): avaliação sensorial e físico-química dos frutos. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 2, p. 217-222, 2004.

SATO, A. C. K.; CUNHA, R. L. Caracterização reológica da polpa de jabuticaba. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 19., Recife. **Anais...** Recife: SBCTA, 2004. CD.

SARAVACOS, G. D. Effect of temperature on viscosity of fruits juice and purees. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 35, n. 2, p. 122-125, 1970.

SARAVACOS, G. D. Reological aspects of fruit juice evaporation. In: SPICER, A. **Advances in preconcentration of foods**. New York: John Willey, 1974. p. 101-110.

SGABIERI, W. C. **Alimentação e nutrição: fator de saúde e desenvolvimento**. UNICAMP/Almed, Campinas/São Paulo, 1987.

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. Campina Grande, v.4, n.1, p.71-78, 2002.

SILVA, F.C. **Reologia do suco de acerola: efeito da concentração e temperatura**. 1999. 110p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SILVA, A. de P. V.; MAIA, G. A.; OLIVEIRA, G. S. F.; FIGUEIREDO, R.; BRASIL, I. M. Estudo da produção do suco de cajá (*Spondias lútea* L.) **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 19. n. 1, 1999.

SILVA, D. J. **Análise de alimentos: métodos químicos e biológicos**. Viçosa: Imprensa Universitária/ UFV, 1981. 166 p.

SILVA, C. F. **Reologia do suco de acerola: efeito da concentração e temperatura**. 2000. 110 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SILVA, R. N. G. **Produção e armazenamento da polpa de umbu-cajá em pó**. 2003. 55 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

SOARES, L. M. V.; SHISHIDO, K.; MORAES, A. M. M.; MOREIRA, V. A. Composição mineral de sucos concentrados de frutas brasileiras. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 24, n. 2, p. 202-206, 2004.

SOARES, E. C.; OLIVEIRA, G. S. F.; MAIA, G. A.; MONTEIRO, J. C. S.; SILVA Jr., A.; S. FILHO. M. S. Desidratação da polpa de acerola pelo processo "Foam-mat". **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 21, n. 2, p. 164-170, 2001.

SOARES JUNIOR, A. M.; MAIA, A. B. R. A.; NELSON, D. L. Estudo do efeito de algumas variáveis de fabricação no perfil texturométrico do doce de manga. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 23, n. 1, p. 76-80, 2003.

SOUZA, F.X. *Spondias agroindustriais e os seus métodos de propagação*. Fortaleza: EMBRAPA-CNPAT/SEBRAE/CE, 1998. 28 p.

SOUZA, F. X.; SOUZA, F. H. L.; FREITAS, J. B. S. Caracterização morfológica de endocarpos de umbu-cajá. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 48., 1997, Crato. **Resumos...** Fortaleza: SBB/BNB, 1997. p. 11.

SOUZA, S.; MONTEIRO FILHO, A F.; BRAGA, M. E. D.; MATA. C. M. E. R. M. Alterações das características físicas dos frutos de umbu como processo de secagem. In: CONGRESSO BRASILEIRO de ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, 1999, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1999. CD.

SOUZA, D. O. C.; RAMOS, A. M.; STRIGHETA, P. C. **Densidade e viscosidade de polpas de abacaxi e de acerola em função da concentração de sólidos solúveis e da temperatura**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 19., Recife. **Anais...** Recife: SBCTA, 2004. CD.

TANGLERTPAIBUL, T.; RAO, M. A. Rheological properties of tomato concentrates as affected by particle size and methods of concentration. **Journal of Food Science**, Chicago, v. 52, n. 1, p. 141-145, 1987.

TRIFIRÓ, A.; SACCANI, G.; GHERARDI, S.; BIGLIARDI, D. Effect of content and sizes of suspended particles on the rheological behaviour of apricot purees. **Industria Conserve**, Chicago, v. 62, n. 1, p. 97-104, 1987.

