



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA  
ÁREA: ARMAZENAMENTO E PROCESSAMENTO DE  
PRODUTOS AGRÍCOLAS**



**ESTÁGIO SUPERVISIONADO**

**COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DE BURITI COM LEITE**

**KARLA DOS SANTOS MELO**

**Campina grande - Paraíba**

**Fevereiro - 2007**

# COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DE BURITI COM LEITE

**KARLA DOS SANTOS MELO**

Estágio supervisionado apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do diploma de graduação em Engenharia Agrícola.

ÁREA: Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas

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

Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

Campina grande - Paraíba

Fevereiro – 2007



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE  
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS  
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



## PARECER FINAL DO JULGAMENTO DO ESTÁGIO SUPERVISIONADO

**KARLA DOS SANTOS MELO**

### COMPORTAMENTO REOLÓGICO DA POLPA DE BURITI COM LEITE

BANCA EXAMINADORA:

PARECER

Rossana M<sup>a</sup> F. de Figueiredo

Rossana Maria Feitosa de Figueiredo – Orientadora

9,0

Josivanda P. Gomes

Josivanda Palmeira Gomes - Examinadora

10,0

Melitons

Maria Elita Martins Duarte - Examinadora

9,5

Média = 9,5

FEVEREIRO - 2007

## AGRADECIMENTOS

A *Deus*, por me acompanhar e me dar forças quando muitas vezes quis fraquejar.

Aos meus pais e as minhas irmãs por sempre terem participado de perto de tudo que vivi, por terem me ouvido, ajudado, dado-me força, carinho, por me amarem.

A todos da minha família, tios e primos, que sempre me acompanham e torcem por mim.

A todos os meus mestres que tive oportunidade de conviver e aprender, em especial a três grandes professores que me ensinaram muito, e tiveram a paciência de me encaminhar nesta profissão que amo tanto, Prof<sup>ª</sup>. Rossana, Prof<sup>ª</sup>. Josivanda e Prof. Alexandre.

A todos os meus colegas de curso, da Agrotec Júnior e do CA, aos colegas do mestrado Adriano, Daniely, Hofsky, Ivonete, Yvison (*in memorian*) e Marcelo por sempre estarem dispostos a ensinar.

A Aldanisa, secretária do Departamento de Engenharia Agrícola, por ser sempre nossa amiga.

Ao Coordenador do Curso Prof. Juarez por ter sempre me ajudado.

Aos meus grandes amigos: Aline, Clarice, Conceição, Débora, Edvaldo, Helder, Jofran, Kaline, Lidianne, Marcelino (*in memorian*), Niédja, Patrícia, Polyana, Rafael, René, Silvana, Simone, Socorro, Thaís, Tâmila e Walker, por dividirem os bons e maus momentos que vivemos durante todos esses anos.

Em especial as minhas amigas e conselheiras que sempre me escutaram com muito carinho Joelma e Riuzuaní. Ao meu grande amigo e companheiro de trabalho Jean. A Luciano e Sebastião, por serem meus grandes amigos e por representarem para mim um exemplo de força, coragem, dedicação, simplicidade e determinação. A minha mais que amiga, mas que companheira, mais que prima, Denise.

*A todos vocês meu  
Muito Obrigado!!!*

## DEDICÁTORIA

Aos meus pais, *Manuel Batista e Estefânia*, por serem minha vida, meu alicerce, meu exemplo de vida e caráter.

As minhas irmãs **Débora, Kalina e Karen**, por dividirem comigo os bons e maus momentos desta caminhada.

E aos meus sobrinhos **Amanda, Gustavo e Ana Carolina**, que são meus pequenos amores.

**AMO MUITO VOCÊS!!**

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1. Objetivos .....	3
1.1.1. Objetivo geral .....	3
1.1.2. Objetivos específicos .....	3
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>4</b>
2.1. Buriti .....	4
2.2. Leite .....	7
2.2.1. Composição do leite .....	7
2.2.1.1. Água .....	7
2.2.1.2. Lipídios .....	8
2.2.1.3. Proteínas .....	8
2.2.1.4. Lactose .....	8
2.2.1.5. Sais minerais .....	8
2.2.1.8. Vitaminas .....	9
2.2.1.7. Enzimas .....	9
2.3. Reologia .....	9
2.3.1. Fluidos newtonianos .....	10
2.3.2. Fluidos não-newtonianos .....	11
2.3.2.1. Fluidos independentes do tempo .....	11
2.3.2.1.1. Fluidos pseudoplásticos .....	12
2.3.2.1.2. Fluidos dilatantes .....	12
2.3.2.1.3. Fluidos de Bingham .....	12
2.3.2.2. Fluidos dependentes do tempo .....	13
2.3.2.2.1. Fluidos tixotrópicos .....	14
2.3.2.2.2. Fluidos reopéticos .....	14
2.4. Medidas reológicas .....	14
2.4.1. Viscosímetro de tubo capilar .....	14
2.4.2. Sistemas rotacionais .....	15
2.4.2.1. Viscosímetro rotacional de cilindros co-axiais .....	15
2.4.2.3. Viscosímetro rotativo "Brookfield" .....	16
2.5. Modelos reológicos .....	16
2.5.1. Modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) .....	17

2.5.2. Modelos que consideram a tensão inicial .....	17
2.5.2.1. Modelo de Herschel–Bulkley .....	18
2.5.2.2. Modelo de Casson .....	18
2.5.2.3. Modelo de Mizrahi–Berk .....	18
2.6. Influência da temperatura e da concentração na viscosidade .....	19
<b>3. MATERIAL E MÉTODOS .....</b>	<b>21</b>
3.1. Matérias-primas .....	21
3.1.1. Obtenção da polpa de buriti .....	21
3.1.2. Formulação .....	23
3.2. Determinação das características reológicas .....	24
3.2.1. Viscosidade aparente .....	24
3.2.2. Tensão de cisalhamento .....	26
3.2.3. Índice de comportamento do fluido .....	27
3.2.4. Taxa de deformação .....	27
3.3. Modelos reológicos .....	28
3.4. Erros experimentais .....	29
3.5. Análise estatística .....	30
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>31</b>
<b>5. CONCLUSÕES .....</b>	<b>46</b>
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>47</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>53</b>
<b>APÊNDICE B .....</b>	<b>58</b>



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 2.1.</b> Palmeira do buriti .....	4
<b>Figura 2.2.</b> Fruto do buritizeiro ( <i>Mauritia flexuosa</i> L.) .....	6
<b>Figura 2.3.</b> Comportamento da viscosidade aparente em função da taxa de deformação .....	11
<b>Figura 2.4.</b> Curvas de escoamento para vários tipos de fluidos independentes do tempo .....	12
<b>Figura 2.5.</b> Curvas de escoamento para fluidos dependente do tempo .....	13
<b>Figura 2.6.</b> Diferentes configurações apresentadas pelo viscosímetro .....	14
<b>Figura 2.7.</b> Detalhes do viscosímetro Brookfield modelo RVT .....	16
<b>Figura 3.1.</b> Fruto do buriti despreendendo a casca .....	21
<b>Figura 3.2.</b> Fluxograma das etapas realizadas para a obtenção da polpa de buriti .....	23
<b>Figura 3.3.</b> Polpa de buriti (A) e formulação da polpa de buriti com leite (B) .....	24
<b>Figura 3.4.</b> Spindles do viscosímetro Brookfield modelo RVT .....	25
<b>Figura 4.1.</b> Relações entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de buriti com leite ajustadas pelo modelo de Mizrahi-Berk .....	45
<b>Figura B.1.</b> Relações entre a tensão de cisalhamento (Pa) e a taxa de deformação ( $s^{-1}$ ) da polpa de buriti com leite ajustadas pelo modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) .....	61
<b>Figura B.2.</b> Relações entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de buriti com leite ajustadas pelo modelo de Herschel-Bulkley .....	61
<b>Figura B.3.</b> Relações entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de buriti com leite ajustadas pelo modelo de Casson .....	62

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 2.1.</b> Composição química e físico-química da polpa de buriti ( <i>Mauritia flexuosa</i> L.) .....	6
<b>Tabela 2.2.</b> Características físicas e química do leite .....	7
<b>Tabela 3.1.</b> Valores do fator F em função do spindle e da velocidade de rotação .....	26
<b>Tabela 3.2.</b> Fatores de conversão para os spindles do viscosímetro Brookfield-RVT ..	27
<b>Tabela 4.1.</b> Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para todas as temperaturas nas suas diferentes velocidades .....	31
<b>Tabela 4.2.</b> Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de buriti com leite .....	33
<b>Tabela 4.2.</b> Equações de regressão propostas para o cálculo da viscosidade da polpa de buriti com leite em função da temperatura .....	
<b>Tabela 4.3.</b> Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a velocidade de 0,5 rpm .....	34
<b>Tabela 4.4.</b> Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a velocidade de 1,0 rpm .....	34
<b>Tabela 4.5.</b> Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a velocidade de 2,5 rpm .....	35
<b>Tabela 4.6.</b> Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a velocidade de 5,0 rpm .....	35
<b>Tabela 4.7.</b> Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a velocidade de 10 rpm .....	36
<b>Tabela 4.8.</b> Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a velocidade de 20 rpm .....	36
<b>Tabela 4.9.</b> Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a velocidade de 50 rpm .....	37
<b>Tabela 4.10.</b> Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a velocidade de 100 rpm .....	37

<b>Tabela 4.11.</b> Equações de regressão propostas para o cálculo da viscosidade aparente da polpa de buriti com leite em função da temperatura .....	38
<b>Tabela 4.12.</b> Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a temperatura de 10°C .....	39
<b>Tabela 4.13.</b> Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a temperatura de 20°C .....	40
<b>Tabela 4.14.</b> Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a temperatura de 30°C .....	40
<b>Tabela 4.15.</b> Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a temperatura de 40°C .....	50
<b>Tabela 4.16.</b> Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a temperatura de 50°C .....	50
<b>Tabela 4.17.</b> Equações de regressão propostas para o cálculo da viscosidade aparente da polpa de buriti com leite em função da velocidade de rotação .....	42
<b>Tabela 4.18.</b> Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e erro experimental (%) dos modelos reológicos para a polpa de buriti com leite .....	44
<b>Tabela A.1.</b> Viscosidade (Pa.s) da polpa de buriti com leite na temperatura de 10°C ..	54
<b>Tabela A.2.</b> Viscosidade (Pa.s) da polpa de buriti com leite na temperatura de 20°C ..	54
<b>Tabela A.3.</b> Viscosidade (Pa.s) da polpa de buriti com leite na temperatura de 30°C ..	55
<b>Tabela A.4.</b> Viscosidade (Pa.s) da polpa de buriti com leite na temperatura de 40°C ..	55
<b>Tabela A.5.</b> Viscosidade (Pa.s) da polpa de buriti com leite na temperatura de 50°C ..	56
<b>Tabela A.6.</b> Equações de regressão propostas para o cálculo da viscosidade da polpa de buriti com leite em função da temperatura .....	56
<b>Tabela A.7.</b> Equações de regressão propostas para o cálculo da viscosidade da polpa de buriti com leite em função da velocidade de rotação .....	57
<b>Tabela B.1.</b> Valores da Tensão de Cisalhamento (Pa) e Taxa de Deformação ( $s^{-1}$ ) para a polpa de buriti com leite à temperatura de 10°C .....	59
<b>Tabela B.2.</b> Valores da Tensão de Cisalhamento (Pa) e Taxa de Deformação ( $s^{-1}$ ) para a polpa de buriti com leite à temperatura de 20°C .....	59
<b>Tabela B.3.</b> Valores da Tensão de Cisalhamento (Pa) e Taxa de Deformação ( $s^{-1}$ ) para a polpa de buriti com leite à temperatura de 30°C .....	59

<b>Tabela B.4.</b> Valores da Tensão de Cisalhamento (Pa) e Taxa de Deformação ( $s^{-1}$ ) para a polpa de buriti com leite à temperatura de 40°C .....	60
<b>Tabela B.5.</b> Valores da Tensão de Cisalhamento (Pa) e Taxa de Deformação ( $s^{-1}$ ) para a polpa de buriti com leite à temperatura de 50°C .....	60

## 1. INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se pela riqueza de sua biodiversidade, devido principalmente a sua vasta extensão territorial e posição geográfica privilegiada. Os frutos das espécies nativas do Brasil oferecem um elevado valor nutricional, além de atrativos sensoriais como, cor, sabor e aroma peculiares e intensos, ainda pouco explorados comercialmente. Algumas frutas nativas do Brasil, como o araticum, o buriti, a cagaita e o pequi, apresentam teores de vitaminas do complexo B, tais como as vitaminas B1, B2 e PP, equivalentes ou superiores aos encontrados em frutas como o abacate, a banana e a goiaba, tradicionalmente consideradas como boas fontes destas vitaminas. Entretanto, grande parte das frutas nativas em regiões típicas de clima tropical é, especialmente, rica em carotenóides. Os frutos de palmeiras, como o buriti, o tucumã, o dendê, a macaúba e a pupunha são fontes potenciais de carotenóides pró-vitamina A (COSTA & VIEIRA, 2004).

O buritizeiro (*Mauritia flexuosa* L.) é uma palmeira da família Arecaceae, que vegeta nas regiões alagadas e úmidas do Centro, Norte e Nordeste do Brasil (LORENZI, 1992; LORENZI et al., 1996; ALMEIDA et al., 1998). Apresenta quase que total aproveitamento de toda a planta: a polpa de seus frutos é utilizada na culinária de diversas formas, como geléia, sorvetes, cremes e o doce vendido em delicadas caixas que são confeccionadas com a própria madeira do buriti; têm-se as raspas de buriti, obtidas a partir da secagem solar da polpa do fruto raspada; a paçoca de buriti, quando se misturam, às raspas, um pouco de farinha de mandioca e de rapadura. Do seu fruto também é extraído óleo comestível, com alto teor de vitamina A. Da parte interna do estipe da palmeira é produzida a farinha. Desta planta é extraído o saboroso palmito do broto terminal da planta. Suas folhas apresentam formato de leque com as quais são feitas redes, coberturas de tetos, cordas e balaios. E por fim do seu estipe e das inflorescências imaturas faz-se refresco que após um processo fermentativo obtêm-se o vinho de buriti.

O leite é um dos alimentos mais nutritivos que existem, sendo rico em proteínas de alta qualidade e fornecendo todos os 10 aminoácidos essenciais, assim como ácidos graxos, imunoglobinas e outros micronutrientes (ROCHA, 2004). De acordo com PINHEIRO & MOSQUIM (1991) a importância do leite, sob o ponto de vista nutricional, se deve a qualidade de suas proteínas, ao seu teor elevado em cálcio, fósforo, magnésio e às vitaminas A, riboflavina e niacina, entre outras.

Para a fabricação de produtos que utilizam polpa de frutas e para definição dos processos é indispensável o conhecimento das suas propriedades físicas e químicas. Dentre essas propriedades o comportamento reológico ocupa posição de grande destaque (VIDAL et al., 2000). No Brasil, há escassez de dados sobre propriedades reológicas dos sucos, polpas e outros concentrados de frutas brasileiras. A matéria-prima brasileira apresenta características diferentes daquelas produzidas em outras partes do mundo, principalmente no que diz respeito aos teores de polpa e de açúcares, que influenciam diretamente no teor de sólidos solúveis e insolúveis (VIDAL, 1997). É através destes dados que a indústria nacional apresenta a possibilidade de, respeitando as características individuais de cada fruta, desenvolver tecnologias, e aumentar o padrão de qualidade dos seus produtos.

