



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



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

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, REOLÓGICAS E TERMOFÍSICAS
DE POLPAS DE BACURI**

MARCELO BARBOSA MUNIZ

**Campina Grande – Paraíba
SETEMBRO, 2004**



MARCELO BARBOSA MUNIZ

**Características químicas, reológicas e termofísicas de polpas
de bacuri**

**CAMPINA GRANDE
2004**

**CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, REOLÓGICAS E TERMOFÍSICAS
DE POLPAS DE BACURI**

MARCELO BARBOSA MUNIZ

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

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

**ORIENTADORES: Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz
Prof.^a. Dra. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo**

**Campina Grande – Paraíba
SETEMBRO, 2004**

FICHA CATALOGRÁFICA

M966c Muniz, Marcelo Barbosa
2004 Características químicas, reológicas e termofísicas da
 polpa do bacuri / Marcelo Barbosa Muniz . — Campina
 Grande: UFCG, 2004.
 117f. il. col.

Inclui Bibliografia

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

1— Bacuri 2— Reologia 3— Termofísica I— Título

CDU 634.471

DIGITALIZAÇÃO:

SISTEMOTECA - UFCG



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DO MESTRANDO

MARCELO BARBOSA MUNIZ

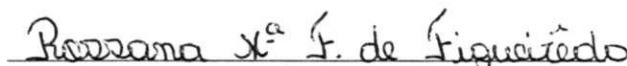
CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, REOLÓGICAS E TERMOFÍSICAS
DE POLPAS DE BACURI

BANCA EXAMINADORA

PARECER


Dr. Alexandre José de Melo Queiroz-Orientador


APROVADO


Dra. Rossana Maria F. de Figueiredo-Orientadora

Aprovado


Dr. Romeu Fioreze-Examinador

Aprovado


Dr. Francisco de Assis Santos e Silva-Examinador

APROVADO

SETEMBRO - 2004

Agradecimentos

A Deus, que me deu força e coragem para vencer mais uma batalha na minha vida.

Ao Professor Alexandre, pelo idéia do trabalho e ensinamentos para a sua realização.

À Professora Rossana, pela grande determinação e ajuda e, principalmente, pelo verdadeiro compromisso com o ensino.

À coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES, pela concessão da bolsa.

À secretária do curso de pós-graduação em Engenharia Agrícola, Dona Rivanilda, pela humildade e gentileza em todos os momentos.

A todos os professores e funcionários do curso do Mestrado de Engenharia Agrícola.

Aos Professores da banca examinadora, Dr. Romel Fioreze e ao Dr. Francisco de Assis Santos e Siloa pela participação e sugestões.

Ao professor João Batista do curso de Engenharia Mecânica, ao laboratório Albano Franco, pelo a concessão do aparelho.

A todos os amigos e colegas do mestrado, pela colaboração direta e indireta, durante o trabalho, em especial a Doonete, Siloana Aloes, Karla, Jean, Edênia, Granjeiro, Acácio, Concita, Alessandra, Márcia, Lucicleia, Pablicia, Rana, Edilene Jorge e a todos que por deslize não citei.

Aos amigos que vêm e vieram todos os anos acompanhados e torcendo por mais uma realização na minha vida, em particular a Rodrigo, Thiago, Robson, Deyse, Ricardo e a Siloia, minha ex-gerente-adjunta.

A Sckaymenn e Ufson, que atravessaram paralelamente essa jornada, proporcionando-me alegrias, companheirismo e ajuda, durante o mestrado.

Dedico

A meus pais, em especial a minha mãe, que sempre estiveram ao meu lado, estimulando-me em todas as etapas da minha vida acadêmica.

A meus irmãos: Marconi, Marcos, Marilene, Marileide e Maricleide, que mesmo há distância continuaram me fortalecendo como sempre o fizeram.

Aos primos e primas, peculiarmente a Gloriquele e Jacqueline, pelo incentivo, aos tios e tias pela força e motivação.

Aos cunhados e cunhadas e aos meus avós, presente e em memorian.

“Os guerreiros vitoriosos vencem antes de ir à guerra, ao passo que os derrotados vão à guerra e só então procuram a vitória”

Sun Tzu

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	v
LISTA DE TABELAS.....	vii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xii
RESUMO.....	xiv
ABSTRACT.....	xvi
1 - INTRODUÇÃO.....	01
1.1 - Objetivos.....	02
1.1.1 - Objetivos específicos.....	02
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	03
2.1 - O Bacuri.....	03
2.1.1 - Origem e importância.....	03
2.1.2 - Aspectos botânicos	03
2.1.3 - Produção.....	05
2.1.4 - Propagação.....	05
2.1.5 - Utilidades da polpa do bacuri.	06

2.2- Características químicas e físico-químicas.....	06
2.2.1 - Acidez total titulável.....	07
2.2.2 - pH.....	08
2.2.3 - Cinzas.....	09
2.2.4 - Sólidos solúveis totais (°Brix).....	09
2.2.5 - Vitamina C.....	10
2.2.6 - Umidade.....	11
2.2.7 - Sólidos insolúveis em água.....	11
2.3 - Reologia.....	11
2.3.1- Viscosidade.....	12
2.3.2 - Classificação dos fluidos.....	13
2.3.2.1 - Fluido newtoniano.....	13
2.3.2.2 - Fluidos não newtonianos.....	14
2.3.3 - Efeito da concentração e temperatura.....	15
2.3.4 - Modelos de comportamento reológico.....	16
2.3.4.1 - Modelo de Oswald - de - Waele (Lei da Potência).....	16
2.3.4.2 - Modelo de Herschel - Bulkley.....	16
2.3.4.3 - Modelo de Mizrahi - Berk.....	17
2.4 - Propriedades termofísicas.....	18
2.4.1 - Calor específico.....	18
2.4.1.1 - Método das misturas.....	19
2.4.1.2 - Método das placas.....	20
2.4.1.3 - Calorímetro diferencial de varredura.....	20
2.4.1.4 - Equações para calor específico.....	21
2.4.2 - Massa específica.....	22

2.4.2.1 - Equações para estimar a massa específica.....	23
2.4.3 - Difusividade térmica.....	24
2.4.3.1 - Equações de difusividade térmica.....	26
2.4.4 - Condutividade térmica.....	27
2.4.4.1 - Equações de condutividade térmica.....	29
3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	30
3.1 - Local de realização do trabalho.....	30
3.2 - Aquisição e processamento da matéria-prima.....	30
3.2.1 - Colheita, seleção e despoldamento.....	32
3.2.2 - Transporte.....	32
3.2.3 - Homogeneização.....	32
3.2.4 - Congelamento e armazenamento.....	32
3.2.5 - Preparação das amostras.....	32
3.3 - Caracterização físico-química das polpas de bacuri.....	32
3.3.1 - pH.....	32
3.3.2 - Sólidos solúveis totais (°Brix).....	33
3.3.3 - Umidade.....	33
3.3.4 - Conteúdo mineral ou cinzas.....	33
3.3.5 - Acidez total titulável.....	33
3.3.6 - Sólidos insolúveis.....	33
3.3.7 - Ácido Ascórbico.....	33
3.4 - Reologia.....	34
3.4.1 - Modelos reológicos.....	35
3.5 - Propriedades termofísicas.....	36

3.5.1 - Calor específico.....	36
3.5.2 - Massa específica.....	38
3.5.3 - Difusividade térmica.....	39
3.5.4 - Condutividade térmica.....	41
3.6. Análise estatística.....	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1 - Caracterização físico-química das polpas de bacuri.....	43
4.2 - Estudo reológico.....	49
4.2.1 - Viscosidade aparente.....	49
4.2.1.1 - Efeito da temperatura e velocidade de rotação.....	49
4.2.1.2 - Efeito da concentração e velocidade de rotação.....	56
4.2.2 - Modelos reológicos.....	62
4.3 - Determinação das propriedades termofísicas.....	73
4.3.1- Calor específico.....	73
4.3.2 - Massa específica.....	76
4.3.3 - Difusividade térmica	79
4.3.4 - Condutividade térmica.....	82
5 - CONCLUSÕES.....	85
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
APÊNDICE – A	98
APÊNDICE - B.....	110

LISTA DE FIGURAS

Fig.	Título	Pg.
2.1	- Vista frontal do bacurizeiro.	3
2.2	- Folhas, ramos e flores do bacurizeiro.....	4
2.3	- Frutos do bacurizeiro.	4
2.4	Sementes do bacurizeiro e enxerto coberto com câmara.....	5
2.5	- Polpas da fruta do bacuri.....	6
3.1	- Fluxograma para obtenção da polpa do bacuri e suas análises realizadas.....	31
3.2	- Aparelho para determinar a viscosidade do material.....	34
3.3	- Esquema do calorímetro de mistura.	36
3.4	- Aparelho para determinação da difusividade térmica.	39
4.1	- Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de bacuri com concentração de 5°Brix – Ajuste pelo o modelo de Herschel – Bulkley..	68
4.2	- Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de bacuri com concentração de 7,5°Brix – Ajuste pelo o modelo de Herschel – Bulkley.	69
4.3	- Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de bacuri com concentração de 10°Brix – Ajuste pelo o modelo de Herschel – Bulkley.	69
4.4	- Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de bacuri com concentração de 12,5°Brix – Ajuste pelo o modelo de Herschel – Bulkley.	70
4.5	- Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de bacuri com concentração de 15°Brix – Ajuste pelo o modelo de Herschel – Bulkley.	71
4.6	- Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de bacuri com concentração de 17,5°Brix – Ajuste pelo o modelo de Herschel – Bulkley.	71

4.7 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de bacuri com concentração de 20°Brix – Ajuste pelo o modelo de Herschel – Bulkley.	72
B.1 - Valores experimentais para a determinação da viscosidade térmica da polpa do bacuri a 5 °B em três repetições	111
B.2 - Valores experimentais para a determinação da viscosidade térmica da polpa do bacuri a 7,5 °B em três repetições	112
B.3 - Valores experimentais para a determinação da viscosidade térmica da polpa do bacuri a 10 °B em três repetições.	113
B.4 - Valores experimentais para a determinação da viscosidade térmica da polpa do bacuri a 12,5 °B em três repetições.	114
B.5 - Valores experimentais para a determinação da viscosidade térmica da polpa do bacuri a 15 °B em três repetições.	115
B.6 - Valores experimentais para a determinação da viscosidade térmica da polpa do bacuri a 17,5 °B em três repetições.	116
B.7 - Valores experimentais para a determinação da viscosidade térmica da polpa do bacuri a 20 °B em três repetições	117

LISTA DE TABELAS

Tab.	Título	Pg.
Tabela 2.1	- Composição química da polpa de bacuri. (<i>Platonia insignis</i> Mart.).	7
Tabela 3.1	- Equações para cálculos do calor específico de alimentos	38
Tabela 3.2	- Equações para cálculos de massa específica em alimentos.....	39
Tabela 3.3	- Equações para cálculo de difusividade térmica em alimentos em geral.....	40
Tabela 3.4	- Equações para cálculo de condutividade térmica em alimentos.....	41
Tabela 4.1	- pH, acidez total titulável e ácido ascórbico das polpas de bacuri com diferentes concentrações.	44
Tabela 4.2	- Cinzas das polpas de bacuri com diferentes concentrações.	45
Tabela 4.3	- Valores médios dos sólidos totais da polpa de bacuri em função da concentração.	45
Tabela 4.4	- Valores médios dos sólidos insolúveis em água da polpa de bacuri em função da concentração.	46
Tabela 4.5	- Valores médios da umidade da polpa de bacuri em função da concentração.	47
Tabela 4.6	- Parâmetros das equações de regressão das propriedades físico-químicas da polpa do bacuri com diferentes concentrações e coeficientes de determinação.	48
Tabela 4.7	- Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de bacuri a 5°Brix nas diferentes temperaturas.	49
Tabela 4.8	- Valores médios viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de bacuri a 7,5°Brix nas diferentes temperaturas.	50

Tabela 4.9 - Valores médios viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de bacuri a 10°Brix nas diferentes temperaturas.	51
Tabela 4.10 - Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de bacuri a 12,5 °Brix nas diferentes temperaturas.	52
Tabela 4.11 - Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de bacuri a 15°Brix nas diferentes temperaturas.	53
Tabela 4.12 - Valores médios viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de bacuri a 17,5°Brix nas diferentes temperaturas.	53
Tabela 4.13 - Valores médios viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de bacuri a 20°Brix nas diferentes temperaturas.	54
Tabela 4.14 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de bacuri a 10°C nas diferentes concentrações.	56
Tabela 4.15 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de bacuri a 20°C nas diferentes concentrações.	57
Tabela 4.16 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de bacuri a 30°C nas diferentes concentrações.	58
Tabela 4.17 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de bacuri a 40°C nas diferentes concentrações.	59
Tabela 4.18 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de bacuri a 50°C nas diferentes concentrações.	60
Tabela 4.19 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de bacuri a 60°C nas diferentes concentrações.	61
Tabela 4.20 - Parâmetros de ajuste do modelo da Lei-da-Potência para as polpas de bacuri em diferentes concentrações e temperaturas.	63