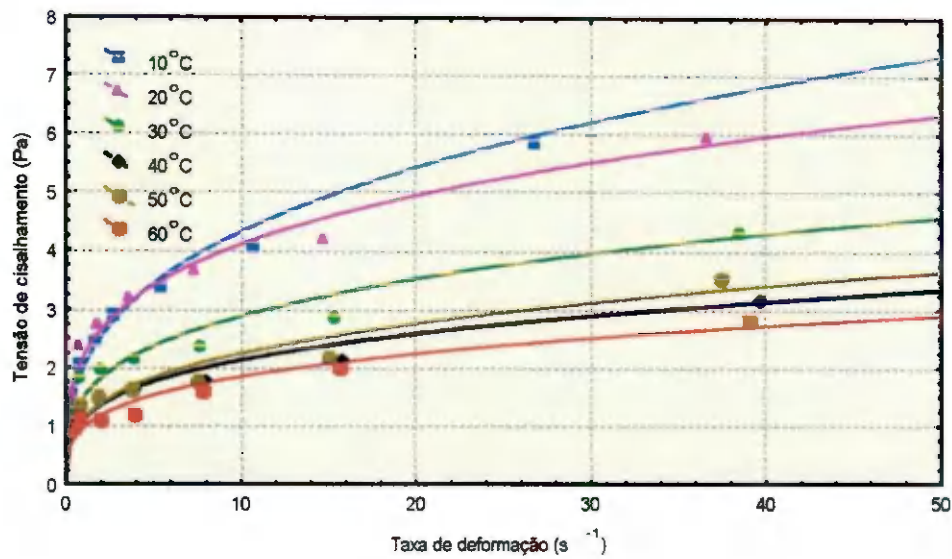
VARSHNEY, N. N.; Kumbhar, B. K. Effect of concentration and temperature on rheological properties of pineapple and orange juices. **Journal of Food Science Technology**, Oxford, v. 15, n. 2, p. 53-55, 1978.

VAN WAZER, R. J.; LYONS, J. W.; KIM, K. Y.; COLWELL, R. E. **Viscosity and flow measurement: a laboratory handbook of rheology**. New York: Interscience publishers, 1963. 406 p.

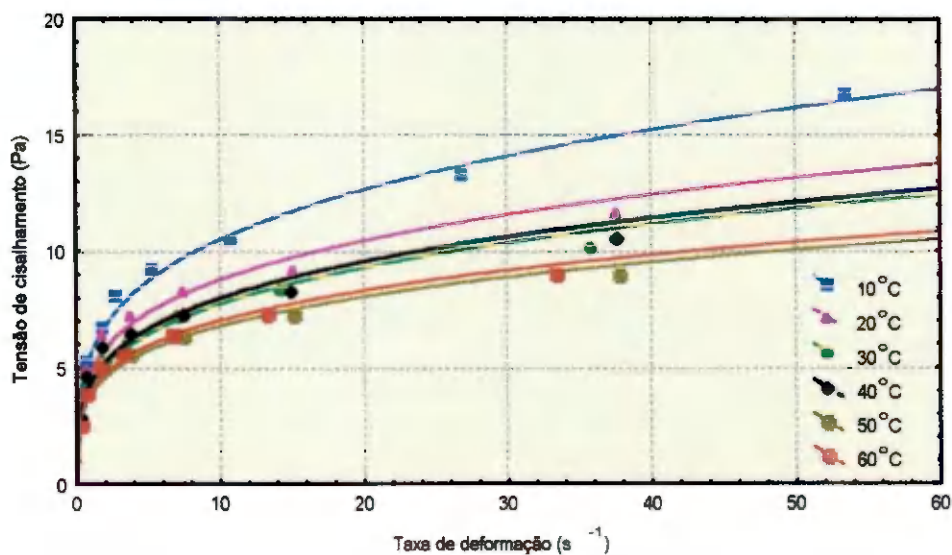
VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETO, C. A.; GRANDIN, A. Efeito do comportamento reológico da polpa de manga. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, Guarapuava, v. 1, n. 2, p. 69-76, 2000a.

VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETO, C. A. Comportamento reológico de manga (*Mangífera indica* L): efeito dos sólidos insolúveis. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v. 20, n. 2, p. 172-175, 2000b.