Segundo QUEIROZ et al. (1996) no projeto de equipamentos destinados ao processamento de frutas, para a produção de sucos e purês, o conhecimento das propriedades ligadas aos seus padrões de comportamento reológico determina a sua concepção e o dimensionamento de bombas, tubulações, filtros, agitadores, evaporadores, pasteurizadores, resfriadores, congeladores, embaladeiras, etc.

A crescente necessidade e procura dos parâmetros reológicos para os diversos fluidos manipulados na indústria de processamento está ligada, também, à grande importância econômica que estes fluidos e equipamentos de manipulação representam (GEHRKE, 1996).

## 1.1. Objetivos

### 1.1.1. Objetivo geral

Estudar o comportamento reológico da polpa de buriti com leite em diferentes temperaturas.

### 1.1.2. Objetivos específicos

- Elaborar uma formulação composta por partes iguais de polpa de buriti e leite;
- Determinar a viscosidade aparente da polpa de buriti com leite nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50°C;
- Propor equações matemáticas polinomiais de predição da viscosidade aparente em função da temperatura e da viscosidade aparente em função da velocidade de rotação;
- Ajustar os modelos reológicos de Ostwald-de-Waelle, Mizrahi–Berk, Herschel–Bulkley e Casson às curvas da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação;

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. Buriti

No Cerrado brasileiro, o buritizeiro aparece

Na ~~Região~~ dos Cerrados o buritizeiro aparece nas regiões baixas e úmidas, denominadas popularmente por veredas. Tem importância ornamental e estratégica na preservação da fauna, em razão de seus frutos serem fonte de alimento para várias aves e mamíferos. Além disso, os frutos têm grande utilização na culinária nacional, no preparo de doces e geléias e na extração do óleo, rico em vitamina A (ALMEIDA & SILVA, 1994). Segundo POTT & POTT (2004) esta palmeira tem caule solitário, do tipo estipe, com até 30 m de altura, diâmetro de 30 à 60 cm, possui de 8 à 20 folhas em forma de leque, seu fruto é elipsóide oblongo, lustroso, escamoso, de cor castanho-avermelhado.

Das 11 espécies disseminadas no Brasil, as duas mais importantes são a *Mauritia flexuosa* L. e a *Mauritia vinifera* Mart. (TAVARES et al., 1996).



Figura 2.1. Palmeira do buriti (WIKIPEDIA, 2007)

obs - A reconstrução da parte e' só para retirar a palavra região (repetido)!



A madeira do buritizeiro é moderadamente pesada e dura, porém de baixa durabilidade natural. Mesmo assim é muito utilizada em construções rurais de trapiches em beira de rios (HOMMA, 1993).

A polpa de buriti pode ser congelada e conservada por mais de um ano, sendo utilizada praticamente da mesma forma que a polpa fresca. Tem-se ainda a produção de óleos a partir da polpa e semente, fornecendo os óleos oléicos e láuricos, respectivamente. Os frutos do buriti podem produzir até 3,6 t/ha, quantidade maior que as de culturas como a soja, girassol e amendoim (LORENZI et al., 1996). O óleo é mais rico em betacaroteno, com 300mg/100g, do que o óleo de dendê, com 98,5mg/100g, e tem seu uso na medicina popular para queimaduras na pele, além de auxiliar na cicatrização, pode usado ainda para produzir sabão (YUYAMA et al., 1996).

A polpa comestível do buriti é constituída de uma massa de cor amarelo-avermelhada, com sabor ligeiramente ácido e adocicada, sendo consumido na forma de sucos e doces (CAVALCANTE, 1996).

A palmeira buriti possui os frutos portadores do maior potencial pró-vitâmico A que se conhece (AGUIAR et al., 1980). A matéria corante do buriti é na quase totalidade constituída de carotenos. Em adição às suas propriedades corantes,  $\beta$ -caroteno e outros carotenóides são nutricionalmente importantes como pró-vitamina A, sendo a principal fonte dietética dessa vitamina (BRITTON, 1991). Segundo pesquisas de YUYAMA et al. (1998), o buriti revelou-se uma fonte de vitamina A concentrada e altamente biodisponível, com a vantagem de possuir alto teor de lipídios, importantes no carreamento da vitamina A. O teor de caroteno da polpa de buriti (16,7 mg/100mg) é superior a diversos tipos de polpas de frutas como o da polpa de pequi (7,46 mg/100mg) e como o do araticum, baru, cagaita, jatobá e mangaba que apresentam teores inferiores a 1,0 mg/100mg de material (SANO & ALMEIDA, 1998).



**Figura 2.2.** Fruto do buritizeiro (*Mauritia flexuosa* L.) (WIKIPEDIA, 2007)

De acordo com MUJICA et al. (2005) o buriti caracteriza-se como um fruto relativamente ácido. Apresenta alto conteúdo de lipídios, o qual influencia significativamente na sua conservação e estabilidade. Pelo seu valor nutritivo, sabor e aroma característico e grandes perspectivas para seu aproveitamento industrial na forma de doces, geléias, sorvetes e refrescos.

Na Tabela 2.1 são apresentadas às características químicas e físico-químicas da polpa de buriti.

**Tabela 2.1.** Composição química e físico-química da polpa de buriti (*Mauritia flexuosa* L.)

Parâmetro	Valor
pH	4,58
Sólidos solúveis totais (°Brix)	2,10
Índice de refração	0,66
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	0,58
Umidade (%)	72,93
Proteínas (%)	2,70
Lipídeos (%)	11,24
Cinzas (%)	0,98
Carotenóides (%)	2,10

Fonte: MUJICA et al. (2005)

## 2.2. Leite

O leite é uma emulsão de glóbulos graxos, estabilizado por substâncias albuminóides num soro que contém em solução: um açúcar - a lactose, matérias protéicas, sais minerais e orgânicos e pequenas quantidades de vários produtos, tais como: lecitina, uréia, aminoácidos, ácido cítrico, ácido láctico, ácido acético, álcool, lactocromo, vitaminas, enzimas, e outros (BEHMER, 1984).

O leite é um líquido branco, opaco, duas vezes mais viscoso que a água, de sabor ligeiramente açucarado e de odor pouco acentuado (VEISSEYRE, 1988).

Na Tabela 2.2 são apresentadas às características físicas e químicas do leite.

**Tabela 2.2.** Características físicas e química do leite

Parâmetro	Valor
Umidade (%)*	88,00
Gordura (%)*	3,68
Proteína (%)*	3,70
Cinzas (%)*	0,70
Extrato seco total (%)*	10,00
Vitamina A (U.I.)*	185,49
Calorias por 100ml*	62,83
Densidade a 15°C (g/cm <sup>3</sup> )**	1,030 a 1,034
Ponto de congelamento (°C)**	-0,55
pH**	6,5 a 6,6
Acidez total titulável (g ácido cítrico/l)**	6,5 a 6,6
Índice de refração a 20°C**	1,35

Fonte: \*VERRUMA & SALGADO (1994), \*\*VEISSEYRE (1988)

### 2.2.1. Composição do leite

#### 2.2.1.1. Água

A água constitui, em volume, o principal componente do leite. Entra em média na percentagem de 87,5%, influenciando sensivelmente na densidade do leite. Como causa da

variação da percentagem de água na composição do leite salientam-se os seguintes fatores: a raça do gado e o tempo de lactação (BEHMER, 1984).

#### **2.2.1.2. Lipídios**

Os lipídios constituem qualitativa e quantitativamente a fração mais variável do leite e pode modificar-se durante a ordenha, sendo que o primeiro leite é relativamente magro (0,7%), enquanto que o último ordenhado é muito gordo (11%) (PINHEIRO & MOSQUIM, 1991).

#### **2.2.1.3. Proteínas**

O leite contém aproximadamente, 3,3% de proteínas, das quais 85% são constituídas pelas caseínas e 15% pelas proteínas do soro (PINHEIRO & MOSQUIM, 1991).

#### **2.2.1.4. Lactose**

A pouca solubilidade da lactose, cerca de 18% (18g em 100g de água) e, conseqüentemente, a sua cristalização é importante sob o ponto de vista tecnológico e influencia no rendimento industrial deste açúcar que utiliza como matéria-prima o soro de queijo, no tipo de cristal formado e no corpo de diversos produtos lácteos (PINHEIRO & MOSQUIM, 1991).

A lactose é uma importante fonte de energia na dieta e pode facilitar a absorção do cálcio. Porém, o uso de lactose como fonte de energia está limitado pela porcentagem relativamente alta de pessoas intolerantes a lactose (VARNAM & SUTHERLAND, 1995).

#### **2.2.1.5. Sais minerais**

As características de qualidade dos produtos lácteos, um dos principais itens da dieta de crianças, devido à qualidade de suas proteínas, e de seu teor elevado em cálcio, magnésio e fósforo, embora pobres em cobre e ferro, dependem muito da relação entre os seus diversos sais (PINHEIRO & MOSQUIM, 1991).

### 2.2.1.8. Vitaminas

O leite contribui significativamente para atender as necessidades de vitamina A do homem e possui quantidades relativamente grandes de vitaminas hidrossolúveis, como a vitamina B1 e B2, enquanto outras pouco contribuem para atender as necessidades do homem, a exemplo da C e do ácido nicotínico (PINHEIRO & MOSQUIM, 1991).

### 2.2.1.7. Enzimas

O leite contém diversas enzimas que possivelmente passam incidentalmente do tecido glandular para este fluido durante a sua secreção. Embora constituam uma pequena fração das proteínas do leite, algumas são muito importantes sob o ponto de vista tecnológico, na estabilidade do leite; enquanto outras só atuam em substratos não encontrados no leite (PINHEIRO & MOSQUIM, 1991; VARNAM & SUTHERLAND, 1995).

## 2.3. Reologia

Reologia é a ciência que estuda como a matéria se deforma ou escoia, quando submetida a esforços produzidos por forças externas (MACHADO, 1996). GASPARETTO & GEHRKE (1995) definem reologia como o estudo do escoamento de fluidos, ou seja, o estudo da resposta interna dos materiais quando submetidos à ação de forças externas.

As propriedades reológicas estão intimamente relacionadas com a composição e estrutura dos alimentos, tendo em vista que a viscosidade de cada produto está diretamente relacionada com a qualidade de alimentos que se apresentam na forma de fluidos, influenciando diretamente na textura e, portanto, na qualidade sensorial destes. Por outro lado, é de grande interesse industrial, o conhecimento do comportamento reológico dos alimentos durante o processo de elaboração como concentração, mistura, pasteurização e outras operações unitárias (DURAN, 1991).

IBARZ et al. (1996) salientaram a importância do conhecimento do comportamento reológico dos derivados de frutas, que deve ser utilizado nos parâmetros de qualidade, de avaliação e operação dos equipamentos processadores de alimentos.

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

Os fluidos em geral são classificados em função do seu comportamento reológico. Este envolve a determinação e a análise da relação entre a tensão de cisalhamento e o gradiente de velocidade, que é chamado taxa de deformação, para uma determinada condição de temperatura e pressão (MACHADO, 1996).

NAGY et al. (1993), descreveram que o comportamento reológico dos fluidos está dividido em newtonianos e não-newtonianos, sendo os newtonianos caracterizados por uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada, dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido, enquanto os não-newtonianos são os fluidos inelásticos, dependentes ou independentes do tempo.

### 2.3.1. Fluidos newtonianos

De acordo com GONÇALVES (1989), os fluidos newtonianos apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, ou seja, a viscosidade é constante (Figura 2.3). Portanto, os fluidos newtonianos têm um comportamento característico onde a viscosidade não depende da taxa de deformação. Alguns produtos alimentícios que apresentam esse tipo de comportamento são: leite, café, cerveja, vinho, óleo, mel e sucos clarificados de maçã e uva.

Matematicamente os fluidos newtonianos são definidos pela Equação 2.1:

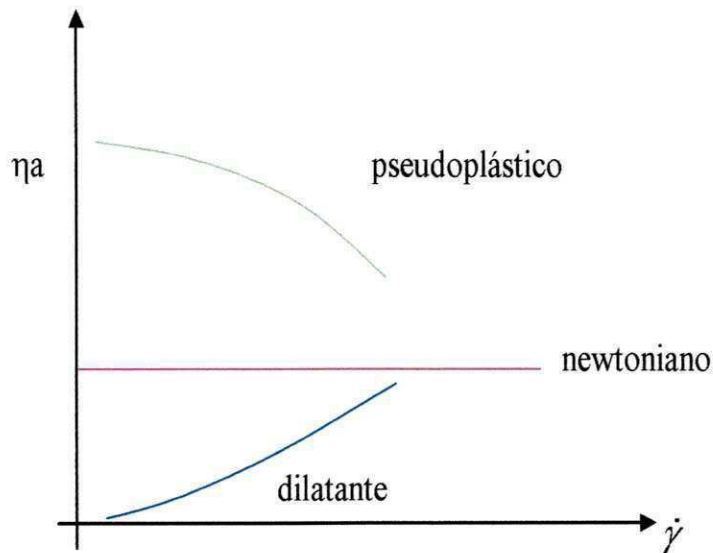
$$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma} \quad (2.1)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

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

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



**Figura 2.3.** Comportamento da viscosidade aparente em função da taxa de deformação

### 2.3.2. Fluidos não-newtonianos

São fluidos que apresentam uma relação não linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, sua viscosidade varia com a magnitude da taxa de deformação (Equação 2.2). Os fluidos não newtonianos se dividem em independentes e dependentes do tempo.

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

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

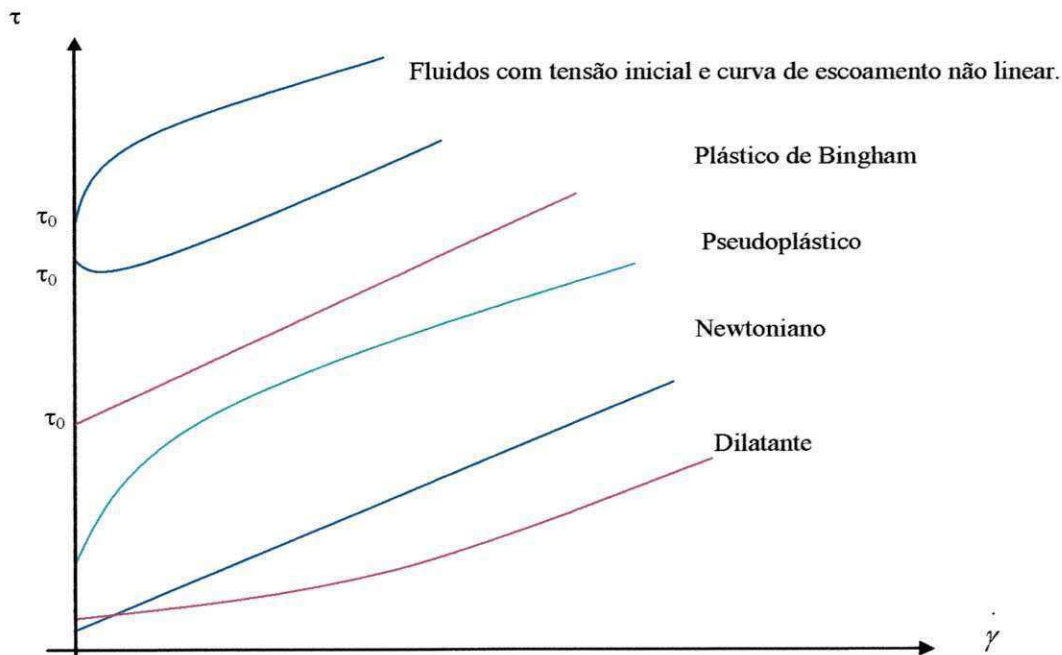
$\dot{\gamma}$  - taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

$\eta_a$  - viscosidade aparente (Pa.s)

#### 2.3.2.1. Fluidos independentes do tempo

São fluidos que a uma temperatura constante, a viscosidade aparente depende somente da taxa de deformação. São divididos em: pseudoplástico, dilatante e Bingham.

