



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB**  
**PRO-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS E  
COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DE  
JENIPAPO (*Genipa americana* L.)**

**NORMANE MIRELE CHAVES DA SILVA**

**ITAPETINGA – BAHIA - BRASIL**  
**NOVEMBRO - 2008**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**NORMANE MIRELE CHAVES DA SILVA**

**PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS E COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA  
POLPA DE JENIPAPO (*Genipa americana* L.)**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação de Mestrado em Engenharia de Alimentos, Área de Concentração em Engenharia de Processos de Alimentos, para obtenção do título de “Mestre”.

Orientadora: Prof. D.Sc. Renata Cristina Ferreira Bonomo

Co-Orientador: Prof. D.Sc. Modesto Antonio Chaves

Co-orientador: Prof. D.Sc. Paulo Bonomo

**ITAPETINGA – BAHIA - BRASIL  
NOVEMBRO - 2008**

634.44 Silva, Normane Mirele Chaves.  
S581p Propriedades termofísicas e comportamento reológico da polpa de jenipapo (*genipa americana* l.). / Normane Mirele Chaves Silva. – Itapetinga-Ba: Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB, 2008.  
56p. Il.

Dissertação do Programa de Pós-Graduação “*Strictu Senso*” do Curso de Pós-graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB. Sob a orientação da Prof. D.Sc. Renata Cristina Ferreira Bonomo e Co-orientadores, Prof. D.Sc. Modesto Antonio Chaves e Prof. D.Sc. Paulo Bonomo.

Dissertação normalizada e revisada por Rogério Pinto de Paula – CRB 1746-6 Reg.

1. Engenharia de Processos de Alimentos – Polpa de Jenipapo – Propriedades termofísicas – Reologia. 2. Frutas tropicais – Jenipapo. I. Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia-UESB - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos. II. Bonomo, Renata Cristina Ferreira (Orientadora). III. Chaves, Modesto Antonio (Co-orientador). IV. Bonomo, Paulo (Co-orientador). V. Título.

**CDD(21) 634.44**

#### **Catálogo na Fonte:**

Rogério Pinto de Paula – CRB 1746-6 Reg.  
Diretor da Biblioteca Regina Célia Ferreira Silva – BIRCEFS  
Presidente do Conselho de Bibliotecas da UESB  
UESB – Campus de Itapetinga-BA

#### **Índice Sistemático Para Desdobramentos Por Assunto:**

- 1 Engenharia de Alimentos – Processos – Polpa de Jenipapo
- 2 Jenipapo – Propriedades termofísicas - Reologia
- 3 Frutas tropicais – Jenipapo

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO SUDOESTE DA BAHIA – UESB**  
**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

*Área de Concentração em Engenharia de Processos de Alimentos*

*Campus de Itapetinga – BA*

**TERMO DE APROVAÇÃO**

**Título: “Propriedades Termofísicas e Comportamento Reológico da Polpa de Jenipapo  
(*Genipa americana* L.)”.**

**Autor: Normane Mirele Chaves da Silva**

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de **Mestre em Engenharia de Alimentos**, área de concentração em **Engenharia de Processos de Alimentos**, pela Banca Examinadora:

---

Prof. D.Sc. Renata Cristina Ferreira Bonomo – UESB  
Presidente

---

Prof. D.Sc. Luciano Brito Rodrigues – UESB

---

Prof. D.Sc. Edwin Elard Garcia Rojas – UFF

Data da defesa: 28/11/2008

UESB – Campus Juvino Oliveira, Praça Primavera nº 40 – Telefone: (77) 3261-8629  
Fax: (77) 3261-8701 – Itapetinga – BA – CEP: 45.700-000 – E-mail: ppgeal@uesb.br

*Para minha mãe Sueli,  
E toda minha família!*

**DEDICO**

## AGRADECIMENTOS

*Agradeço primeiramente á Deus, que é a semente germinadora que transforma nossos sonhos em realidade;*

*À Profª. D.Sc. Renata Cristina Ferreira Bonomo pela orientação, dedicação, incentivo, amizade, minha eterna gratidão;*

*Ao Prof. Rafael Fontam, pelo empenho dispensado, e também conhecimento transmitido nos momentos de dúvidas;*

*Ao Prof. Sérgio de Castro, pela disposição abrindo caminhos para realização do experimento;*

*Aos meus co-orientadores Prof. D.Sc. Paulo Bonomo e Prof. D.Sc. Modesto Antonio Chaves pelas valiosas sugestões na elaboração da dissertação;*

*Ao meu namorado Lucas pelo carinho, paciência, por está presente em minha vida nos momentos de alegria e de incertezas me dando forças para superar os desafios;*

*À UESB pela bolsa concedida durante o curso de Mestrado;*

*À Vanessa e Evaldo , pela importante ajuda na parte experimental e por estarem sempre dispostos a me ajudar;*

*Aos colegas e amigos do Mestrado, em especial à Eliza, Ellen, Alexandra, Ítalo, Ivan, Calila e Gutto, pela companhia e cumplicidade.*

*E a todos que de alguma maneira cruzaram e colaboraram nesta minha jornada.*

*De tudo ficaram três coisas:  
A certeza de que estamos sempre começando  
A certeza de que é preciso continuar  
E a certeza de que podemos ser interrompidos  
Antes de terminar;  
Fazer da interrupção um caminho novo,  
Fazer da queda um passo de dança,  
Do medo uma escola,  
Do sonho uma ponte,  
Da procura um encontro,  
E assim terá valido apenas existir!*

**(Fernando Pessoa)**



## RESUMO

SILVA, N.M.C. Propriedades Termofísicas e Comportamento Reológico de Polpa de Jenipapo (*Genipa americana* L.). Itapetinga – BA: UESB, 2008. (Dissertação – Mestrado em Engenharia de Alimentos – Engenharia de Processos de Alimentos)<sup>(1)</sup>

Neste trabalho objetivou-se determinar as propriedades termofísicas e reológicas da polpa de jenipapo. O experimento foi realizado no Módulo de Laboratórios da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia – UESB, Campus de Itapetinga, BA. A caracterização da polpa foi feita determinando-se o teor de sólidos solúveis, pH, acidez total, umidade, proteínas, fibras e cinzas. As propriedades termofísicas determinadas foram: o calor específico, a massa específica, a difusividade térmica e a condutividade térmica. Para determinação destas propriedades foram utilizadas polpas com diferentes teores de água, numa faixa de 76% a 94%. A influência da temperatura nas mesmas também foi avaliada, sendo a faixa de temperatura de 5°C a 80 °C. Foi avaliado o efeito do teor de sólidos totais e da temperatura no comportamento reológico. Para isso, a faixa de temperatura foi de 10°C à 60°C, e os teores de sólidos totais de 6,0%, 7,5%, 9,0% e 10,5%. A temperatura e o teor de água influenciaram as propriedades termofísicas estudadas, sendo que a massa específica diminuiu com a temperatura e do teor de água. O calor específico diminuiu com a redução do teor de água. A difusividade e a condutividade térmica apresentaram comportamentos semelhantes, ambas foram proporcionais à temperatura e ao teor de água. Os modelos de Plástico de Bingham e o de Herschel-Bulkley foram os que proporcionaram melhores ajustes aos dados experimentais. O parâmetro índice de consistência (k), ajustado pelos modelos de Herschel-Bulkley, Casson, Mizrahi-Berk, Plástico de Bingham e Lei da Potência não apresentou uma tendência de definida nas concentrações estudadas com o aumento da temperatura. O efeito da temperatura sobre a viscosidade foi avaliado através da equação de Arrhenius. A energia de ativação ( $E_a$ ) diminuiu com o aumento do teor de sólidos totais. O parâmetro viscosidade plástica ( $\mu_p$ ) ajustado no modelo de Plástico Bingham apresentou uma tendência de decréscimo com o aumento da temperatura.

Palavras-chave: Propriedades termofísicas, Reologia, Jenipapo.

---

<sup>1</sup> Orientadora: Renata Cristina Ferreira Bonomo, D.Sc., UESB e Co-orientadores: Paulo Bonomo, D.Sc., UESB; Modesto Antonio Chaves, D.Sc., UESB.

## ABSTRACT

SILVA, N.M.C. **Thermophysical Properties and Rheological Behavior of Genipap Pulp (*Genipa americana* L.)**. Itapetinga – BA: UESB, 2008. (Dissertation – Master in Food Engineering – Food Process Engineering)<sup>(1)</sup>

This work aimed to determine the thermophysical properties and the rheological behavior of the genipap pulp. The experiment was performed in the State University of Bahia Southwest – UESB, Campus of Itapetinga, BA. The characterization of the pulp consisted in determining the content of soluble solids, pH, total acidity, humidity, proteins, fibers and ashes. The thermophysical properties determined were: the specific heat, the specific weight, the diffusivity thermal, and the thermal conductivity. To determine these properties were used pulps with different water contents (76% to 94%) and different temperatures (5°C to 80 °C). The effect of total solids content (6,0%, 7,5%, 9,0% and 10,5%) and temperature change (10°C to 60°C) in the rheological behavior was also evaluated. The increase of temperature and water content caused a reduction in the specific weight. Whereas the specific heat diminished with the water content decrease. The diffusivity and the thermal conductivity presented similar behaviors with both directly proportional to temperature and the water content. The Bingham plastic and the Herschel-Bulkley models were those who provided better approaches to the experimental data. The consistency index parameter (k), adjusted by the models of Herschel-Bulkley, Casson, Mizrahi-Berk, Bingham plastic and Power-Law did not present a defined tendency in the concentrations studied with the increase of the temperature. The effect of the temperature on the viscosity was evaluated with the Arrhenius equation. The Energy of acceleration (Ea) diminished with the increase of the total solids content. The plastic viscosity ( $\mu_p$ ) adjusted in the Bingham plastic model presented a tendency of decrease with the increase of temperature.

**Key Words:** Thermophysical Properties, Rheology, Genipap.

---

<sup>1</sup> Advisor: Renata Cristina Ferreira Bonomo, D.Sc., UESB e Co-advisors: Paulo Bonomo, D.Sc., UESB; Modesto Antonio Chaves, D.Sc., UESB.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Jenipapeiro.....	17
Figura 2 -	Jenipapo.....	18
Figura 3 -	Fluxograma de obtenção da polpa de jenipapo.....	28
Figura 4 -	Desenho esquemático do calorímetro de mistura utilizado para medição do calor específico.....	31
Figura 5 -	Esquema do aparato para medição de difusividade térmica.....	32
Figura 6 -	Reômetro DVII+.....	33
Figura 7 -	Acessórios do reômetro DVII+.....	33
Figura 8 -	Variação da densidade com a temperatura e com o teor de umidade da polpa de jenipapo.....	35
Figura 9 -	Calor específico da polpa de Jenipapo em função do teor de umidade.....	37
Figura 10 -	Variação da difusividade térmica com a temperatura e com o teor de umidade.....	39
Figura 11 -	Variação da Condutividade térmica com a temperatura e com o teor de umidade.....	40
Figura 12 -	Reograma da polpa de jenipapo nas concentrações de 6%; 7,5%; 9,0% e 10,5% a 10°C.....	41
Figura 13 -	Reograma da polpa de jenipapo nas concentrações de 6%; 7,5%; 9,0% e 10,5% a 20°C.....	41
Figura 14 -	Reograma da polpa de jenipapo nas concentrações de 6%; 7,5%; 9,0% e 10,5% a 30°C.....	42
Figura 15 -	Reograma da polpa de jenipapo nas concentrações de 6%; 7,5%; 9,0% e 10,5% a 40°C.....	42
Figura 16 -	Reograma da polpa de jenipapo nas concentrações de 6%; 7,5%; 9,0% e 10,5% a 50°C.....	43
Figura 17 -	Reograma da polpa de jenipapo nas concentrações de 6%; 7,5%; 9,0% e 10,5% a 60°C.....	43
Figura 18 -	Efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente calculada na taxa de deformação de $100 \text{ s}^{-1}$ , segundo a equação de Arrhenius, para polpa de jenipapo nas concentrações de 6,0% a 10,5%.....	48
Figura 19 -	Efeito da temperatura sobre o parâmetro $\mu_P$ Plástico de Bingham para polpa de jenipapo nas concentrações de 6,0%, 7,5%, 9,0% e 10,5% de sólidos totais.....	49

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Modelos utilizados nos ajustes das curvas de escoamento.....	25
Tabela 2 -	Caracterização físico-química da polpa de jenipapo.....	34
Tabela 3 -	Valores Experimentais da Densidade da Polpa de Jenipapo.....	35
Tabela 4 -	Valores médios do calor específico da polpa de jenipapo em função do teor de umidade.....	37
Tabela 5 -	Ajuste dos parâmetros reológicos da polpa de jenipapo nas diversas concentrações a 10°C.....	45
Tabela 6 -	Ajuste dos parâmetros reológicos da polpa de jenipapo nas diversas concentrações a 20°C.....	45
Tabela 7 -	Ajuste dos parâmetros reológicos da polpa de jenipapo nas diversas concentrações a 30°C.....	46
Tabela 8 -	Ajuste dos parâmetros reológicos da polpa de jenipapo nas diversas concentrações a 40°C.....	46
Tabela 9 -	Ajuste dos parâmetros reológicos da polpa de jenipapo nas diversas concentrações a 50°C.....	47
Tabela 10 -	Ajuste dos parâmetros reológicos da polpa de jenipapo nas diversas concentrações a 60°C.....	47
Tabela 11 -	Viscosidade aparente e energia de ativação, na taxa de deformação de $100 \text{ s}^{-1}$ , da polpa de jenipapo em diversas concentrações.....	49

## LISTA DE SÍMBOLOS

$\rho$	Densidade ou Massa específica ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\rho_A$	Densidade da amostra ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$\rho_{\text{H}_2\text{O}}$	Densidade da água ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )
$m_A$	Massa da amostra (kg)
$m_{\text{H}_2\text{O}}$	Massa de água (kg)
$m_V$	Massa do picnômetro vazio (kg)
$c_p$	Calor específico ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )
$c_p$	Calor específico da amostra ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )
$c_{p\text{H}_2\text{O}}$	Calor específico da água ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )
$C_{\text{cal}}$	Capacidade calorífica do calorímetro ( $\text{kJ} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )
$T$	Temperatura ( $^\circ\text{C}$ )
$T_e$	Temperatura de Equilíbrio ( $^\circ\text{C}$ )
$T_i$	Temperatura inicial ( $^\circ\text{C}$ )
$T_w$	Temperatura inicial da água ( $^\circ\text{C}$ )
$\alpha$	Difusividade térmica ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
$\alpha_A$	Difusividade da amostra ( $\text{m}^2/\text{s}$ )
$A$	Taxa de aquecimento ( $^\circ\text{C}/\text{s}$ )
$T_{\text{ext}}$	Temperatura externa da célula ( $^\circ\text{C}$ )
$T_{\text{int}}$	Temperatura interna da célula ( $^\circ\text{C}$ )
$K$	Condutividade Térmica ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )
$K_w$	Condutividade Térmica da água ( $\text{W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot ^\circ\text{C}^{-1}$ )
$k$	Índice de consistência (adimensional)
$n$	Índice de comportamento do fluido (adimensional)
$\mu$	Viscosidade absoluta (Pa.s)
$\gamma$	Taxa de deformação ( $\text{s}^{-1}$ )
$\tau$	Tensão de cisalhamento (Pa.s)
$\eta_{\text{ap}}$	Viscosidade aparente (Pa.s)
$\mu_p$	Viscosidade plástica (Pa.s)
$E_{\text{at}}$	Energia de ativação (kcal/mol)
$\sigma_o$	Tensão inicial (Pa.s)