# *Apêndice A*

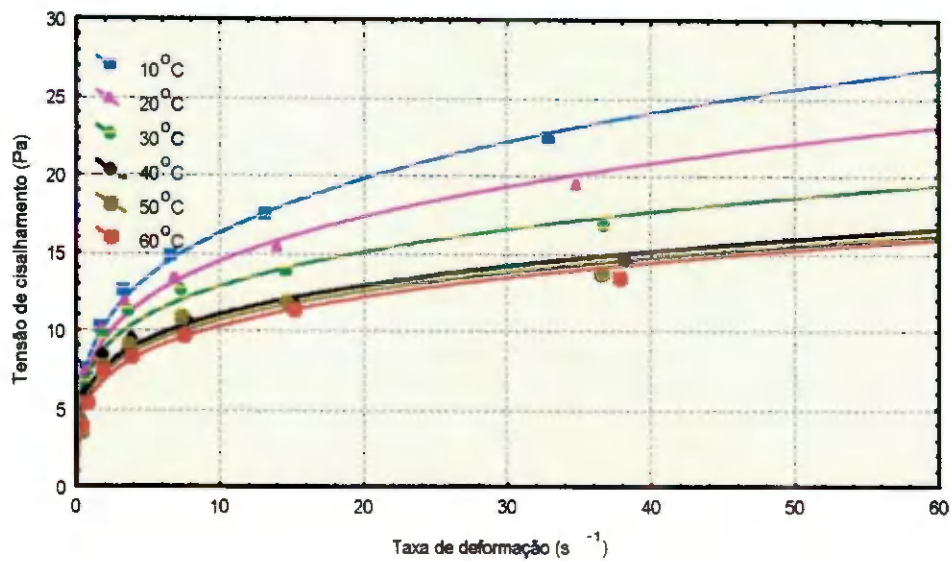


**Figura A.1.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waele para a polpa de umbu-cajá a 9°Brix

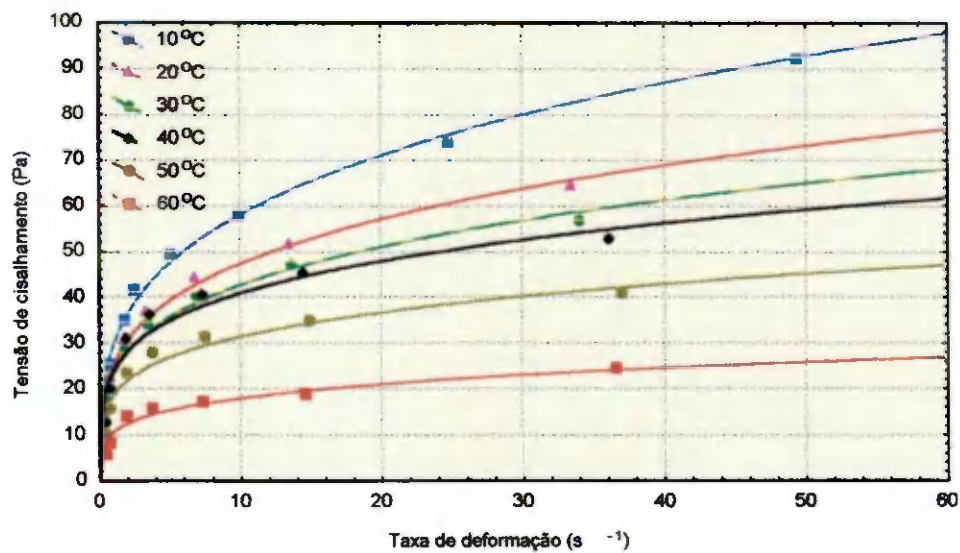


**Figura A.2.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waele para a polpa de umbu-cajá a integral (13°Brix)

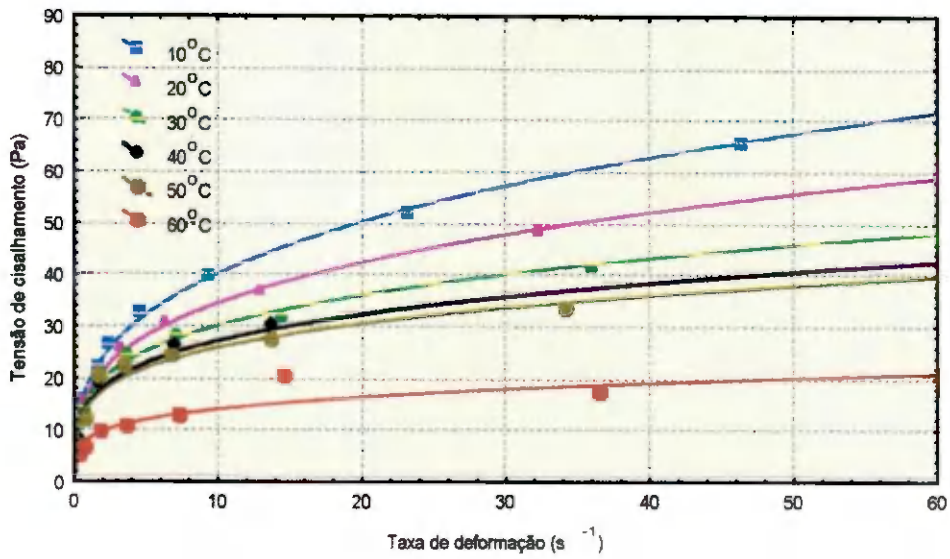




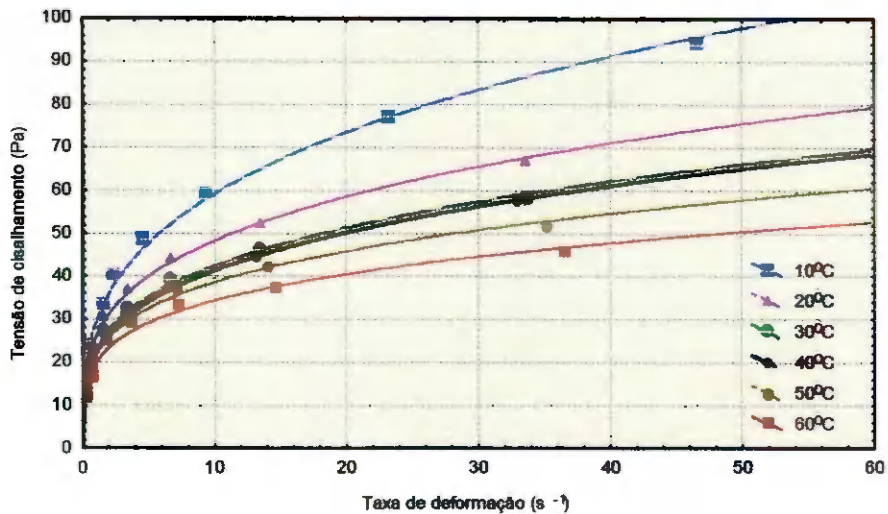