Tabela 4.21 - Parâmetros de ajuste do modelo da Mizrahi Berk para a polpa de bacuri em diferentes concentrações e seis temperaturas.	65
Tabela 4.22 - Parâmetros de ajuste do modelo da Herschel - Bulkley para a polpa de bacuri em diferentes concentrações e seis temperaturas.	67
Tabela 4.23 - Valores médios do calor específico da polpa de bacuri em função da concentração.	73
Tabela 4.24 - Equações propostas para o cálculo calor específico da polpa de bacuri em função da concentração.	74
Tabela 4.25 - Valores de calor específico calculados através de equações existentes na literatura	75
Tabela 4.26 - Valores médios massa específica da polpa de bacuri em função da concentração e temperatura.	76
Tabela 4.27 - Equações propostas para o cálculo da massa específica da polpa de bacuri em função da concentração.	77
Tabela 4.28 - Valores de massa específica calculados através de equações existentes na literatura.	78
Tabela 4.29 - Valores médios difusividade térmica da polpa de bacuri em função da concentração.	79
Tabela 4.30 - Equações propostas para o cálculo da difusividade térmica da polpa de bacuri em função da concentração.	80
Tabela 4.31 - Valores de difusividade térmica calculada através de equações propostas em literatura.	81
Tabela 4.32 - Valores médios condutividade térmica da polpa de bacuri em função da concentração.	82

Tabela 4.33 - Equações propostas para o cálculo da condutividade térmica da polpa de bacuri em função da concentração.	83
Tabela 4.34 - Valores de condutividade térmica calculados através de equações existentes na literatura.	84
Tabela A.1 - Regressão na análise de variância - int. da acidez titulável para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.	99
Tabela A.2 - Regressão na análise de variância - int. da Ac. ascorbico para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.	99
Tabela A.3 - Regressão na análise de variância - int. da cinzas para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.	100
Tabela A.4 - Regressão na análise de variância - int. sólidos totais para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.	100
Tabela A.5 - Regressão na análise de variância - int. sólidos insolúveis em água para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.	101
Tabela A.6 - Regressão na análise de variância - int. teor de umidade para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.	101
Tabela A.7 - Análise de variância dos valores médios de pH para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.	102
Tabela A.8 - Análise de variância dos valores médios da acidez total titulável para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.	102
Tabela A.9 - Análise de variância dos valores médios dos teores de ácido ascórbico para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.	102
Tabela A.10 - Análise de variância dos valores médios de cinzas para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.	103
Tabela A.11 - Análise de variância dos valores médios dos sólidos totais para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.	103
Tabela A.12 - Análise de variância dos valores médios dos sólidos insolúveis em água (%) para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.	103
Tabela A.13 - Análise de variância dos valores médios de umidade para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.	104
Tabela A.14 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 5°Brix.	104

Tabela A.15 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) das polpa de bacuri a 7,5°Brix.	104
Tabela A.16 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 10°Brix.	105
Tabela A.17 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 12,5°Brix.	105
Tabela A.18 - Análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de bacuri a 15°Brix.	105
Tabela A.19 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 17,5°Brix.	106
Tabela A.20 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpas de bacuri a 20°Brix.	106
Tabela A.21 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 10°C.	106
Tabela A.22 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de bacuri a 20°C.	107
Tabela A.23 - Análise de variância dos valores médios das viscosidades aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 30°C.	107
Tabela A.24 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 40°C.	107
Tabela A.25 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 50°C.....	108
Tabela A.26 - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de bacuri a 60°C.....	108
Tabela A.27 - Análise de variância dos valores médios do calor específico da polpa de bacuri.....	108
Tabela A.28 - Análise de variância dos valores médios da condutividade térmica da polpa de bacuri.....	109
Tabela A.29 - Análise de variância dos valores médios da difusividade térmica da polpa de bacuri.....	109
Tabela A.30 - Análise de variância dos valores médios da massa específica da polpa de bacuri.....	109

LISTA DE SÍMBOLOS

A – Taxa constante de aquecimento	(°C/s)
B – Concentração	(°Brix)
C_p – Calor específico	(kJ/kg°C)
k – Condutividade térmica	(Wm°C)
K – Fator de consistência	(Pa s)
K_H – Índice de consistência de Hershel – Bulkley	(Pa s ⁿ)
K_{OM} – Raiz quadrada da tensão inicial de Mizhari – Berk	(Pa) ^{1/2}
K_M – Índice de consistência de Mizhari – Berk	(Pa s)
K – Índice de consistência de Ostwald – de – Waele	(Pa s ⁿ)
K_{ny} – Fator que é função do índice do fluxo e do spindle utilizado	
K_{af} – Fator que corresponde ao spindle utilizado (adimensional)	
m – massa	(Kg)
M – Umidade (base úmida)	(%)
N – Número de rotações por minuto	(rpm)
n_H – Índice de comportamento de fluxo de Hershel – Bulkley (adimensional)	
n_M – Índice de comportamento de fluxo de Mizrahi - Berk (adimensional)	
N₁ – Velocidade de rotação (rpm)	
n – Índice de comportamento de fluxo (adimensional)	
s – Desvio padrão	
S – Sólidos totais	(%)
t – Tempo	(min)
T – Temperatura	(°C)
T_c – Temperatura interna do cilindro	(°C)
T_q – Torque a ser medido	
T_s – Temperatura externa do cilindro	(°C)
R₂ – Índice de comportamento de fluxo de Hershel – Bulkley (adimensional)	
V – Volume	
X – Fração mássica	

Letras Gregas

τ_{OH} - Tensão inicial de Hershel – Bulkley (Pa)

τ - Tensão de cisalhamento (Pa s)

γ - Taxa de deformação

α_1 - Leitura do torque

η_a - Viscosidade aparente (Pa s)

η_p - Viscosidade plástica de Bingham

α - Difusividade térmica (m²/s)

ρ - Densidade (kg/m³)

Subscritos

a – Amostras

c – Calorímetro, cilindro

i – Inicial

e – Equilíbrio

s – Sólidos totais, superfícies

w - Água



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE

CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas

Dissertação de Mestrado: **CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, REOLÓGICAS E TERMOFÍSICAS DE POLPAS DE BACURI**

Autor: **Marcelo Barbosa Muniz**

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

Professora. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

RESUMO

Objetivou, através do presente trabalho, terminar algumas características químicas (sólidos insolúveis, umidade, cinzas, sólidos totais, vitamina C, pH, acidez total titulável) comportamento reológico e propriedades termofísicas (calor específico, massa específica, difusividade e condutividade térmica) da polpa do bacuri (*Platonia insignis* Mart.) em concentrações de 5, 7,5, 10, 12,5, 15, 17,5 e 20°B. Para a determinação reológica em triplicata usaram-se as temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60°C, e o viscosímetro de marca Brookfield, modelo RVT, com geometria de cilindro concêntrico. Os valores experimentais foram ajustados pelos modelos da Lei da Potência ou Ostwald-de-Waele, Herschel-Bulkley e Mizrahi Berk, obtendo-se melhor ajuste com o modelo de Herschel-Bulkley. Todas as amostras apresentaram comportamento não-newtoniano, enquanto para as propriedades termofísicas o calor específico foi determinado pelo calorímetro de mistura, chegando-se a um valor entre a menor e maior concentração, de 3,616 a 2,986 kJ/kg°C; constatou-se assim, diminuição no aumento da concentração; os valores da massa específica, portanto definidos através do picnômetro de 25 ml, para temperaturas de 25 e 30°C, em sextuplicata variando respectivamente, de 1009,9480 a 1048,3580 kg/m³ e 1008,3990 e 1044,4380 kg/m³, originando aumento, conforme o acréscimo de temperatura; para a obtenção da difusividade utilizou-se a metodologia de DICKERSON

(1965), cujos valores observados diminuíram conforme o aumento da concentração, 5°B, $1,787 \times 10^{-7}$ a 20°B $1,637 \times 10^{-7}$; enfim, a condutividade térmica foi via determinações termofísicas supracitadas, e também diminuiu segundo o aumento de concentração 5°B 0.64333 a 20°B 0.50000

Palavras-chave: *platonina insignis*, reologia, termofísica.



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA

Pós-Graduação em Engenharia Agrícola

Área de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas

Dissertação de Mestrado: **CARACTERÍSTICAS QUÍMICAS, REOLÓGICAS E TERMOFÍSICAS
DE POLPAS DE BACURI**

Autor: **Marcelo Barbosa Muniz**

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

Professora. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

ABSTRACT

The present work had as objective to determine some chemical characteristics (insoluble solids, humidity, ashes, total solids, vitamin C, pH, total, acidity), rheological behavior and termophysical properties (specific heat, specific mass, diffusivity and thermal conductivity) of the pulp of the bacuri (*Platonia insignis* Mart.) in concentrations of 5, 7,5, 10, 12,5, 15, 17,5, 20°B. For the determination reological, in triplicata were used the temperatures of 10, 20, 30 40 50 and 60°C, with the use of the viscosimeter Brookfield, model RVT, with geometry of concentric cylinder. The experimental values were used to adjusted to the models of the Potency Law or Ostwald-of-Waele, Herschel-Bulkley and Mizrahi Berk, where the best adjusted model of Herschel-Bulkley was described. All samples presented behavior non - newtoniano. For the termophysical properties the specific heat, was obtained using the mixture calorimeter, with a value between the smallest and larger concentration from 3.616 to 2.986 kJ/kg°C, observing with this, a decrease in the increase of the concentration; with relationship to the values of the specific mass, was certain through the pycnometers of 25 ml, for temperatures of 25 and 30°C, in sextuplicate, varying 1009.948 respectively to 1048.358 kg/m³ and 1008.399 and 1044.438 Kg/m³, observing an increase according to the temperature increment, for the obtaining of the diffusivity, the methodology of was used DICKERSON (1965), and observed values reduce with the increase of the concentration, accordingly, 5°B, 1.787×10^{-7} to 20°B 1.637×10^{-7} ; the thermal conductivity was calculated above through the determinations

termophysical above-mentioned and it also reduced accordingly the increase of concentration 5°B 0.643 to 20°B 0.500 (W/m°C).

Key words: *platonina insignis*, reological, termophysical

1. INTODUÇÃO

A fruticultura interna é de enorme importância do ponto de vista econômico como em termos de fonte nutricional para a população, sendo o Brasil, portanto, um dos países que mais produzem e exportam frutos, cujas conseqüências são positivas; esta atividade desponta como excelente alternativa de mercado, devido, sem dúvida, à especial adaptação de inúmeras espécies às condições dos climas e variáveis tipos de solos no território nacional como, também, ao aumento de áreas cultivadas através de tecnologias adequadas como a irrigação, aumentando, o seu potencial produtivo.

A produção de frutas no Brasil é de 43 milhões de toneladas anuais, em uma área plantada de 2,2 milhões de hectares, correspondendo ao terceiro maior produtor de frutas frescas do mundo, superado apenas pela China e Índia, com 55,6 e 48,1 milhões de toneladas, respectivamente (NAKA, 2002).

O bacurizeiro (*Platonia insignis* Mart.), espécie frutífera da família das crusiaceae, é uma planta arbórea tipicamente tropical, cujas áreas de ocorrência abrangem os Estados do Pará, Maranhão, Piauí, Goiás e Mato Grosso, alcançando também o Paraguai. Os centros de origem e de diversidade da espécie estão localizados no Pará, onde é encontradas ampla variação de forma e tamanho de frutos, rendimento e qualidade de polpa, além de outras características de interesse econômico (SOUZA et al., 2001). Seu fruto pode ser utilizado tanto na forma *in natura* como na agroindústria (FERREIRA et al., 1987).

O bacurizeiro pode ser propagado tanto por sementes como por processos vegetativos, principalmente por enxertia. Na propagação por semente, o aspecto mais importante é a utilização de sementes novas, pois a mesma apresenta comportamento recalcitrante, possibilitando altas percentagens de germinação, embora o processo seja extremamente lento e com acentuada desuniformidade. O tempo para a emergência da radícula de 50% de um lote é de 17 dias, enquanto para a emergência do caulículo, é de 600 dias (VILLACHICA et al., 1996). Ainda que o método mais utilizado para a propagação seja o uso de sementes, o excessivo tempo requerido para a germinação limita freqüentemente a formação de plântulas por esta via; assim, faz-se necessário estudar formas para acelerar a germinação do bacuri, reduzindo o tempo de formação de mudas.