## SUMÁRIO

<b>1– INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2 – REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
2.1 – Jenipapo.....	17
2.2 – Propriedade Termofísicas.....	18
2.2.1 – Densidade ou Massa Específica.....	19
2.2.2 - Calor Específico.....	19
2.2.3 – Difusividade Térmica.....	20
2.2.4 – Condutividade Térmica.....	21
2.3 – Reologia .....	22
2.3.1– Modelos Reológicos.....	24
2.3.2– Efeito da temperatura no comportamento reológico.....	26
<b>3 – MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
3.1 – Material.....	28
3.2 – Planejamento experimental.....	28
3.3 – Caracterização físico-química.....	29
3.3.1 – Teor de Umidade e sólidos totais.....	29
3.3.2 – pH.....	29
3.3.3 – Sólidos solúveis.....	30
3.3.4 – Acidez total titulável.....	30
3.3.5 – Cinzas.....	30
3.3.6 – Proteínas.....	30
3.3.7 – Fibras.....	30
3.4 – Determinação das Propriedades Termofísicas.....	30
3.4.1 – Determinação da Densidade.....	30
3.4.2 – Determinação do Calor Específico.....	31
3.4.3 – Determinação da Difusividade Térmica.....	31

3.4.4 – Determinação da Condutividade Térmica.....	32
3.5 – Determinação das Propriedades Reológicas.....	32
<b>4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>34</b>
4.1 – Caracterização Físico-Química.....	34
4.2 – Densidade ou Massa específica.....	34
4.3 – Calor Específico.....	36
4.4 – Difusividade Térmica.....	38
4.5 – Condutividade Térmica.....	39
4.6 – Comportamento reológico.....	40
4.6.1. Polpa de Jenipapo.....	40
4.6.2. Efeito da temperatura sobre os parâmetros reológicos.....	48
<b>5 – CONCLUSÃO.....</b>	<b>50</b>
<b>6 – REFERÊNCIAS.....</b>	<b>51</b>

# 1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de clima tropical, que se destaca pela sua grande biodiversidade onde se encontram inúmeras frutas com potencial de exportação no mercado internacional, devido ao seu exótico sabor e elevado valor nutricional. Sendo o terceiro maior produtor mundial de frutas (EMBRAPA, 2005) e um dos maiores países exportadores. A produção é vendida, especialmente, em países da Europa e Estados Unidos. A maior parte dessas frutas apresenta qualidade sensorial excepcional o que desperta interesse do mercado. Essas frutas tem sido alvo de pesquisas ao longo dos anos, sendo este um ponto fundamental para que o aproveitamento tecnológico das mesmas seja realizado de maneira otimizada (MATTIETTO *et al.*, 2003). Nesse grupo ressalta-se o jenipapo (*Genipa americana* L.), cuja demanda tem crescido acentuadamente.

O jenipapeiro pertence a uma família que ocupa o quarto lugar de todo o reino vegetal em número de espécies, a família *Rubiceae* (CHIQUEIRI *et al.*, 2004). É uma espécie que apresenta importância econômica, tanto como essência florestal quanto como produtora de frutos utilizados na alimentação humana (BARROS, 1970). Seus frutos são consumidos *in natura* ou utilizados para a produção de doces e licores. Na Bahia, a produção de jenipapo, embora extrativista constitui-se em uma alternativa econômica, principalmente para a agricultura familiar. Entretanto não há uniformidade com relação à produção e qualidade dos frutos, sendo esse um empecilho para a industrialização em escala comercial.

Polpas de frutas, destinadas à industrialização estão, como outros produtos alimentícios, sujeitas a processos de aquecimento e resfriamento. Os tratamentos térmicos são necessários para eliminar microorganismos contaminantes, inativar enzimas e retardar processos metabólicos e microbiológicos em condições de estocagem. Geralmente quando o alimento não é consumido imediatamente, existe a necessidade de ser processado, resfriado ou congelado para conservar suas características (ARAÚJO, QUEIROZ e FIGUEIREDO, 2004).

O conhecimento das propriedades relacionadas ao material é importante para o correto dimensionamento dos equipamentos destinados a estas operações. Os cálculos nos projetos de equipamentos aquecedores, resfriadores, evaporadores, separadores e embaladores dos produtos são realizados a partir dos valores das propriedades termofísicas (ARAÚJO *et al.*, 2004). Além dessas propriedades, o comportamento reológico ocupa posição de grande destaque, sendo útil não só como medida de qualidade, mas também em projetos, avaliação e operação dos equipamentos (IBARZ, GONÇALVEZ e PLUGAS, 1996).

As medidas reológicas são consideradas como uma ferramenta analítica por fornecer uma introspecção da organização estrutural dos alimentos (HOLDSWORTH, 1971), sendo os dados reológicos essenciais em processos, controle de qualidade, avaliações sensoriais, estabilidade e aceitação dos produtos pelos consumidores (ABU-JDAYIL *et al.*, 2002; STEFFE, 1996).



A descrição da reologia dos fluidos não-newtonianos é feita através de modelos empíricos que são usados para relacionar os dados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação. Os modelos mais utilizados para uma análise mais detalhada e que estão sendo utilizados neste trabalho são: Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk, Casson e Plástico de Bingham.

Assim sendo, teve-se como finalidade neste trabalho avaliar a influência da temperatura e do teor de água nas propriedades termofísicas envolvidas no processamento da polpa de jenipapo: calor específico, massa específica, condutividade térmica e difusividade térmica bem como determinar as propriedades reológicas em função da temperatura e concentração da mesma. Os dados obtidos neste trabalho poderão ser utilizados em projetos e adequação de equipamentos para o processamento do jenipapo.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 Jenipapo

Existe uma variedade de frutas, que se destacam por serem amplamente cultivadas no Brasil, exportadas e consumidas ao redor do mundo, dentre estas podemos citar a banana, goiaba e a manga. Entretanto há uma série de frutas de caráter regional que ainda não foram adequadamente exploradas a despeito do seu potencial econômico, como o Jenipapo (*Genipa americana* L).

O jenipapeiro (*Genipa americana* L.) pertence à família *Rubiaceae*, sendo considerado uma espécie de importância econômica, tanto como essência florestal, quanto pela produção de alimentos (BARROS citado por FIGUEIREDO *et al.*, 1986). Sua distribuição geográfica no Brasil abrange desde Marajó até São Paulo e Mato Grosso. Fora do Brasil, sua distribuição também é vasta, estendendo-se do México às Antilhas (GOMES, 1982).

A árvore, de 10 a 12m de altura tem caule reto em média de 60 centímetros de diâmetro, possui copa grande e arredondada com ramos numerosos e fortes, sempre glabros, de cascas lisas, espessas, cinzentas esverdeada e com manchas cinza mais claras (CORREA, 1969). Possuem folhas simples, opostas, pecioladas, de 20 a 42 centímetros de comprimento por 9 a 16 centímetros de largura, glabras em ambas as faces. Inflorescências surgem em rácermos axilares ou terminais, com flores hermafroditas amarelo-ouro contendo 5 pétalas (PRANCE, 1975).



Figura 1- Jenipapeiro.

Os frutos são do tipo baga subglobosa, de 8 a 10 cm de comprimento e 6 a 7 cm de diâmetro. Apresentam casca mole, parda ou pardacento-amarelada, membranosa, fina e enrugada (CORREA, 1969). De acordo com Figueiredo *et al.* (1986) o diâmetro do fruto pode chegar a até 8,5centímetros.

A casca e os frutos verdes contêm substâncias corantes violeta ou azul-escuro, denominada genipina, isolada pela 1ª vez em 1960 (ESTRELLA, 1995; PRANCE, 1975). Essa matéria corante é

solúvel na água e no álcool, mas torna-se preta em contato com o ar (PRANCE, 1975). Antigamente era usada pelos índios para se pintarem de negro e, ainda hoje é empregada na marcação de peças de roupas, pintura de tecidos de palha e outros utensílios domésticos (ALMEIDA, 1993).



Figura 2- Jenipapo (*Genipa Americana L.*)

Os frutos são comercializados em mercados locais, ou sob a forma de polpa, desidratado, cristalizado, doce em massa, licor, etc., fabricados artesanalmente (FIGUEREDO *et al.*, 1986 b; SILVA *et al.*, 1998; SANTOS 2001).

Inexistem, de igual forma, informações sobre as propriedades termofísicas e reológicas da polpa de jenipapo, importantes em sistemas industriais onde se aplicam processos de aquecimento, resfriamento.

## 2.2 Propriedades Termofísicas

O conhecimento das propriedades termofísicas é essencial para o projeto eficiente e econômico de operações de processamento de alimentos envolvendo transferência de calor. Falhas em equipamentos ou no projeto de processos podem ser atribuídas à falta dessas informações quando da seleção inadequada de valores de propriedades termofísicas usadas na análise inicial dos sistemas em estudo (MOURA *et al.*, 2003; INCROPERA e DEWITT 2003).

Desta forma, para as matérias-primas destinadas à industrialização, que estão sujeitas aos processos de aquecimento e resfriamento como, por exemplo a polpa de frutas, é interessante que se determinem suas propriedades termofísicas (ARAÚJO; QUEIROZ e FIGUEIREDO, 2004).

Portanto, é necessária tanto a obtenção de dados precisos de propriedades como a condutividade térmica, a difusividade térmica e o calor específico, quanto à predição do

comportamento dessas propriedades durante o processo, onde ocorrem variações de temperatura e composição (BRAYAN, *et al.*, 1999).

### 2.2.1 Densidade ou Massa específica

A massa específica é definida como a sua massa por unidade de volume é expressa em  $\text{kg/m}^3$  no sistema internacional de unidade. Dados sobre essa propriedade são necessários para projetar e avaliar equipamentos de processamento de alimentos como evaporadores, bombas, filtros e misturadores, e servem ainda como índice de qualidade do produto final (ALVARADO e ROMERO 1989).

Pereira *et al.* (2002), avaliaram a massa específica de polpa de açaí em três concentrações de sólidos totais (9,7%, 12% e 15,2%) e diferentes temperaturas (10°C a 50°C). Neste trabalho os autores observaram um decréscimo da densidade com o aumento do teor de água e da temperatura da polpa e propuseram um modelo linear para representar a influência dessas variáveis.

Ramos e Ibarz (1998) trabalharam com suco e purê de frutas. Na determinação da densidade do suco de laranja e de suco clarificado de pêssigo, foram utilizadas temperaturas de 0°C a 80°C e concentrações de 10°Brix a 60°Brix. Na determinação da densidade de purês de maçã e marmelo, a faixa de temperatura trabalhada também foi de 0°C, porém com uma concentração fixa de 12,3°Brix. A temperatura em todos os modelos ajustados apresentou efeito sobre a massa específica, tanto para os sucos como para os purês, enquanto que para concentração de sólidos nos sucos verificou-se o efeito quadrático nos modelos ajustados.

A determinação da densidade pelo método picnométrico tem sido realizada por vários autores, como Lima *et al.* (2003) para polpa de umbu e Moura *et al.* (2005) para soluções-modelo similares a sucos, onde o cálculo da densidade é realizado utilizando-se a Equação 1.

$$\rho_A = \rho_{H_2O} \cdot \frac{(m_A - m_V)}{(m_{H_2O} - m_V)} \quad (1)$$

Onde:  $\rho_A$  é a massa específica da amostra ( $\text{kg/m}^3$ ) a uma dada temperatura,  $\rho_{H_2O}$  é a massa específica da água ( $\text{kg/m}^3$ ) na mesma temperatura,  $m_A$  é a massa (kg) do picnômetro cheio da amostra,  $m_{H_2O}$  é a massa do picnômetro (kg) cheio de água e  $m_V$  é a massa do picnômetro (kg) vazio.

### 2.2.2 Calor específico

O calor específico é definido como a quantidade de energia necessária para alterar em uma unidade a temperatura de uma massa unitária de um material qualquer. Portanto, conhecer o calor específico é importante para determinar a quantidade de energia que se deve adicionar ou remover no processamento, dando uma indicação do gasto energético, o que num processo contínuo, tenderá

a influenciar o tamanho do equipamento. O calor específico dos alimentos é afetado significativamente pela quantidade de água e pelo estado físico da mesma. Os alimentos congelados com alto teor de água, por exemplo, podem ter valores para o calor específico aproximadamente iguais a metade dos correspondentes em seu estado fresco (LEWIS, 1993).

Para se determinar o calor específico o método do calorímetro de mistura é simples e bastante utilizado, como pelos autores VIEIRA (1996) para o suco de laranja; JHA e PRASAD (1993), em nozes; HENSE (1990) para filé de cação e SHARMA e TOMPSON (1973), para grãos de sorgo.

Neste método utiliza-se um recipiente isolado, de capacidade calorífica conhecida, preenchido com um líquido inerte. O cálculo do calor específico é feito através de um balanço global de energia em um sistema isolado termicamente (Equação 2).

$$c_{pA} = \frac{c_{pH2O} \cdot m_{H2O} \cdot (T_e - T_w) + C_{cal} \cdot (T_e - T_i)}{m_A \cdot (T_e - T_i)} \quad (2)$$

Onde:  $c_{pA}$  é o calor específico da amostra ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$ ),  $c_{pH2O}$  é o calor específico da água ( $\text{kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{°C}^{-1}$ ),  $C_{cal}$  é a capacidade calorífica do calorímetro ( $\text{kJ} \cdot \text{°C}^{-1}$ ),  $m_A$  é a massa de amostra (kg),  $m_{H2O}$  é a massa de água adicionada (kg),  $T_e$  é a temperatura de equilíbrio ( $\text{°C}$ ),  $T_i$  é a temperatura inicial da amostra e do calorímetro ( $\text{°C}$ ) e  $T_w$  é a temperatura inicial da água).

O calor específico dos alimentos vem sendo determinado por autores como SIMÕES (1997), que determinou o calor específico da polpa de manga e encontrou valores iguais a 2,25kJ/kg $\text{°C}$  para a polpa concentrada, 2,36 kJ/kg $\text{°C}$  para a polpa integral e 2,49 kJ/kg $\text{°C}$  para polpa peneirada. ALVARADO E ROMERO (1989) obtiveram para o suco de melancia, com umidade de 92,6% à temperatura de 18 $\text{°C}$ , um calor específico de 1,97 kJ/kg $\text{°C}$ .

MUNIZ *et al.* (2006) estudando polpa de bacuri em diferentes concentrações verificaram que o calor específico diminuiu com o aumento do teor de sólidos solúveis e a dependência com essa variável pode ser representada por uma relação do tipo quadrática. O valor médio do calor específico entre todas as concentrações foi de 3,19 kJ/kg $\text{°C}$ .

LIMA *et al.* (2003) determinaram as propriedades termofísicas de polpa de umbu com diferentes teores de sólidos, e constataram que o calor específico diminuiu com o aumento do teor de sólidos solúveis totais, variando de 3,2 a 3,7 kJ/kg $\text{°C}$ .

### 2.2.3 Difusividade térmica

A difusividade térmica mede a capacidade de um material de conduzir energia térmica em relação à sua capacidade de armazená-la. Materiais com elevados valores de difusividade responderão rapidamente a mudanças nas condições térmicas impostas a ele. Caso contrário

responderá lentamente, necessitando de um tempo maior para atingir uma nova condição de equilíbrio (INCROPERA e DEWITT, 2003).