Na Figura 2.4 são apresentadas às curvas de escoamento de fluidos independentes do tempo.



**Figura 2.4.** Curvas de escoamento para vários tipos de fluidos independentes do tempo

#### 2.3.2.1.1. Fluidos pseudoplásticos

HOLDSWORTH (1971) afirma que a maioria dos fluidos alimentícios apresenta comportamento pseudoplástico, cuja viscosidade aparente decresce com o aumento da taxa de deformação (Figura 2.4).

#### 2.3.2.1.2. Fluidos dilatantes

Nos fluidos dilatantes, a viscosidade aparente aumenta com o aumento da taxa de deformação (Figura 2.4). Esse tipo de comportamento foi encontrado em mel (HOLDSWORTH, 1971), amido de milho e soro de purê de tomate.

#### 2.3.2.1.3. Fluidos de Bingham

GONÇALVES (1989) define os fluidos de Bingham, como fluidos que inicialmente necessitam de uma tensão de cisalhamento para que haja fluxo ou movimentação do material. Uma vez atingida essa tensão, o fluido passa a apresentar um comportamento newtoniano e é



chamado de plástico de Bingham ou plástico ideal. Como exemplos desse comportamento têm-se: purê de batata, mostarda, chocolate fundido e creme batido.

Matematicamente os fluidos de Bingham são descritos pela Equação 2.3:

$$\tau = \tau_0 + \eta_p \cdot \dot{\gamma} \quad (2.3)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

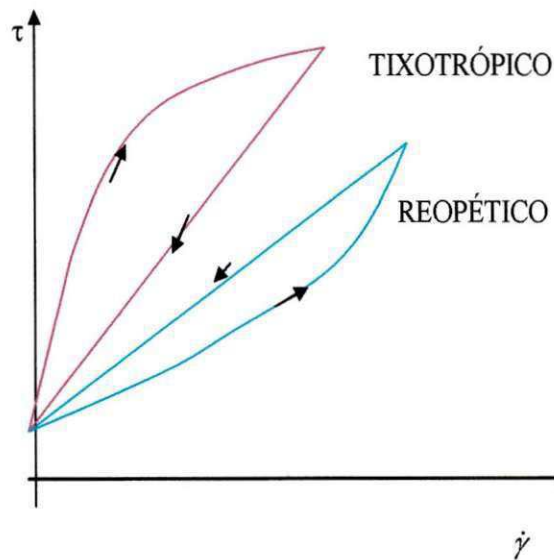
$\dot{\gamma}$  - taxa de deformação ( $s^{-1}$ )

$\tau_0$  - tensão inicial (Pa)

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

### 2.3.2.2. Fluidos dependentes do tempo

São fluidos em que a viscosidade aparente depende da taxa de deformação e da duração do cisalhamento. Apresentam duas categorias: tixotrópicos e reopéticos (Figura 2.5).



**Figura 2.5.** Curvas de escoamento para fluidos dependentes do tempo

### 2.3.2.2.1. Fluidos tixotrópicos

Os fluidos pertencentes a este grupo apresentam comportamento reológico dependente do tempo e a viscosidade aparente, a uma taxa de deformação fixa, decresce com o tempo, conforme comentado por GASPARETTO & GEHRKE (1995).

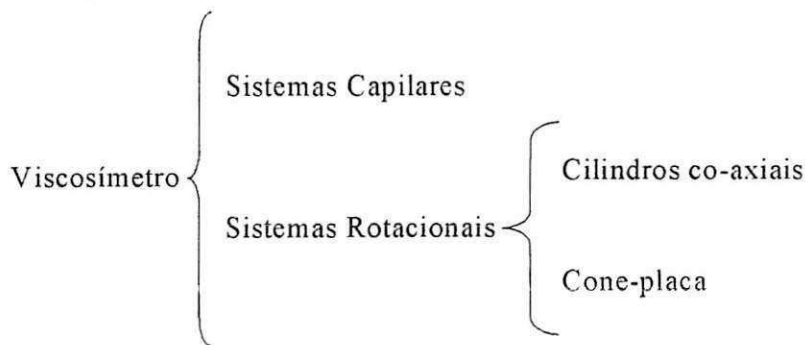
### 2.3.2.2.2. Fluidos reopéticos

Apresentam comportamento inverso aos fluidos tixotrópicos, sendo por isso conhecido também, como fluidos de tixotropia negativa ou anti-tixotrópicos (Figura 2.5). Entretanto, são casos muito complexos e raros, notadamente na área de alimentos processados (GONÇALVES, 1989).

## 2.4. Medidas reológicas

A viscosidade ou os parâmetros viscosos dos fluidos são determinados pelo viscosímetro. Os projetos dos viscosímetros mais usuais se baseiam nos diferentes tipos de fluxo permanentemente laminar.

Os viscosímetros apresentam diferentes configurações, sendo as mais comuns as mostradas na Figura 2.6.



**Figura 2.6.** Diferentes configurações dos viscosímetro

### 2.4.1. Viscosímetro de tubo capilar

Esse tipo de sistema consiste em forçar um líquido a escoar através de um tubo de diâmetro pequeno, empregando uma bomba de deslocamento positivo. A viscosidade do fluido é determinada a partir das medidas de vazão, pressão e dimensões do tubo.

O viscosímetro de tubo capilar é simples, exato e científico, pode ser usado no estudo de fluidos newtonianos e não-newtonianos, transparentes ou opacos. É ainda indicado no estudo de fluidos de altas viscosidades, uma vez que a sua estrutura mecânica permite operar com pressão elevada.

#### **2.4.2. Sistemas rotacionais**

Esse tipo de sistema se baseia na rotação de um corpo, interno ou externo, superior ou inferior, imerso em um líquido, o qual experimenta uma força de resistência viscosa. Esta é função da velocidade de rotação do corpo e da natureza do fluido.

O viscosímetro rotativo é um equipamento concebido de tal modo que o corpo imerso ou em contato com o fluido-teste pode ser submetido a uma rotação ou a uma tensão ou torque pré-definida.

##### **2.4.2.1. Viscosímetro rotacional de cilindros co-axiais**

O primeiro projeto de viscosímetro de cilindros concêntricos foi idealizado por Couette em 1890. No sistema Couette um corpo externo gira a uma velocidade definida, provocando um fluxo na amostra do líquido entre os corpos interno e externo. A resistência do líquido cisalhando transmite um torque ao corpo interno, que é induzido a girar. Como o corpo interno está fixo a uma mola de torção, esta se deforma até atingir o estado de equilíbrio. Portanto, o torque é medido justamente pela determinação do contra-torque que mantém o cilindro interno estático.

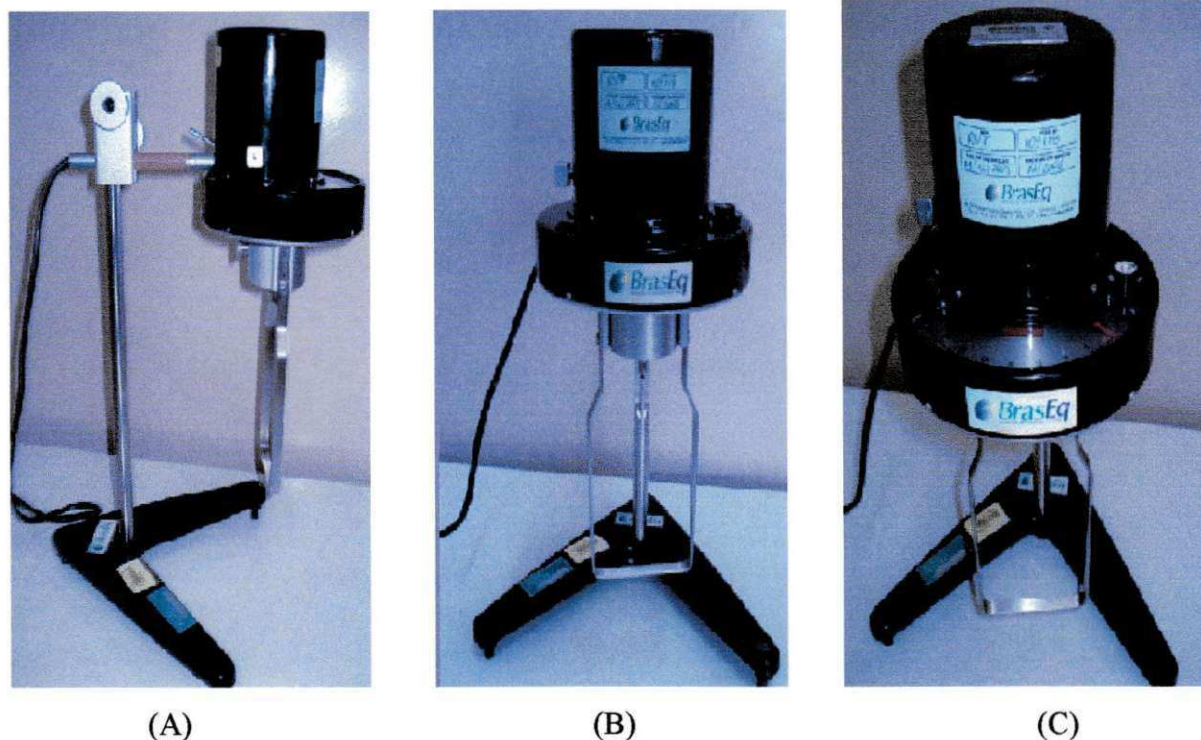
No sistema idealizado por Searle, o corpo interno, gira a uma velocidade definida, e o corpo externo é mantido em repouso. O corpo interno girando, força o líquido do espaço entre os dois corpos a escoar. A resistência natural do líquido, cisalhando entre os corpos interno e externo, resulta em um torque atuando no cilindro interno, que se contrapõe ao torque do motor do equipamento. Uma mola de torção, com uma constante de deformação conhecida, é posicionada entre o motor e o corpo interno. A sua deformação resulta, portanto, em uma medida direta do torque ou da tensão cisalhante. Muitos viscosímetros rotativos são do tipo Searle.

### 2.4.2.3. Viscosímetro rotativo Brookfield

O viscosímetro rotativo Brookfield é um instrumento do tipo Searle. Um corpo imerso girando em um fluido mede o torque necessário para vencer a resistência viscosa devido ao cisalhamento provocado. A deflexão, transmitida por uma mola espiralada, é lida em uma escala circular, ou através de painel digital. A taxa de deformação da mola, indicada pela posição do dial, é proporcional a viscosidade do fluido para uma certa velocidade de rotação do corpo imerso.

Os viscosímetros Brookfield são instrumentos que permitem a medida da viscosidade dos fluidos newtonianos e não-newtonianos; aplicáveis nas especificações de rotina e nos estudos de pesquisa.

Na Figura 2.7 são apresentados detalhes do viscosímetro de Brookfield modelo RVT.



**Figura 2.7.** Detalhes do viscosímetro de Brookfield modelo RVT

## 2.5. Modelos reológicos

A principal função de um modelo reológico é representar matematicamente a relação entre os valores experimentais da tensão de cisalhamento e taxa de deformação, para um determinado fluido e assim permitir o tratamento analítico do escoamento desses materiais.

São úteis para relacionar propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas como: concentração, temperatura, etc. Esse conhecimento é indispensável no controle de qualidade, controle de processos e no projeto e dimensionamento de equipamentos e processos (VIEIRA, 1995).

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

O modelo de Ostwald-de-Waele (Equação 2.4), também conhecido como Lei da Potência é um dos modelos reológicos mais utilizados para descrever o comportamento reológico dos fluidos não-newtonianos (pseudoplásticos e dilatantes) em amplas faixas de taxa de deformação.

$$\tau = K (\dot{\gamma})^n \quad (2.4)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

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

K - índice de consistência ( $Pa \cdot s^n$ )

n - Índice de comportamento do fluido (adimensional)

Para os valores de  $n < 1$  a viscosidade aparente decresce com o aumento do gradiente de velocidade, caracterizando o fluido como pseudoplástico, para  $n > 1$ , é caracterizado como fluido dilatante e para  $n = 1$  o fluido é classificado como newtoniano (LEWIS, 2000).

### 2.5.2. Modelos que consideram a tensão inicial

Estes modelos são empregados para analisar o comportamento reológico de fluidos que só iniciam o processo de escoamento quando a tensão de cisalhamento aplicada supera tensão inicial que é próprio de cada um destes fluidos.

OK!

### 2.5.2.1. Herschel–Bulkley

O modelo de Herschel–Bulkley (Equação 2.5) apresenta três parâmetros reológicos, é uma forma modificada do modelo de Ostwald-de-Waele, ao qual se adiciona um novo parâmetro, tensão inicial ( $\tau_{0H}$ ).

$$\tau - \tau_{0H} = K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (2.5)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

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

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

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

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

### 2.5.2.2. Casson

CASSON (1959) propôs a Equação 2.6 para escoamento de suspensões de partículas interagindo em meio newtoniano, considerando que as mesmas interagem entre si.

$$\tau^{1/2} = K_{0C} + K_C \dot{\gamma}^{1/2} \quad (2.6)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

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

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

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

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

### 2.5.2.3. Mizrahi–Berk

Este foi o modelo proposto por MIZRAHI & BERK (1970) para ser utilizado no estudo do escoamento de suco de laranja concentrado e suspensões de partículas interagindo em um solvente pseudoplástico. É uma proposta modificada do modelo de Casson, que se reduz a este quando  $n_M$  é igual a 0,5.

$$\tau^{1/2} - K_{0M} = K_M \dot{\gamma}^{n_M} \quad (2.7)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

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

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

$K_M$  - índice de consistência ( $Pa \cdot s^n$ )

$n_M$  - Índice de comportamento do fluido (adimensional)

## 2.6. Influência da temperatura e da concentração na viscosidade

A viscosidade dos fluidos pode ser afetada por fatores como: concentração, temperatura, tempo, pressão e gradiente de velocidade. O conhecimento da influência destes fatores no comportamento reológico dos alimentos é de fundamental importância para o controle de qualidade.

Os dados de viscosidade aparente em função da temperatura e concentração são imprescindíveis não só no dimensionamento de novas instalações industriais, mas também na avaliação do desempenho de unidades já instaladas (SILVA, 1999).