As produções de bacuri são comercializadas, sobretudo nas CEASAs e feiras livres de Belém, PA, São Luís, MA, e Teresina, PI, e não têm sido suficientes para atender à demanda crescente do mercado consumidor dessas capitais. Na forma de polpa congelada

sua comercialização ocorre de forma especial nas grandes redes de supermercados dessas capitais, a preços superiores aos de outras frutas tropicais, como o cupuaçu, o cajá, a goiaba e a graviola, portanto, a médio ou longo prazo, esta espécie pode estabelecer-se como uma nova e excelente alternativa para os mercados interno e externo de frutas tropicais.

De acordo com OLIVEIRA et al. (2002), por não constituir ainda uma cultura comercialmente estabelecida, a produção de frutos é decorrente, na quase totalidade, de atividades extrativistas, sendo raros os pomares com a espécie; porém conforme (VILLACHICA et al., 1996), apesar da sua importância social e do seu elevado potencial econômico, muito pouco tem sido feito para o conhecimento e uso dessa espécie, quer na área de coleta, conservação, caracterização a avaliação de germoplasma, quer na de melhoramento genético, visando o desenvolvimento de cultivares ou de práticas adequadas de cultivo e manejo. Atualmente, o seu sistema de exploração para o aproveitamento do fruto ou da madeira, é quase exclusivamente extrativista.

1.1 - Objetivo geral

Realizou-se o presente trabalho com o objetivo de determinar as propriedades termofísicas e reológicas, e as características físico-químicas de polpa de bacuri, em diferentes concentrações.

1.1.1 - Objetivos específicos

- Determinar o pH, sólidos totais, insolúveis, umidade, cinzas, acidez total titulável e vitamina C da polpa de bacuri.
- Estudar o comportamento reológico de polpas de bacuri nas concentrações de 5,0, 7,5, 10,0, 12,5, 15,0, 17,5 e 20,0°Brix, nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60°C.
- Determinar as propriedades termofísicas, como calor específico, massa específica, condutividade térmica e difusividade térmica.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - O Bacuri

2.1.1 - Origem e importância

O bacuri é uma espécie nativa da Amazônia, que ocorre naturalmente em vegetação aberta de transição, áreas descampadas e, poucas vezes, em florestas alta. Nas regiões de Salgado e Ilha de Marajó, no Pará, tem ocorrência mais acentuada, encontrando-se populações com 30 a 100 árvores/ha, conhecidas como bacurizais. Está distribuído pelo Maranhão, Piauí, Tocantins, Goiás, Mato Grosso, indo até o Paraguai. Também ocorre, com raridade, no Amapá, nas Guianas e no Amazonas (SOUZA, 1996). A árvore do bacuri é mostrada na Figura 2.1.

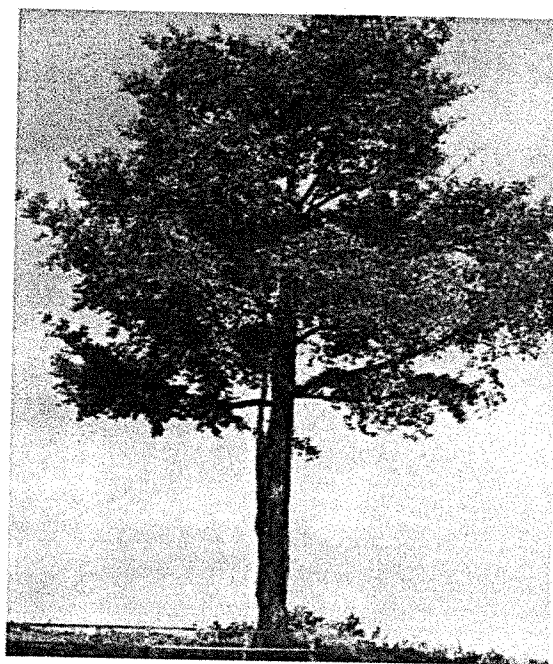


Figura 2.1 - Vista frontal do bacurizeiro

2.1.2 - Aspectos botânicos

Segundo SOUZA (1996) o bacurizeiro atinge em média de 15 a 25 m de altura, tem tronco reto, casca espessa, fissurada, às vezes enegrecida, exsudando um látex amarelo, quando cortada e copa em forma de cone invertido (obcônico) e crescimento dos galhos orientado, numa posição de 50 a 60°, em relação ao tronco; suas folhas são opostas,

simples, sem estípulas, pecíolo de 1 a 2 cm, limbo de 8 a 14 cm por 4 a 8 cm, cor verde-brilhoso na face superior e nervuras laterais, quase retas; as flores são solitárias, hermafroditas, de coloração branco-róseo, situadas terminalmente nos ramos jovens. As folhas, ramos e flores do bacuri são mostrados na Figura 2.2.

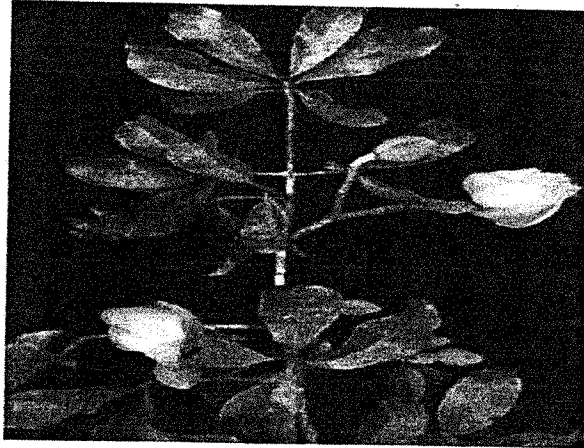


Figura 2.2 – Folhas, ramos e flores do bacurizeiro

O bacuri é uma baga uniloculada, com formato arredondado, ovalado ou achatado, e peso médio de 257,9, 326,0 e 346,3g, respectivamente, para frutos oriundos dos Estados do Maranhão, Piauí e Pará. Alguns tipos produzem frutos bem maiores, com peso superior a 1.000g. O número de sementes por fruto geralmente varia de um a cinco, com média de 2-4 sementes. Em casos raros, são encontrados frutos contendo seis ou nenhuma semente. Em termos percentuais, a maior parte do bacuri é representada pelo epicarpo e mesocarpo, popularmente denominado casca, sendo as sementes o seu segundo componente. A polpa, que corresponde ao endocarpo, é o componente que ocorre em menor proporção (CARVALHO et al., 2002). Os frutos inteiros e partidos são mostrados na Figura 2.3, abaixo.



Figura 2.3 - Frutos do bacurizeiro

2.1.3 - Produção

Os frutos de bacuri atingem o ponto de colheita em torno de 120 a 140 dias após a frutificação; normalmente, em bacurizais nativos a colheita é feita manualmente coletando-se os frutos caídos ao solo. Em se tratando de plantas enxertadas e, portanto, de menor porte, a colheita pode ser feita coletando-se os frutos diretamente das árvores. Na região Meio-Norte o período de colheita vai de dezembro a março, com maior concentração nos meses de janeiro e fevereiro (SOUZA et al., 1999).

2.1.4 - Propagação

O bacurizeiro pode ser propagado tanto por sementes como por processos vegetativos, principalmente por enxertia. Na propagação por semente o aspecto mais importante é a utilização de sementes novas, pois a mesma apresenta comportamento recalcitrante, possibilitando altas percentagens de germinação, embora o processo seja extremamente lento e com acentuada desuniformidade. O tempo para a emergência da radícula de 50% de um lote é de 17 dias, enquanto para a emergência do caulículo é de 600 dias (VILLACHICA et al., 1996). Ainda que o método mais utilizado para a propagação seja o uso de sementes, o excessivo tempo requerido para a germinação limita frequentemente a formação de plântulas por esta via; assim, faz-se necessário estudar formas para acelerar a germinação do bacuri, reduzindo o tempo de formação de mudas. As sementes dos frutos do bacurizeiro e enxerto coberto com saco plástico são mostradas na Figura 2.4.

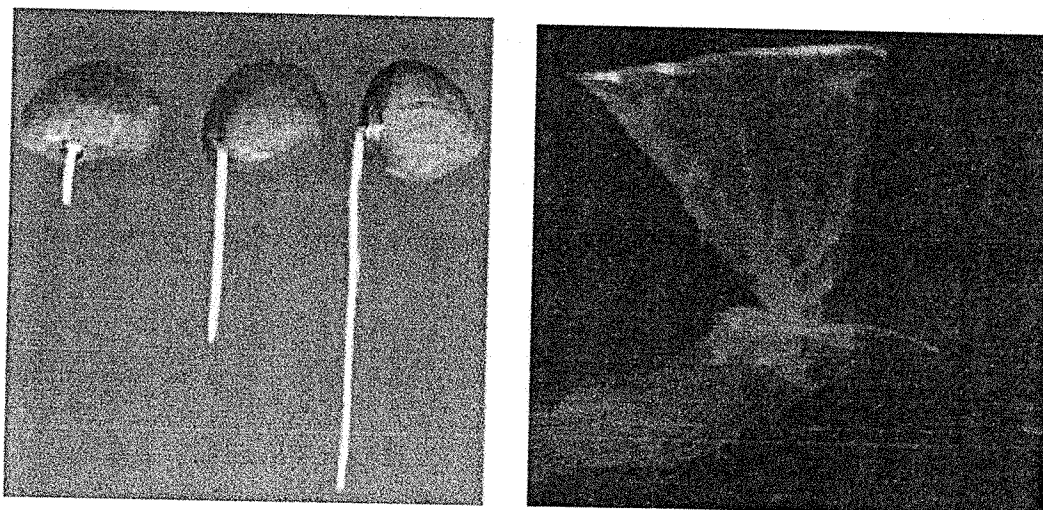


Figura 2.4 - Sementes do bacurizeiro e enxerto coberto com câmara

2.1.5 - Utilidades da polpa do bacuri

As características sensoriais do bacuri permitem enquadrá-lo tanto no grupo de frutas para consumo “in natura” como no grupo de frutas processadas. A parte comestível ou industrializável do fruto é a polpa (endocarpo), usada na fabricação de refresco, néctar, geléia, doce em pasta, compota, licor, iogurte, sorvete, picolé, bombom e até mesmo de uma cerveja com sabor da fruta. Na culinária doméstica o bacuri tem larga aplicação, pois é utilizado na elaboração de cremes, pudins, recheio de bolos, biscoitos e outras iguarias. A casca do fruto, pré-cozida, também é usada como ingrediente para a elaboração de alimentos (NAKA, 2002). As polpas dos frutos do bacurizeiro despulpadas manualmente, são mostradas na Figura 2.5.

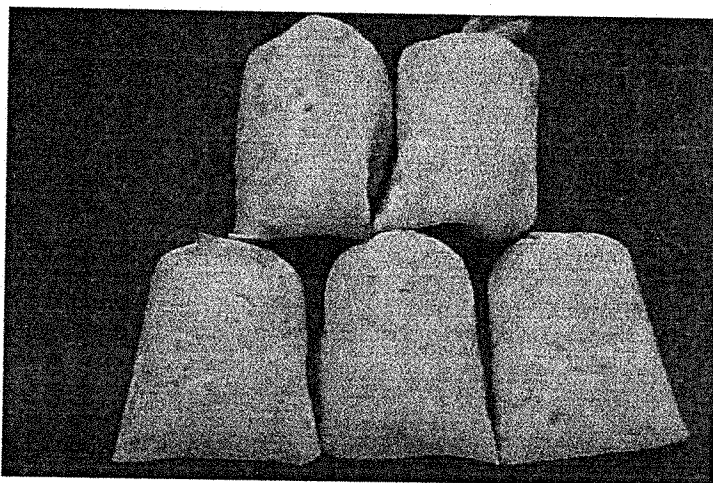


Figura 2.5 – Polpas da fruta do bacuri

2.2 – Características químicas e físico-químicas

Ao se realizar uma análise de alimentos, as informações obtidas podem ter caráter distinto, ou seja, pode-se obter dados de composição centesimal, dados de componentes de interesse, de componentes “traços” (aromatizantes, conservantes, antioxidantes, corantes etc.) e dados da presença de contaminantes (MADRUGA & ALDRIGUE, 2002).

O homem se alimenta de produtos de origem vegetal e animal, que contêm os princípios nutritivos necessários à vida. Cada um desses princípios exerce função definida e pode ser exigida em maior ou menor quantidade; todos, porém, são igualmente significativas, as frutas são importantes pelo fornecimento de vitaminas e sais minerais podendo, eventualmente, fornecer carboidratos, porém muitas mudanças na composição

química das frutas e hortaliças ocorrem durante seu desenvolvimento e maturação (GOMES, 1996). Na Tabela 2.1 tem-se a composição química da polpa de bacuri.