A difusividade térmica vem sendo determinada por vários autores através de um método proposto por DICKERSON (1965). Entre estes citamos MOURA *et al.* (2003), ao trabalharem com soluções modelo similares a sucos de frutas, constataram que a difusividade térmica diminuiu com o aumento da concentração, verificando que para teores de sólidos totais entre 7,30% e 15,52% foram obtidos valores de difusividade térmica entre  $1,43 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$  e  $0,80 \times 10^{-7} \text{m}^2/\text{s}$ , respectivamente. AZOUBEL *et al.* (2005), ao trabalharem com suco de caju nas concentrações de 5,5° Brix a 25°Brix, igualmente constataram que a difusividade térmica decresce com o aumento dos sólidos solúveis totais das amostras.

O aparato proposto por DICKERSON (1965) para medir a difusividade térmica consiste de um banho de água com agitação e um cilindro metálico de aço inox imerso contendo a amostra. Ao cilindro de alta condutividade térmica e extremidades isoladas estão acoplados termopares para o acompanhamento das temperaturas, um inserido na superfície externa e outro internamente, no centro da seção cilíndrica. Durante o decorrer do ensaio, são colhidos apenas dados de tempo-temperatura até que se atinja uma taxa constante de aumento de temperatura nos dois termopares.

A difusividade térmica é então determinada utilizando-se a Equação 3 proposta por DICKERSON (1965):

$$\alpha_A = \frac{A.R^2}{4.(T_{EXT} - T_{INT})} \quad (3)$$

Onde:  $\alpha_A$  é a difusividade térmica da amostra ( $\text{m}^2/\text{s}$ ),  $A$  é a taxa de aquecimento do banho ( $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ),  $R$  é o raio da célula (m) e  $(T_{EXT} - T_{INT})$  é a diferença entre a temperatura externa e a temperatura interna da célula ( $^{\circ}\text{C}$ ).

#### 2.2.4 Condutividade térmica

A condutividade térmica é definida como a constante de proporcionalidade que relaciona a taxa de transferência de calor por um material com a área de transferência de calor e a variação de temperatura com a distância no material (INCROPERA e DE WITT 2003), podendo ser entendida como a capacidade de um material em conduzir calor (ARAÚJO *et al.* 2004). Nos alimentos, a condutividade térmica depende principalmente da composição, mas também da presença de espaços vazios e de sua homogeneidade (SILVA 1997).

Uma vez determinados os valores para a difusividade térmica, o calor específico e a massa específica de uma amostra a uma dada temperatura, a condutividade térmica pode ser estimada pela Equação 4 (INCROPERA e DEWITT 2003):

$$k_A = \alpha_A \cdot \rho_A \cdot c_{pA} \quad (4)$$

Onde:  $k_A$  é a condutividade térmica da amostra ( $\text{W}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{C}^{-1}$ ).

SHAMSUDIN *et al.* (2004) avaliaram o efeito da temperatura nas propriedades termofísicas de suco de goiaba, constataram que a condutividade térmica não foi influenciada com variação da temperatura. KUROZAWA *et al.* (2008) determinaram a condutividade térmica do mamão e do caju em função da temperatura, e verificaram o aumento da condutividade térmica com aumento da temperatura e do teor de umidade. Para determinação experimental, foi utilizado o método da sonda, em regime transiente.

### 2.3 Reologia

Reologia é a ciência que estuda a deformação e o escoamento de materiais, ou seja, o modo como os materiais respondem à aplicação de uma tensão ou deformação. O estudo das propriedades reológicas de alimentos é importante para o projeto de tubulações e equipamentos, no controle de qualidade, além de proporcionar um melhor entendimento do comportamento estrutural dos produtos (BARNES *et al.*, 1989; STEFFE, 1996). De acordo com SHARMA *et al.*, (2000) a reologia desempenha papel fundamental no desenvolvimento, fabricação e processamento de produtos alimentícios.

Os fluidos são classificados de acordo com seu comportamento reológico por meio da análise da relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação para condições de temperatura e pressão estabelecidas. Reologicamente os fluidos são divididos em duas categorias: newtonianos e não-newtonianos (CONCEIÇÃO, 1989).

De acordo com CASTRO *et al.*, (2001) os fluidos newtonianos são aqueles que apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, independente da taxa de deformação e da tensão de cisalhamento inicial.

A Equação 5 é a representação matemática do comportamento reológico dos fluidos newtonianos.

$$\tau = \mu (\dot{\gamma}) \quad (5)$$

onde:

$\tau$  – tensão de cisalhamento (Pa)

$\mu$  – viscosidade absoluta (Pa.s)

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

Fluidos não newtonianos são caracterizados como todo o fluido cuja relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação não for linear e/ou não passar pela origem. Para fluidos não-

newtonianos o termo viscosidade é substituído por  $\eta_{ap}$  que é a viscosidade aparente, e é função do gradiente de velocidade (VIDAL et al, 2000). Equação (6)

$$\eta_{ap} = \mu(\dot{\gamma})^n \quad (6)$$

onde:

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

$\tau$  – tensão de cisalhamento (Pa)

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

$n$  – índice de comportamento ( $n \neq 1$ )

Segundo RAO e RIZVI (1986) os fluidos não-newtonianos podem ser dependentes ou independentes do tempo. Quando a temperatura e a composição são constantes, a viscosidade aparente depende apenas da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento.

Os fluidos não-newtonianos independentes do tempo podem ser do tipo: pseudoplásticos, dilatantes e plástico de Bingham. Alguns exemplos de fluidos pseudoplásticos são: sucos de frutas concentrados e pastas de amido (RHA, 1978). Já o comportamento dilatante é encontrado em fluidos que contém uma alta proporção de partículas rígidas insolúveis em suspensão (BOURNE, 1982). Alguns tipos de mel e suspensões de amido se enquadram nessa categoria (SHARMA *et al.*, 2000; STEFFE, 1996).

Segundo MCCLEMENTS (2005), o fluido de Bingham se comporta como um sólido sob condições estáticas. Uma quantidade de força deve ser aplicada antes que o fluxo seja induzido (tensão inicial). Alguns exemplos de fluidos alimentícios que apresentam esse comportamento são: molhos de tomate, maionese, clara de ovo batida e margarina (BOURNE, 1982).

Os fluidos dependentes do tempo podem ser do tipo tixotrópicos e reopéticos. Um fluido tixotrópico é aquele no qual a viscosidade aparente diminui com o tempo quando o fluido é submetido a uma taxa de cisalhamento constante. Exemplos desse fluido são gelatinas, cremes, manteigas, molhos para saladas, entre outros (SHARMA *et al.*, 2000).

Em fluidos reopéticos a viscosidade aparente do fluido aumenta com o tempo quando sujeito a uma taxa constante de cisalhamento. Este tipo de comportamento não é comum em alimentos, mas pode ocorrer em soluções de amido altamente concentradas (SHARMA *et al.*, 2000).

O comportamento reológico de alimentos vem sendo estudado por vários autores como, HAMINIUK *et al* (2005), que avaliou o comportamento reológico de amora-preta na faixa de 10°C a 60°C, constatando um comportamento pseudoplástico para esse fluido. Constatou-se que o



aumento da temperatura provocou uma diminuição na viscosidade aparente e coeficiente de consistência, conforme esperado para polpa de fruta. O mesmo comportamento foi encontrado por GUERRERO e ALZAMORA (1997) ao avaliar o comportamento reológico de purê de banana.

SILVA *et al.*, (2005) determinaram o comportamento reológico do suco industrializado de acerola, em concentrações de sólidos solúveis de 4°Brix a 16°Brix e no intervalo de temperatura de 5°C a 85°C. Os autores verificaram que esse suco apresentou um comportamento pseudoplástico, e a viscosidade aparente diminuiu com a redução do teor de sólidos e aumento da temperatura.

PELEGRINE *et al.*, (2000), no estudo da viscosidade aparente das polpas de manga e abacaxi, avaliaram o comportamento reológico das polpas integrais e centrifugadas à temperatura de 30 °C. Eles observaram um comportamento pseudoplástico para todas as polpas, sendo a pseudoplasticidade maior para as polpas integrais. O modelo de Mizrahi e Berk foi o que melhor se ajustou aos dados obtidos.

VIDAL e GASPARETO (2000) também analisaram o comportamento reológico da polpa de manga e a influência dos sólidos insolúveis com peneiramento em diferentes malhas e no suco centrifugado, observando também um comportamento pseudoplástico para a polpa de manga. O mesmo resultado foi verificado por Vidal *et al.* (2004) num estudo do efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga, nas temperaturas de 10°C a 60 °C. Foi observado que a viscosidade diminuiu com a temperatura até 40 °C e para as temperaturas de 50°C e 60 °C ocorreu um aumento da mesma.

BRANCO e GASPARETO (2003) aplicaram a metodologia da 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, nas temperaturas de 10°C e 60 °C. O modelo de Ostwald-de-Waele ajustou adequadamente, explicando o comportamento reológico. Todas as formulações estudadas, independentemente da temperatura, apresentaram comportamento pseudoplástico. Dando continuidade a esse trabalho, BRANCO e GASPARETO (2005) estudaram o comportamento da mistura a 60 °C utilizando o modelo de Casson. Os parâmetros reológicos tensão inicial e viscosidade plástica aumentaram com a fração de manga e reduziram com o aumento da fração de suco de laranja e de cenoura.

MAGERRAMOV *et al.*, (2006) avaliaram o efeito da temperatura e da concentração na viscosidade de suco de tangerina e limão num intervalo de 15°C a 40° Brix e 17°C a 45° Brix para os sucos de tangerina e limão, respectivamente, e verificaram um decréscimo da viscosidade com o aumento da temperatura e aumento a viscosidade para um aumento da concentração de sólidos.

### **2.3.1 Modelos reológicos**

Os modelos reológicos são usados para uma melhor descrição do comportamento dos fluidos, permitindo relacionar as propriedades reológicas com outras grandezas, como concentração, temperatura e índice de maturação. O conhecimento destas grandezas é

indispensável no controle em linhas de produção, no projeto e dimensionamento dos processos (BRANCO, 1995).

Na literatura existem muitos modelos reológicos propostos. A escolha do tipo do modelo a ser utilizado é uma função das características do fluido (RAO e ANANTHESWARAM, 1982). Os modelos mais comumente utilizados são: Ostwald-de-Waele, Bingham, Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi e Berk. Representados na Tabela 1.

**Tabela 1-** Modelos reológicos utilizados nos ajuste das curvas de escoamento.

Modelos	Equação	Parâmetros
Ostwald-de-Waele	$\tau = k(\gamma)^n$	$k_{ip}$ $n$
Herschel-Bulkley	$\tau = \sigma_o + k_H (\gamma)^n$	$k_{hb}$ $n$ $\sigma_o$ (Pa.s)
Casson	$\tau^{0,5} = k_{oc} + k_c (\gamma)^{0,5}$	$k_{oc}$ $k_c$
Mizrahi-Berk	$\tau^{0,5} = k_{oH} + k_M(\gamma)^n$	$k_{oh}$ $n$ $k_M$
Plástico de Bingham	$\tau = \sigma_o + \mu_p \cdot \gamma$	$\mu_p$ $\sigma_o$

\*onde  $\tau$  é a tensão de cisalhamento;  $\gamma$  é a taxa de deformação;  $k_{ip}$ ,  $k_{hb}$ ,  $k_{mb}$  e  $k_c$  são os índices de consistência;  $K_{0,hb}$ ,  $K_{0,mb}$  e  $K_{0,c}$  são constantes dos modelos e  $n_{ip}$ ,  $n_{hb}$  e  $n_{mb}$  são os índices de comportamento reológico.

O modelo de Ostwald-de-Waele, também conhecido como Lei da Potência é bastante utilizado para descrever o comportamento de alimentos devido a sua simplicidade e ampla aplicabilidade (BRANCO 2001). Segundo MACHADO (1996) o parâmetro reológico do modelo da lei da potência índice do comportamento do fluido ( $n$ ) é uma grandeza adimensional e indica fisicamente, o afastamento do fluido considerado do modelo newtoniano; e o índice de consistência ( $k$ ) indica o grau de resistência do fluido diante do escoamento, ou seja, quanto maior o valor de  $k$  mais consistente o fluido será.

Segundo NAVARRO (1997), através do modelo de Ostwald-de-Waele observa-se que a equação se reduz ao modelo de Newton quando o índice de comportamento do fluido  $n = 1$ . Como o índice de consistência ( $K$ ) não varia com a tensão de cisalhamento nem com a taxa de deformação, é o índice  $n$  que fará a distinção entre os comportamentos dos fluidos e, desta maneira, quanto mais distante o  $n$  do fluido estiver do valor unitário, mais distante também o fluido estará do comportamento newtoniano.

Para  $n > 1$ , o fluido é dilatante;

Para  $n = 1$ , o fluido é newtoniano;

Para  $n < 1$ , o fluido é pseudoplástico.

TORALLES *et al.* (2006) estudaram o efeito da temperatura (10-55°C) e da concentração (12°Brix a 32°Brix) na reologia do purê homogeneizado de pêssego, e o modelo da Lei da Potência descreveu adequadamente o comportamento reológico do fluido.

Os modelos de Herschel-Bulkley e de Plástico de Bingham são usados para fluidos que só iniciam o processo de escoamento quando a tensão de cisalhamento aplicada supera uma tensão inicial que é própria do material (VIDAL, 2000). Segundo STEFFE (1996) pasta de tomate é um tipo de fluido de Bingham.

SATO (2007) avaliou a influência da temperatura no comportamento reológico da polpa de jaboticaba, e o modelo de Herschel-Bulkley foi o que melhor se ajustou aos dados experimentais, no qual se observou a redução do índice de consistência (k) e um leve aumento do índice de comportamento de escoamento (n) com o aumento da temperatura. HAMINIUK *et al.* (2005) avaliaram o efeito da temperatura no comportamento reológico de polpa de amora preta, os dados experimentais foram adequadamente descritos pelo modelo de Herschel-Bulkley e exibiu comportamento pseudoplástico.

O modelo de Casson tem sido utilizado na estimativa da tensão inicial em alimentos (VITALI e RAO, 1984), RAO *et al.* (1981) estudando concentrados de tomate, mostraram que o modelo de Casson não se ajustou bem os dados experimentais em baixas taxas de deformação, enquanto VITALI e RAO (1982) encontraram um bom ajuste do modelo de Casson aos dados experimentais para purê de goiaba. VIDAL (1996) também utilizou o modelo de Casson para descreveu o comportamento da polpa de manga integral, filtrada e centrifugada.

Mizhari e Berk (1972) mostraram que o modelo de Casson não se adaptava a baixos valores de taxa de deformação para o suco de laranja concentrado. Dessa forma, o modelo de Mizhari e Berk surgiu como uma modificação do modelo de Casson, tendo sido criado para ser utilizado no estudo do escoamento de suco de laranja concentrado e suspensões de partículas interagindo entre si em um meio pseudoplástico.

FERREIRA *et al.* (2002) avaliaram o efeito da temperatura no comportamento reológico de polpa de goiaba, e constataram que o modelo de Mizhari e Berk foi o que se apresentou satisfatório na descrição do comportamento reológico dessa polpa.