A viscosidade de fluidos alimentícios aumenta com o aumento da concentração de sólidos. Esse fato está ligado a dois aspectos interdependentes: o primeiro deve-se à redução de fluido para a lubrificação inter-molecular, com conseqüente aumento do atrito; o segundo aspecto relaciona-se com a formação de hidratos pelos íons e moléculas, em altas concentrações, isto porque o solvente não é mais suficiente para saturar todas as moléculas, e essas começam a formar agregados (TELIS, 1992).

A variação da viscosidade com o teor de sólidos solúveis pode ser descrita por diferentes expressões. Geralmente são do tipo potencial ou exponencial (RAO et al., 1984; VITALI & RAO, 1982).

$$\eta = aC^b \quad (2.8)$$

em que:

a e b - são constantes

C - concentração (°Brix)

A viscosidade dos fluidos varia com a temperatura e a pressão, sendo, porém mais sensível à temperatura que a pressão. As variações de temperatura produzem variações opostas em líquidos e gases. Quando a temperatura aumenta, a viscosidade do líquido diminui, porém a viscosidade do gás aumenta (SISSOM & PITTS, 1988).

A equação de Arrhenius (Equação 2.9) tem sido utilizada para descrever o efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente de fluidos não-newtonianos.

$$\eta = \eta_{\infty} e^{\frac{E_a}{RT}} \quad (2.9)$$

em que:

$\eta_{\infty}$  - constante (Pa.s)

T - temperatura absoluta (K)

$E_a$  - energia de ativação para escoamentos viscosos (kcal/gmol)

R - constante universal dos gases (1.987 cal/gmol K)

De acordo com a Equação (2.9) o aumento da temperatura tem efeito de diminuir a viscosidade e geralmente, quanto maior a energia de ativação, maior é o efeito da temperatura na viscosidade.

De maneira geral, aumentando-se a temperatura, há uma diminuição do índice de consistência (K), enquanto que o índice de comportamento de fluxo (n), é pouco afetado.



### 3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA), da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, <sup>do</sup> no Centro de Tecnologia e Recursos Naturais <sup>do</sup> no Campus I da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

#### 3.1. Matérias-primas

Foram utilizadas como matérias-primas a polpa de buriti (*Mauritia flexuosa*, L.), proveniente do Município de Codó do Estado do Maranhão, e leite pasteurizado padronizado tipo C adquirido no mercado local de Campina Grande, Paraíba.

##### 3.1.1. Obtenção da polpa de buriti

Os buritis foram colhidos na palmeira quando os primeiros frutos começaram a se desprender dos cachos, esses cachos foram retirados, os frutos foram selecionados manualmente, para que fossem eliminados os frutos danificados. Os frutos selecionados foram envolvidos com lonas plásticas de cor preta durante um período de dois dias (48 horas), em seguida foram levados para tanques com água, onde permaneceram durante dois dias ou até que começassem a desprender a casca com facilidade (Figura. 3.1).

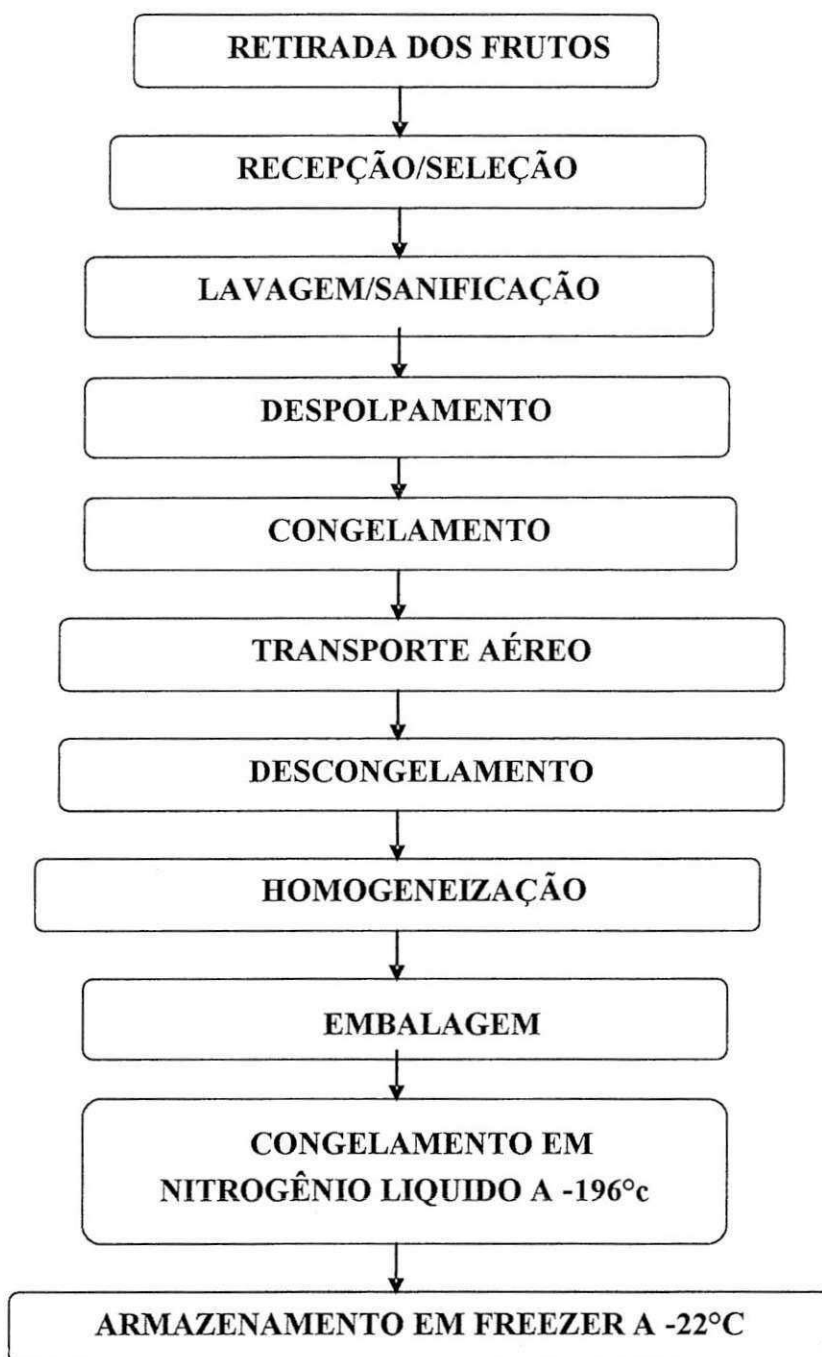


**Figura 3.1.** Fruto do buriti despreendendo a casca (PLANTAS DO SERRADO, 2007)

Os frutos selecionados foram pré-lavados em água corrente com o objetivo de eliminar terra, sujeiras e resíduos aderidos nas frutas. A seguir os frutos foram lavados por imersão em recipiente plástico contendo solução de hipoclorito de sódio com concentração de 50 ppm, durante 15 minutos e posteriormente enxaguados em água corrente para retirar o excesso da solução de hipoclorito.

Posteriormente foi removida a polpa (massa) do fruto adicionado um percentual de 20% de água em relação ao peso total da massa, para facilitar o despolpamento, a polpa foi congelada e transportada via aérea para o laboratório em Campina Grande em caixas de isopor. Ao chegarem ao laboratório às polpas foram descongeladas, homogeneizadas, reembaladas, re-congeladas rapidamente por imersão em nitrogênio líquido e em seguida armazenadas em freezer até o momento da realização dos experimentos.

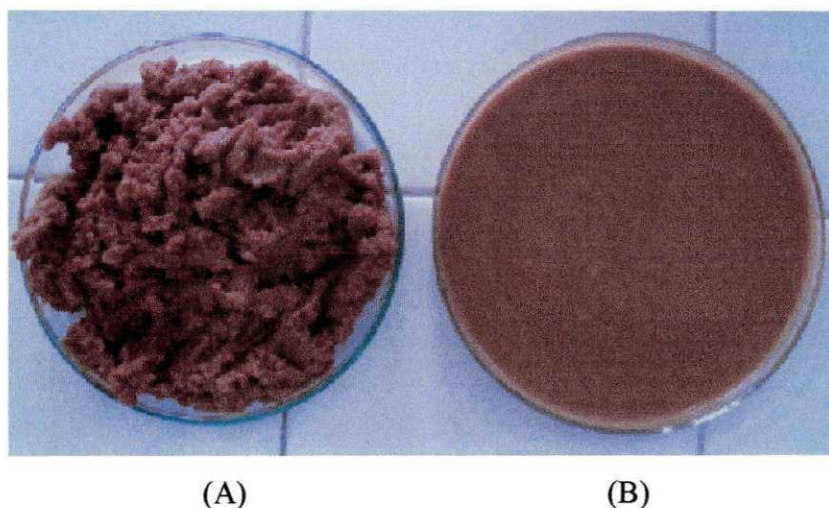
Na Figura 3.2 são apresentadas às etapas para a obtenção da polpa de buriti.



**Figura 3.2.** Fluxograma das etapas realizadas para a obtenção da polpa de buriti

### 3.1.2. Formulação

Foi elaborada uma formulação contendo partes iguais de polpa de buriti e leite (1:1) através da homogeneização em liquidificador dos componentes. Na Figura 3.3 são apresentadas às fotos da polpa de buriti (3.3A) e a da formulação (3.3B), polpa de buriti com leite.

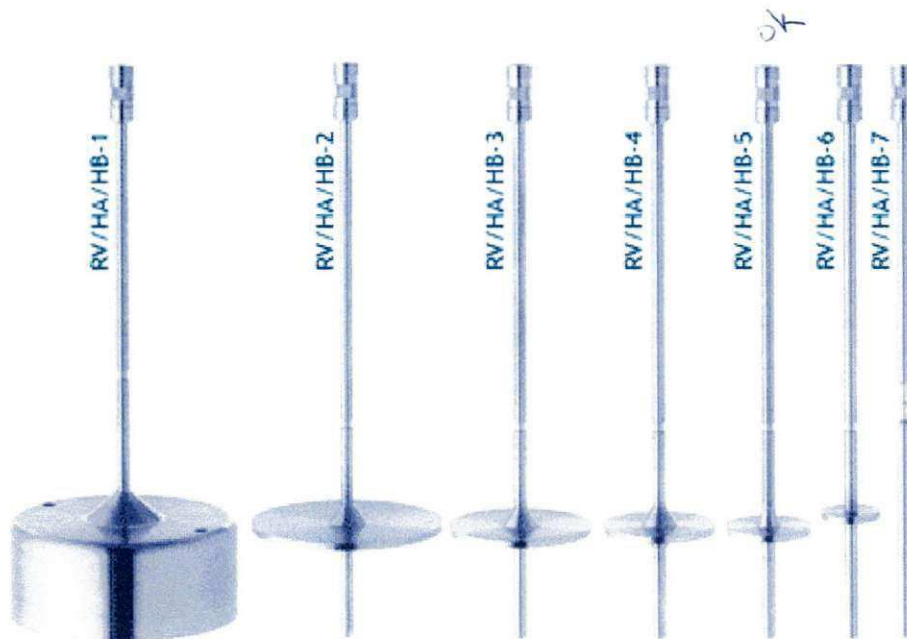


**Figura 3.3.** Polpa de buriti (A) e formulação da polpa de buriti com leite (B)

### **3.2. Determinação das características reológicas**

#### **3.2.1. Viscosidade aparente**

As medidas das viscosidades aparentes da polpa de buriti com leite foram feitas nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50°C à pressão ambiente, utilizando um viscosímetro Brookfield modelo RVT, fabricado por Brookfield Engineering Laboratories, E.U.A. Na determinação das medidas, em sextuplicata, utilizou-se o *spindle* número 5 (Figura 3.4), nas velocidades 0,5, 1,0, 2,5, 5, 10, 20, 50 e 100 rpm. Para a realização dos experimentos a temperatura foi controlada utilizando-se um banho termostático.



**Figura 3.4.** Spindles do viscosímetro Brookfield modelo RVT (BROOKFIELD ENGINEERING, 2007)

Após serem realizadas as leituras de torque no viscosímetro, essas foram multiplicadas por um fator F (Tabela 3.1) em função do spindle utilizado obtendo-se os valores das viscosidades aparentes (Equação 3.1).

$$\eta_a = F\alpha_i \quad (3.1)$$

em que:

$\eta_a$  - viscosidade aparente (mPa.s)

F - fator (adimensional)

$\alpha_i$  - torque

**Tabela 3.1.** Valores do fator F em função do spindle e da velocidade de rotação

RV Series Viscometer													
1		2		3		4		5		6		7	
0.5	200	0.5	800	0.5	2K	0.5	4K	0.5	8K	0.5	20K	0.5	80K
1	100	1	400	1	1K	1	2K	1	4K	1	10K	1	140K
2	50	2	200	2	500	2	1K	2	2K	2	5K	2	20K
2.5	40	2.5	160	2.5	400	2.5	800	2.5	1.6K	2.5	4K	2.5	16K
4	25	4	100	4	250	4	500	4	1K	4	2.5K	4	10K
5	20	5	80	5	200	5	400	5	800	5	2K	5	8K
10	10	10	40	10	100	10	200	10	400	10	1K	10	4K
20	5	20	20	20	50	20	100	20	200	20	500	20	2K
50	2	50	8	50	20	50	40	50	80	50	200	50	800
100	1	100	4	100	10	100	20	100	40	100	100	100	400

= Spindle     
  = Spindle Speed     
  = Factor     
 K = 1000

Fonte: BROOKFIELD ENGINEERING (2007)

### 3.2.2. Tensão de cisalhamento

De acordo a metodologia descrita com MITSCHKA (1982) para a obtenção das tensões de cisalhamento (Equação 3.2) multiplicaram-se os valores da leitura do torque ( $\alpha_i$ ) pelo fator  $K_{at}$  (Tabela 3.2) correspondente ao spindle utilizado.

$$\tau_i = k_{at} \alpha_i \tag{3.2}$$

em que:

$\tau_i$  - tensão de cisalhamento (Pa)

$k_{at}$  - fator que correspondente ao spindle utilizado (adimensional)

$\alpha_i$  - leitura do torque

**Tabela 3.2.** Fatores de conversão para os spindles do viscosímetro Brookfield-RVT

Nº do spindle	1	2	3	4	5	6	7	
$k_{at}$	0,035	0,119	0,279	0,539	1,05	2,35	8,4	
$k_{ny}$	n = 0,1	1,728	1,431	1,457	1,492	1,544	1,366	1,936
	0,2	0,967	0,875	0,882	0,892	0,907	0,851	1,007
	0,3	0,705	0,656	0,656	0,658	0,663	0,629	0,681
	0,4	0,576	0,535	0,530	0,529	0,528	0,503	0,515
	0,5	0,499	0,458	0,449	0,445	0,442	0,421	0,413
	0,6	0,449	0,404	0,392	0,387	0,382	0,363	0,346
	0,7	0,414	0,365	0,350	0,343	0,338	0,320	0,297
	0,8	0,387	0,334	0,317	0,310	0,304	0,286	0,261
	0,9	0,367	0,310	0,291	0,283	0,276	0,260	0,232
	1,0	0,351	0,291	0,270	0,262	0,254	0,238	0,209

Fonte: MITSCHKA (1982)

### 3.2.3. Índice de comportamento do fluido

O índice de comportamento do fluido é uma grandeza que indica o quanto o fluido se afasta ou aproxima-se do comportamento newtoniano. Segundo o método apresentado em MITSCHKA (1982), plota-se um gráfico na forma log-log com os valores da tensão de cisalhamento ( $\tau_1$ ) em função da velocidade de rotação ( $N_1$ ) e faz-se uma regressão linear, onde o coeficiente angular da reta corresponde ao fator n da Tabela 3.2, que representa o índice de comportamento do fluido.