Tabela 2.1 - Composição química da polpa de bacuri

Análise	Valores
Açúcares redutores (%)	3,98
Acidez titulável (%)	0,72
Aminoácidos (%)	38,80
Sólidos solúveis totais (°Brix)	16,89
Cálcio (%)	0,31
Fósforo (%)	0,13
Pectina (%)	0,12
PH	3,84

Fonte: GUIMARÃES (1992)

2.2.1- Acidez

A determinação de acidez pode ser usada como um dado importante com relação à apreciação do estado de conservação de um produto alimentício, como ponto de referência do estágio de maturação de frutos, como informação objetiva em relação ao “flavour” de bebidas ou, ainda, na determinação quantitativa de acetilação, na fabricação de vinagre (MADRUGA & ALDRIGUE, 2002).

De acordo com BLEINROTH (1988), o teor de acidez total aumenta com o completo desenvolvimento fisiológico da fruta e decresce com o seu amadurecimento, mas, em alguns casos, ocorre um pequeno aumento nos valores com o avanço da maturação, mas as mudanças que verificadas na concentração de ácidos orgânicos durante o desenvolvimento, diferem para cada tipo de fruto.

A acidez total (fixa e volátil) em alimentos é resultante dos ácidos orgânicos do próprio alimento, dos adicionados intencionalmente durante o processamento e daqueles resultantes de alterações químicas do produto, portanto, a determinação da acidez total pode fornecer dados valiosos na apreciação do processamento e do estado de conservação do alimento (CARVALHO et al., 1990).

2.2.2 – pH

Por definição, o logaritmo negativo da concentração do íon hidrogênio é o pH, (Equação 2.1).

$$\text{pH} = \log [\text{H}^+] \quad (2.1)$$

A concentração de íons hidrogênio (pH) de um alimento é exaltada pela influência que exerce sobre os tipos de microrganismos aptos à sua multiplicação e, portanto, sobre as alterações que, logicamente, deveriam produzir (GAVA, 1979).

O pH mede a acidez das frutas e alimentos. De maneira geral, os alimentos apresentam pH inferior a 7,0; é o pH que indica o tipo de tratamento necessário para conservar os alimentos. Alimentos com pH acima de 4,5 exigem altas temperaturas, por terem maior facilidade para o desenvolvimento de microrganismos, as frutas e seus derivados em geral apresentam valores de pH abaixo de 4,5 (LEITÃO, 1980). Certas frutas com pH >4,5 precisam ser acidificadas para serem processadas à pressão atmosférica; geralmente esse tratamento é feito com ácido cítrico (TORREZAN, 1996).

Pesquisas têm evidenciado que o valor de 4,5 do pH é o limite para o crescimento do *Clostridium botulinum*, a mais termorresistente bactéria patogênica encontrada em alimentos. Este aspecto é de influência decisiva na natureza e intensidade do processo térmico de alimentos; produtos com pH superior a 4,5 são, geralmente esterilizados sob pressão, o que não ocorre com aqueles de pH inferior a 4,5 que, usualmente, são preservados por tratamentos térmicos mais suaves (pasteurização), a temperaturas inferiores a 100°C (LEITÃO, 1980).

A capacidade tampão de alguns sucos permite a ocorrência de grandes variações na acidez titulável, sem variações apreciáveis no pH, mas numa faixa de concentração de ácidos entre 2,5 e 0,5%, o pH aumenta com a redução da acidez, sendo utilizado como indicativo dessa variação. Uma pequena variação nos valores de pH é bem detectável nos testes sensoriais (CHITARRA, 1990).

GUIMARÃES (2000) observou que os valores referentes ao pH de polpa de manga armazenadas durante 90 dias, nas temperaturas de -11°C e -21°C, permaneceram estáveis quando submetidos ou não a tratamentos térmicos.

2.2.3 – Cinzas

As cinzas constituem a fração mineral dos alimentos; são formadas pelos micro e macro-nutrientes os quais possuem relação direta com o solo em que foi cultivado. Em produtos vegetais a determinação de cinzas tem relativamente pouco valor, pois o teor de cinzas nesses produtos oferece pouca informação sobre sua composição, uma vez que seus componentes minerais são muito variáveis e tal determinação fornece, em geral, apenas uma indicação da riqueza da amostra nesses elementos (SILVA, 1990).

Cinzas em alimento se refere ao resíduo inorgânico remanescente da queima da matéria orgânica, sem resíduo de carvão. A composição da cinza obtida não corresponde, necessariamente, à soma das substâncias minerais presentes no alimento em si, devido às perdas por volatilização ou mesmo pela interação entre componentes. O perfil da cinza pode ser considerado medida geral de qualidade e freqüentemente é utilizado como critério na identificação dos alimentos. A cinza contém, em geral, cálcio, magnésio, ferro, fósforo, chumbo, sódio e outros componentes minerais (ANGELUCCI et al., 1987).

2.2.4 - Sólidos solúveis totais (°Brix)

Os sólidos solúveis totais indicam a quantidade, em grama, dos sólidos que se encontram dissolvidos no suco ou polpa. O comum serem expressos em °Brix e têm tendência de aumento, com a maturação. Os sólidos podem ser medidos no campo ou na indústria, com auxílio de refratômetro (CHITARRA & CHITARRA, 1990). Utilizado como indicativo da concentração de polpa de frutas também indica o estado de maturação da fruta. Em frutas, os sólidos solúveis indicam o teor de açúcar, já que esta participa na composição das frutas em alguns casos com até 80% dos sólidos solúveis. Com o amadurecimento da fruta, o amido é hidrolisado em açúcares complexos e os açúcares complexos em simples; com isto, o teor de sólidos solúveis das frutas se vai elevando (CARVALHO et al., 1990). Na indústria, a análise do °Brix tem grande importância no controle dos ingredientes a serem adicionados ao produto e na sua qualidade final. A determinação do °Brix é utilizada nas indústrias de doces, sucos, néctar, polpas, leite condensado, álcool, açúcar, sorvetes, licores, e bebidas em geral etc.

2.2.5 - Vitamina C

A vitamina C é uma das mais significativas para o organismo humano, e de maior produção e consumo no mundo. A substância mais importante que representa a ação vitamínica é o ácido L-ascórbico (AA), cuja oxidação produz o ácido dehidroascórbico (DHAA) que também apresenta a mesma atividade antiescorbútica (ALDRIGUE, 2003).

O ácido ascórbico é um composto com 6 carbonos, estruturalmente relacionado com a glicose e outras hexoses. Pode ser adicionado a alimentos ou medicamentos, como aditivo ou nutriente. É susceptível de sofrer a influência desfavorável do calor, oxidação, dessecação, armazenamento, aplicação do frio, alcalinidade do meio e solubilidade em água (FRANCO, 1987).

De acordo com RIBEIRO & SERAVALLI (2004) a concentração de ácido ascórbico em frutas e vegetais varia com as condições de crescimento, maturação e tratamento pós-colheita. Ainda segundo esses autores, o armazenamento de sucos concentrados por longos períodos, requer condições de congelamento para evitar as reações de escurecimento não enzimático.

Cerca de 90% das necessidades de vitamina C do homem advêm de frutos e hortaliças. É o componente nutricional mais importante; embora na maioria dos frutos seu teor não exceda a 0,3 %, sua quantificação é imprescindível, sobretudo, para a padronização de sucos (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

A vitamina C é encontrada em concentrações razoáveis em todas as plantas superiores. As frutas cítricas os vegetais verdes frescos e são considerados fontes extremamente ricas de vitamina C; visto que a principal causa da sua degradação é a oxidação aeróbica ou anaeróbica, ambas levam à formação de furaldeídos, compostos que polimerizam facilmente, com formação de pigmentos escuros. É também rapidamente destruída pela ação da luz (BOBBIO & BOBBIO, 1985).

Segundo BRASIL & GUIMARÃES (1998), a maior perda de vitamina C se dá com o aquecimento dos alimentos. De modo geral, sua estabilidade é aumentada com o abaixamento da temperatura, procedimento que não evita as possíveis perdas no congelamento ou armazenamento, a baixas temperaturas.

2.2.6 – Umidade

A água é uma substância química universal, presente em todos os alimentos, contribuindo para suas propriedades físicas e para diversas mudanças que podem ocorrer. A água é um fator estrutural, um reagente em processos hidrolíticos, um solvente ou um agente de dispersão (CASTRO & AZEREDO, 1998).

A água na quantidade, localização e estrutura adequadas, é essencial para o processo vital, influencia na textura, na aparência, no sabor e na deterioração química e microbiológica dos alimentos. Quanto maior o teor de água de um alimento, maior é sua sensibilidade à deterioração (RIBEIRO & SERAVALLI, 2004).

De acordo com ATHIÉ et. al. (1998), os conteúdos de umidade nos quais ocorre um aumento expressivo na taxa respiratória, estão próximos daqueles nos quais o aquecimento e a deterioração se iniciam no armazenamento.

2.2.7 – Sólidos insolúveis em água

As fibras podem ser classificadas quanto ao seu efeito fisiológico, em fibras solúveis e insolúveis. As fibras solúveis em água são representadas pela pectina, gomas e algumas hemicelulose; as fibras insolúveis em água são constituídas pela celulose, hemicelulose e lignina. Entre os alimentos mais ricos em fibras insolúveis são citadas as verduras e a maioria dos grãos de cereais; já com as fibras solúveis se destacam principalmente o feijão, frutos, aveia e cevada. Frutos frescos, hortaliças e legumes contribuem bastante para a dieta em fibras. As fibras exercem papel significativos nos distúrbios do aparelho digestivo e estudos têm sido realizados para explicar o papel exercido pelas fibras na preservação do câncer do cólon (FRANCO, 1988).

2.3 - Reologia

Reologia é definida como o estudo da deformação e escoamento dos materiais; pode ser expressa como o estudo da relação entre o esforço aplicado a um material e a deformação que sofre o dito material (LIRA, 2001).

Segundo BOBBIO & BOBBIO (1992) o estudo da deformabilidade de um alimento está relacionado com o conhecimento que se tem da quantidade e tipo de água presente nesse alimento.

Conforme BIRD et al. (1960), de forma mais abrangente a reologia é a ciência que estuda as propriedades mecânicas dos materiais que determinam seu escoamento quando solicitados por forças externas. O campo da reologia estende-se desde a mecânica de fluidos newtonianos até a elasticidade, de Hooke.

O conhecimento do comportamento reológico de produtos alimentícios é essencial para várias aplicações, dentre as quais, se destacam:

- nos projetos e avaliação de processos, no controle de qualidade e compreensão da estrutura, na operação dos equipamentos e na otimização de linhas de produção (DURAN, 1982; RAO, 1986; PELEGRINE et al., 2002).
- nos cálculos em processos de engenharia, como: cálculo de vazões, seleção de bombas, determinação de perda de carga em tubulações, em operações unitárias, como evaporação e esterilização, entre outros;
- na determinação da funcionalidade de um ingrediente no desenvolvimento de um produto;
- nos testes de vida de prateleira e na avaliação da textura dos alimentos e na sua correlação com a análise sensorial (SUGAI, 2002).

Os produtos líquidos são compostos por partículas sólidas dispersadas em uma fase aquosa, seu comportamento reológico será influenciado pela concentração, composição química, tamanho, forma e arranjo dessas partículas, que compõem a fase dispersa (PELEGRINE et al., 2002).

A viscometria é a prática experimental de medir a resposta reológica de materiais submetidos a uma força. Trata da caracterização de um fluido através de instrumentos e métodos (MACHADO, 1996).

2.3.1 - Viscosidade

Viscosidade é a propriedade pela qual o fluido oferece resistência ao cisalhamento, sendo a tensão de cisalhamento definida como o deslocamento relativo das partículas ou planos de fluido, relacionados com a distância entre eles; é também denominada grau de deformação ou gradiente de velocidade (VIEIRA, 1971).

A viscosidade é sempre o ponto de partida no processo de seleção e projetos de equipamentos, pois afeta também os parâmetros de operação, como a temperatura já que, na maioria dos casos, a viscosidade diminui ao aumentar a temperatura, sendo importante

encontrar o intervalo adequado para facilitar o manuseio do produto, sem causar prejuízo no sabor (TEPPER et al., 1994).

A avaliação da viscosidade é imprescindível no estudo das taxas de transferência de massa (BRUNNER, 1994) e a escolha do método na sua determinação está relacionada com a pressão de operação e com a densidade do sistema.

A viscosidade dos purês ou das polpas de fruta depende da concentração, do tamanho e do formato dos sólidos suspensos (SUGAI, 2002).

De acordo com BOBBIO & BOBBIO (1995), muitos alimentos têm consistência que somente lhes permitem fluir ou escorrer com dificuldade, do recipiente que os contém, isto é, esses alimentos se comportam como líquidos de baixa fluidez, tal como a maionese; Outros têm alta fluidez e escorrem facilmente, como sucos naturais não concentrados.