### **2.3.2 Efeito da temperatura sobre o comportamento reológico**

A temperatura é um dos fatores que mais afeta a viscosidade das polpas de frutas, pois a maioria destas apresenta-se na forma de sólidos dispersos em meios líquidos. Um aumento da temperatura neste caso faz com que a viscosidade da fase líquida diminua, aumentando o movimento das partículas em suspensão, causando um decréscimo na viscosidade da polpa (PELEGRINE, 1999). Segundo KROKIDA *et al.* (2001), a temperatura tem um maior efeito no índice de consistência (K) em fluidos alimentícios não-newtonianos, do que no índice de comportamento (n).

O efeito da temperatura na viscosidade aparente de fluidos alimentícios, a uma taxa de cisalhamento constante, pode ser descrita pela equação de Arrhenius (RAO & TATTIYAKUL, 1999), na qual a viscosidade aparente diminui em uma função exponencial com o aumento da temperatura. A equação de Arrhenius é apresentada na equação 7 (STEFFE, 1996).

$$\eta_{ap} = \eta_o \exp\left(\frac{E_{at}}{RT}\right) \quad (7)$$

onde:

T- temperatura absoluta (°C)

R- constante universal dos gases

E<sub>at</sub>- energia de ativação para viscosidade

η<sub>o</sub> - fator pré-exponencial

A Equação (7) indica a tendência geral observada de uma diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura. Em geral, uma alta energia de ativação de fluxo implica que pequenas variações de temperatura são necessárias para modificar rapidamente a viscosidade (STEFFE, 1996).

TORALLES *et al.*, (2006) avaliaram a reologia de purê homogeneizado de pêssego: efeito da temperatura e concentração, e verificaram que a viscosidade aparente e k<sub>p</sub> (índice de consistência), do purê homogeneizado de pêssego, aumentaram ligeiramente nas concentrações mais altas e diminuíram nas temperaturas mais baixas. A dependência de temperatura foi adequadamente descrita pela lei de Arrhenius.

SATO (2007) avaliou a influência da temperatura no comportamento reológico da polpa de jaboticaba, e observou a redução do índice de consistência (k) e um pequeno aumento do índice de comportamento de escoamento (n) com o aumento da temperatura.

### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 Material

Os jenipapos, adquiridos na região Sudoeste da Bahia, foram selecionados quanto às características polpa firme e ausência de manchas escuras. A etapa experimental de determinação das propriedades termofísicas e reológicas foi realizada no Laboratório de Engenharia e Processos e no Laboratório de Ensaio de Materiais e Projetos Agroindustriais da Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, campus de Itapetinga. As análises da caracterização físico-química foram desenvolvidas no Laboratório de Forragem e Cultura, desta mesma instituição. Todos os reagentes necessários às análises físico-químicas foram de grau analítico. A polpa de jenipapo foi obtida da forma descrita no fluxograma a seguir (Figura 3).

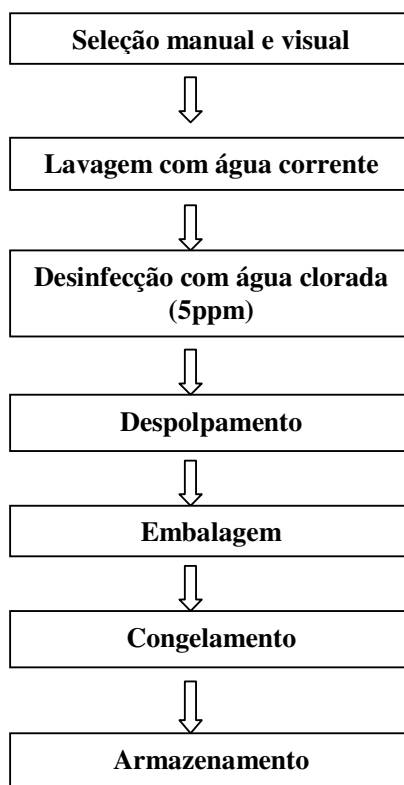


Figura 3- Fluxograma de obtenção da polpa de jenipapo

#### 3.2 Planejamento experimental e análises estatísticas

Para determinação das propriedades termofísicas foi realizado um experimento em esquema fatorial 6X7, sendo as temperaturas de 5°C, 20°C, 35°C, 50°C, 65°C e 80°C e os teores de água de 76%, 79%, 82%, 85%, 88%, 81% e 94%, no delineamento inteiramente casualizados. Para

variação do conteúdo de água, a polpa inicialmente com 76% de umidade foi diluída com água destilada até que atingisse a umidade desejada, e essa era verificada através da determinação de umidade pelo analisador de umidade por Infravermelho (IV – 2000), marca GEHAKA.

Os resultados referentes às propriedades termofísicas foram submetidos à análise de regressão múltipla, quando foram avaliados diversos modelos polinomiais. O modelo escolhido foi aquele que apresentou os parâmetros significativos a 5% de probabilidade, utilizando-se como critérios auxiliares o coeficiente de determinação e a concordância com o fenômeno estudado. Para realização das análises utilizou-se o pacote estatístico SAEG (RIBEIRO Jr., 2001).

Para a determinação das propriedades reológicas da polpa de jenipapo, foi adotado um esquema fatorial 6X4, sendo as temperaturas de 10°C, 20°C, 30°C, 40°C, 50°C e 60°C e os teores de sólidos totais de 6,0%, 7,5%, 9,0% e 10,5% de sólidos totais, instalado no delineamento inteiramente casualizados. Para variação do teor de sólidos totais, a polpa inicialmente com 24% de sólidos totais foi diluída com água destilada até que atingisse os sólidos totais desejados, para essa verificação, também foi utilizado o Infravermelho (IV – 2000), marca GEHAKA .

Em relação às propriedades reológicas foram avaliadas os modelos de regressão não-lineares de Casson, Ostwald-De-Waele (Lei da Potência), Mizrahi-Berk, Herschel-Bulkley e Plástico de Bingham. O modelo adequado foi obtido observando-se o coeficiente de determinação, análise de resíduo e a concordância com o fenômeno estudado. Os modelos foram avaliados e os respectivos gráficos construídos utilizando-se o software do SIGMAPLOT ® 8.0.

### **3.3 Caracterização físico-química.**

Inicialmente foram realizadas análises físico-químicas das polpas “*in natura*” de jenipapo. Para tanto foram utilizados frutos, no mesmo estágio de maturação, com as análises realizadas em triplicata. Todas as análises realizadas seguiram as normas do Instituto ADOLFO LUTZ (1985), da AOAC (1996) ou segundo NIELSEN (1998).

#### **3.3.1 Teor de umidade e sólidos totais**

Determinou-se os sólidos totais e a umidade pelo método descrito pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985), sendo os resultados expressos em percentagem (%).

#### **3.3.2 pH**

O pH foi determinado utilizando-se um potenciômetro de bancada (Marca Quimis-Modelo, Brasil e precisão de 2%), devidamente calibrado, usando-se o método do Instituto Adolfo Lutz (1976), nº 4.7.2.

### **3.3.3 Sólidos solúveis totais (°Brix)**

O Brix foi determinado pelo método refratométrico proposto pela AOAC (1990). Uma alíquota da amostra diluída e triturada foi colocada sobre o prisma de um refratômetro portátil ATAGO com escala 0 °Brix a 32 °Brix e precisão de 0,2%, procedendo-se à leitura direta do índice refratométrico.

### **3.3.4 Acidez total titulável**

A acidez das amostras foi determinada através de titulação com NaOH 0,1N, com fenolftaleína 1% (em etanol) como indicador, expresso em % de ácido cítrico (massa por volume, em base úmida).

### **3.3.5 Cinzas**

As cinzas foram determinadas utilizando-se a metodologia descrita pela AOAC (1997), e os valores expressos em percentagem (%).

### **3.3.6 Proteínas**

As proteínas foram determinadas pelo método de Kjeldahl, através da determinação do nitrogênio total da amostra (INSTITUTO ADOLFO LUTZ, 1985).

### **3.3.7 Fibras**

Pelo método de determinação de fibras em detergente neutro determinou-se celulose, hemicelulose e lignina, que são fibras insolúveis, ou seja, fibra bruta CECCHI (1999).

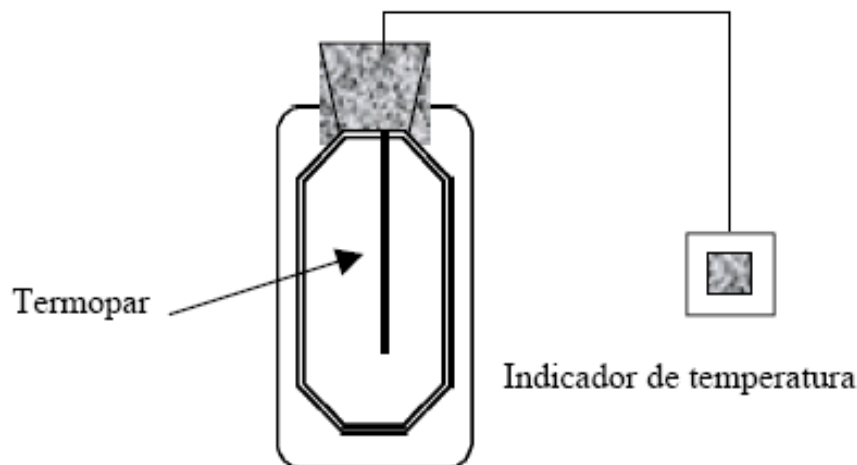
## **3.4 Determinação das Propriedades Termofísicas**

### **3.4.1 Determinação da densidade**

A determinação da massa específica foi feita por meio do método picnométrico, em triplicata. Para cada temperatura de interesse (mantida constante utilizando-se um banho termostático, (Marca Quimis – Modelo São Paulo, Brasil e precisão de 0,1°C), o picnômetro de 25ml, lavado e seco foi pesado vazio em uma balança analítica, e sua massa devidamente registrada. Em seguida, o picnômetro foi preenchido com água destilada na temperatura de trabalho, e sua massa medida, obtendo dessa forma o volume exato do picnômetro (calibração). Em seguida, o mesmo era limpo como mencionado anteriormente e preenchido com a amostra na concentração e temperatura de interesse e pesado em uma balança analítica, com sua massa devidamente registrada. O valor da massa específica para a amostra é dado então pela Equação 1.

### 3.4.2 Determinação do calor específico

O calor específico das amostras foi determinado utilizando-se o método do calorímetro de mistura. O calorímetro de mistura utilizado é constituído por uma garrafa térmica isolada termicamente, com um termopar para medições e preenchido com água a uma dada temperatura, quando uma amostra de 45g da polpa contida em um saco de polietileno selado era inserido no calorímetro (Figura 4). Aguardou-se o tempo suficiente para que o sistema atingisse o equilíbrio. Com as informações obtidas pôde-se calcular o valor do calor específico pela Equação 2.



**Figura 4-** Desenho esquemático do calorímetro de mistura utilizado para medição do calor específico.

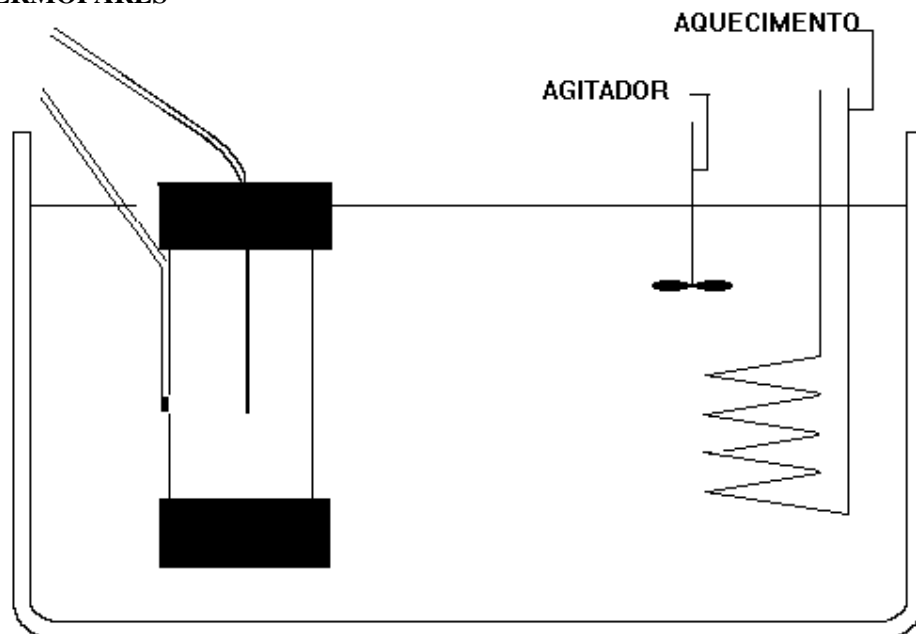
### 3.4.3 Determinação da difusividade térmica

Para determinação experimental da difusividade térmica, utilizou-se a metodologia proposta por DICKERSON (1965). O aparato utilizado consistiu em um cilindro de aço inoxidável (3,8 cm de diâmetro, 25,5 cm de altura e 1,0 mm de espessura) isolado termicamente nas extremidades, com dois termopares acoplados, sendo um na sua superfície externa e o outro disposto no plano central da mesma.

O cilindro foi totalmente preenchido com a amostra, e então mergulhado em um banho térmico cinemático, marca Marconi e precisão de 0,1°C, a uma temperatura de 5°C, aguardava-se que o equilíbrio térmico entre a célula e o banho seja alcançado. Nesse momento inicia-se o aquecimento no banho até que a temperatura interna da cápsula chegasse a aproximadamente 80°C. Foram registrados os valores da temperatura dos dois termopares, em intervalos de 2 minutos até o fim do experimento (Figura 5). Calcula-se então a difusividade térmica para a amostra dentro da cápsula pela Equação 3.



## TERMOPARES



**Figura 5-** Esquema do aparato para medição de difusividade térmica.

### 3.4.4 Determinação da condutividade térmica

Uma vez determinados os valores para a difusividade térmica, o calor específico e a massa específica das amostras a uma dada temperatura, a condutividade térmica pode ser determinada pela Equação 4.

### 3.5 Determinação das propriedades reológicas

As medidas reológicas foram realizadas em um reômetro Brookfield modelo DVII+, utilizando rotor (*spindle*) SC4-34 com adaptador para pequena quantidade de amostra (Brookfield Engineering Laboratories, Massachusetts, EUA). A Figura 6 mostra o reômetro utilizado neste trabalho e a Figura 7 os acessórios.

Um banho termostático Brookfield TC-500 e precisão de 0,1°C (Brookfield Engineering Laboratories, Massachusetts, EUA), foi utilizado para ajustar a temperatura das amostras da polpa de jenipapo, na faixa de temperatura de 10 a 60°C.

Para a realização das análises reológicas, foi utilizado para cada medida 11 ml de amostra. Variou-se a velocidade angular de 5,0 a 200 rpm no intervalo de 5 rpm, permanecendo durante 5 segundos em cada velocidade com controle de temperatura. Para cada velocidade angular selecionada, o equipamento determinou a viscosidade, a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento correspondente, utilizando o programa computacional Rheocalc (versão V2.3, Brookfield Engineering Laboratories, EUA).

Com os dados experimentais de tensão de cisalhamento e taxa de deformação obtida no reômetro, foram feitos ajustes dos modelos reológicos de Mizrahi-Berk, Casson, Lei da Potência e Hershel-Bulkley e Plástico de Bingham, para a obtenção dos parâmetros dos modelos e conseqüente escolha do modelo que melhor descreve o comportamento reológico de polpa de jenipapo.



**Figura 6-** Reômetro DV-II+



**Figura 7-** Acessórios do Reômetro DV-II+

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Caracterização Físico-Química

Na Tabela 2 estão apresentados os resultados referentes à caracterização físico-química da polpa de jenipapo.