**Figura A.3.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waelle para a polpa de umbu-cajá a 15°Brix



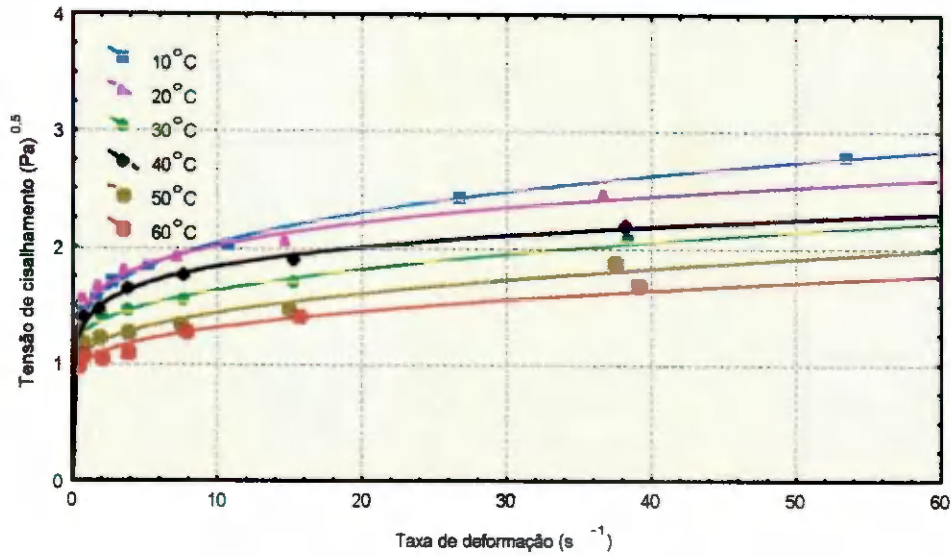
**Figura A.4.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waelle para a polpa de umbu-cajá a 18°Brix



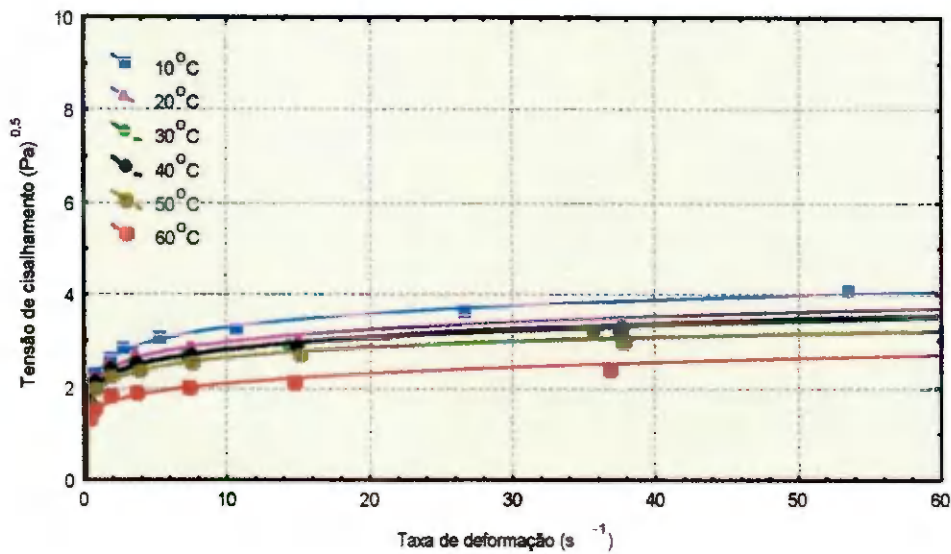
**Figura A.5.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waelle para a polpa de umbu-cajá a 21°Brix