2.3.2 – Classificação dos fluidos

De conformidade com MACHADO (1996) os fluidos são em geral, classificados em função do seu comportamento reológico, que 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. De maneira abrangente, os fluidos podem ser classificados como newtonianos e não newtonianos.

2.3.2.1 - Fluido newtoniano

De acordo com SHERMAN (1999) um fluido é considerado newtoniano quando a tensão de cisalhamento é uma função linear da taxa de deformação, e a constante de proporcionalidade μ é denominada viscosidade dinâmica (Eq. 2.2/2.3).

$$\tau = -\mu \frac{dv}{dy} \quad (2.2)$$

ou

$$\tau = \mu \dot{\gamma} \quad (2.3)$$

em que :

τ - tensão de cisalhamento;

μ - viscosidade dinâmica;

γ - taxa de deformação.

Segundo LIRA (2001) o modelo newtoniano (Eq. 2.2) se aplica a soluções diluídas, por exemplo: sucos de frutas clarificados e despectinizados.

Os fluidos newtonianos apresentam viscosidade constante, isto é, apresentam uma relação linear entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento (SUGAI, 2002).

VIEIRA (1971) menciona que água e gasolina são considerados fluidos newtonianos.

2.3.2.2 - Fluidos não newtonianos

Os fluidos não-newtonianos, não apresentam viscosidade constante e geralmente são divididos em três grupos: dependentes e independentes do tempo e viscoelásticos.

Alguns exemplos de fluidos não newtonianos que se usam comumente na indústria de alimentos são soluções concentradas de macromoléculas (amidos, proteínas e gomas) e materiais coloidais como emulsões, pastas ou suspensões (LIRA, 2001).

Os fluidos dependentes do tempo são os fluidos em que a taxa de deformação é função da grandeza e da duração da tensão de cisalhamento (HOLDSWORTH, 1971). A viscosidade nesses fluidos depende não somente da tensão de cisalhamento mas como também, do tempo de escoamento, sendo divididos em tixotrópicos (maionese, iogurte) e reopéticos (SUGAI, 2002).

Os fluidos tixotrópicos são aqueles em que a viscosidade aparente diminui com o tempo, para condições com temperatura e taxa de deformação constante. As características reológicas do purê de damasco foram estudadas por DURAN & COSTELL (1982), que classificaram esse material como fluido tixotrópico.

Quando a viscosidade aparente aumenta com o tempo, também para condições de temperatura e taxa de deformação constante, o fluido é denominado reopético. De acordo com SHARMA et al. (2000), este tipo de comportamento não é comum em alimentos, mas pode ocorrer em soluções de amido altamente concentrados em tempos longos.

Dos fluidos independentes do tempo, o grupo mais importante é o dos fluidos pseudoplásticos, nos quais a viscosidade aparente diminui com a tensão de cisalhamento

Clara de Obo

crescente (HOLDSWORTH, 1971). Como exemplo tem-se suspensões de amido e mel; outro grupo é o dos plásticos de Bingham (margarinas e óleos vegetais, entre outros).

Fluidos viscoelásticos são aqueles em que é observado um restabelecimento elástico quando a tensão de cisalhamento é removida do material (HOLDSWORTH, 1971). Segundo BRAGA (2002), a maior parte dos alimentos se comporta como material viscoelástico, ou seja, dependendo da tensão e da escala de tempo aplicadas, um corpo sólido pode apresentar propriedades da fase líquida e um material líquido pode mostrar propriedades de um corpo sólido.

2.3.3 - Efeito da concentração e temperatura

Os alimentos fluidos estão sujeitos a diferentes temperaturas durante o processamento, armazenamento, transporte, venda e consumo. Por esta razão, as propriedades reológicas são estudadas em função da temperatura (RAO et al., 1986). E geralmente para determinado alimento fluido, a viscosidade aumenta com o aumento da concentração do alimento fluido (RAO et al., 1986).

Segundo GASPARETTO & GEHRKE (1995) em aplicações industriais envolvendo sistemas aquosos o interesse da temperatura está restrito a faixa de 0 a 100°C; para óleos, lubrificantes e graxas, temperaturas entre -50 e 300°C e para polímeros fundidos são manuseados na faixa de 150 a 300°C, e para vidro é processado acima de 500°C.

SUGAI (2002) ao estudar o comportamento das polpas de manga integral e centrifugada, verificou que a viscosidade da polpa integral diminui com o aumento da temperatura até 40°C e para temperaturas entre 50°C e 60°C a viscosidade aumenta. Já para a polpa centrifugada foi constatou-se que sua viscosidade diminui com o aumento de temperatura até 60°C.

Para fluidos não-newtonianos, além da viscosidade aparente e da taxa de deformação, o índice de consistência do modelo da Lei da Potência pode ser empregado para determinar o efeito da temperatura (RAO et al., 1986).

De acordo com HOLDSWORTH (1971) a temperatura tem efeito decrescente na viscosidade de sucos de frutas e de soluções de sacarose de concentrações equivalentes, e este efeito diminui com o conteúdo de sólidos crescentes; para purê de frutas com teor de sólidos solúveis totais entre 10-16°Brix, o índice de consistência (K) diminuiu ligeiramente a temperatura mais alta, ainda que o valor do índice de comportamento de fluido (n) não

tenha sido afetado. Este mesmo pesquisador verificou ainda que o suco de maçã (11°Brix) exibiu comportamento tixotrópico, apresentando efeito desprezível da temperatura na viscosidade aparente.

2.3.4 - Modelos de comportamento reológico

Os modelos empíricos surgiram para relacionar diretamente as magnitudes da tensão de cisalhamento com a taxa de deformação.

2.3.4.1 - Modelo de Oswald-de-Waele (Lei da Potência)

O modelo da Lei Potência (Eq. 2.4) tem sido utilizado extensivamente para descrever as propriedades de escoamento da tensão cisalhante dos fluidos, particularmente para aplicações da engenharia (VITALI & RAO, 1984).

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

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

K - índice de consistência (Pa sⁿ)

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

n - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Segundo LIRA (2001) o modelo da Lei da Potência é aplicado a uma grande variedade de produtos alimentícios por sua facilidade de uso na forma logarítmica; como exemplos da sua aplicação tem-se suco concentrado de laranja e purê de banana.

2.3.4.2 - Modelo de Herschel – Bulkley

Dentre os modelos que determinam o comportamento dos materiais semi-sólidos, o modelo de Herschel-Bulkley (Eq. 2.5) é um dos mais utilizados, pois descreve muito bem

o comportamento de fluidos não newtonianos (MÁLEK, 1996). este modelo apresenta ampla faixa de aplicação em produtos biológicos e de alimentos (LIRA, 2001).

$$\tau = \tau_{OH} + K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (2.5)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

τ_{OH} - tensão inicial (Pa)

K_H - índice de consistência (Pa sⁿ)

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

n_H - índice de comportamento de fluido (adimensional)

2.3.4.3 - Modelo de Mizrahi–Berk

MIZRAHI & BERK (1972) derivaram uma equação modificada por Casson e empregaram para descrever a tensão de cisalhamento e taxa de deformação dos dados de suco de laranja concentrado. Esse modelo (Eq. 2.6) foi desenvolvido baseado em um modelo de uma suspensão interagindo com partículas em um solvente pseudoplástico.

$$\tau^{0.5} = K_{OH} + K_M \dot{\gamma}^{n_M} \quad (2.6)$$

sendo:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

K_{OM} - raiz quadrada da tensão inicial (Pa)^{0,5}

K_M - índice de consistência (Pa)^{0,5}(s)ⁿ

n_M - índice de comportamento do fluido (adimensional)

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

2.4 – Propriedades termofísicas

Os materiais são submetidos a vários tipos de operações de processamento na indústria, especialmente na alimentícia e, desta forma, faz-se necessário o conhecimento do comportamento em cada etapa; assim, poder-se -a obter informações precisas para que haja uma análise de cada fator, obtendo-se então trabalhos precisos para realizar os projetos.

A predição do comportamento de produtos alimentícios submetidos a processos térmicos é determinada, em grande parte, por suas propriedades termofísicas, através das quais se torna possível projetar equipamentos mais eficientes, obter uma otimização nas operações de processamento e estocagem de alimentos que envolvam transferência de calor, além de possibilitar melhores resultados em plantas e equipamentos já existentes.

Segundo MOHSENIN (1980) muitos produtos agrícolas de origem vegetal ou animal são submetidos a vários tipos de processamento térmico antes de serem colocados para o consumidor. O processamento térmico pode incluir aquecimento, resfriamento, secagem e congelamento. O conhecimento das características térmicas calor específico, condutividade térmica, difusividade térmica e emissividade, e as características físicas massa específica, forma e tamanho, são essenciais para projetar equipamentos e prever o processo.

2.4.1 – Calor específico

O calor específico é definido como a quantidade de calor necessário para mudar a temperatura de uma unidade de massa em um grau (1°C). Segundo ALVARADO (1994) quando não existe mudança de fase ou reações involuntárias, o calor específico é a quantidade de calor que ganha ou perde um quilograma de alimento para produzir uma mudança de temperatura requerida, sendo escrito na forma da Equação 2.7.

$$C_p = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (2.7)$$

em que:

C_p - calor específico (kJ/kg °C)

Q - quantidade de calor (kJ)

m - massa (kg)

ΔT - variação da temperatura (°C)

De acordo com PEDROZA (1991), o calor específico de uma substância denota a variação de temperatura com a quantidade de calor armazenada dentro da substância. O calor específico depende da natureza do processo de adição de calor, isto é, se o processo ocorre a pressão constante ou a volume constante. O efeito da pressão sobre o calor específico de sólidos e líquidos é muito pequeno e as variações de pressão nos problemas de transmissão de calor de produtos agrícolas são, em geral, pequenas; portanto, o calor específico de produtos agrícolas é considerado a pressão constante.

Nos processos de transferência de calor, a que são submetidos os materiais biológicos, a variação de pressão é muito pequena; daí utiliza-se o conceito de calor específico a pressão constante. Para se determinar a quantidade de energia a ser adicionada ou removida nos processos de aquecimento e resfriamento, é oportuno se conhecer o valor do calor específico dos alimentos. O conhecimento desse valor nos processos contínuos pode ter influência sobre as dimensões do equipamento (MOHSENIN, 1980).

Segundo RIBEIRO & SERAVALLI (2004) os altos valores das propriedades caloríficas da água são importantes nas operações de processamento de alimentos, como secagem e congelamento.

Vários são os métodos para determinar experimentalmente o calor específico de produtos agrícolas, em que os mais conhecidos são: o método das misturas, o método das placas e método do calorímetro diferencial de varredura (DSC).

2.4.1.1 - Método das misturas

Neste método, a amostra com massa e temperatura conhecida é colocada em um calorímetro, com a capacidade calorífica previamente determinada, contendo água cuja massa e temperatura também são conhecidas. O calor específico da amostra é calculado através da equação do balanço de calor (Equação 2.8) entre o calor ganho ou perdido pelo calorímetro e aquele absorvido ou perdido pela amostra.

$$C_{pa}m_a(T_i - T_e) = (C_{pw}m_w(T_e - T_w) - C_{pe}m_e(T_i - T_e)) \quad (2.8)$$

$$C_{pa} = \frac{C_{pw}m_w(T_e - T_w) - C_{pe}m_e(T_i - T_e)}{m_a(T_i - T_e)}$$

Onde :

C_{pa} - calor específico da amostra (kJ/kg°C)

C_{pw} - calor específico da água (kJ/kg °C)

m_w - massa de água adicionada (kg)

T_e - temperatura de equilíbrio (°C)

T_w - temperatura inicial da água (C°)

C_{pe} - calor específico do calorímetro (kJ/kg°C)

m_e - massa do calorímetro (kg)

T_i - temperatura inicial da amostra e do calorímetro (°C)

m_a - massa da amostra (kg)

2.4.1.2 – Método das placas

Neste método a amostra é envolvida por placas aquecidas eletricamente, sendo mantidas à mesma temperatura da amostra, que também aquecida da mesma maneira. Desta forma, teoricamente não existem perdas de calor, então, o calor cedido pelo produto em um tempo é igual ao ganhando pelo mesmo (MOHSENIN, 1980).

2.4.1.3 – Calorímetro diferencial de varredura

De acordo com ALVARADO (2001) neste método, conhecido como DSC, se mede a energia requerida para estabelecer uma diferença de temperatura igual a zero entre o alimento e o material de referência, do qual se calcula o calor específico. A quantidade da amostra é mínima; logo, o material deve ser cuidadosamente homogeneizado. Para melhorar a precisão, deve-se realizar várias repetições. Esses equipamentos, conhecidos como DSC são complexos e de preços altos, conforme o modelo e a precisão que oferecem.