**Tabela 2-** Caracterização físico-química da polpa de jenipapo.

Análises	Resultados
pH	3,43 ± 0,06
Sólidos Solúveis (expressos em °Brix)	17,00 ± 0,00
Acidez Titulável Total (% de ácido cítrico)	1,04 ± 0,01
Umidade (%)*	74,5 ± 0,98
Proteínas (%) (m/m)*	0,31±0,05
Fibras (%)*	4,86± 0,89
Cinzas (%)*	2,33 ± 0,06

\*Porcentagem em massa / massa

O valor encontrado para o teor de umidade 74% é próximo ao encontrado por NASCIMENTO (2005) e SANTOS (2001) 74% e 73,8% respectivamente. Com relação ao pH o valor encontrado neste trabalho é próximo ao encontrado por FONSECA *et al.* (2003) de 3,52, o valor obtido vêm confirmar que a polpa de jenipapo é bastante ácida. O teor de sólidos solúveis, 17,00° Brix foi similar ao determinado por SANTOS (2001) e superior citado por FIGUEREDO (1984). Esse valor é elevado quando comparado com frutas tropicais (abacaxi, acerola, cajá entre outras). Os valores encontrados para cinzas e proteínas são superiores dos encontrados por ANDRADE (2000) 1,03% e 0,72 % respectivamente. O teor de fibra encontrado (4,86 %), assemelha-se aos da pêra, do jambo e das goiabas branca e vermelha, todas as frutas com alto teor de fibras (TACO, 2008).

### 4.2 Densidade ou massa específica

Os resultados experimentais da massa específica da polpa de jenipapo para as temperaturas e teores de umidade são apresentados na Tabela 3. Verificou-se que, a massa específica diminui com o aumento da temperatura e com o teor de água. Este comportamento também foi observado por outros autores que trabalharam com derivados de frutas, como suco de maçã (CEPEDA e VILLARÁN 1999); suco e purê de pêsego (RAMOS e IBARZ 1998); suco de amora (CABRAL 2007).

**Tabela 3-** Valores experimentais da massa específica da polpa de jenipapo.

Teor de Água (%)	94	91	88	85	82	79	76
T (°C)	Massa Específica (kg/m <sup>3</sup> )						
5	1020,69	1033,67	1043,03	1052,62	1067,60	1080,98	1092,26
20	1017,80	1032,01	1041,34	1045,48	1054,86	1071,81	1084,16
35	1010,73	1015,23	1025,17	1031,25	1034,96	1059,81	1081,08
50	996,69	1003,18	1013,68	1014,57	1028,94	1054,99	1063,82
65	986,35	993,83	1007,96	1012,40	1026,31	1036,13	1040,40
80	976,13	979,86	991,57	996,81	1022,15	1032,60	1032,60

A equação 8 foi a que melhor representou a relação entre a densidade, o teor de água e a temperatura para a polpa de jenipapo.

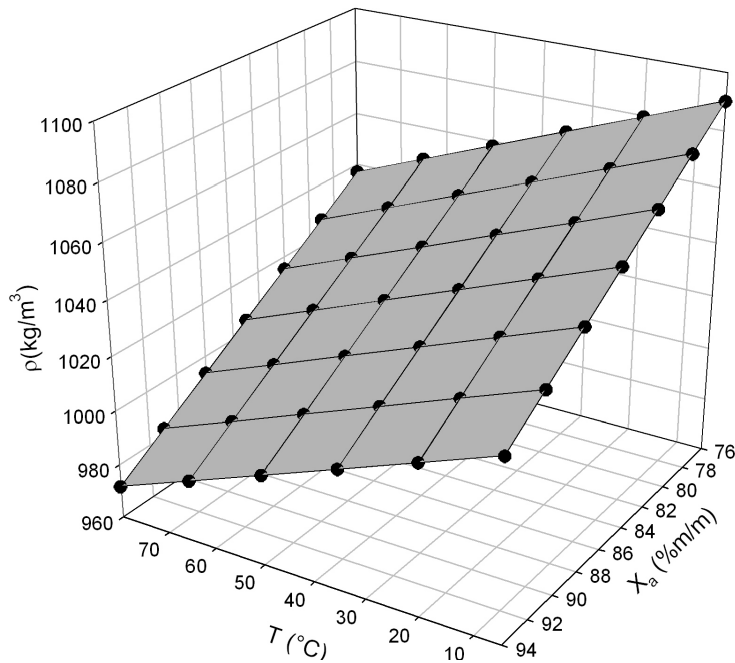
$$\rho = 1369,42 - 0,710276 T - 3,6247 X_a \quad R^2 = 0,96 \quad (8)$$

Onde:  $\rho$  é a densidade em kg/m<sup>3</sup>, T a temperatura em °C e X<sub>a</sub> é teor de água em %.

Na Figura 8 tem-se a representação gráfica da massa específica em função da temperatura e da umidade. Observa-se a dependência da massa específica com essas duas variáveis. Este comportamento também é mencionado por autores que trabalharam com derivados de frutas, como suco de maçã (CEPEDA e VILLARÁN, 1999), suco e purê de pêssgo (RAMOS e IBARZ, 1998), e para polpa de açá (PEREIRA et al, 2002).

TELIS-ROMERO *et. al.* (1998) para o suco de laranja brasileira, afirmaram que a água exerce maior influência na massa específica que a temperatura. Segundo LEWIS (1993) a adição de qualquer sólido, exceto gorduras na água aumentará sua massa específica. Esta afirmação está de acordo com o encontrado neste trabalho, uma vez que houve um aumento da massa específica com a redução do teor de água e conseqüente aumento do teor de sólidos.

Na Figura 8, observa-se também uma redução significativa da massa específica com o aumento da temperatura, isso pode ser atribuído a expansão térmica que ocorre com as polpas de frutas quando são aquecidas.



**Figura 8-** Variação da massa específica com a temperatura e com o teor de água da polpa de jenipapo.

### 4.3 Calor específico

De acordo com os valores médios experimentais apresentados na Tabela 4, tem-se um calor específico mínimo de 3,26 kJ/kg °C e máximo de 4,06 kJ/kg °C. Nota-se que com a redução do teor de umidade há uma redução do calor específico, com o menor valor determinado para a amostra a 76% de umidade e o maior na amostra a 94%, sendo a relação entre calor específico e o teor de umidade diretamente proporcional. Esse comportamento foi o mesmo encontrado por autores como LIMA *et al*, (2003) para polpa de umbu, SIMÕES (1997) para polpa de manga, SILVA (1997) para a polpa de abacaxi.

O calor específico de sucos de frutas apresentados por CHOI e OKOS (1986), situa-se entre 3,00 a 4,00 kJ/kg °C. Outros pesquisadores reportam valores de calor específico de frutas na mesma faixa mencionada, como 3,346 kJ/kg °C para o açaí (PEREIRA, 2003), 3,616 kJ/kg °C para polpa de bacuri (MUNIZ *et al*, 2006), 2,962 kJ/kg °C para polpa de banana (ALVARADO, 1994), valores bem próximo dos encontrados experimentalmente neste trabalho para polpa de jenipapo.

**Tabela 4-** Valores médios do calor específico da polpa de jenipapo em função do teor de umidade.

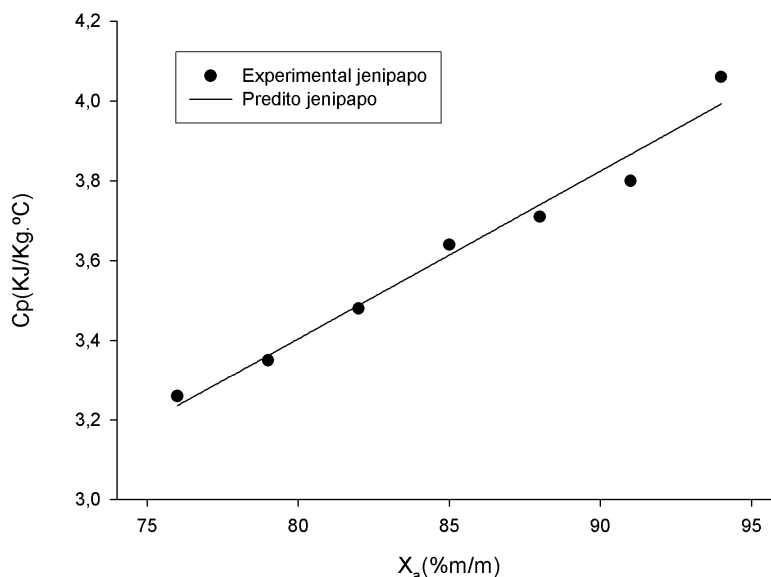
Teor de água (%)	$C_p$ (kJ/kg°C)
94	4,06
91	3,80
88	3,71
85	3,64
82	3,48
79	3,35
76	3,26

Para explicar a relação existente entre o teor de umidade e o calor específico, foi ajustado um modelo linear simples, que apresentou significância dos parâmetros ( $p < 0,05$ ) e coeficiente de determinação ( $R^2$ ), igual a 0,97, demonstrado pela Equação 9.

$$C_p = 0,0424464 + 0,04202 X_a \quad (9)$$

Na Figura 9, têm-se a representação gráfica do calor específico da polpa de jenipapo em função do teor de água. Os estudos mostram que há uma forte relação entre o calor específico e o conteúdo de água de um produto, visto que a água apresenta o maior calor específico em relação a todos os outros componentes do alimento. Na verdade, devido às características únicas das ligações de hidrogênio,

a água apresenta um calor específico bastante elevado em relação a outras substâncias, conseqüentemente, o calor específico de um produto alimentício é significativamente afetado pela quantidade de água presente e o seu estado físico (LEWIS, 1987).



**Figura 9-** Calor específico do jenipapo em função do teor de água.

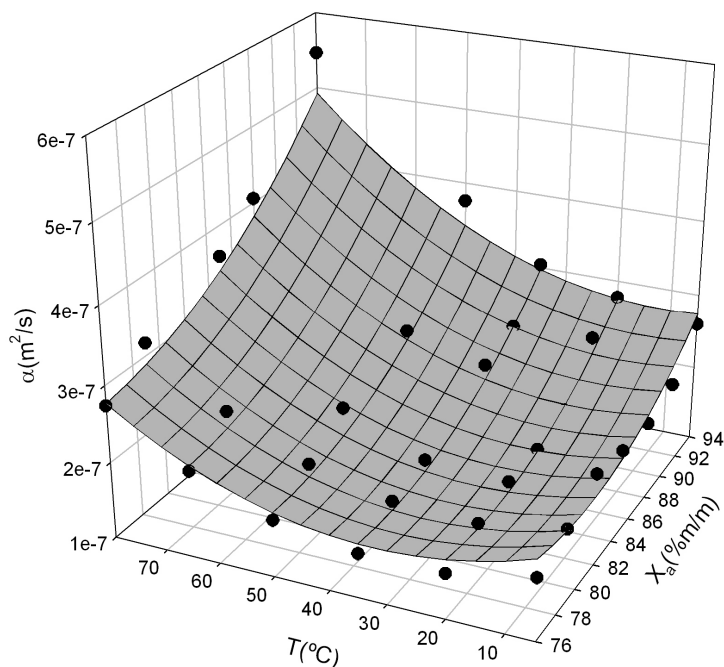
#### 4.4 Difusividade Térmica

A partir da análise estatística dos dados percebeu-se que o teor de umidade e a temperatura têm efeito significativo ( $p < 0,05$ ) na difusividade térmica da polpa de jenipapo. Após a análise de regressão foi obtido o parâmetro para o modelo de 2º ordem, com seus respectivos coeficientes de determinação ( $R^2$ ) acima de 0,90. A equação 10 representa o modelo ajustado para a polpa de jenipapo.

$$\alpha = 0.376129 \times 10^{-5} - 0.870076 \times 10^{-7} X_a + 0.531538 \times 10^{-9} X_a^2 - 0.112569 \times 10^{-7} T + 0.472036 \times 10^{-10} T^2 + 0.107909 \times 10^{-9} X_a T \quad R^2 = 0,92 \quad (10)$$

Na Figura 10 tem-se a representação gráfica da difusividade térmica da polpa de jenipapo função da temperatura e do teor de água. Observa-se a dependência da difusividade térmica com essas variáveis, ou seja, na medida em que se aumenta o teor de umidade e a temperatura da polpa esta propriedade também se eleva. Com relação ao teor de água, este comportamento significa, fisicamente, que o aumento da concentração de sólidos diminui a velocidade com que o calor se propaga ou se difunde através da polpa, a qual é representada pelo valor da difusividade térmica (HUBINGER e BARONI citado por MUNIZ 2005). MOURA *et al.* (2003) ao trabalharem com soluções modelo similares a sucos de frutas, também constataram que a difusividade térmica diminuiu com o aumento da concentração.

A temperatura também influenciou a difusividade, estas duas variáveis foram proporcionais, ou seja, à medida que se elevou a temperatura a difusividade também aumentou, este comportamento foi o mesmo encontrado por CHOI e OKOS (1983), que utilizaram suco de tomate concentrado numa faixa ampla de temperatura (20 a 150°C) e ROMERO *et al.* (1998), que trabalharam com suco de laranja a temperaturas de 0,5 a 62°C.



**Figura 10-** Variação da difusividade térmica com a temperatura e com o teor de água da polpa de Jenipapo

#### 4.5. Condutividade Térmica

A partir da análise estatística dos dados percebeu-se que o teor de água e a temperatura têm efeito significativo ( $p < 0,05$ ) na condutividade térmica da polpa de jenipapo. Após a análise de regressão foi obtido o parâmetro para o modelo de 2ª ordem, com seu respectivo coeficientes de determinação ( $R^2$ ) A equação 11 representa o modelo ajustado da condutividade térmica para a polpa de jenipapo.

$$k = 0.206386 \times 10^{-1} - 0.100895 \times 10^{-7} T + 0.22280 \times 10^{-6} T^2 - 0.515732 \times 10^{-3} X_a + 0.33488 \times 10^{-5} X_a^2 \quad R^2 = 0,88 \quad (11)$$

A condutividade térmica da polpa de jenipapo foi calculada a partir da equação 4, utilizando os dados de densidade, calor específico e difusividade térmica determinados experimentalmente. Na Figura 11, está representado os valores da condutividade térmica em função da temperatura e do teor de umidade.

Percebe-se que, à medida que se aumenta o teor de umidade há um acréscimo na condutividade térmica. Isso já era esperado, uma vez que esta propriedade é influenciada pela composição do alimento, sendo a água o componente que exerce maior influência, sendo que aqueles ricos em água apresentam maiores valores desta propriedade LEWIS (1993)

Esse comportamento foi o mesmo encontrado por SHAMSUDIN *et. al.* (2005), que avaliou sucos de goiaba nas concentrações de 10 a 40°Brix e temperatura de 30°C e por DONSI *et. al.*



(1996) que determinaram a condutividade térmica de amostras de maçã e tomate variando o teor de umidade à temperatura de 30°C e perceberam essa mesma tendência de acréscimo com o aumento da fração de água.

A temperatura também exerceu uma influência direta na condutividade térmica da polpa de jenipapo, esse resultado condiz com KUROZAWA et al. (2008) no estudo da condutividade e difusividade térmica do mamão e do caju.