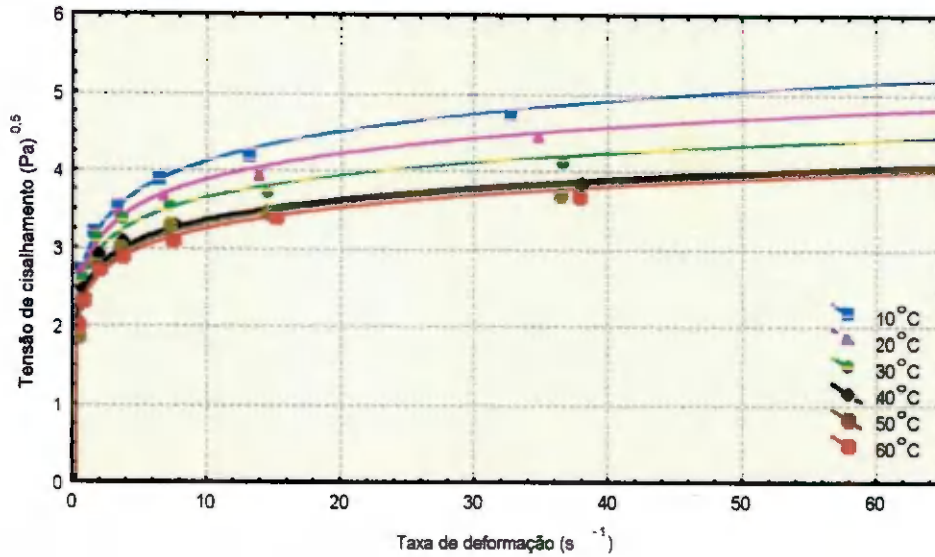
**Figura A.6.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waelle para a polpa de umbu-cajá a 24°Brix



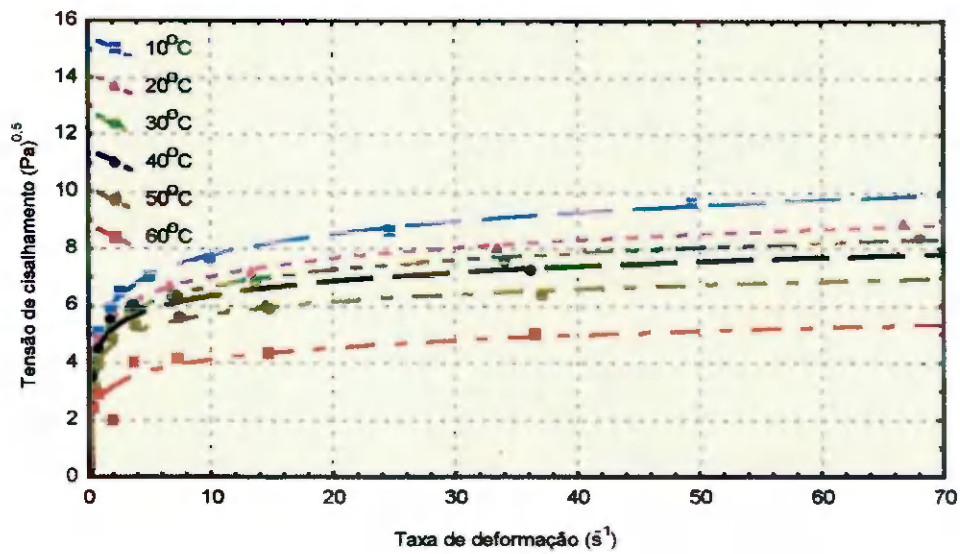
**Figura A.7.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk para a polpa de umbu-cajá a 9°Brix