NJIE et al. (1998) determinaram o calor específico de mandioca, inhame e banana, em um calorímetro diferencial de varredura, entre 36°C e 51°C, e faixa de umidade de 10-68% e verificaram que o calor específico desses produtos cresceu com o aumento da umidade e temperatura, variando de 1,64 kJ/kg°C a 3,26 kJ/kg°C.

2.4.1.4 - Equações para calor específico

Existem, na literatura, muitas equações para predição do calor específico de produtos alimentícios; algumas são de simples aplicação e proporcionam valores próximos aos dados experimentais.

Siebel, citado por CHOI & OKOS (1986) propôs uma equação (Eq. 2.9) para determinar o calor específico para temperatura acima do congelamento, limitada a alimentos com umidade elevada.

$$C_p = 0,837 + 3,349X_w \quad (2.9)$$

em que:

C_p - calor específico (kJ/kg °C)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

DICKERSON (1968) desenvolveu uma expressão (Eq. 2.10) para determinar o calor específico para alimentos com altos teores de umidade, podendo ser aplicada para sucos com umidade acima de 50%.

$$C_p = 1,675 + 2,512X_w \quad (2.10)$$

sendo:

C_p - calor específico (kJ/kg °C)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

Lamb, citado por CHOI & OKOS (1986) sugeriu uma equação para o calor específico de alimentos para temperaturas acima do ponto de congelamento, em função da fração mássica da água (Equação 2.11).

$$C_p = 1,465 + 2,721X_w \quad (2.11)$$

estão:

C_p - calor específico (kJ/kg °C)

X_w - fração mássica da água (adimensional).

MANOHAR et al. (1991) ao estudarem o calor específico do suco concentrado de tamarindo e de soluções de sacarose, nas concentrações de 7 a 62°Brix e temperaturas entre 25 e 70°C, desenvolveram a Equação 2.12.

$$C_p = 4,18 + (6,839 \times 10^{-5} T - 5,03 \times 10^{-2}) S \quad (2.12)$$

daí:

C_p - calor específico (kJ/kg °C)

T - temperatura (K)

S - sólidos totais (%)

VIEIRA (1996) verificou que o calor específico varia linearmente com a concentração do suco de laranja (Equação 2.13).

$$C_p = 4,1713 - 0,0279 B \quad (2.13)$$

desde:

C_p - calor específico (kJ/kg °C)

B - concentração (°Brix)

2.4.2 – Massa específica

A massa específica de um produto é a relação da massa por unidade de volume de uma substância, a determinada temperatura (Equação 2.14).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.14)$$

em que:

ρ - massa específica (kg/m³)

m - massa (kg)

v - volume (m³)

A massa específica é um parâmetro importante para compreender o poder de solvatação de uma substância, nas diversas fases do solvente. Esta sofre influência direta da pressão e temperatura, aumentando com o aumento da pressão a temperatura constante e diminuindo com o aumento da temperatura, a pressão também constante (QUEIROZ, 1993).

A massa específica pode ser determinada através do uso de picnômetros, hidrômetros, densímetros, lactodensímetros, balança de Westphal e dilatômetros. Esses métodos se baseiam em alguns dos seguintes princípios: no registro da massa de um volume determinado, no princípio de Arquimedes, no peso hidrostático de um bulbo imerso e na medida do volume de uma massa do produto.

A densidade de partículas sólidas de alimentos, e em sentido físico a razão da massa pelo volume das partículas, a qual pode ser determinada pelo deslocamento de ar ou deslocamento de líquidos (MOHSENIN, 1980). Segundo Browne, citado por RAPUSAS & DRISCOLL (1995), o método de deslocamento de líquido tem a vantagem de requerer equipamentos simples e fácil de ser encontrado em laboratório.

De acordo com SINGH (1992) para a determinação experimental da massa específica de um alimento usa-se o picnômetro de comparação de ar e também o método da balança de plataforma.

RAPUSAS & DRISCOLL (1995) trabalhando com propriedades termofísicas de cebolas, verificaram que a densidade real da cebola cresceu linearmente com o decréscimo do teor de água, enquanto a variação da densidade aparente com o teor de água foi melhor representada por um polinômio de terceiro grau.

2.4.2.1 – Equações para estimar a massa específica

ALVARADO & ROMERO (1989) desenvolveram uma equação para estimar a massa específica de suco de frutas em geral, para o intervalo de temperatura de 0 a 80°C, e concentração de 5 a 30°Brix (Equação 2.15).

$$\rho = 1002 + 4,61B - 0,460T + 7,001 \times 10^{-3} T^2 - 9,175 \times 10^{-5} T^3 \quad (2.15)$$

em que:

ρ - massa específica (kg/m³)

T - temperatura (°C)

ARAÚJO et al. (2001) sugeriram uma equação para estimar a massa específica da polpa de cupuaçu, em função da temperatura (Equação 2.16).

$$\rho = 1.035,3 - 0,07429T - 0,00643T^2 \quad (2.16)$$

sendo:

ρ - massa específica (kg/m³)

T - temperatura (°C)

PEREIRA et al. (2002), desenvolveram uma equação para a massa específica da polpa do açaí, em função da concentração e temperatura (Equação 2.17).

$$\rho = 1.068,65 - 0,4579X_w - 0,3867T \quad (2.17)$$

daí:

ρ - massa específica (kg/m³)

X_w - umidade (%)

T - temperatura (°C)

2.4.3 – Difusividade térmica

Uma das propriedades térmicas utilizadas nos cálculos de transferência de calor por condução é a difusividade térmica, que estabelece a velocidade com que o calor se difunde no alimento e a relação entre o tempo e a temperatura (Equação 2.18).

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (2.18)$$

donde:

α - difusividade térmica (m²/s)

k - condutividade térmica (W/m °C)

C_p - calor específico (kJ/kg °C)

Quando um processo de transferência ocorre em condição de regime transiente, a propriedade térmica que requer especial importância é a difusividade térmica (α), e este parâmetro permite, por uma parte, estabelecer-se a rapidez com que o calor se difunde em um material quando este é aquecido ou esfriado e, também, conhecer o grau de dependência que existe, para um local no produto, entre a temperatura e o tempo (GONÇALVES, 2000).

A difusividade térmica é um dado importante em muitos cálculos relacionados à processos onde ocorre transferência de calor variável com o tempo. A capacidade calórica volumétrica corresponde ao produto da densidade pelo calor específico; em consequência, é possível se determinar indiretamente a condutividade térmica ao se conhecer a difusividade térmica e as outras propriedades indicadas (ALVARADO, 1994).

De acordo com KASAHARA (1986), quando ocorre um processo de transferência de calor em estado transiente, a propriedade térmica que ganha importância especial é a difusividade térmica, pois este parâmetro permite, por um lado, que se estabeleça a rapidez com que o calor se difunde no material e, por outro, conhecer o grau de dependência que há entre a temperatura e o tempo. A difusividade térmica pode ser determinada por métodos experimentais ou modelos matemáticos, dentre os quais se destacaram os procedimentos propostos por Dickerson, Carslaw e Jaeger, Schneider.

SIMÕES (1997) ao trabalhar com polpa de manga integral, centrifugada, peneirada e concentrada, em intervalos de temperatura entre 25 e 50°C, conseguiu valores de difusividade térmica de $1,41 \times 10^{-7}$, $1,39 \times 10^{-7}$, $1,38 \times 10^{-7}$ e $1,28 \times 10^{-7}$ m²/s, respectivamente.

ARAÚJO (2000) determinou a difusividade térmica efetiva média em polpa de acerola, em três estágios de congelamento, quando a polpa foi submetida ao congelamento em freezer a -22,6°C; por circulação de nitrogênio a -100°C; e por imersão em nitrogênio líquido a -196°C encontrando difusividade de 1,23 mm² s⁻¹; 10,77 mm² s⁻¹, e 39,32 mm² s⁻¹, respectivamente.

CIABOTTI (2000) determinou a difusividade térmica efetiva média em suco de maracujá, puro e adoçado, submetido a dois diferentes métodos de congelamento, em freezer a -22,6°C e por imersão em nitrogênio líquido, a -196°C. No primeiro método, a -22,6°C, a difusividade efetiva média no suco de maracujá puro foi de 0,54 mm² s⁻¹, no suco de maracujá adoçado foi de 0,25 mm² s⁻¹ e no segundo, a -196°C, a difusividade efetiva média do suco de maracujá puro foi 30,81 mm² s⁻¹ e 26,21 mm² s⁻¹ para o suco de maracujá adoçado.

2.4.3.1 - Equações de difusividade térmica

Martens, citado por SINGH (1982), desenvolveu um modelo para estimar a difusividade térmica dos alimentos (Equação 2.19)

$$\alpha = 0,057363X_w + 0,0028T + 273 \times 10^{-6} \quad (2.19)$$

donde:

α - difusividade térmica (m^2/s)

T - temperatura ($^{\circ}K$)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

TELIS-ROMERO et al. (1998) determinaram para suco de laranja, a difusividade térmica, com teores de umidade variando de 0,34 a 0,73 e temperaturas de 0,5 a 62 $^{\circ}C$ (Equações 2.20 e 2.21).

$$\alpha_{exp} = 7,9683 \times 10^{-8} + 5,9839 \times 10^{-8} X_w + 0,02510 \times 10^{-8} T \quad (2.20)$$

$$\alpha_{cal} = 5,5382 \times 10^{-8} + 9,50003 \times 10^{-8} X_w + 0,00999 \times 10^{-8} T \quad (2.21)$$

donde:

α_{exp} - difusividade térmica experimental (m^2/s)

α_{cal} - difusividade térmica calculada (m^2/s)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

Martens, citado por CHOI & OKOS (1983), propôs uma equação para a difusividade térmica com duas variáveis, água e temperatura, que são os dois fatores que mais afetam esta propriedade (Equação 2.22).

$$\alpha = [0,057363X_w + 0,0002888.T] 10^{-6} \quad (2.22)$$

donde:

α - difusividade térmica (m^2/s)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

T - temperatura (K)

2.4.4 - Condutividade térmica

Para RAO & RIZVI (1994) a condutividade térmica de um material é a medida da sua capacidade para conduzir calor. Nos alimentos, a condutividade térmica depende principalmente da composição mas também da presença de espaços vazios e de sua homogeneidade.

A equação fundamental da transferência de calor, ou lei de Fourier para regime permanente, unidirecional, é dada pela Equação 2.23.

$$q = -k \frac{dT}{dx} \quad (2.23)$$

em que:

q - densidade de fluxo de calor (kJ/s)

k- condutividade térmica (W/m°C)

dT/dx - gradiente de temperatura (°C/m)

O sinal negativo indica que o fluxo está escoando na direção da diminuição do gradiente de temperatura.

A condutividade térmica é aproximadamente uma constante física para certa substância, identificando o número de calorías transferido por unidade de área perpendicular ao fluxo de calor, para cada grau de diferença de temperatura, através da amostra, e inversamente para cada unidade de comprimento na espessura da amostra, na direção do fluxo de calor (NEVES FILHO, 1991).

De acordo com FOUST et al. (1982) a condutividade térmica varia amplamente entre os gases, os líquidos e os sólidos, devido às grandes diferenças nos mecanismos de transporte de calor nos três estados.

DELGADO et al. (1997) relataram que, nos processos de congelamento, descongelamento e armazenagem a frio, uma das propriedades mais difíceis de se estimar é

a condutividade térmica (k). Esta propriedade depende fundamentalmente do teor de água. A localização dos cristais de gelo também influenciam a condutividade térmica, no entanto, as variações dependem da direção do fluxo de calor em relação as diferentes camadas de gelo, enquanto, em alimentos a condutividade térmica cresce durante o congelamento.

A condutividade térmica dos materiais sólidos empregados na engenharia, varia com o material, temperatura e teor de água, uma vez que os materiais biológicos são heterogêneos e oscilam em estrutura celular, composição e porosidade. Espera-se que a variação da condutividade térmica desses materiais seja sempre maior que nos materiais não-biológicos (MOHSENIN, 1980).

A condutividade térmica da água líquida é superior que a de outros líquidos, enquanto a condutividade térmica da água no estado sólido (gelo) a 0°C equivale a aproximadamente quatro vezes maior que o da água líquida na mesma temperatura, indicando que o gelo conduzirá energia térmica mais rapidamente que a água imobilizada (RIBEIRO & SERAVALLI, 2004). Os métodos de determinação da condutividade térmica podem ser divididos em duas classes: estacionários, nos quais os valores da temperatura são constantes em relação ao tempo e não estacionários, cujos valores de temperatura variam com relação ao tempo

Os primeiros trabalhos publicados sobre determinação da condutividade térmica em frutas remontam a década de 30 e, quanto aos iniciais, foram aplicados a frutas de forma aproximadamente esférica, nas quais são fixados dois termopares, um na superfície e o outro inserido no centro da amostra (KASAHARA, 1986).