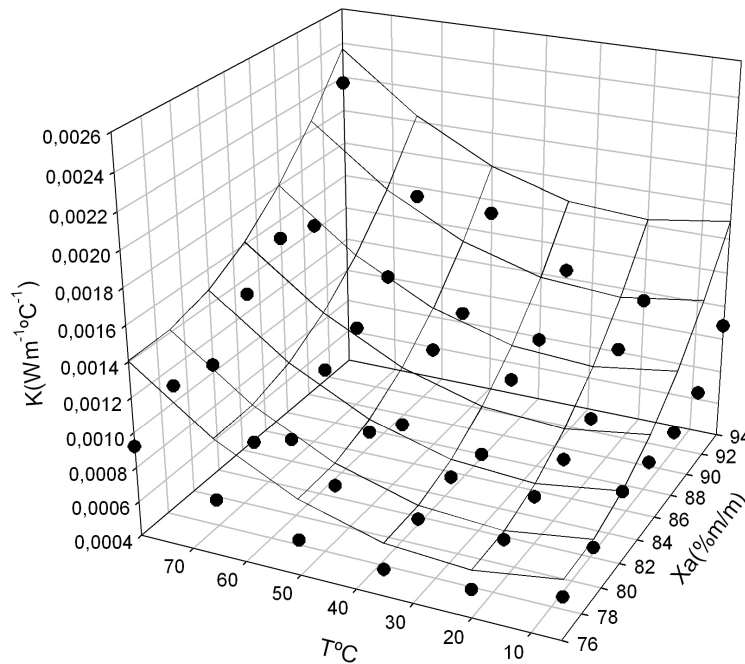


Figura 11: Variação da condutividade térmica com a temperatura e com o teor de água para a polpa de jenipapo

## 4.6 Comportamento reológico

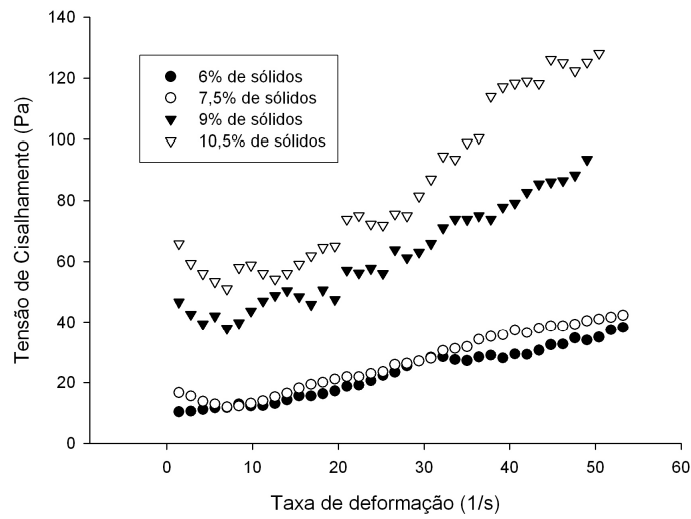
### 4.6.1 Polpa de Jenipapo

Os gráficos da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação obtidos para a polpa de jenipapo nas concentrações de 6,0%, 7,5%, 9,0% e 10,5% de sólidos totais e nas temperaturas de 10°C, 20°C, 30°C, 40°C, 50°C e 60°C, são apresentados nas Figuras 12 a 17.

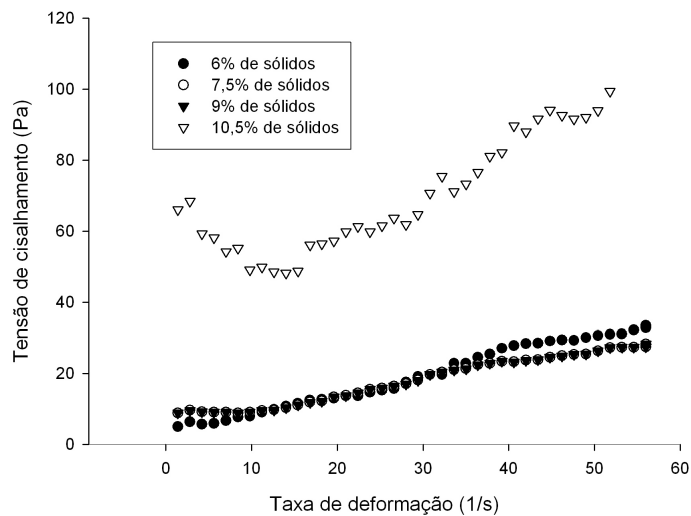
Nas Figuras 12, 14, 15 e 16 dois grupos de curvas foram observados, sendo que o primeiro grupo está situado entre as concentrações de 6,0 e 7,5% e o segundo entre as concentrações de 9,0 e 10,5%, com os valores da tensão de cisalhamento mantendo-se constante com o aumento da temperatura nas amostras de menores teores de sólidos totais.

Em todas as figuras, as curvas obtidas indicaram que a temperatura tem um efeito maior na mudança da estrutura da polpa de jenipapo a partir das concentrações de 9,0 e 10,5%, apresentando

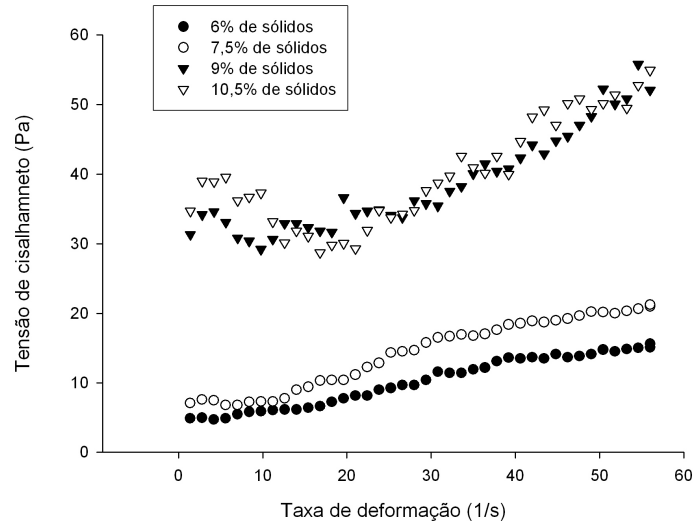
algumas anormalidades nos dados de tensão de cisalhamento, ou seja, dispersão dos pontos na curva de fluxo. Observa-se na Figura 16, que houve um aumento da tensão de cisalhamento da concentração de 9% a 50°C, quando comparada com a concentração de 10,5%, submetidas à mesma taxa de deformação. No entanto, na Figura 17 houve uma diminuição da tensão de cisalhamento na concentração de 9% á 60°C, para essa mesma taxa.



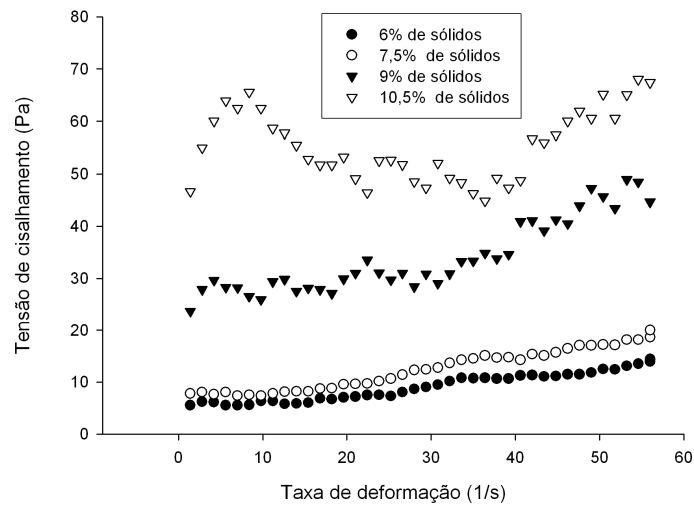
**Figura12-** Reograma da polpa de jenipapo nas concentrações de 6%; 7,5%; 9,0% e 10,5% a 10°C.



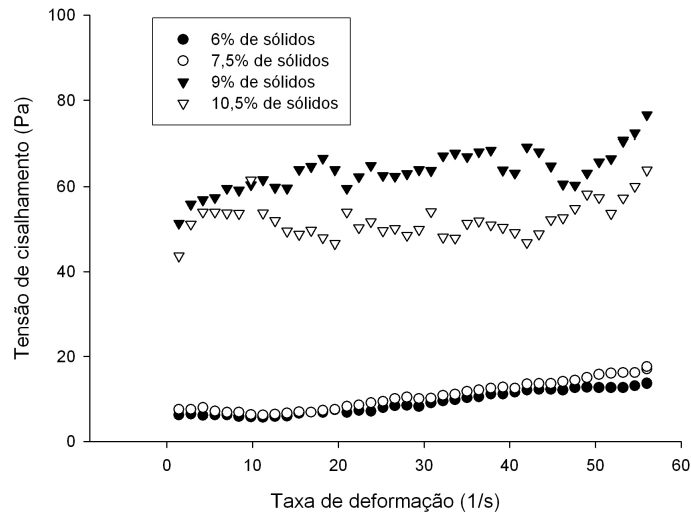
**Figura 13-** Reograma da polpa de jenipapo nas concentrações de 6%; 7,5%; 9,0% e 10,5% a 20°C.



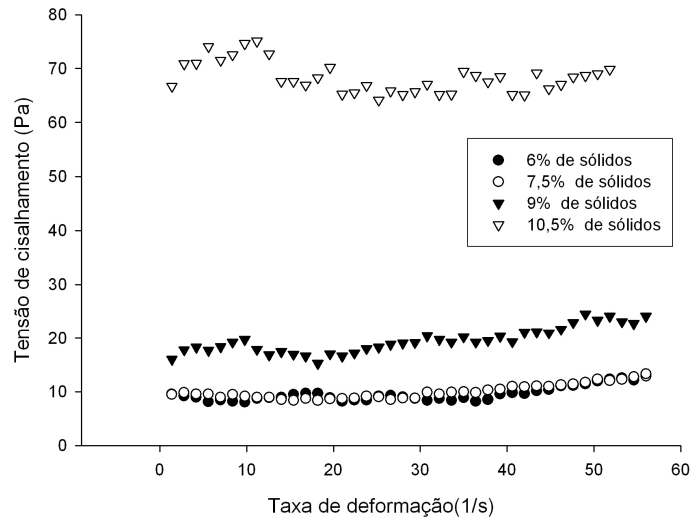
**Figura 14-** Reograma da polpa de jenipapo nas concentrações de 6%; 7,5%; 9,0% e 10,5% a 30°C.



**Figura 15-** Reograma da polpa de jenipapo nas concentrações de 6%; 7,5%; 9,0% e 10,5% a 40°C.



**Figura 16-** Reograma da polpa de jenipapo nas concentrações de 6%; 7,5%; 9,0% e 10,5% a 50°C.



**Figura 17-** Reograma da polpa de jenipapo nas concentrações de 6%; 7,5%; 9,0% e 10,5% a 60°C.

Nas Tabelas 5 a 10 são apresentados os parâmetros dos modelos reológicos Lei da Potência, Herschel-Bulkley, Casson, Mizrahi-Berk e Plástico de Bingham ajustados aos dados experimentais da polpa de jenipapo nas concentrações de 6,0%, 7,5%, 9,0% e 10,5% de sólidos totais e nas temperaturas de 10°C, 20°C, 30°C, 40°C, 50°C e 60°C.

Dentre os modelos, utilizados para descrever o comportamento reológico da polpa de jenipapo, os de Plástico de Bingham e o de Herschel-Bulkley proporcionou melhores parâmetros na maior parte das faixas de temperatura e concentração estudadas, apresentando os valores para o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,90. Nas concentrações de 6,0 e 7,5%, em todas as faixas de temperatura, todos os modelos ajustaram adequadamente os dados experimentais.

Os valores dos índices de comportamento do fluido ( $n$ ) em todas as concentrações ajustadas pelo modelo de Lei de Potência ficaram abaixo do valor da unidade ( $n < 1$ ). Esse mesmo comportamento foi encontrado em estudos realizados para purê homogeneizado de pêssego (TORALLES, 2006), polpa de cupuaçu (CABRAL *et al.* 2002). Nas concentrações 6,0% e 7,5%, os valores do índice de consistência ( $k$ ) determinados pelo modelo Lei da Potência, reduziram nas faixas de 20°C e 30°C e de 30°C a 40°C, no entanto nas faixas de 10°C a 20°C, 40°C a 50°C e 50°C a 60°C, esse índice apresentou um acréscimo. Observando os valores do índice de consistência ( $k$ ) nas concentrações de 9,0% e 10,5% conclui-se que também não foi encontrado um comportamento definido para este parâmetro.

Os índices de consistência,  $k_{HB}$ ,  $k_C$  e  $k_M$ , determinado a partir do modelo de Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk, respectivamente, não apresentaram um comportamento definido para todas as concentrações com o aumento da temperatura, principalmente na faixa de 30°C até 40°C. No entanto, para a concentração de 9% de sólidos totais, o índice de consistência ( $k_C$ ) ajustado pelo modelo de Casson, apresentou um decréscimo com o aumento da temperatura de 20°C a 60°C, esse comportamento foi o mesmo encontrado por GRANGEIRO (2004) estudando o comportamento reológico da polpa de figo-da-índia com 19 °Brix na faixa de temperatura de 30 a 60 °C ao ajustar o parâmetro  $K_C$  aos dados experimentais. Além disso, os valores do índice de comportamento ( $n$ ) determinado a partir a partir do modelo de Herschel-Bulkley ficaram acima da unidade ( $n > 1$ ), para quase todas as temperaturas e teores de sólidos totais estudadas, apenas nas concentrações de 6,0 e 7,5% á 30°C, o valor ficou abaixo da unidade ( $n < 1$ ).

Os valores de tensão residual ( $\sigma_0$ ) aumentaram com o aumento da concentração de 6,0% para 7,5% para todas as temperaturas estudadas, esse mesmo comportamento foi constatado por GRATÃO (2006) para suco de graviola e de maracujá e BRANCO e GASPARETO (2005) para misturas ternárias de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura. No entanto com aumento de 9,0% pra 10,5% esse parâmetro apresentou um decréscimo.