**Figura A.8.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk para a polpa de umbu-cajá a integral (13°Brix)

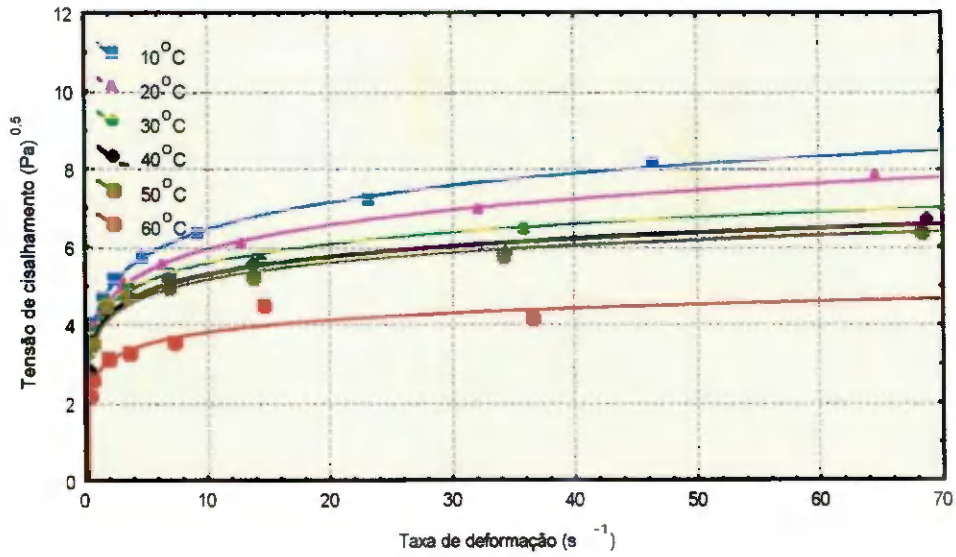


**Figura A.9.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk para a polpa de umbu-cajá a 15°Brix

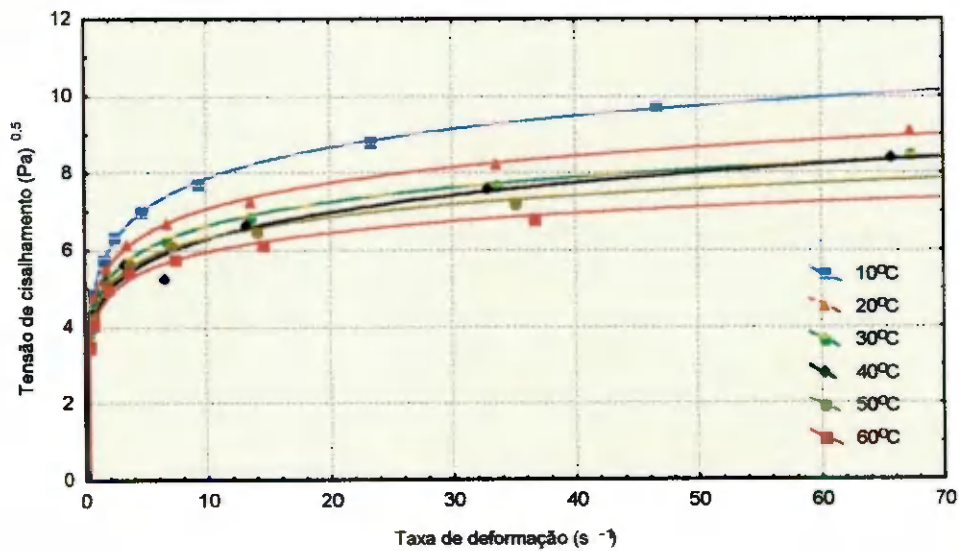


**Figura A.10.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk para a polpa de umbu-cajá a 18°Brix

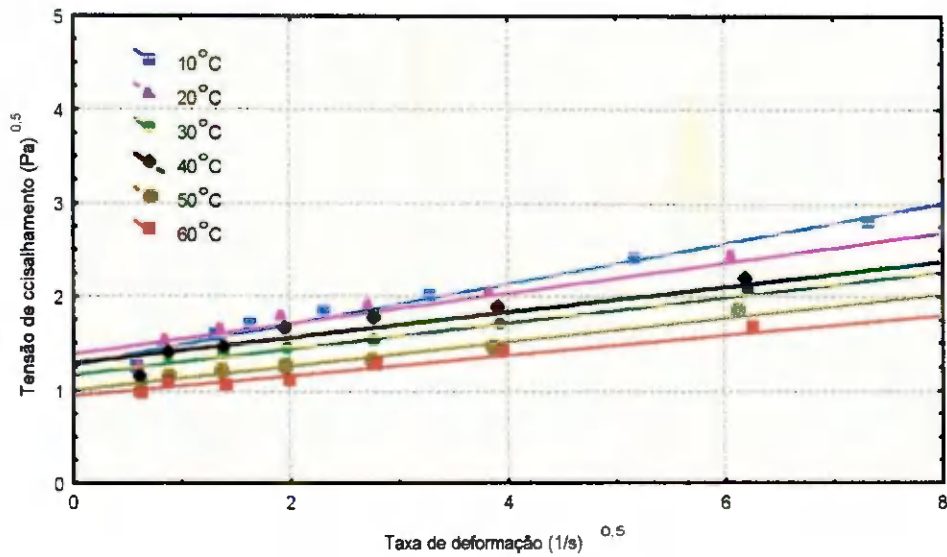