### 3.2.4. Taxa de deformação

Segundo o método de MITSCHKA (1982), o valor da taxa de deformação é determinado em  $s^{-1}$ , através da multiplicação da velocidade de rotação ( $N_i$ ) pelo fator  $k_{ny}$  (Tabela 3.2) que será diferente para cada valor de (n) e depende também do spindle utilizado.

$$\dot{\gamma} = k_{Ny} N_i \quad (3.3)$$

em que:

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

$k_{ny}$  - fator que é função do índice do de comportamento do fluido e do spindle utilizado (adimensional)

$N_i$  - velocidade de rotação (rpm)

$n$  - índice de comportamento do fluido (adimensional)

### 3.3. Modelos reológicos

Os modelos de Ostwald-de-Waelle ou Lei da potência (Equação 3.4), Mizrahi–Berk (Equação 3.5), Herschel–Bulkley (Equação 3.6) e Casson (Equação 3.7) foram ajustados às curvas da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para descrever o comportamento reológico da polpa de buriti com leite, nas cinco temperaturas, utilizando o programa computacional Statistica versão 5.0.

#### Ostwald-de-Waelle ou Lei da potência

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (3.4)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

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

$K$  - índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>)

$n$  - índice de comportamento do fluido (adimensional)

#### Mizrahi–Berk

$$\tau^{0,5} = K_{OM} + K_M \dot{\gamma}^{n_M} \quad (3.5)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

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



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

$K_M$  - índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>)

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

### Herschel–Bulkley

$$\tau = \tau_{0H} + K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (3.6)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

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

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

$K_H$  - índice de consistência (Pa.s<sup>n</sup>)

### Casson

$$\tau^{0.5} = K_{0C} + K_C \dot{\gamma}^{0.5} \quad (3.7)$$

em que:

$\tau$  - tensão de cisalhamento (Pa)

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

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

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

### 3.4. Erros experimentais

Utilizou-se com critérios para a determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais o coeficiente de determinação ( $R^2$ ) e o desvio percentual médio (P), calculado pela Equação 3.8.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \frac{|x_{\text{exp}} - x_{\text{teor}}|}{x_{\text{exp}}} \quad (3.8)$$

em que:

P - desvio percentual médio (%)

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

$x_{\text{toer}}$  - valor teórico

n - número de dados experimentais

### 3.5. Análise estatística

Utilizando-se o programa ASSISTAT (SILVA & AZEVEDO, 2002) os dados das viscosidades aparentes foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade, quando o teste F da análise de variância foi significativo. O delineamento seguiu um esquema fatorial composto por 8 velocidades de rotação (0,5, 1, 2,5, 5, 10, 20, 50 e 100 rpm) x 5 temperaturas (10, 20, 30, 40 e 50°C) x 6 repetições. Também foi feita a regressão na análise de variância para representar o comportamento da viscosidade aparente em função da temperatura e da viscosidade aparente em função da velocidade de rotação, selecionando-se desta forma as equações de regressões polinomiais significativas que representassem as viscosidades.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas A.1 a A5 (Apêndice A) tem-se os valores experimentais das repetições das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de buriti com leite nas diferentes temperaturas e velocidades de rotação.

Na Tabela 4.1 é apresentada a análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes da polpa de buriti com leite para os fatores temperatura, velocidade de rotação e para a interação temperatura versus velocidade de rotação. Verifica-se que <sup>em</sup> todas as fontes de variação houve efeito significativo ao nível de 1% de probabilidade de acordo com o teste F.

**Tabela 4.1.** Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para todas as temperaturas nas suas diferentes velocidades

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Velocidade (F1)	7	18134,55175	2590,65025	6475,4641 **
Temperatura (F2)	4	1748,06659	437,01665	1092,3457 **
Interação (F1 x F2)	28	2911,54487	103,98375	259,9127 **
Resíduo	200	80,01435	0,40007	
Total	239	22874,17757		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

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

Na Tabela 4.2 são apresentados os valores médios das viscosidades aparentes da polpa de buriti com leite nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50°C, nas diferentes velocidades de rotação, analisadas em esquema fatorial, para a interação dos fatores velocidade de rotação e temperatura. Nota-se que para todas as temperaturas os valores da viscosidade aparente diminuíram com o aumento da velocidade de rotação. Este comportamento se assemelha ao encontrado por TORRES et al. (2003), ao trabalharem com a polpa de umbu-cajá concentrada na temperatura de 10°C.

Verifica-se nas temperaturas de 10, 20 e 30°C que esta diminuição da viscosidade aparente com o aumento da velocidade de rotação foi estatisticamente significativa entre as velocidades de 0,5, 1,0, 2,5, 5, 10 e 20 rpm, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, porém entre as velocidades de rotação de 20 e 50 rpm e entre 50 e 100 rpm, nestas mesmas temperaturas, as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais.

Observa-se nas temperaturas de 40°C e 50°C que a diminuição da viscosidade aparente com o aumento da velocidade de rotação foi menos intensa do que nas temperaturas anteriores. Constata-se nestas temperaturas que entre as velocidades de 0,5, 1,0, 2,5, 5 e 10 rpm as viscosidades aparentes, de acordo com o teste de Tukey a nível 5% de probabilidade, são significativamente diferentes, porém entre as velocidades de 10 e 20 rpm entre 20 e 50 rpm e entre 50 e 100 rpm não existe diferenças estatisticamente significativas entre as viscosidades aparentes da amostra em estudo na temperatura de 40°C; na temperatura de 50°C entre as velocidades de 10 e 20 rpm e entre as velocidades de 20, 50 e 100 rpm as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais.

Em termos percentuais, a diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da velocidade de rotação, para cada temperatura, apresenta os seguintes índices entre a menor (0,5 rpm) e a maior velocidade de rotação (100 rpm): na temperatura de 10°C, 98,18%, temperatura de 20°C, 98,15%, na temperatura de 30°C, 97,61%, na temperatura de 40°C, 97,51% e na temperatura de 50°C, 97,23%. Confirmando que, apesar de pequena, quanto maior a temperatura menor é a redução da viscosidade aparente com o aumento da velocidade de rotação.

Com relação ao comportamento da viscosidade aparente em relação ao aumento da temperatura, para cada velocidade de rotação, observa-se de maneira geral que os valores das viscosidades aparentes diminuíram com o aumento da temperatura, exceto nas velocidades de 50 e 100 rpm. Este resultado se assemelha ao encontrado por ALMEIDA et al. (2006), ao trabalharem com azeite de dendê nas temperaturas de 25, 30, 40 e 50°C, e ao de VIDAL et al. (2004) ao trabalharem com polpa de manga (*Mangifera indica* L-Keitt) nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60°C.

Nota-se que nas velocidades de rotação de 0,5, 1,0 e 2,5 rpm os valores das viscosidades aparentes diminuíram estatisticamente com o aumento da temperatura de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para a velocidade de rotação de 5,0 rpm o valor da viscosidade na temperatura de 10°C não difere significativamente do valor na temperatura de 20°C, que não difere da temperatura de 30°C. Para a velocidade de 10 rpm não existe diferenças significativas entre os valores das viscosidades aparentes entre as temperaturas de 10 e 20°C, entre as temperaturas de 20, 30 e 40°C e entre as temperaturas de 40 e 50°C. Para a velocidade de 20 rpm os valores das viscosidades são estatisticamente iguais entre as temperaturas de 10, 20, 30 e 40°C, e entre as temperaturas de 20, 30, 40 e 50°C. Para as velocidades de rotação de 50 e 100 rpm, os valores das viscosidades aparentes não

um espaço

apresentaram influência com o aumento da temperatura de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Em termos percentuais, verifica-se diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da temperatura, com os seguintes índices entre os valores na menor (10°C) e na maior temperatura (50°C), para as velocidades de rotação de 0,5, 1,0, 2,5, 5,0, 10 e 20 rpm, de 70%, 66,23%, 63,99%, 56,51%, 55,34% e 51,29%, respectivamente. Baseando-se nestes percentuais fica evidenciado que com o aumento da velocidade de rotação a influencia do aumento da temperatura nos valores da viscosidade aparente diminui.

Ainda na Tabela 4.2 verifica-se que para todas as amostras os coeficientes de variação foram menores que 11%, indicando a boa precisão dos dados experimentais.

**Tabela 4.2.** Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de buriti com leite

Velocidade de rotação (rpm)	Temperatura (°C)				
	10	20	30	40	50
0,5	43,33 aA	34,00 aB	24,67 aC	19,67 aD	13,00 aE
1,0	24,67 bA	18,83 bB	16,67 bC	11,83 bD	8,33 bE
2,5	11,47 cA	10,00 cB	8,13 cC	6,33 cD	4,13 cE
5,0	6,50 dA	5,73 dAB	4,93 dB	3,90 dC	2,83 dD
10	3,80 eA	3,28 eAB	3,07 eB	2,50 eBC	1,70 eC
20	2,32 fA	2,02 fAB	1,78 fAB	1,65 efAB	1,13 efB
50	1,21 fgA	0,94 fgA	0,87 fgA	0,74 fgA	0,55 fA
100	0,79 gA	0,63 gA	0,59 gA	0,49 gA	0,36 fA
<b>DMS</b>	1,2272	1,6006	1,3038	0,6204	0,8115
<b>CV (%)</b>	5,6552	9,1991	9,3086	5,7091	10,9822
<b>MG</b>	11,7602	9,4292	7,5904	5,8887	4,0046

ok!

DMS p/ colunas =1,1176; DMS p/ linhas =1,0052; CV (%) =8,178; MG = 7.73463Pa.s

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

Obs: As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade

Nas Tabelas de 4.3 a 4.10 são apresentadas às análises de variância das regressões polinomiais das viscosidades aparentes da polpa de buriti com leite em função da temperatura para as diferentes velocidades de rotação (0,5, 1,0, 2,5, 5,0, 10, 20,50, 100 rpm). Observa-se que algumas equações foram altamente significativas a 1% de probabilidade de acordo com o teste F: nas velocidades de rotação de 0,5 e 2,5 rpm às equações significativas foram a linear e a de 4° grau; na velocidade de rotação de 1,0 rpm foram as equações linear e de 4° grau; na

velocidade de rotação de 5,0 rpm foi apenas a equação linear; nas velocidades de rotação de 10 e 20 rpm foram as equações linear, quadrática e cúbica; na velocidade de rotação de 50 rpm foram as equações linear e cúbica e na velocidade de rotação de 100 rpm foram as equações linear, cúbica e de 4° grau.

**Tabela 4.3.** Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a velocidade de 0,5 rpm

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	3375,00000	3375,00000	1406,2500 **
Regressão Quadrática	1	40,04762	40,04762	16,6865 **
Regressão Cúbica	1	1,66667	1,66667	0,6944 ns
Regressão de 4° Grau	1	9,15238	9,15238	3,8135 ns
Temperatura	4	3425,86667	856,46667	356,8611 **
Resíduo	25	60,00000	2,40000	
Total	29	3485,86667		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade; ns - não significativo

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

**Tabela 4.4.** Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a velocidade de 1,0 rpm

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	944,06667	944,06667	1506,4894 **
Regressão Quadrática	1	1,71429	1,71429	2,7356 ns
Regressão Cúbica	1	3,26667	3,26667	5,2128 *
Regressão de 4° Grau	1	9,15238	9,15238	14,6049 **
Temperatura	4	958,20000	239,55000	382,2606 **
Resíduo	25	15,66667	0,62667	
Total	29	973,86667		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - não significativo

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

**Tabela 4.5.** Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a velocidade de 2,5 rpm

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	201,66667	201,66667	1871,9059 **
Regressão Quadrática	1	0,84000	0,84000	7,7970 **
Regressão Cúbica	1	0,00000	0,00000	0,0000 ns
Regressão de 4º Grau	1	0,07467	0,07467	0,6931 ns
Temperatura	4	202,58133	50,64533	470,0990 **
Resíduo	25	2,69333	0,10773	
Total	29	205,27467		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

ns - não significativo

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

**Tabela 4.6.** Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a velocidade de 5,0 rpm

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	50,41667	50,41667	1286,1395 **
Regressão Quadrática	1	0,29762	0,29762	7,5923 *
Regressão Cúbica	1	0,00000	0,00000	0,0000 ns
Regressão de 4º Grau	1	0,01371	0,01371	0,3499 ns
Temperatura	4	50,72800	12,68200	323,5204 **
Resíduo	25	0,98000	0,03920	
Total	29	51,70800		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - não significativo

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

**Tabela 4.7.** Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a velocidade de 10 rpm

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	14,90017	14,90017	714,0655 **
Regressão Quadrática	1	0,36012	0,36012	17,2581 **
Regressão Cúbica	1	0,17067	0,17067	8,1789 **
Regressão de 4º Grau	1	0,05038	0,05038	2,4144 ns
Temperatura	4	15,48133	3,87033	185,4792 **
Resíduo	25	0,52167	0,02087	
Total	29	16,00300		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

ns - não significativo

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

**Tabela 4.8.** Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a velocidade de 20 rpm

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	4,48267	4,48267	988,8235 **
Regressão Quadrática	1	0,04762	0,04762	10,5042 **
Regressão Cúbica	1	0,12150	0,12150	26,8015 **
Regressão de 4º Grau	1	0,02288	0,02288	5,0473 *
Temperatura	4	4,67467	1,16867	257,7941 **
Resíduo	25	0,11333	0,00453	
Total	29	4,78800		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

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



**Tabela 4.9.** Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a velocidade de 50 rpm

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	1,41067	1,41067	1120,7627 **
Regressão Quadrática	1	0,00274	0,00274	2,1792 ns
Regressão Cúbica	1	0,04267	0,04267	33,8983 **
Regressão de 4º Grau	1	0,00878	0,00878	6,9734 *
Temperatura	4	1,46485	0,36621	290,9534 **
Resíduo	25	0,03147	0,00126	
Total	29	1,49632		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

\* significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns - não significativo

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

**Tabela 4.10.** Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a velocidade de 100 rpm

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	0,59601	0,59601	1890,0846 **
Regressão Quadrática	1	0,00012	0,00012	0,3775 ns
Regressão Cúbica	1	0,01320	0,01320	41,8658 **
Regressão de 4º Grau	1	0,00529	0,00529	16,7631 **
Temperatura	4	0,61461	0,15365	487,2727 **
Resíduo	25	0,00788	0,00032	
Total	29	0,62250		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

ns - não significativo

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

Na Tabela 4.11 são apresentadas apenas às equações de regressão polinomiais significativas a 1% de probabilidade propostas para o cálculo da viscosidade aparente da polpa de buriti com leite em função da temperatura, nas diferentes velocidades de rotação (0,5, 1,0, 2,5, 5,0, 10, 20, 50 e 100 rpm). Nota-se que para as velocidades de rotação de 0,5 e 2,5 rpm a equação que apresentou o maior coeficiente de determinação na estimativa da viscosidade aparente em função da temperatura foi à equação quadrática. Para a velocidade de

5 rpm a equação com maior  $R^2$  para apredição do valor da viscosidade aparente em função da temperatura é a equação de 1º grau. Para as velocidades de 10, 20 e 50 rpm a equação que melhor representa a relação da viscosidade em função da temperatura foi a de 3º grau. Já para as velocidades de 1,0 e 100 rpm a equação com maior  $R^2$  foi a de 4º grau. Outras equações significativas a 5% de probabilidade estão na Tabela A.6 (Apêndice A).