**Tabela 5-** Ajuste dos parâmetros reológicos á polpa de jenipapo nas diversas concentrações a 10°C

Modelo	Parâmetros	6%	7,5%	9%	10,5%
Lei da Potência	K(Pa.s <sup>1</sup> )	1,18	2,43	10,86	33,02
	n	0,83	0,60	0,40	0,23
	R <sup>2</sup>	0,98	0,96	0,93	0,71
Herschel-Bulkley	K(Pa.s <sup>1</sup> )	0,43	0,27	0,14	0,01
	n	1,05	1,09	1,35	2,30
	σ <sub>o</sub> (Pa.s <sup>1</sup> )	3,55	6,85	25,96	54,10
	R <sup>2</sup>	0,99	0,98	0,98	0,94
Casson	K(Pa.s <sup>1</sup> )	0,46	0,28	0,35	0,37
	σ <sub>o</sub> (Pa.s <sup>1</sup> )	0,93	3,77	15,74	36,99
	R <sup>2</sup>	0,99	0,98	0,96	0,83
Mizrahi- Berk	K(Pa.s <sup>1</sup> )	0,37	0,04	0,04	0,05
	σ <sub>o</sub> (Pa.s <sup>1</sup> )	1,38	2,77	4,88	6,76
	R <sup>2</sup>	0,99	0,98	0,97	0,89
Plástico de Bingham	μ <sub>p</sub> (Pa.s)	0,55	0,40	0,63	0,91
	σ <sub>o</sub> (Pa.s <sup>1</sup> )	2,96	6,16	22,18	45,06
	R <sup>2</sup>	0,99	0,99	0,97	0,88

**Tabela 6-** Ajuste de diferentes modelos reológicos à polpa de jenipapo nas diferentes concentrações a 20°C

Modelo	Parâmetros	6,0%	7,5%	9,0%	10,5%
Lei da Potência	K(Pa.s <sup>1</sup> )	3,28	3,60	14,02	19,92
	n	0,60	0,61	0,45	0,45
	R <sup>2</sup>	0,98	0,96	0,93	0,87
Herschel-Bulkley	K(Pa.s <sup>1</sup> )	0,43	0,32	0,12	5,52
	n	1,06	1,15	1,55	0,72
	σ <sub>o</sub> (Pa.s <sup>1</sup> )	8,44	11,11	40,11	26,65
	R <sup>2</sup>	0,98	0,98	0,97	0,99
Casson	K(Pa.s <sup>1</sup> )	0,38	0,41	0,61	0,86
	σ <sub>o</sub> (Pa.s <sup>1</sup> )	4,51	5,47	17,93	22,12
	R <sup>2</sup>	0,98	0,99	0,99	0,98
Mizrahi-Berk	K(Pa.s <sup>1</sup> )	0,15	0,05	0,07	0,09
	σ <sub>o</sub> (Pa.s <sup>1</sup> )	2,74	3,42	5,72	6,55
	R <sup>2</sup>	0,98	0,98	0,98	0,96
Plástico de Bingham	μ <sub>p</sub> (Pa.s)	0,55	0,62	1,14	1,75
	σ <sub>o</sub> (Pa.s <sup>1</sup> )	7,83	9,40	29,57	38,48
	R <sup>2</sup>	0,99	0,98	0,99	0,99

**Tabela 7-** Ajuste de diferentes modelos reológicos à polpa de jenipapo nas diferentes concentrações a 30°C.

Modelo	Parâmetros	6%	7,5%	9%	10,5%
Lei da Potência	$K(\text{Pa.s}^1)$	2,19	2,68	13,21	54,54
	$n$	0,43	0,46	0,283	0,03
	$R^2$	0,92	0,93	0,81	0,03
Herschel-Bulkley	$K(\text{Pa.s}^1)$	0,03	0,05	0,01	0,01
	$n$	1,36	1,34	3,00	4,83
	$\sigma_o (\text{Pa.s}^1)$	5,27	6,87	27,51	52,65
	$R^2$	0,98	0,98	0,96	0,57
Casson	$K(\text{Pa.s}^1)$	0,01	0,16	0,22	0,02
	$\sigma_o (\text{Pa.s}^1)$	3,49	4,27	17,09	53,13
	$R^2$	0,99	0,99	0,98	0,12
Mizrahi- Berk	$K(\text{Pa.s}^1)$	0,02	0,03	0,03	0,00
	$\sigma_o (\text{Pa.s}^1)$	2,21	2,51	4,70	7,28
	$R^2$	0,99	0,98	0,91	0,18
Plástico de Bingham	$\mu_p (\text{Pa.s})$	0,16	0,22	0,39	0,17
	$\sigma_o (\text{Pa.s}^1)$	4,40	5,69	21,64	49,89
	$R^2$	0,97	0,98	0,89	0,69

**Tabela 8-** Ajuste de diferentes modelos reológicos à polpa de jenipapo nas diferentes concentrações a 40°C

Modelo	Parâmetros	6%	7,5%	9%	10,5%
Lei da Potência	$K(\text{Pa.s}^1)$	1,62	2,44	17,14	24,12
	$n$	0,55	0,53	0,24	0,15
	$R^2$	0,97	0,97	0,81	0,61
Herschel-Bulkley	$K(\text{Pa.s}^1)$	0,39	0,51	0,01	0,01
	$n$	0,85	0,87	2,79	2,67
	$\sigma_o (\text{Pa.s}^1)$	3,12	4,70	31,77	33,40
	$R^2$	0,99	0,98	0,97	0,90
Casson	$K(\text{Pa.s}^1)$	0,16	0,20	0,21	0,17
	$\sigma_o (\text{Pa.s}^1)$	2,70	4,11	21,33	2,67
	$R^2$	0,98	0,99	0,99	0,76
Mizrahi- Berk	$K(\text{Pa.s}^1)$	0,13	0,03	0,03	0,03
	$\sigma_o (\text{Pa.s}^1)$	1,78	2,59	5,15	5,40
	$R^2$	0,98	0,97	0,92	0,82
Plástico de Bingham	$\mu_p (\text{Pa.s})$	0,21	0,29	0,39	0,37
	$\sigma_o (\text{Pa.s}^1)$	3,83	5,59	26,11	29,11
	$R^2$	0,98	0,98	0,91	0,81

**Tabela 9-** Ajuste de diferentes modelos reológicos à polpa de jenipapo nas diferentes concentrações a 50°C

Modelo	Parâmetros	6%	7,5%	9%	10,5%
Lei da Potência	$K(\text{Pa.s}^1)$	2,24	2,14	48,77	48,66
	n	0,43	0,48	0,08	0,02
	$R^2$	0,82	0,89	0,79	0,23
Herschel-Bulkley	$K(\text{Pa.s}^1)$	0,02	0,08	0,16	0,29
	n	1,45	1,76	1,03	0,68
	$\sigma_o (\text{Pa.s}^1)$	5,50	6,53	57,51	49,24
	$R^2$	0,96	0,98	0,99	0,99
Casson	$K(\text{Pa.s}^1)$	0,11	0,14	0,08	0,03
	$\sigma_o (\text{Pa.s}^1)$	3,59	3,64	54,27	49,03
	$R^2$	0,96	0,94	0,75	0,29
Mizrahi- Berk	$K(\text{Pa.s}^1)$	0,02	0,03	0,01	0,03
	$\sigma_o (\text{Pa.s}^1)$	2,21	2,29	7,57	7,11
	$R^2$	0,97	0,97	0,72	0,92
Plástico de Bingham	$\mu_p (\text{Pa.s})$	0,16	0,20	0,19	0,07
	$\sigma_o (\text{Pa.s}^1)$	4,49	4,78	57,29	49,95
	$R^2$	0,99	0,96	0,72	0,99

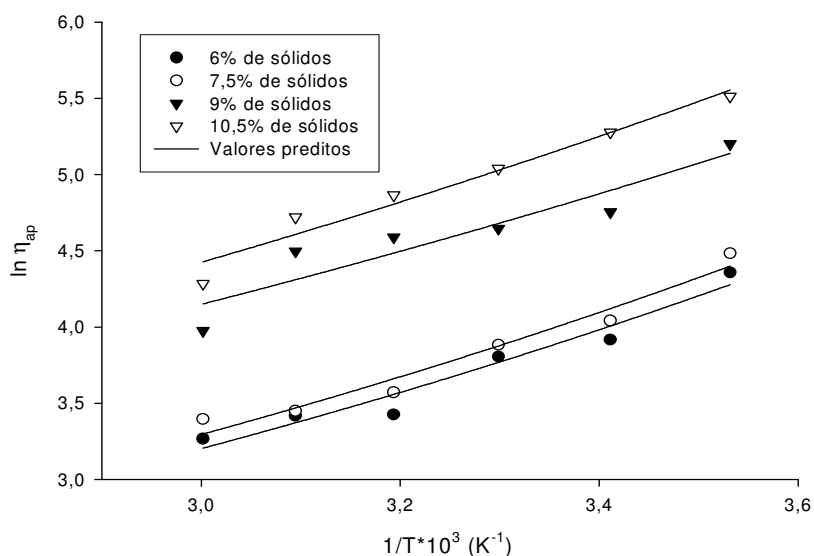
**Tabela 10-** Ajuste de diferentes modelos reológicos à polpa de jenipapo nas diferentes concentrações a 60°C

Modelo	Parâmetros	6%	7,5%	9%	10,5%
Lei da Potência	$K(\text{Pa.s}^1)$	7,10	7,12	12,51	72,91
	n	0,09	0,10	0,13	-0,02
	$R^2$	0,52	0,60	0,71	0,44
Herschel-Bulkley	$K(\text{Pa.s}^1)$	0,03	0,01	0,05	-1,63
	n	1,05	1,76	2,32	0,36
	$\sigma_o (\text{Pa.s}^1)$	8,43	3,29	17,14	73,51
	$R^2$	0,99	0,92	0,92	0,47
Casson	$K(\text{Pa.s}^1)$	0,03	0,04	0,06	-0,03
	$\sigma_o (\text{Pa.s}^1)$	7,39	7,61	14,52	71,74
	$R^2$	0,99	0,79	0,94	0,99
Mizrahi- Berk	$K(\text{Pa.s}^1)$	0,06	0,01	0,01	-0,05
	$\sigma_o (\text{Pa.s}^1)$	2,90	2,837	3,97	8,40
	$R^2$	0,99	0,91	0,99	0,42
Plástico de Bingham	$\mu_p (\text{Pa.s})$	0,03	0,06	0,11	-0,08
	$\sigma_o (\text{Pa.s}^1)$	8,55	8,02	15,63	70,53
	$R^2$	0,92	0,83	0,96	0,42



#### 4.6.2 Efeito da temperatura sobre os parâmetros reológicos

A equação de Arrhenius apresentou um bom ajuste do efeito da temperatura na viscosidade aparente da polpa de jenipapo nas quatro concentrações estudadas a uma taxa de cisalhamento constante de  $100\text{s}^{-1}$ , como pode ser visto na Figura 18. Observa-se, que a viscosidade aparente, aumenta com o inverso da temperatura. FERREIRA et al. (2002) encontraram esta mesma tendência estudando as propriedades reológicas da polpa de goiaba e VIDAL (2000) estudando o comportamento reológico da polpa de manga (*Mangífera indica L-Keitt*). O decréscimo na viscosidade aparente pode ser atribuído ao aumento das distâncias intermoleculares, que ocorrem devido à expansão térmica pelo aumento da temperatura (CONSTENLA et al., 1989).



**Figura 18-** Efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente calculada na taxa de deformação de  $100 \text{ s}^{-1}$ , segundo a equação de Arrhenius, para polpa de jenipapo em diversas concentrações.

De acordo com a Tabela 11, é possível observar que a polpa de jenipapo apresentou valores de energia de ativação ( $E_{at}$ ) bem próximos para as concentrações de 6,0 e 7,5% (4,52 kcal/gmol e 4,51 kcal/gmol, respectivamente), o mesmo ocorreu nas concentrações de 9,0 e 10,5% (3,34 kcal/gmol e 3,35 kcal/gmol), esse comportamento está de acordo com SILVA et al. (2005), que ao avaliar o comportamento reológico de suco acerola concluiu que a energia de ativação tende a diminuir com o aumento do conteúdo de sólidos. Esses valores são superiores daqueles encontrado por HAMINIUK (2005), no estudo do comportamento reológico das polpas de araçá e amora-preta. Por meio da energia de ativação é possível avaliar o efeito da temperatura sobre os parâmetros reológicos do fluido, de modo que quanto maior for o valor de  $E_{at}$ , maior será a influência da

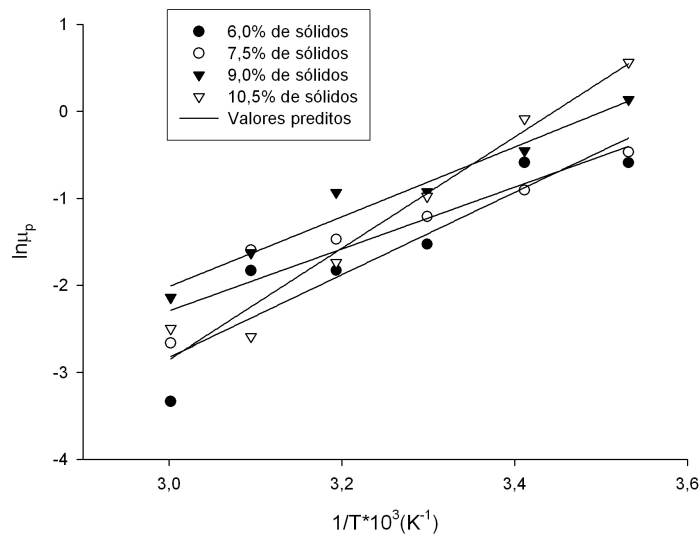
temperatura. De acordo com STEFFE (1996), em um sistema, altos valores de  $E_{at}$  indicam uma mudança mais rápida na viscosidade com a temperatura.

Observa-se também que os valores de  $\eta_0$  aumentaram ligeiramente com a elevação da concentração de sólidos totais, o mesmo comportamento foi verificado por TORRES (2003) no estudo da viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá concentrada a 10°C.

**Tabela 11-** Viscosidade aparente e energia de ativação, na taxa de deformação de  $100 \text{ s}^{-1}$ , da polpa de jenipapo em diversas concentrações.

Concentração (%)	$E_{at}$ (kcal/mol)	$\eta_0$	$R^2$
6,0	4,52	0,625	0,97
7,5	4,51	0,645	0,98
9,0	3,34	1,240	0,93
10,5	3,55	1,227	0,97

O parâmetro viscosidade plástica ( $\mu_p$ ) ajustado pelo modelo Plástico Bingham em função do inverso da temperatura, encontra-se na Figura 19. A viscosidade plástica ( $\mu_p$ ) mostrou uma tendência de decréscimo com o aumento da temperatura, esse mesmo comportamento foi encontrado por OLIVEIRA (2006) para polpa de pitanga integral, no ajuste do parâmetro viscosidades plástica ( $k_C$ ) pelo modelo de Casson e por GRANGEIRO (2004) que encontrou tendência semelhante do parâmetro  $k_C$ , estudando o comportamento reológico da polpa de figo-da-índia com 19 °Brix na faixa de temperatura de 30 a 60 °C.



**Figura 19-** Efeito da temperatura sobre a viscosidade plástica ( $\mu_p$ ) para polpa de jenipapo nas concentrações de 6,0%, 7,5%, 9,0% e 10,5% de sólidos totais.

## 5 CONCLUSÃO

As características físico-químicas da polpa de jenipapo apresentam-se nos padrões desejáveis para a produção de produtos agroindustrializados ainda que não exista o Padrão de Identidade e Qualidade para a polpa de jenipapo, definido pelo Ministério da Agricultura Pecuário e Abastecimento-MAPA.

No estudo das propriedades termofísicas, a densidade diminuiu com a temperatura e com o teor de umidade. O calor específico diminuiu com a redução do teor de umidade, sendo a relação entre calor específico e o teor de umidade diretamente proporcional. A difusividade e condutividade térmica apresentaram comportamentos semelhantes, ambas foram proporcionais á temperatura e ao teor de umidade.

A polpa de jenipapo nas quatro concentrações estudadas apresentou um caráter não-newtoniano. Dentre os modelos, utilizados para descrever o comportamento reológico da polpa de jenipapo, o de Plástico de Bingham e o de Herschel-Bulkley foram os que proporcionaram melhores parâmetros. O parâmetro índice de consistência (k), ajustado pelos modelos de Herschel-Bulkley, Casson, Mizrahi-Berk, Plástico de Bingham e Lei da Potência não apresentou um tendência de definida nas concentrações estudadas com ao aumento da temperatura.

A viscosidade aparente foi correlacionada satisfatoriamente em função da temperatura, mediante equação de Arrhenius. A energia de ativação ( $E_a$ ), diminuiu com o aumento do teor de sólidos. O parâmetro viscosidade plástica ( $\mu_p$ ) ajustado pelo modelo Plástico Bingham ( $\mu_p$ ) mostrou uma tendência de decréscimo com o aumento da temperatura.