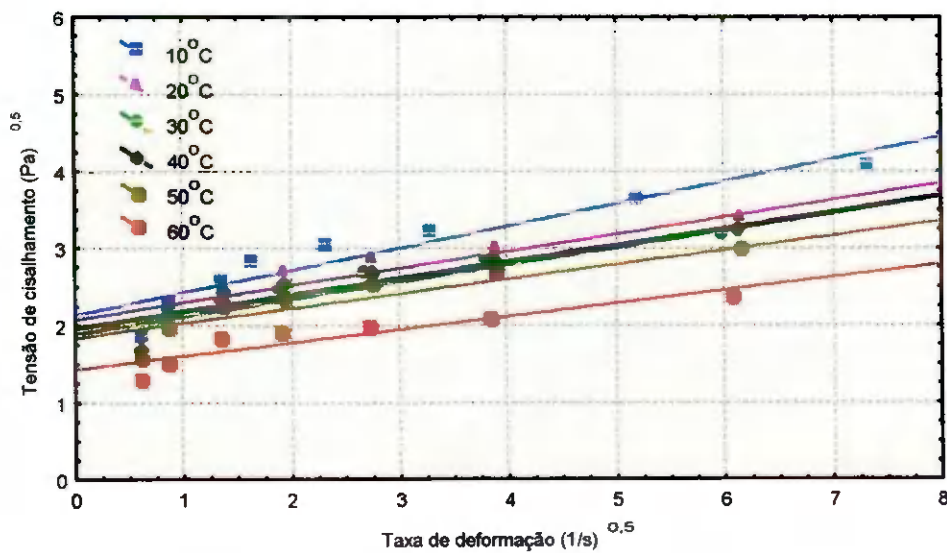
**Figura A.11.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk para a polpa de umbu-cajá a 21°Brix



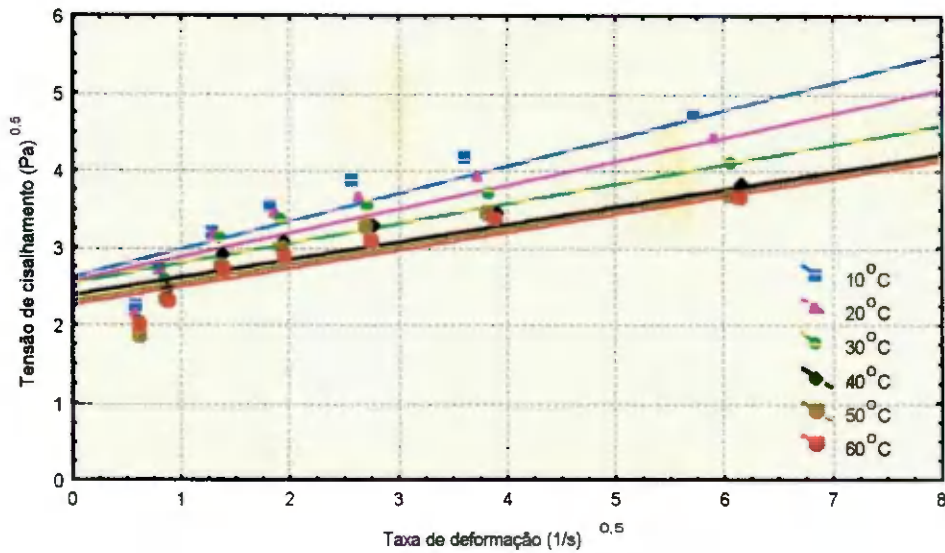
**Figura A.12.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk para a polpa de umbu-cajá a 24°Brix



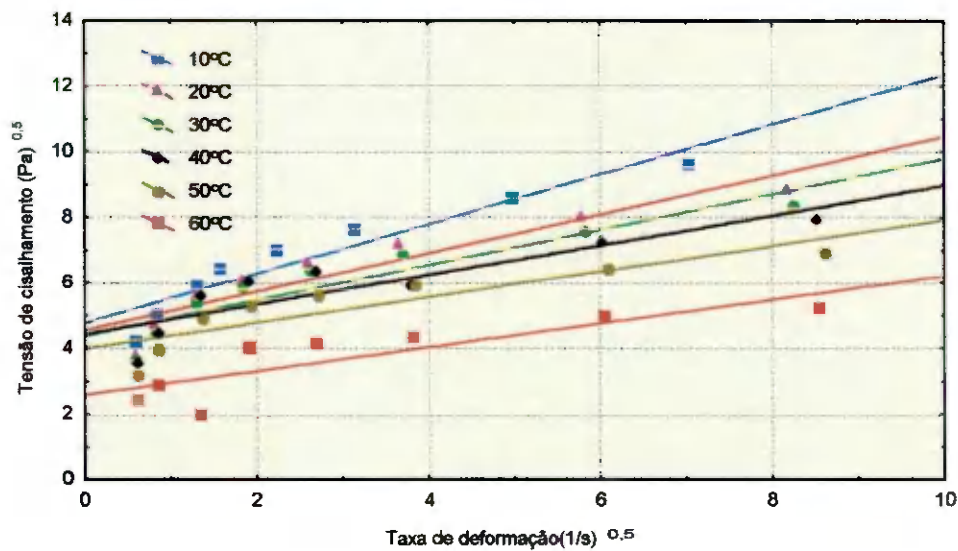
**Figura A.13.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Casson para a polpa de umbu-cajá a 9°Brix