Verifica-se que todas as equações apresentadas são estatisticamente significativas a 1% de probabilidade ( $p$ -valor  $< 0,01$ ) e com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,95. TORRES et al. (2004), ao trabalharem com polpa de umbu-cajá sugeriram uma equação linear para estimar a viscosidade aparente em função da temperatura para as velocidades de 0,5, 1,0, 2,5, 5,0, 10, 20, 50 e 100 rpm com coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores á 0,85.

**Tabela 4.11.** Equações de regressão propostas para o cálculo da viscosidade aparente da polpa de buriti com leite em função da temperatura

Velocidade (rpm)	Equações**	$R^2$
0,5	$\eta = 49,4333 - 0,7500T$	0,9851
	$\eta = 54,2667 - 1,1643T + 0,006905T^2$	0,9968
1,0	$\eta = 27,9667 - 0,3967T$	0,9852
	$\eta = 50,8333 - 4,4472T + 0,2324T^2 - 0,005361T^3 + 4,3 \times 10^{-5}T^4$	1,0000
2,5	$\eta = 13,5133 - 0,1833T$	0,9955
	$\eta = 12,8133 - 0,1233T - 0,0001T^2$	0,9996
5,0	$\eta = 7,5300 - 0,09167T$	0,9939
10	$\eta = 4,3650 - 0,04983T$	0,9625
	$\eta = 3,9067 - 0,01055T - 0,0006548T^2$	0,9857
	$\eta = 4,6533 - 0,1154T + 0,003345T^2 - 0,00004444T^3$	0,9967
20	$\eta = 2,6000 - 0,02733T$	0,9589
	$\eta = 2,4333 - 0,01305T - 0,0002381T^2$	0,9691
	$\eta = 3,0633 - 0,1015T + 0,003137T^2 + 0,00003750T^3$	0,9951
50	$\eta = 1,3240 - 0,01533T$	0,9630
	$\eta = 1,7373 - 0,07121T + 0,002057T^2 - 0,00002222T^3$	0,9940
	$\eta = 0,8687 - 0,009967T$	0,9697
100	$\eta = 1,0680 - 0,03842T + 0,001101T^2 - 1,2 \times 10^{-5}T^3$	0,9914
	$\eta = 1,5150 - 0,1227T + 0,006230T^2 - 0,0001365T^3 + 1,0 \times 10^{-6}T^4$	1,0000

$\eta$  = Viscosidade (Pa.s); T - temperatura (°C); \*\* - significativo a nível de 1% de probabilidade ( $p$ -valor  $< 0,01$ ).

Nas Tabelas de 4.12 a 4.16 são apresentadas às análises de variâncias das regressões polinomiais das viscosidades aparentes da polpa de buriti com leite em função da velocidade de rotação nas diferentes temperaturas avaliadas (10, 20, 30, 40 e 50°C). Nota-se que as equações significativas a 1% de probabilidade de acordo com o teste F foram: para as temperaturas de 10, 20 e 40°C as equações linear, quadrática, cúbica, de 4 e 5º grau; para as temperaturas de 30 e 50°C as equações linear, quadrática, cúbica e de 4º grau.

**Tabela 4.12.** Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a temperatura de 10°C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	7081,48928	7081,48928	15980,1177 **
Regressão Quadrática	1	2092,00359	2092,00359	4720,8239 **
Regressão Cúbica	1	266,67235	266,67235	601,7739 **
Regressão de 4º Grau	1	5,35086	5,35086	12,0748 **
Regressão de 5º Grau	1	158,29231	158,29231	357,2031 **
Desvio	2	-148,0264	-74,0132	-334,037
Velocidade	7	9455,78200	1350,82600	3048,2795 **
Resíduo	40	17,72575	0,44314	
Total	47	9473,50775		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

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

**Tabela 4.13.** Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a temperatura de 20°C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	4362,00966	4362,00966	5797,6408 **
Regressão Quadrática	1	1170,38050	1170,38050	1555,5779 **
Regressão Cúbica	1	148,79472	148,79472	197,7663 **
Regressão de 4º Grau	1	9,02131	9,02131	11,9904 **
Regressão de 5º Grau	1	86,52313	86,52313	114,9997 **
Desvio	2	-86,2356	-43,1178	-114,617
Velocidade	7	5690,49370	812,92767	1080,4796 **
Resíduo	40	30,09507	0,75238	
Total	47	5720,58877		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

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

**Tabela 4.14.** Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a temperatura de 30°C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	2572,10281	2572,10281	5152,1571 **
Regressão Quadrática	1	554,61834	554,61834	1110,9513 **
Regressão Cúbica	1	35,51411	35,51411	71,1380 **
Regressão de 4º Grau	1	0,79540	0,79540	1,5933 ns
Regressão de 5º Grau	1	117,29658	117,29658	234,9558 **
Desvio	2	-103,2859	-51,6430	-206,891
Velocidade	7	3177,04126	453,86304	909,1292 **
Resíduo	40	19,96913	0,49923	
Total	47	3197,01039		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

ns - não significativo

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

**Tabela 4.15.** Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a temperatura de 40°C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	1503,48088	1503,48088	13301,8052 **
Regressão Quadrática	1	340,87995	340,87995	3015,8806 **
Regressão Cúbica	1	39,72900	39,72900	351,4960 **
Regressão de 4º Grau	1	1,23714	1,23714	10,9454 **
Regressão de 5º Grau	1	51,76663	51,76663	457,9969 **
Desvio	2	-50,3060	-25,1530	-445,074
Velocidade	7	1886,78759	269,54108	2384,7214 **
Resíduo	40	4,52113	0,11303	
Total	47	1891,30873		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

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

**Tabela 4.16.** Análise de variância dos valores médios da viscosidade da polpa de buriti com leite para a temperatura de 50°C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Regressão Linear	1	675,91089	675,91089	3494,6146 **
Regressão Quadrática	1	145,87458	145,87458	754,2051 **
Regressão Cúbica	1	14,39838	14,39838	74,4430 **
Regressão de 4º Grau	1	0,09101	0,09101	0,4705 ns
Regressão de 5º Grau	1	31,80112	31,80112	164,4191 **
Desvio	2	-28,8939	-14,4469	-149,388
Velocidade	7	839,18199	119,88314	619,8234 **
Resíduo	40	7,73660	0,19341	
Total	47	846,91859		

\*\* significativo ao nível de 1% de probabilidade

ns - não significativo

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

Na Tabela 4.17 são apresentadas às equações de regressão polinomiais significativas a 1% de probabilidade propostas para o cálculo da viscosidade aparente da polpa de buriti com leite em função da velocidade de rotação, nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50°C. Observa-se que todas as equações apresentaram coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,93 e

são polinômios de 5º grau. Outras equações significativas a 1% de probabilidade, mas com  $R^2 < 0,87$  estão na Tabela A.7 (Apêndice A).

**Tabela 4.17.** Equações de regressão propostas para o cálculo da viscosidade aparente da polpa de buriti com leite em função da velocidade de rotação

Temperatura (°C)	Equações**	R <sup>2</sup>
10	$\eta = 45,64 - 17,31V + 2,21V^2 - 0,11V^3 + 0,0019V^4 - 1,03 \times 10^{-5}V^5$	0,9384
20	$\eta = 35,23 - 12,90V + 1,63V^2 - 0,078V^3 + 0,0014V^4 - 7,5 \times 10^{-6}V^5$	0,9328
30	$\eta = 26,85 - 9,37V + 1,17V^2 - 0,056V^3 + 0,00099V^4 - 5,3 \times 10^{-6}V^5$	0,9691
40	$\eta = 20,67 - 7,29V + 0,92V^2 - 0,044V^3 + 0,00078V^4 - 4,2 \times 10^{-6}V^5$	0,9477
50	$\eta = 13,84 - 4,80V + 0,60V^2 - 0,029V^3 + 0,00051V^4 - 2,8 \times 10^{-6}V^5$	0,9544

$\eta$  = Viscosidade (Pa.s); V -Velocidade (rpm); \*\* - significativo a nível de 1% de probabilidade (p-valor < 0,01).

Tem-se nas Tabelas B.1 a B.5 (Apêndice B) os valores médios da tensão de cisalhamento e taxa de deformação da polpa de buriti com leite nas diferentes temperaturas.

Na Tabela 4.18 tem-se os valores dos parâmetros reológicos dos modelos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk, para cada temperatura estudada, bem como os coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e os desvios percentuais médios (P). Verifica-se que dentre os modelos testados, o modelo de Mizrahi-Berk foi o que apresentou os melhores ajustes, com os maiores coeficientes de determinação ( $R^2$ ), superiores a 0,99 e os menores desvios percentuais médios inferiores a 1,77%. VIDAL et al. (2000), ao trabalharem com polpa de manga integral nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60°C obtiveram os melhores ajustes também com o modelo de Mizrahi-Berk apresentando coeficientes de determinação iguais a 0,99. Da mesma forma, comportamento semelhante foi encontrado por FERREIRA et al. (2002), ao trabalharem com polpa de goiaba nas mesmas temperaturas obtendo  $R^2$  superiores a 0,98 para o modelo de Mizrahi-Berk. Constata-se que entre 10 e 40°C os parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk  $K_{OM}$  e o índice de comportamento de fluido ( $n_M$ ) apresentaram uma diminuição com o aumento da temperatura e o índice de consistência ( $K_M$ ) aumentou com o aumento da temperatura. Tem-se ainda que os valores de  $n_M < 1$ , sendo caracterizada como um fluido pseudoplástico, a formulação de polpa de buriti com leite. *Como fluido pseudoplástico.*

Analisando-se os parâmetros de ajuste do modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), verifica-se que com o aumento da temperatura houve uma diminuição nos índices

de consistência ( $K$ ) e uma tendência de aumento do índice de comportamento do fluido ( $n$ ). A confirmação da amostra em estudo tratar-se de um fluido pseudoplástico também é confirmada por este modelo, em razão de  $n$  também ter sido inferior a unidade. QUEIROZ et al. (2004) ao trabalharem com suco de cupuaçu nas temperaturas de 10, 15, 20, 25 e 30°C também verificaram tratar-se de um fluido pseudoplástico.

Observa-se para o modelo de Herschel-Bulkley que entre 10 e 40°C os parâmetros tensão de cisalhamento inicial ( $\tau_{0H}$ ) e o índice de comportamento de fluido ( $n_H$ ) ~~diminuíram~~ com o aumento da temperatura e o índice de consistência ( $K_H$ ) aumentou com o aumento da temperatura. FERREIRA et al. (2002) ao trabalharem com polpa de cajá observaram que a tensão de cisalhamento inicial ( $\tau_{0H}$ ) também diminuiu com o aumento da temperatura.

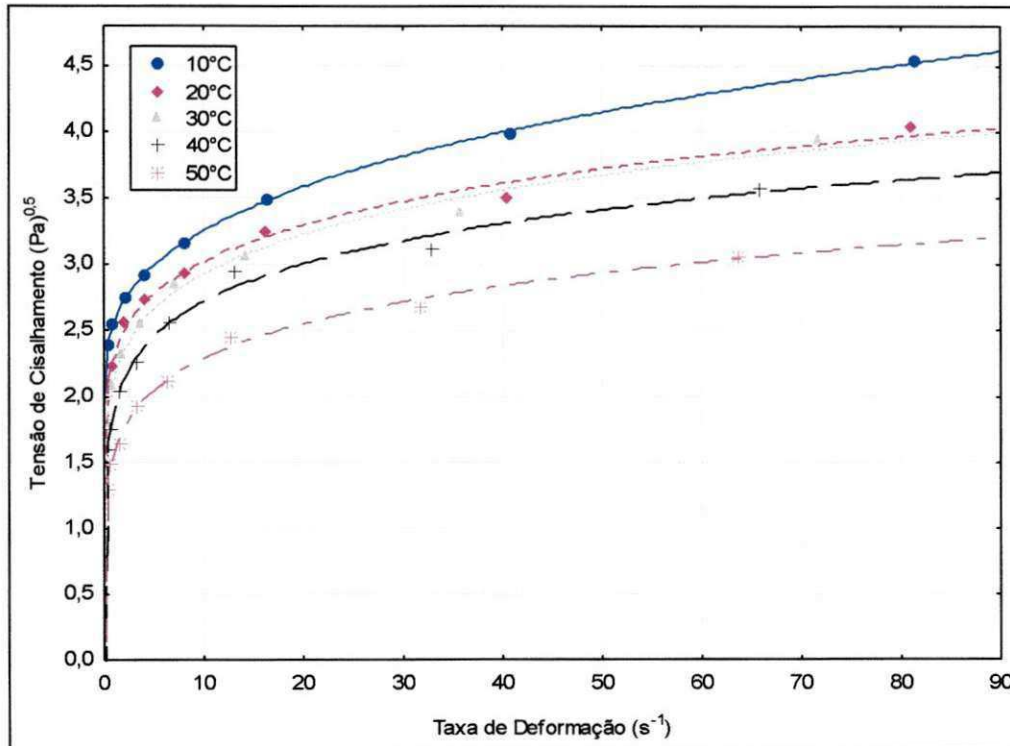
Verifica-se para o modelo de Casson que os valores do parâmetro  $K_{oc}$  diminuíram com o aumento da temperatura, este comportamento também foi observado por CONCEIÇÃO (2000) ao trabalhar com polpa de goiaba tratada com pectinase. Os valores da viscosidade plástica de Casson ( $K_c$ ) variaram em uma pequena faixa entre 0,21 e 0,25.