SIMÕES (1997) determinou a condutividade térmica para polpa de manga, à temperatura de 30°C , encontrando o valor de $0,58 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ para as amostras de polpa integral, peneirada e centrifugada, e $0,51 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ para polpa concentrada.

ALVARADO (1994) dispo de valores experimentais de calor específico e densidade, determinou a condutividade térmica efetiva de 30 frutos diferentes, na faixa de temperatura variando de 20 a 25°C , e encontrou valores de $0,38$ a $0,57 \text{ W/m}^{\circ}\text{C}$ que foram inferiores aos valores reportados para sucos ou calculados mediante equações, fato este explicado pelas características próprias de cada fruto, condições ambientais e a consistência descontínua das polpas.

DONSI et al. (1996) determinaram a condutividade térmica de polpa de maçã e batata, por meio de um equipamento específico baseado no método de Fitch, e observaram que os valores de condutividade térmica variaram com o teor de água das amostras, a uma

temperatura média de 30°C, como previsto, a condutividade térmica diminuiu com o decréscimo do teor de água.

GONÇALVES (2000) estudou a condutividade térmica de polpa de cajá em função do calor específico, calculado pelo método das misturas e pela equação proposta por Siebel, nas temperaturas de -100, -70, -35 e -18°C e encontrou valores entre 1,43 e 1,71 W/m°C.

2.4.4.1 - Equações de condutividade térmica

NJIE et al. (1998) ao trabalharem com polpa de banana com valores de umidade variando entre 14 e 57%, propuseram a Equação 2.24:

$$\kappa = 0,901 - 0,967_{\text{exp}}^{-0,014M} \quad (2.24)$$

em que:

k - condutividade térmica experimental (W/m°C)

M - umidade (%)

KOLAROV & GROMOV (1973) descreveram a Equação 2.25 para condutividade térmica de suco de frutas.

$$\kappa = 0,140 + 0,42X_w \quad (2.25)$$

para

k - condutividade térmica experimental (W/m°C)

X_w - umidade (%)

$$\kappa = 0,53978 + 0,00418xST \quad (2.26)$$

donde:

k - condutividade térmica experimental (W/m°C)

ST - sólidos totais (%)

3 - MATERIAL E MÉTODOS

3.1 - Localização do experimento

Este trabalho foi conduzido no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas (LAPPA) do Departamento de Engenharia Agrícola, do Centro de Ciências e Tecnologia, pertencente à Universidade Federal de Campina Grande, PB, de novembro de 2003 a agosto de 2004.

3.2 - Aquisição e processamento da matéria-prima

O bacuri foi adquirido na zona rural da cidade de São Luis, MA, onde foi despulpado manualmente, congelado e transportado, via aérea, para a cidade de Campina Grande, PB, e levado para o LAPPA, realizando-se aqui as diversas determinações, conforme o fluxograma da Figura 3.1, e descritas a seguir.

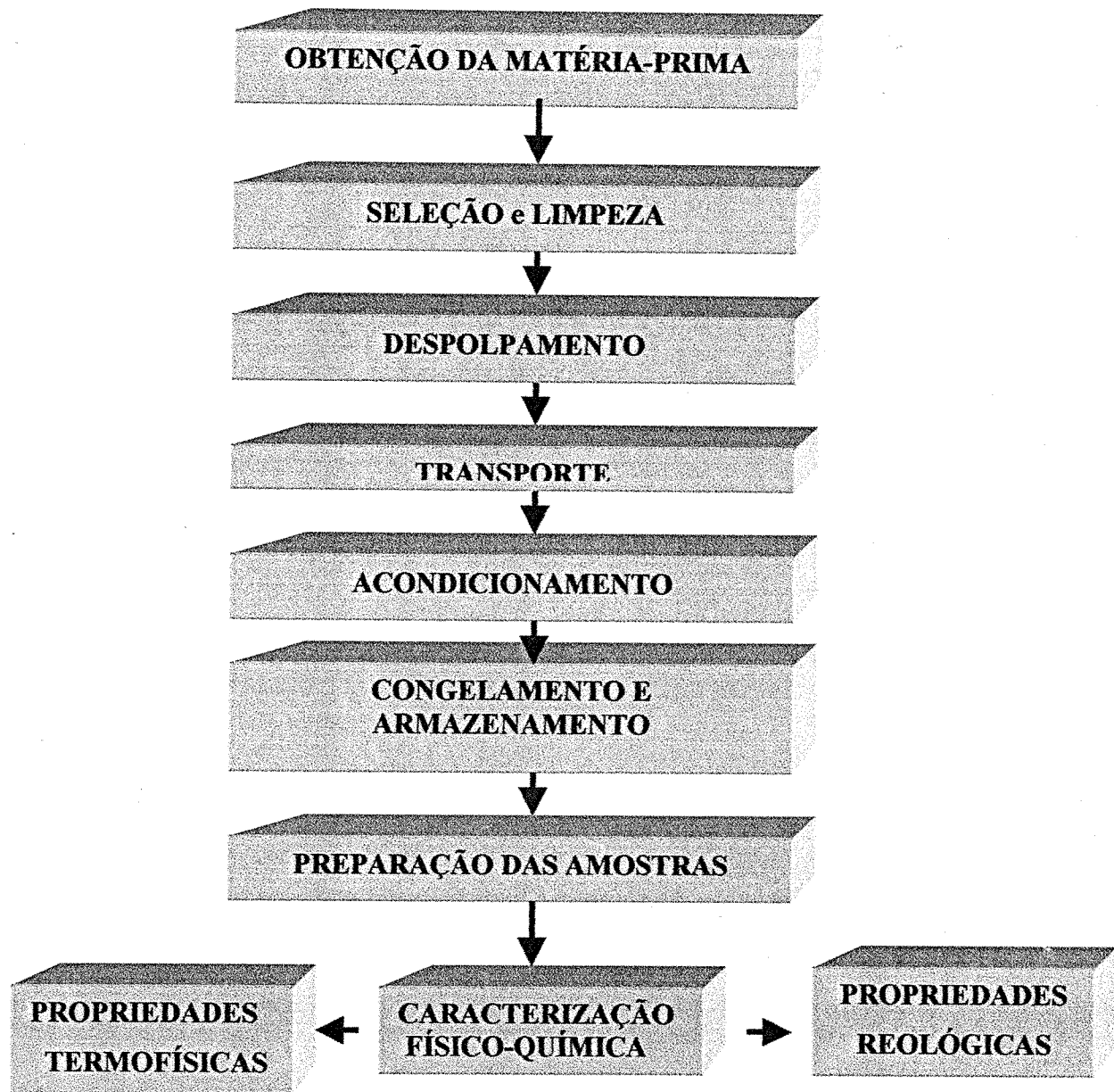


Figura 3.1 Fluxograma para obtenção da polpa do bacuri e das análises realizadas

3.2.1 - Colheita, seleção e despulpamento

Os frutos, colhidos maduros, foram selecionados e despulpados manualmente, em seguida embalados em sacos plásticos e armazenados em freezer, até o momento do embarque.

3.2.2 - Transporte

A polpa de bacuri congelada foi colocada em caixas de isopor e transportada, via aérea, para o Estado da Paraíba.

3.2.3 - Homogeneização

Com a finalidade de homogeneizar a polpa, ao chegar no laboratório, todo o material foi passado na despulpadeira com tela com crivos de 0,5 mm e embalados novamente em sacos de polietileno (1 kg).

3.2.4 - Congelamento e armazenamento

Efetuuou-se congelamento através da imersão das polpas embaladas em nitrogênio líquido, durante 1 min, sendo em seguida armazenadas em freezer, a temperatura de -20°C.

3.2.5 - Preparação das amostras

A polpa de bacuri integral foi diluída a água destilada até a obtenção dos teores de sólidos solúveis totais, de 5, 7,5, 10, 12,5, 15, 17,5 e 20°Brix (polpa integral).

3.3 - Caracterização físico-química das polpas de bacuri

3.3.1 - pH

O pH foi medido através de pHmetro, de marca Analyser modelo 300 M, previamente calibrado com soluções tampão de pH 7,0 e 4,0.

3.3.2 - Sólidos solúveis totais (°Brix)

Os sólidos solúveis totais (°Brix) foram determinados através da leitura direta das amostras, em refratômetro do tipo Abbe.

3.3.3 - Umidade

A umidade foi definida atestando-se à metodologia do INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985).

3.3.4 - Conteúdo mineral ou cinzas

O conteúdo mineral das amostras foi mensurado através da metodologia descrita pela AOAC (1997).

3.3.5 - Acidez total titulável

Determinou-se a acidez total titulável através da metodologia da AOAC (1997), em que os foram resultados expressos em percentagem de ácido cítrico.

3.3.6 - Sólidos insolúveis

Os sólidos insolúveis em água foram determinados com o método descrito pelo INSTITUTO ADOLFO LUTZ (1985), que se baseia na retenção dos sólidos insolúveis em papel de filtro.

3.3.7 - Ácido Ascórbico

O teor de ácido ascórbico das amostras foi determinado segundo o método apresentado pela AOAC (1997) e modificado por BENASSI & ANTUNES (1998), os quais utilizam ácido oxálico como solução extratora.

3.4 - Reologia

Para o estudo das determinações reológicas da polpa de bacuri (5, 7,5, 10, 12,5, 15, 17,5 e 20°Brix) utilizou-se o viscosímetro Brookfield (Figura 3.2.), modelo RVT, nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60°C. As leituras nesse equipamento foram efetuadas em triplicata, nas velocidades de 0,5, 1, 2,5, 5, 10, 20, 50 e 100 rpm, com controle da temperatura realizado através de banho-maria.

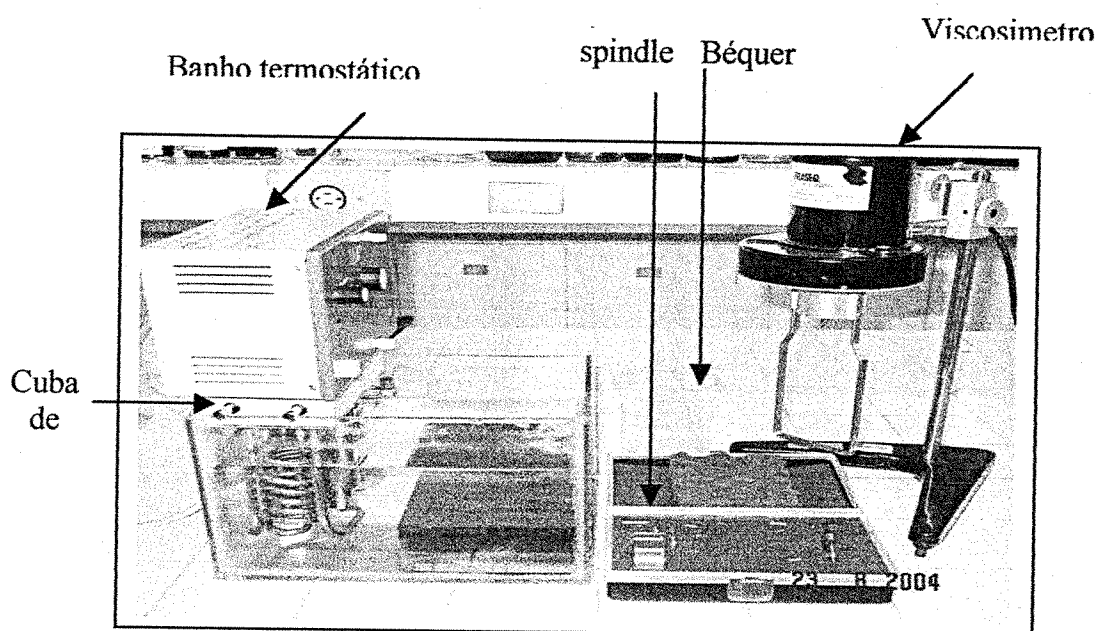


Figura 3.2. Aparelho para determinação da leitura da viscosidade do material

Com as leituras dos torques medidas no viscosímetro calcularam-se as viscosidades aparentes multiplicando-se os valores lidos por constantes discriminadas no manual do equipamento; a seguir efetuaram-se os procedimentos de transformação dessas leituras, em medidas reológicas (tensão de cisalhamento e taxa de deformação), seguindo-se a metodologia de MITSCHKA (1982).