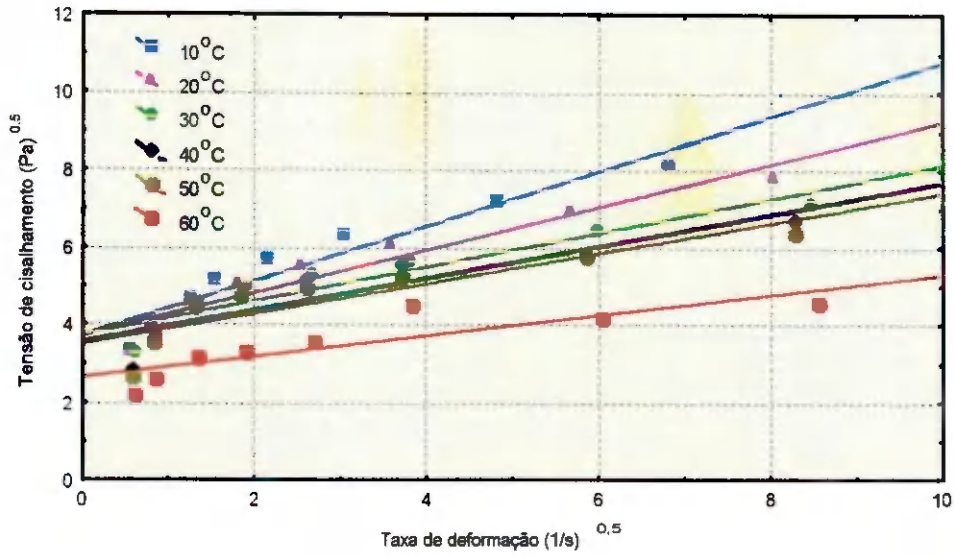
**Figura A.14.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Casson para a polpa de umbu-cajá a 13°Brix (integral)



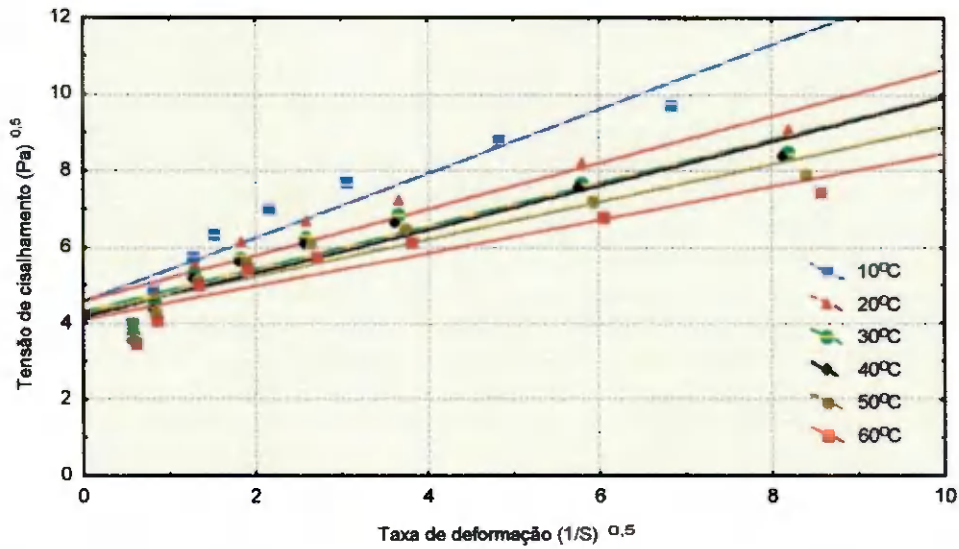
**Figura A.15.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Casson para a polpa de umbu-cajá a 15°Brix



**Figura A.16.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Casson para a polpa de umbu-cajá a 18°Brix



**Figura A.17.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Casson para a polpa de umbu-cajá a 21°Brix



**Figura A.18.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Casson para a polpa de umbu-cajá a 24°Brix