**Tabela 4.18.** Parâmetros, coeficientes de determinação ( $R^2$ ) e erro experimental (%) dos modelos reológicos para a polpa de buriti com leite

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros			$R^2$	P (%)
		K	n			
<b>Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência)</b>	10	6,099038	0,266804		0,9819	6,53
	20	5,230382	0,249179		0,9865	3,26
	30	4,480005	0,282665		0,9892	3,47
	40	3,692562	0,294496		0,9879	3,96
	50	2,512258	0,315024		0,9946	3,06
<b>Herschel-Bulkley</b>	Temperatura (°C)	$\tau_{OH}$	$K_H$	$n_H$	$R^2$	P (%)
	10	4,481669	2,098288	0,462177	0,9994	1,14
	20	2,190698	3,186585	0,332098	0,9897	3,34
	30	1,124045	3,431038	0,329312	0,9902	3,97
	40	-1,16114	4,798699	0,250892	0,9889	3,64
	50	-0,332058	2,824152	0,294314	0,9948	3,13
<b>Casson</b>	Temperatura (°C)	$K_{OC}$	$Kc$		$R^2$	P (%)
	10	2,366035	0,250826		0,9867	2,29
	20	2,175122	0,217498		0,9503	4,74
	30	1,951681	0,248490		0,9423	5,45
	40	1,717298	0,249882		0,9188	6,69
50	1,397872	0,226855		0,9344	6,69	
<b>Mizrahi-Berk</b>	Temperatura (°C)	$K_{OM}$	$K_M$	$n_M$	$R^2$	P (%)
	10	1,945039	0,620381	0,324323	0,9995	0,47
	20	0,995089	1,319727	0,185373	0,9918	1,47
	30	0,290799	1,838442	0,155994	0,9918	1,76
	40	-0,980585	2,885816	0,107472	0,9915	1,73
50	-0,319594	1,897103	0,137797	0,9954	1,53	

Na Figura 4.1, pode ser visto o comportamento reológico da polpa de buriti com leite, onde estão graficados os valores da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação ajustados pelo modelo de Mizrahi-Berk (melhor modelo ajustado). Observa-se que para uma taxa de deformação fixa, a tensão de cisalhamento diminui com o aumento da temperatura. Este comportamento também foi observado por FERREIRA et al. (2002) ao trabalharem com polpa de açaí nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60°C. Verifica-se que as curvas não apresentaram uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, caracterizando a polpa de buriti com leite como um fluido não newtoniano. Fato este também observado por OLIVEIRA et al. (2006) ao trabalharem com polpa de cupuaçu nas temperaturas de 30, 45 e 50°C.





**Figura 4.1.** Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de buriti com leite com ajuste pelo modelo de Mizrahi-Berk

Nas Figuras B.1 a B.3 (Apêndice B) tem-se os gráficos da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de buriti com leite com ajuste pelos modelos de Ostwald-de-Waele ou Lei da potência, Herschel-Bulkley e Casson.

## 5. CONCLUSÕES

- A viscosidade aparente da polpa de buriti com leite diminuiu com o aumento da velocidade de rotação e com o aumento da temperatura.
- A viscosidade aparente da polpa de buriti com leite em função da temperatura pode ser estimada por equações de regressão lineares, com coeficientes de determinação superiores a 0,95.
- A viscosidade aparente da polpa de buriti com leite em função da velocidade de rotação pode ser estimada por meio de equações polinomiais de 5º grau, com coeficientes de determinação superiores a 0,93.
- O modelo reológico de Mizrahi-Berk foi o que apresentou os melhores ajustes, com os maiores coeficientes de determinação ( $R^2 > 0,99$ ) e menores desvios percentuais médios ( $P < 1,77\%$ ).
- A polpa de buriti com leite apresentou comportamento de fluido não-newtoniano e com características pseudoplásticas.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, J. P. L.; MARINHO, H. A.; REBELO, Y. S.; SHRIMPTON, R. Aspectos nutritivos de alguns frutos da Amazônia. *Acta Amazônica*, v. 10, n. 4, p. 755-758, 1998.

ALMEIDA, S. P. de; SILVA, J. A. da. **Piqui e buriti: importância alimentar para a população dos cerrados**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1994. 38 p. (Documentos, 54).

ALMEIDA, S. P.; PROENÇA, C. E. B.; SANO, S. M.; RIBEIRO, J. F. **Cerrado: espécies vegetais úteis**. Planaltina: Embrapa-CPAC, 1998. 464 p.

ALMEIDA, C. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; FREITAS, J. C. O. Comportamento viscoso e densidade do azeite de dendê. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006. CD Rom.

BEHMER, M. L. A. **Tecnologia do leite**. 13. ed. São Paulo: Ed. Nobel, 1984. 320 p.

BRITTON, G. Carotenoids. In: GOODWIN, T. W. **Methods in plant pigments**. London: Academic Press, , 1991. v. 7, p. 473-515.

BROOKFIEL. **Manual do viscosímetro Brookfield modelo RVT**. Disponível em: <<http://www.brookfieldengineering.com>>. Acesso em: 10 jan., 2007.

CASSON, N. A flow equation for pigment-oil suspensions of the printingink type. In: Mill, C. C. **Rheology of disperse suspensions**. New York: Pergamon press, 1959. 84 p.

CAVALCANTE, P. B. **Frutas comestíveis da Amazônia**. 6. ed. Belém: Museu Paraense Emílio Goeldi, 1996. 79p.

COSTA, T. A.; VIEIRA, R. T. **Frutas do Cerrado: frutas nativas do cerrado: qualidade nutricional e sabor peculiar**. Disponível em: <<http://www.cenagen.embrapa.br/publica/trabalhos/am2004/arquivos/27100401.pdf>>. Acesso em: 11 jan. 2007.

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

DURAN, L. **Controle de qualidade de alimentos**. In: FERREIRA, V. L. P.; CAMPOS, S. D. S. **Controle de qualidade na indústria de alimentos**. Campinas: ITAL, 1991. p. 1-13

FERREIRA, G. M.; QUEIROZ, A. J. M.; CONCEIÇÃO, R. S.; GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p. 175-184, 2002 a.

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

FERREIRA, G. M., QUEIROZ, A. J. M., CONCEIÇÃO, R. S., GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura sobre o comportamento reológico da polpa de açaí (*Euterpe Oleracea*.). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 31, Salvador. **Anais...** Salvador: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2002 c. CD.

GASPARETTO, C. A.; GEHRKE, T. **Reologia**. Campinas: UNICAMP, 1995. 20 p.

GEHRKE, T. **Reometria de suco concentrado de frutas**. 1996. 52 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas:

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

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

HOMMAS, A. K. O. **Extrativismo vegetal na Amazônia: limites e oportunidades**. Brasília: EMBRAPA-SPI, Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Oriental, 1993. 201 p.

IBARZ, A.; GONZALS, C.; ESPLUGAS, S. Rheology of clarified passion fruit juice. **Fruit Processing**, Chicago, v. 6, n. 8, p. 330-333, 1996.

LEWIS, M. J. **Physical properties of foods and food processing systems**. England: Ellis Horwood Limited, 1990. 480 p.

LORENZI, H. **Árvores brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil**. Nova Odessa: Plantarum, 1992. 382 p.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M.; COSTA, J. T. M.; CERQUEIRA, L. S. C.; BEHR, N. von. **Palmeiras no Brasil: nativas e exóticas**. Nova Odessa: Plantarum, 1996. 352 p.

MACHADO, J. C. V. **Reologia, viscometria e escoamento**. SEREC/CEN/NOR, 1996. 86 p.

MITSCHKA, P. Simple conversion of brookfield RVT: readings into viscosity functions. **Rheologica Acta**, Prague, v. 21, n. 2, p. 207-209, 1982.

MIZRAHI, S.; BERK, Z. Flow behavior of concentrated orange juice. **Journal of Texture Studies**, v. 1, p. 342-355, 1970.

MUJICA, P. Y. C., ALBUQUERQUE, L. D., SALES, P. V. G., PEDROSA, N. K. A., MAGRO, P. C., ANJOS, E. S. Caracterização físico-química de buriti (*Mauritia flexuosa*, L.). In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PÓS-COLHEITA DE FRUTOS TROPICAIS (SBPCFT), 1. 2005, João Pessoa. **Anais...** João Pessoa: UFPB, 2005. CD Rom.

NAGY, S.; CHEN, C. S.; SHAW, P. E. **Fruit juice processing technology**. Miami: Agscience, 1993. 713 p.

OLIVEIRA, F. M. N., FREITAS, J. C. O., QUEIROZ, A. J. M., FIFUIERÊDO, R. M. F. Viscosidade de polpa de cupuaçu sob aquecimento. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE

ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35., 2006, João Pessoa. **Anais...** Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006. CD Rom.

PLANTAS DO CERRADO. **Buriti.** Disponível em: <<http://www.biologo.com.br/plantas/cerrado/buriti.html>> Acesso em: 10 jan. 2007.

PINHEIRO, A. J. R.; MOSQUIM, M. C. A. V. **Processamento de leite de consumo.** Viçosa: UFV: 1991. 186 p.

POTT, V. J.; POTT, A. **Buriti - *Mauritia flexuosa*: fauna e flora do Cerrado.** Disponível em: <<http://www.cnpqg.embrapa.br/~rodiney/series/buriti/buriti.htm>>. Acesso em: 11 jan. 2007.

QUEIROZ, A. J. M.; VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A. Influência dos sólidos suspensos na reologia do suco de abacaxi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 24., 1996, Uberlândia. **Anais...** UFMG, 1996. p. 49-53.

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

QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; CABRAL, M. F. P. Reologia de suco de cupuaçu. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. CD Rom.

RAO, M. A.; COOLEY, H. J.; VITALI, A. A. Flow properties of concentrated juice at low temperaturas. **Food Technology**, New York, v. 38, n. 3, p. 113-119, 1984.

RAO, M. A.; RIZVI, S. S. **Engineering properties of foods.** New York: Marcel Dekker, 1986. 531 p.

ROCHA, G. L. **Influência do tratamento térmico no valor nutricional do leite fluido.** 2004. 53 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos). Universidade Católica de Goiás, Goiás.

SANO, S. M.; ALMEIDA, S. P. **Cerrado ambiente e flora**. Planaltina: EMBRAPA-CPAC, 1998. 556 p.

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

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

SISSOM, L. E.; PITTS, D. R. **Fenômenos de transporte**. Rio de Janeiro: Guanabara, 1988. 756 p.

TAVARES, M.; AUED-PIMENTEL, S.; LAMARDO, L. C. A.; JORGE, L. I. F.; CAMPOS, N. C. Composição química e estudo histológico do fruto do buriti nativo do município de Buritizal, Estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, 15., Poços de Caldas. **Resumos...** Poços de Caldas: SBCTA, 1996. p. 267.

TELIS, J. R. **Hidrodinâmica e transferência de calor do escoamento laminar de fluidos não-newtonianos em tubos**. 1992. 77 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

TORRES, L. B. V.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Viscosidade aparente da 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. V., QUEIROZ, A. J. M., FIGUEIRÊDO, R. M. F. Viscosidades aparentes de polpa de umbu-cajá. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2004. CD Rom.

VARNAM, A. H.; SUTHERLAND, J. P. **Leche e productos lácteos: tecnología, química y microbiología**. Zaragoza: Acribia, 1995. 476p .

VEISSEYRE, R. **Lactologia técnica: composición, recogida, tratamiento y transformación de la leche**. 2. ed. Zaragoza: Acribia, 1988. 629 p.

VERRUMA, M. R.; SALGADO, J. M. Análise química do leite de Búfala em comparação ao leite de vaca. **Sci. Agric.**, Piracicaba, v. 51, n. 1, p. 131-137, 1994.

VIDAL, J.R.M.B. **Estudo reológico do suco de manga: efeito dos sólidos insolúveis**. 1997. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

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

VIEIRA, J. A. G. **Propriedades termofísicas e convecção laminar em tubos de suco de laranja**. 1995. 87 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas.

VIDAL, J. R. M.B.; PELEGRINE, D. H.; GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*mangífera indica L-Keitt*). **Ciência Tecnologia dos Alimentos**, Campinas, v. 1, n. 24, p. 39-42, 2004.

VITALI, A. A.; RAO, M. A. Flow behavior of guava puree as a function of temperature and concentration. **Journal Texture Studies**, v. 13, n. 3, p. 275-289, 1982.

WIKIPEDIA- **Buriti**. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Buriti>> Acesso em: 9 jan. 2007.

YUYAMA, L. K. O.; YONEKURA, L.; AGUIAR, J. P. L.; SOUSA, R. F. S. Biodisponibilidade dos carotenóides do buriti (*Mauritia flexuosa, l.*) em ratos. **ACTA AMAZÔNICA**, v. 28, n. 4, p. 409-415, 1998.



## **APÊNDICE A**

**Tabela A.1.** Viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de buriti com leite na temperatura de 10°C

Velocidade de rotação (rpm)	Viscosidade aparente (Pa.s)						Média	Desvio Padrão	CV (%)
	R1	R2	R3	R4	R5	R6			
0,5	44,00	44,00	44,00	40,00	44,00	44,00	43,33 a	1,63	3,77
1,0	26,00	24,00	25,00	24,00	24,00	25,00	24,67 b	0,82	3,31
2,5	12,00	11,20	11,20	11,20	11,60	11,60	11,47 c	0,33	2,85
5,0	6,40	6,40	6,20	6,80	6,80	6,40	6,50 d	0,24	3,77
10	4,00	3,60	4,00	3,80	3,60	3,80	3,80 e	0,18	4,71
20	2,40	2,20	2,30	2,30	2,30	2,40	2,32 f	0,075	3,25
50	1,24	1,24	1,20	1,20	1,20	1,20	1,21 fg	0,021	1,70
100	0,79	0,80	0,80	0,80	0,76	0,76	0,79 g	0,020	2,52

DMS = 1,2272; CV (%) = 5,6552; MG = 11,7602 Pa.s

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

**Tabela A.2.** Viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de buriti com leite na temperatura de 20°C

Velocidade de rotação (rpm)	Viscosidade aparente (Pa.s)						Média	Desvio Padrão	CV (%)
	R1	R2	R3	R4	R5	R6			
0,5	36,00	36,00	36,00	32,00	32,00	32,00	34,00 a	2,19	6,44
1,0	20,00	18,00	18,00	20,00	19,00	18,00	18,83 b	0,98	5,22
2,5	10,40	10,40	9,60	9,60	10,40	9,60	10,00 c	0,44	4,38
5,0	6,00	5,60	5,60	6,00	5,60	5,60	5,73 d	0,21	3,60
10	3,40	3,40	3,20	3,20	3,20	3,30	3,28 e	0,098	2,99
20	2,10	2,10	1,90	2,00	2,00	2,00	2,02 ef	0,075	3,73
50	0,92	1,00	0,96	0,96	0,88	0,92	0,94 f	0,042	4,46
100	0,64	0,60	0,60	0,64	0,66	0,62	0,63 f	0,024	3,87

DMS = 1,6006; CV (%) = 9,1991; MG = 9,4292 Pa.s

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

**Tabela A.3.** Viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de buriti com leite na temperatura de 30°C

Velocidade de rotação (rpm)	Viscosidade aparente (Pa.s)								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Média	Desvio Padrão	CV (%)
0,5	28,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,00	24,67 a	1,63	6,62
1,0	16,00	18,00	18,00	16,00	16,00	16,00	16,67 b	1,03	6,20
2,5	8,00	8,00	8,40	8,80	8,00	7,60	8,13 c	0,41	5,08
5,0	5,20	5,20	4,80	4,80	4,80	4,80	4,93 d	0,21	4,19
10	2,90	3,00	2,80	3,20	3,20	3,30	3,07 e	0,20	6,41
20	1,80	1,80	1,90	1,70	1,80	1,70	1,78 ef	0,075	4,22
50	0,88	0,80	0,92	0,92	0,92	0,84	0,87 f	0,047	5,35
100	0,62	0,60	0,60	0,58	0,58	0,58	0,59 f	0,016	2,75