## 6 REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, E.R. **Plantas medicinais brasileiras: conhecimentos populares e científicos**. São Paulo: Hemus, 1993, p.215-216.
- ALVARADO, J.D.; ROMERO, C.H. Physical properties of fruits-I-II: density and viscosity of juices as functions of soluble solids and content and temperature. **Latin American Applied Research**, v.19, p.15-21, 1989.
- ANDRADE, A.C.S. Germinação das sementes de jenipapo: temperatura, substrato e morfologia do desenvolvimento pós-seminal. **Pesquisa Brasileira Agropecuária**, Brasília, v.35, p.609-615, 2000.
- AOAC. Association of Official Analytical Chemists – AOAC International, **Official methods of analysis**, 16<sup>th</sup> edition, Gaithersburg, MD, USA, 1996.
- ARAÚJO, J. L., QUEIROZ, A. J. M., FIGUEIREDO, R. M. F. Propriedades termofísicas da polpa do cupuaçu com diferentes teores de sólidos. **Ciência Agrotécnica**. Lavras, v.28, n.1, p.126-134, jan/fev, 2004.
- AZOUBEL, M., P. *et al.* Effects of concentration on the physical properties of cashew juice. **Journal of Food Engineering**. v.66, p.413-417, 2005.
- BARNES, H. A.; HUTTON, J. F.; WALTERS, K. **An introduction to Rheology**. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 1989, 199p.
- BARROS, R.C. **Jenipapeiro**. F. Flor, n.4, v.18, p.1-3, 1970.
- BOURNE, M. C., Food texture and viscosity: concept and measurement. New York : **Academic Press**, p.325, 1982.
- BRANCO, I. G. **Suco de laranja concentrado – comportamento reológico a baixas temperaturas**. Universidade de Campinas, Campinas-SP, 91p., 1995 (Dissertação de mestrado).
- BRANCO, I. G.; GASPARETTO, C. A. Comportamento reológico de misturas de polpa de manga e sucos de laranja e cenoura utilizando modelo de Casson. **Brazilian Journal of Food Technology**, Campinas, v.8, n.2, p.183-189, 2005.
- BRYAN, R. B.; BRIAN, A.F. Food thermophysical property models. *Comun.* **Heat Mass Transfer**. v.26, n.5, p.627-636, 1999.
- CABRAL, M. F. P.; ALZATE, C.E.O.; GABAS, A.L.; TELIS-ROMERO, J. Rheological and thermophysical properties of blackberry juice. **Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas**, 27(3): 589-596, jul.-set./2007.
- CABRAL, M. F. P.; QUEIROZ, A. J. de M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F de. Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) peneirada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v.4, n.1, p.37-40, 2002.
- CECCHI, H.M. **Fundamentos Teóricos e Práticos em Análise de Alimentos**. Campinas. SP: Editora da Unicamp. 212p., 1999.

- CEPEDA, E.; Villarán, M.C. Density and viscosity of *Malus floribunda* juice as a function of concentration and temperature. **Journal of Food Engineering**, New York, v.41, n.2, p.103-107, 1999.
- CHOI, Y., OKOS, M.R. Effects of temperature and composition on the thermal properties of the foods. In MANGUER, L., JELEN, P. Foods engineering and Process Application. Vol.1, **Transport Phenomenon**, Elsevier, New York, p.93-101, 1986.
- CHUQUIERI, A.; DI MAIO, F. R.; PEIXOTO, A.L. A distribuição geográfica da família Rubiceae Juss. na flora brasiliense de Martius. **Rodriguésia**, Rio de Janeiro, v.55, n.84, p.47-57, 2004.
- CONCEIÇÃO, R. S. da. Comportamento reológico da polpa de goiaba (*Psidium* Constenla, D.T.; Lozano, J.E.; Crapiste, G.H. Thermophysical properties of clarified apple juice as a function of concentration and temperature. **Journal of Food Science**, Chicago, v.54, n.3, p.663-668, 1989.
- CONSTENLA, D.T.; LOZANO, J.E.; CRAPISTE, G.H. Thermophysical Properties of Clarified Apple Juice as a Function of Concentration and Temperature. **Journal of Food Science**, v.54, n.3, p.663-668, 1989.
- CORRÊA, M.P. Umbuzeiro. In: **Dicionário das plantas úteis do Brasil**. Rio de Janeiro: Ministério da Agricultura, IBDF, v.6, p.336, 1978.
- DICKERSON, R. W. An apparatus for the measurement of thermal diffusivity of foods, **Food Technology**, Chicago, v.19, n.5, p.198-204, 1965.
- DONSÍ, G.; FERRARI, G.; NIGRO, R. Experimental Determination of Thermal Conductivity of Apple and Potato at Different Moisture Contents. **Journal of Foods Engineering**, v.30, p.263-268, 1996.
- EMBRAPA. Disponível em [http://www.cpafrro.embrapa.br/embrapa/Artigos/frut\\_brasil.html](http://www.cpafrro.embrapa.br/embrapa/Artigos/frut_brasil.html). Acessado em 10/10/2008
- ESTRELLA, E. **Plantas medicinales amazonicas: realidad y perspectivas**. Manaus: TCA, 1995. 268p.
- FERREIRA, G.M.; QUEIROZ, A.J.M.; CONCEIÇÃO, R.S.; GASPARETTO, C.A. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, v.4, n.2, p.176-184, 2002.
- FIGUEIREDO, R. W. **Avaliação da Preservação da Polpa de jenipapo (*Genipa americana* L.) por alta e baixa temperatura**. Ciênc. Agron., Fortaleza, v.17, n.2, p.65-73, dez./1986.
- GOMES, R.P. **Fruticultura brasileira**. 8.ed. São Paulo: Nobel, 1982. p.278-281. *guajava*, L. 2000. 68p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande).
- GRANGEIRO, A. A. **Reologia da polpa de figo-da-índia**. 2004. 95p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola - Universidade Federal de Campina Grande).
- GRATÃO, A.C.A. **Termofluidinâmica de Sucos de Frutas Pseudoplásticos em dutos cilíndricos e ânulos concêntricos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas: Campinas, 2006.

GUERRERO, S. N.; ALZAMORA, S. M. Effect of pH, Temperature and Glucose Addition on Flow Behavior of Fruit Purees I. Banana Puree. **Journal of Food Engineering**. v.33, p.239-256, 1997.

HAMINIUK, C.,H., I. **Comportamento Reológico e Fracionamento Pécico das Polpas Integrais de Araçá (*Psidium cattleianum sabine*) e Amora-Preta (*Rubus spp*)**, Curitiba, 2005. (Tese de Mestrado).

HELDMAN, D.R. SINGH, R.P. **Food Process Engineering**. 2 ed. Van Nostrand Reinhold, New York, 1981.

HENSE, H. Avaliação dos Parâmetros Termofísicos e Cinética de Congelamento de Caçã., UNICAMP, 1990. (Tese de Mestrado da Faculdade de Engenharia de Alimentos).

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

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

INCROPERA, F. P., DeWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**. 5ª edição, LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A., Rio de Janeiro, Brasil, 698p., 2003.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos químicos e físicos para análise de alimentos**. 3 ed. São Paulo: [s/editora], 533p., 1985;

KROKIDA, M. K.; MAROULIS, Z. B.; SARAVACOS, G. D. Rheological properties of fluid fruit and vegetable puree products: compilation of literature data. **International Journal of Food Properties**, 4(2), 179-200, 2001.

KUROZAWA, L.E.; PARK, K.J.; HUBINGER, M.B.; MURR. F.E.X. **Thermal conductivity and thermal diffusivity of papaya (*Carica papaya L.*) and cashew apple (*Anacardium occidentale L.*)** Braz. J. Food Technol., v.11, n.1, p.78-85, jan./mar. 2008.

LEWIS, M. J. **Physical Properties of Foods and Food Processing Systems**. Chichester, England: Ellis Horwood, 1987.

LEWIS,M.J. **Propriedades de los aliemntos y de los sistemas de procesado**. Zaragoza: Acribia, 494p.,1993.

LIMA, I. J. E.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Propriedades termofísicas da polpa de umbu. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, n.1, p.31-42, 2003.

MATTIETTO, R., A. **Estudo Tecnológico De Um Néctar Misto De Cajá (*Spondias Lutea L.*) E Umbu (*Spondias Tuberosa*, Arruda Câmara)**. 2005. 299p. (Tese de Doutorado em Tecnologia de Alimentos de. Universidade Estadual de Campinas).

MCCLEMENTS, J. **Food Biopolymers and Colloids Research Laboratory. University of Massachusetss Amherst**. [s/editora], [s/data].

<<http://www.unix.oit.umass.edu/~mcclemen/581Rheology.html>>.Acesso em :06/02/2005.

<<http://www.unix.oit.umass.edu/~mcclemen/581Rheology.html>>.Acesso em 04/2008.

- MAGERRAMOV MIKAIL A., Aziz I. Abdulagatov, Ilmutdin M. Abdulagatov & Nazim D. Azizov3 **International Journal of Food Science and Technology**, p.42-804, 2007.
- MIZRAHI, S., BERK, Z. Flow behavior of concentrated orange juice: mathematical treatment. **Journal of Texture**. v.3, n.1, p.69-79, 1972.
- MOURA, S. C. S. R., FRANÇA, V. C. L., LEAL, A. M. C. B. Propriedades termofísicas de modelos similares a sucos – parte I, **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, v.23, n.1, p.62-68, jan-abr/2003.
- MUNIZ, M., B. *et al.* Caracterização Termofísica de Polpas de Bacuri. **Ciênc. Tecnol. Aliment.**, Campinas, v.26, n.2, abr.-jun./2006.
- NASCIMENTO, S. S. Fomento à Produção e à Pesquisa da Mangaba e outras Fruteiras Potenciais. In: **SIMPÓSIO BRASILEIRO SOBRE A CULTURA DA MANGABA**, 1., 2005, Aracaju. Anais... Aracaju: EMBRAPA. CD
- NAVARRO, R. F. Fundamentos de reologia de polímeros. **Caxias do Sul: Universidade de Caxias do Sul**, 1997. 264p.
- NIELSEN, S. S. (editor). **Food Analysis**, 2<sup>nd</sup> edition, Kluwer Academic Publishers, New York, 630p., 1998.
- OLIVEIRA, F.M.N.; **Secagem e armazenamento de polpa de pitanga**: Universidade Estadual de Campina Grande, 2006, (Dissertação de Mestrado em Engenharia Agrícola da Universidades Estadual de Campina Grande).
- PELEGRINE, D. H., VIDAL, J. R. M. B., & GASPARETTO, C. A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). **Ciência Tecnologia de Alimentos**, 20 (1), 128-131, 2000.
- PEREIRA, E., A. 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, PB, DEAg/UFCG, v.6, n.3, p.526-530, 2002.
- PRANCE, G.T. **Árvores de Manaus**. 17.ed. Manaus: INPA, 1975. p.223-225.
- RAMOS, A.M.; IBARZ, A. Density of juice and fruit puree as a function of soluble solids content and temperature. **Journal of Food Engineering**, New York, v.35, n.1, p.57-63, 1998.
- RAO, M. A., & RIZVI, S. S. **Engineering properties of foods**, New York, Marcel Dekker, 1986.
- RAO, M. A.; ANANTHESWARAN, R. C. Rheology of fluids in food processing. **Food Technology**, v.36, p.116-126, 1982.
- 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.
- RHA, C. Rheology of fluid food. **Food technology**. v.32, p.77-82, 1978.
- RIBEIRO Jr., J.I. **Análises Estatísticas no SAEG**. Viçosa-MG: UFV, 2001, 301p.

SANTOS, R.O.S. **Caracterização de jenipapeiros (Genipa americana L.) em Cruz das Almas – BA**. Cruz das Almas-Ba: Universidade Federal da Bahia, 2001. 65p. (Dissertação de Mestrado em Ciências Agrárias da Escola de Agronomia).

SATO, A., C., K. **Influência do tamanho de partículas no comportamento reológico da polpa de jabuticaba**, Campinas: UNICAMP, 2005 (Tese de Mestrado).

SHAMSUDIN, R.; MOHAMED, I. O.; YAMAN, N. K. M. Thermophysical properties of Thai seedless guava juice as affected by temperature and concentration. **Journal of Food Engineering**, v.66, n.3, p.395-399, 2005.

SHARMA, D. K.; THOMPSON, T. L. Specific heat and thermal conductivity of sorghum. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v.16, n.1, p.114-117, 1973.

SHARMA, S. K., MULVANEY, S. J., RIZVI, S. S. H. **Food processing engineering** : theory and laboratory experiments. United States of America : Wiley-Interscience. 2000, 348p.

SILVA, A.P.; LIMA, C.L.C.; VIEITES, R.L. Caracterização Química e Física do Jenipapo (Genipa Americana L.) ARMAZENADO: **Scientia Agricola, Piracicaba**, Jan.-Apr./1998, vol.55, n.1, p.29-34.

SILVA, F. C.; GUIMARÃES, D.H.P.; GASPARETO C.A. Reologia do Suco de Acerola: Efeito da Concentração e da Temperatura. **Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas**, 25(1):121-126, jan.-mar./2005.

SILVA, S. B. **Propriedades Termofísicas de Polpa de Abacaxi**. Campinas-SP: UNICAMP, 1997. 93p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas).

SIMÕES, M. R. **Propriedades Termofísicas de Polpa de Manga**. Campinas-SP: UNICAMP, 1997, 84p. (Dissertação de Mestrado em Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas).

STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**, 2 Ed: [s/local]: Freeman, [s/data].

TACO. **Tabela brasileira de composição de alimentos**. Disponível em <www.fcf.usp.tabela >. Acesso em: 18/10/ 2008.

TELIS–Romero, J.; TELIS, V.R.N.; GABAS, A.L.; YAMASHITA, F. Thermophysical properties of Brazilian orange juice as affected by temperature and water content. **Journal of Food Engineering**, v.38, n.1, p.27-40, 1998.

TORALLES, R., P. Reologia de Purê Homogeneizado de Pêssego: Efeito da Temperatura e Concentração. **Braz. J. Food Technol.**, v.9, n.1, p.1-8, jan.-mar./2006.

TORRES, L. B. de V.; QUEIROZ, A. J. de M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. de. Viscosidades aparentes de polpa de umbu-cajá concentrada a 10°C. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande**, v.5, n.2, p.161-168, 2003.

TORRES, L. B. de V.; QUEIROZ, A. J. de M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; MATA, M.E.R.M.O.C. Viscosidade de Polpas concentradas de Figo da Índia. **R. Bras. Agrocência, Pelotas**, v.13, n.2, p.219-224, abr.-jun./2007.



VIDAL, J. R. M. B. Comportamento da polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) integral. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, [s/local], v.6, n.2, p.217-222, 2004.

VIDAL, J.R.M.B.; **Estudo reológico do suco de manga: efeito dos sólidos insolúveis**. 1996. 81p. Tese de Mestrado, FEA/UNICAMP. Campinas, (SP).

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

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

VIEIRA, J.A.G. Propriedades termofísicas e convecção no escoamento laminar de suco de laranja. [s/local]: [s/editora], [s/data].

VITALI, A.A.; RAO, M.A. Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: effect of temperature and concentration. **Journal of Food Science**, v.49, n.3, p.882-88, 1984.

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)