DMS = 1.3038; CV (%) = 9,3086; MG = 7,5904 Pa.s

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

**Tabela A.4.** Viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de buriti com leite na temperatura de 40°C

Velocidade de rotação (rpm)	Viscosidade aparente (Pa.s)								
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Média	Desvio Padrão	CV (%)
0,5	20,00	20,00	20,00	18,00	20,00	20,00	19,67 a	0,82	4,15
1,0	12,00	12,00	12,00	12,00	11,00	12,00	11,83 b	0,41	3,45
2,5	6,40	6,40	6,00	6,40	6,40	6,40	6,33 c	0,16	2,58
5,0	4,00	3,80	3,60	4,00	4,00	4,00	3,90 d	0,17	4,29
10	2,60	2,60	2,40	2,40	2,60	2,40	2,50 e	0,11	4,38
20	1,70	1,70	1,60	1,60	1,70	1,60	1,65 f	0,055	3,32
50	0,80	0,76	0,72	0,72	0,72	0,72	0,74 g	0,033	4,52
100	0,50	0,50	0,48	0,48	0,48	0,48	0,49 g	0,010	2,12

DMS = 0,2038; CV (%) = 5,7091; MG = 5,8887 Pa.s

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

**Tabela A.5.** Viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de buriti com leite na temperatura de 50°C

Velocidade de rotação (rpm)	Viscosidade aparente (Pa.s)							Desvio Padrão	CV (%)
	R1	R2	R3	R4	R5	R6	Média		
0,5	12,00	14,00	14,00	12,00	12,00	14,00	13,00 a	1,09	8,43
1,0	8,00	8,00	9,00	9,00	8,00	8,00	8,33 b	0,52	6,20
2,5	4,40	4,00	4,00	4,00	4,00	4,40	4,13 c	0,21	5,00
5,0	2,80	3,00	2,80	2,80	3,00	2,60	2,83 d	0,15	5,31
10	1,60	1,80	1,80	1,60	1,80	1,60	1,70 e	0,11	6,44
20	1,20	1,10	1,20	1,10	1,10	1,10	1,13 ef	0,052	4,56
50	0,56	0,56	0,56	0,52	0,52	0,56	0,55 f	0,021	3,78
100	0,36	0,36	0,34	0,36	0,34	0,38	0,36 f	0,015	4,22

DMS = 0,8115; CV (%) = 10,9822; MG = 4,0046 Pa.s

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

**Tabela A.6.** Equações de regressão propostas para o cálculo da viscosidade aparente da polpa de buriti com leite em função da temperatura

Velocidade de rotação (rpm)	Equações*	R <sup>2</sup>
1,0	$\eta = 32,2333 - 0,9413T + 0,01893T^2 - 0,0001944T^3$	0,9904
5	$\eta = 7,1133 - 0,05595T - 0,0005952T^2$	0,9997
20	$\eta = 2,1333 + 0,07375T - 0,007535T^2 + 0,0002208T^3 + 2,1 \times 10^{-6}T^4$	1,0000
50	$\eta = 2,3133 - 0,1798T + 0,008667T^2 - 0,0001822T^3 + 1,3 \times 10^{-6}T^4$	1,0000

$\eta$  = Viscosidade (Pa.s); T - temperatura (°C); \* significativo ao nível de 5% de probabilidade

**Tabela A.7.** Equações de regressão propostas para o cálculo da viscosidade aparente da polpa de buriti com leite em função da velocidade de rotação

Temperatura (°C)	Equações**	R <sup>2</sup>
10	$\eta = 16,9712 - 0,2207V$	0,2649
	$\eta = 21,8824 - 0,9501V + 0,007563V^2$	0,4647
	$\eta = 28,3783 - 2,8783V + 0,06861V^2 - 0,0004260V^3$	0,6708
	$\eta = 36,5196 - 7,7201V + 0,4673V^2 - 0,009146V^3 + 5,2 \times 10^{-5}V^4$	0,8394
20	$\eta = 13,5925 - 0,1762V$	0,2805
	$\eta = 17,4500 - 0,7491V + 0,005940V^2$	0,4854
	$\eta = 22,4252 - 2,2259V + 0,05300V^2 - 0,0003263V^3$	0,6863
	$\eta = 28,5371 - 5,8608V + 0,3520V^2 - 0,006872V^3 + 3,9 \times 10^{-5}V^4$	0,8441
30	$\eta = 10,8745 - 0,1390V$	0,3126
	$\eta = 13,8565 - 0,5819V + 0,004592V^2$	0,5319
	$\eta = 17,6184 - 1,6985V + 0,03995V^2 - 0,0002467V^3$	0,7376
40	$\eta = 8,4045 - 0,1065V$	0,3089
	$\eta = 10,6478 - 0,4397V + 0,003455V^2$	0,5179
	$\eta = 13,4559 - 1,2732V + 0,02985V^2 - 0,0001842V^3$	0,7109
	$\eta = 16,9132 - 3,3293V + 0,1991V^2 - 0,003887V^3 + 2,2 \times 10^{-5}V^4$	0,8632
50	$\eta = 5,7000 - 0,07177V$	0,3155
	$\eta = 7,2068 - 0,2955V + 0,002320V^2$	0,5274
	$\eta = 9,0930 - 0,8554V + 0,02005V^2 - 0,0001237V^3$	0,7232

$\eta$  = Viscosidade (Pa.s); V - Velocidade (rpm); \*\* - significativo a nível de 1% de probabilidade (p-valor < 0,01).

**APÊNDICE B**

**Tabela B.1.** Valores médios da tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação ( $s^{-1}$ ) para a polpa de buriti com leite na temperatura de 10°C

<b>Tensão de cisalhamento</b>	<b>Taxa de deformação</b>
<b>(Pa)</b>	<b>(<math>s^{-1}</math>)</b>
5,69	0,41
6,48	0,81
7,53	2,04
8,53	4,07
9,98	8,14
12,16	16,28
15,93	40,70
20,61	81,40

**Tabela B.2.** Valores médios da tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação ( $s^{-1}$ ) para a polpa de buriti com leite na temperatura de 20°C

<b>Tensão de cisalhamento</b>	<b>Taxa de deformação</b>
<b>(Pa)</b>	<b>(<math>s^{-1}</math>)</b>
4,43	0,40
4,94	0,81
6,51	2,02
7,46	4,05
8,55	8,09
10,50	16,18
12,24	40,45
16,32	80,90

**Tabela B.3.** Valores médios da tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação ( $s^{-1}$ ) para a polpa de buriti com leite na temperatura de 30°C

<b>Tensão de cisalhamento</b>	<b>Taxa de deformação</b>
<b>(Pa)</b>	<b>(<math>s^{-1}</math>)</b>
3,24	0,36
4,38	0,72
5,33	1,79
6,48	3,59
8,05	7,17
9,36	14,34
11,46	35,85
15,58	71,70

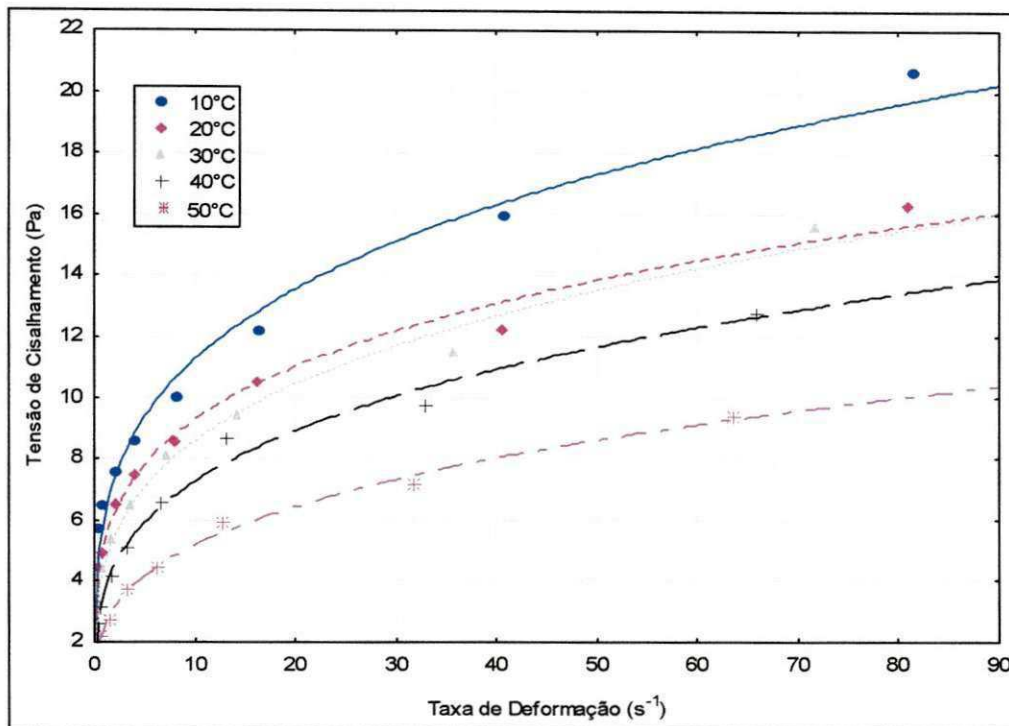
**Tabela B.4.** Valores médios da tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação ( $s^{-1}$ ) para a polpa de buriti com leite na temperatura de 40°C

Tensão de cisalhamento (Pa)	Taxa de deformação ( $s^{-1}$ )
2,58	0,33
3,11	0,66
4,16	1,65
5,12	3,29
6,56	6,58
8,66	13,16
9,71	32,90
12,78	65,80

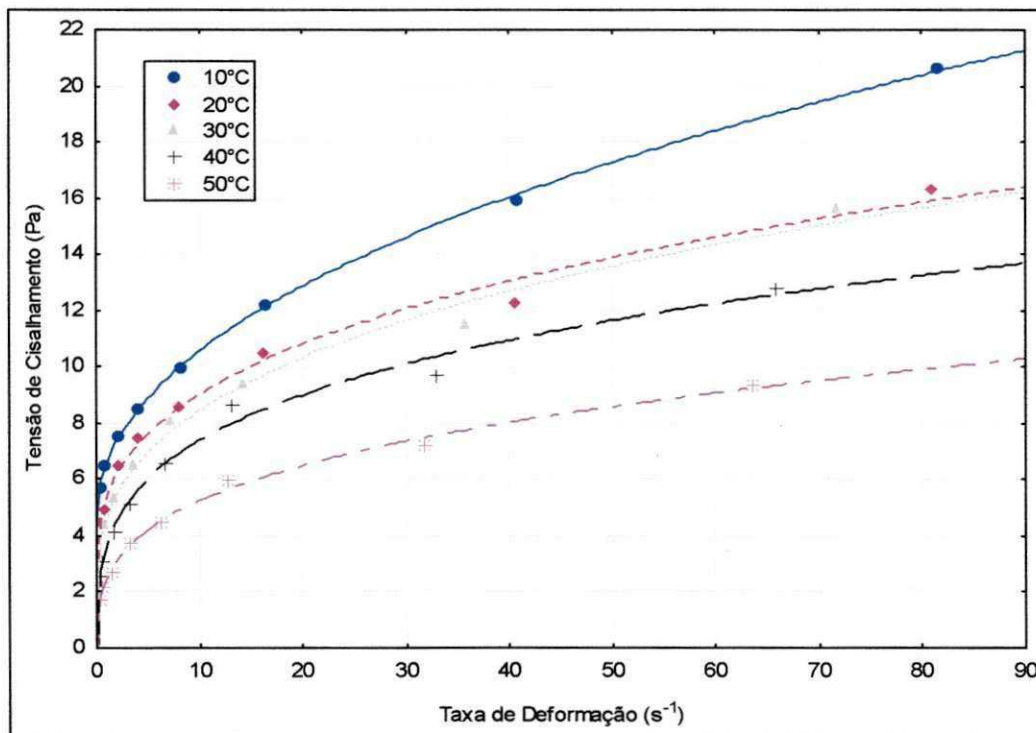
**Tabela B.5.** Valores médios da tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de deformação ( $s^{-1}$ ) para a polpa de buriti com leite na temperatura de 50°C

Tensão de cisalhamento (Pa)	Taxa de deformação ( $s^{-1}$ )
1,71	0,32
2,19	0,64
2,71	1,59
3,72	3,18
4,47	6,36
5,95	12,72
7,18	31,80
9,36	63,60

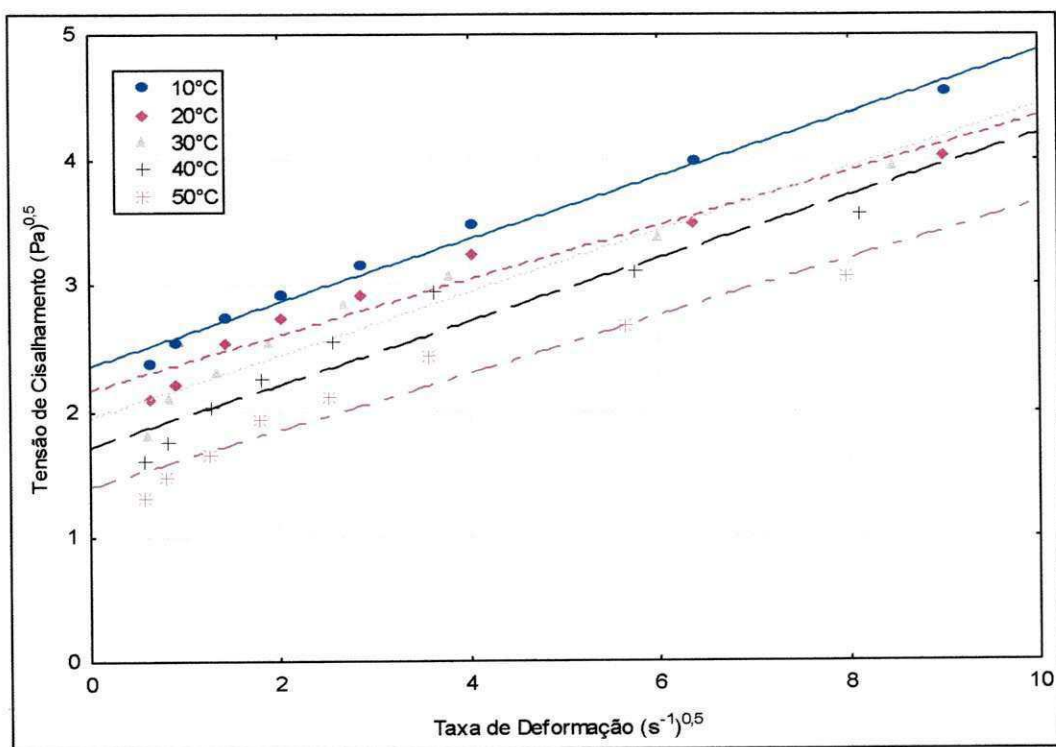




**Figura B.1.** Relações entre a tensão de cisalhamento (Pa) e a taxa de deformação (s<sup>-1</sup>) da polpa de buriti com leite ajustadas pelo modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência)



**Figura B.2.** Relações entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de buriti com leite ajustadas pelo modelo de Herschel-Bulkley



**Figura B.3.** Relações entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação da polpa de buriti com leite ajustadas pelo modelo de Casson