Para a obtenção das tensões de cisalhamento (Eq. 3.1), em Pa, multiplicaram-se os valores da leitura do torque (α_1), pelo fator K_{at} dado em MITSCHKA (1982).

$$\tau_i = k_{at} \alpha_i \quad (3.1)$$

em que:

τ_i - tensão de cisalhamento (Pa)

k_{at} - fator que correspondente ao spindle utilizado

α_i - leitura do torque

A taxa de deformação ($\dot{\gamma}$) (Eq. 3.2), em s^{-1} , foi determinada multiplicando-se a velocidade de rotação (N_i) pelo fator $k_{N\dot{\gamma}}$, indicado por MITSCHKA (1982).

$$\dot{\gamma} = k_{N\dot{\gamma}} N_i \quad (3.2)$$

Para :

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

$k_{N\dot{\gamma}}$ - fator função do índice de comportamento do fluido e do spindle

N_i - velocidade de rotação (rpm)

3.4.1 - Modelos reológicos

Os modelos de Ostwald-de-Waele ou Lei da potência (Eq. 3.3), Mizrahi-Berk (Eq. 3.4) e Herschel-Bulkley (Eq. 3.5) foram ajustados às curvas da tensão de cisalhamento, em função da taxa de deformação para descrever o comportamento reológico da polpa de bacuri, nas sete concentrações:

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (3.3)$$

$$\tau^{0,5} = K_{OM} + K_M \dot{\gamma}^{n_M} \quad (3.4)$$

$$\tau = \tau_{OH} + \kappa_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (3.5)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

K - índice de consistência ($Pa s^n$)

γ - taxa de deformação (s^{-1})

n - índice de comportamento do fluido (adimensional)

K_{OM} - raiz quadrada da tensão inicial (Pa)^{0,5}

K_M - índice de consistência (Pa)^{0,5}(s)ⁿ

n_M - índice de comportamento do fluido (adimensional)

τ_{OH} - tensão inicial de Herschel - Bulkley (Pa)

K_H - índice de consistência de Herschel-Bulkley (Pa sⁿ)

n_H - índice de comportamento de fluido (adimensional)

3.5 - Propriedades termofísicas

3.5.1 - Calor específico

Determinou-se o calor específico da polpa de bacuri utilizando-se um calorímetro de mistura (Figura 3.3), que consiste em uma garrafa térmica, com capacidade para 1.000 mL, envolto em uma carapaça de PVC e, entre essa carapaça e a garrafa térmica, uma camada de 5 cm de isolante térmico (lã de vidro).

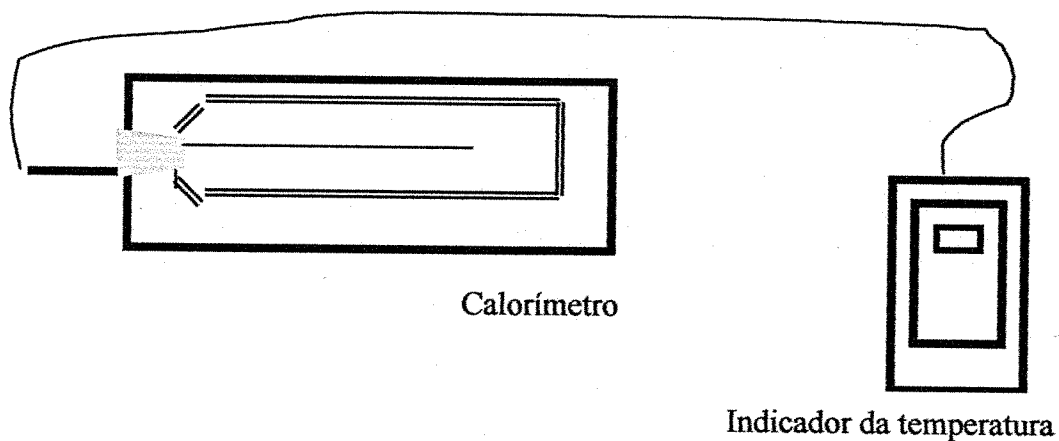


Figura 3.3 - Esquema do calorímetro de mistura

Para se obter calor específico das amostras colocou-se, inicialmente, no calorímetro, uma massa de água (m_1) a temperatura ambiente (T_1) em seguida, adicionou-se uma massa de água gelada (m_2) com temperatura T_2 ; agitou-se o calorímetro e se anotou a massa m_3 e a temperatura T_3 no equilíbrio; posteriormente, colocou-se a amostra com

massa (m_p) e temperatura (T_4) conhecidas, agitava-se novamente o equipamento foi agitado e se anotou a temperatura no equilíbrio (T_5).

Para determinar a capacidade calorífica do calorímetro, utilizou-se o balanço de calor da Equação 3.6.

$$C_1 m_1 (T_1 - T_3) + C_{cal} (T_1 - T_3) = C_2 m_2 (T_3 - T_2) \quad (3.6)$$

donde:

c_1 e c_2 - calor específico da água (cal/g°C)

m_1 - massa de água à temperatura ambiente (g)

m_2 - massa de água refrigerada (g)

C_{cal} - capacidade calorífica do calorímetro (cal/°C)

Para determinação do calor específico do produto, lançou-se mão da Equação 3.7:

$$m_p c_p (T_4 - T_5) = c_1 m_3 (T_5 - T_3) + C_{cal} (T_5 - T_3) \quad (3.7)$$

sendo:

m_p - massa do produto (g)

c_p - calor específico do produto (cal/g°C)

c_1 - calor específico da água (cal/g°C)

m_3 - soma das massas m_1 e m_2

T_4 - temperatura inicial do produto (°C)

T_5 - temperatura de equilíbrio (°C)

Empregaram-se, para a determinação do calor específico teórico, equações de ajuste apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Equações para o cálculo do calor específico de alimento

Equação	Fonte
$C_p = 1,675 + 2,512X_w$	DICKERSON (1968)
$C_p = 0,837 + 3,349X_w$	Siebel, citado por CHOI & OKOS (1986)
$C_p = 4,1713 - 0,0279B$	VIEIRA (1996)
$C_p = 1,465 + 2,721X_w$	Lamb, citado por CHOI & OKOS (1986)
$C_p = 4,18 + (6,839 \times 10^{-5}T - 5,03 \times 10^{-2})S$	MANOHAR et al. (1991)

em que:

C_p - calor específico (kJ/kg°C)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

B - concentração (°Brix)

S - sólidos totais (%)

T - temperatura (°C)

3.5.2 - Massa específica

Para a determinação das massas específicas da polpa de bacuri nas diferentes concentrações (5,0, 7,5, 10,0, 12,5, 15,0, 17,5 e 20,0°Brix), em sextuplicata, utilizou-se picnômetro de 25 ml, previamente calibrado com água destilada, nas temperaturas de 25 e 30°C. O cálculo da massa específica foi realizado através da Equação 3.8.

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (3.8)$$

na qual :

ρ - massa específica do produto (kg/m³)

v - volume do picnômetro (m³)

m - massa do produto (kg)

Para a determinação da massa específica teórica, utilizaram-se equações existentes na literatura, apresentadas na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 – Equações para cálculo de massa específica em alimentos

Equação	Fonte
$\rho = 1002 + 4,61B - 0,460T + 7,001 \times 10^{-3}T^2 - 9,175 \times 10^{-5}T^3$	ALVARADO & ROMERO (1989)
$\rho = 1.035,3 - 0,07429T - 0,00643T^2$	ARAUJO et al. (2001)
$\rho = 1.068,65 - 0,4579X_w - 0,3867T$	PEREIRA et al. (2002)

donde:

ρ - massa específica (kg/m³)

X_w - umidade (%)

B - concentração (°Brix)

T - temperatura (°C)

3.5.3 - Difusividade térmica

Para determinação da difusividade térmica, utilizou-se a metodologia de DICKERSON (1965). O aparato utilizado (Figura 3.4), semelhante ao citado pelo referido pesquisador, consiste em um cilindro metálico (com 0,049 m de diâmetro interno, 0,30 m de comprimento externo e 0,23 m de comprimento útil interno), com dois termopares acoplados, um na superfície do cilindro e o outro no centro além de duas rolhas de nylon nas extremidades para fazer a vedação.

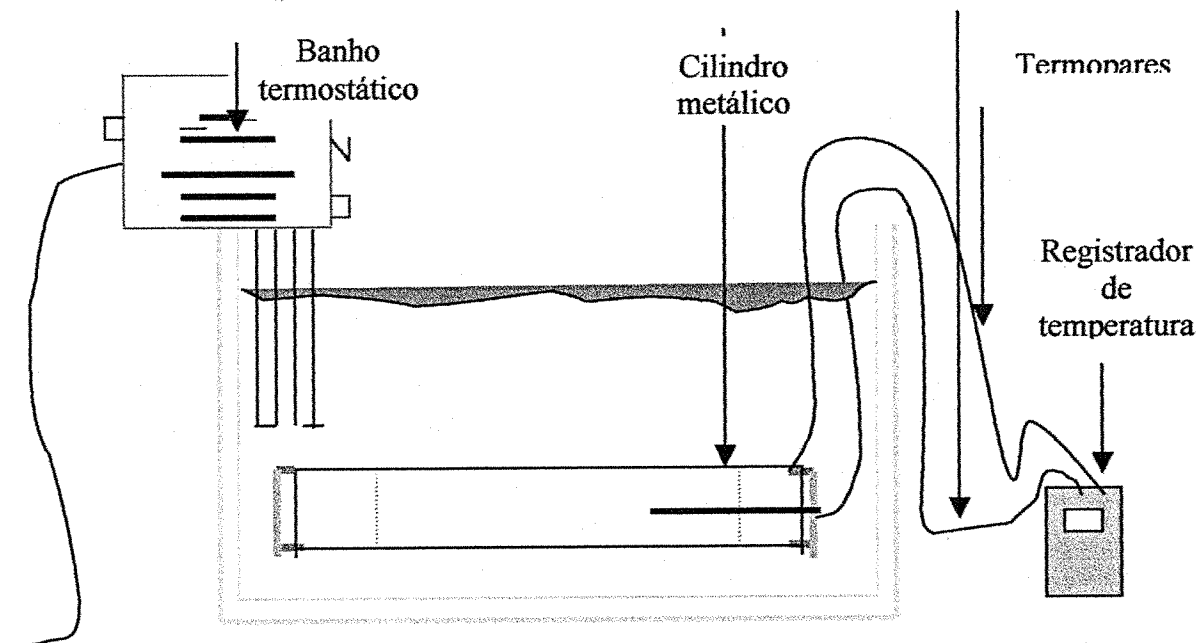


Figura 3.4 - Aparelho para determinação da difusividade térmica

Antes de se colocar a amostra no cilindro, adicionou-se, às amostras, cerca de 1% de ágar-ágar, para evitar a convecção natural dentro do cilindro; a seguir, mergulhava-se o aparato em banho-maria, ajustando-o a temperatura para 60°C, registrando-se as temperaturas na superfície e no centro do cilindro, em intervalos de 1 min.

Para os cálculos de difusividade térmica utilizou-se a Equação 3.9.

$$\alpha = \frac{AR_c^2}{4(T_s - T_c)} \quad (3.9)$$

então:

α - difusividade térmica (m²/s)

A - taxa de aquecimento do banho (min)

R_c - raio do cilindro (m)

T_s - temperatura na superfície do cilindro de raio R (°C)

T_c - temperatura no centro do cilindro (°C)

Foi determinada, para cada amostra, a taxa de aquecimento do banho, obtida através do coeficiente angular da reta do gráfico temperatura na superfície do cilindro, em função do tempo (Apêndice B) e se utilizaram as equações teóricas apresentadas na Tabela 3.3, para determinação da massa específica.

Tabela 3.3 - Equações para cálculo de difusividade térmica em alimentos

Equação	Fonte
$\alpha = [0,057363X_w + 0,000288.T]10^{-6}$	Martens, citado por SINGH (1982)
$\alpha_{exp} = 7,9683x10^{-8} + 5,9839x10^{-8} X_w + 0,02510x10^{-8} T$	TELIS-ROMERO et al. (1998)
$\alpha = \alpha_w X_w + \alpha_s X_s$	
Em que:	
$\alpha_w = (0,1363 + 0,00048754T - 0,0000016316T^2)10^{-6}$	CHOI & OKOS (1983)
$\alpha_s = (0,0095075 + 0,0002347T + 0,0000017608T^2)10^{-6}$	

em que:

α - difusividade térmica (m^2/s)

T - temperatura (K; °C)

α_w - difusividade térmica da água (m^2/s)

α_s - difusividade térmica dos sólidos (m^2/s)

X_w - fração mássica da água (adimensional)

X_s - fração mássica dos sólidos (adimensional)

3.5.4 - Condutividade térmica

A condutividade térmica das polpas do bacuri foi definida pela Equação 3.10, que relaciona a massa específica, o calor específico e a difusividade térmica.

$$k = \alpha \rho C_p \quad (3.10)$$

donde:

k - condutividade térmica ($W/m^{\circ}C$)

α - difusividade térmica (m^2/s)

ρ - massa específica (kg/m^3)

C_p - calor específico ($kJ/kg^{\circ}C$)

Para as a determinação da massa específica, foram utilizadas equações teóricas apresentadas na Tabela 3.4.

Tabela 3.4 - Equações para cálculo de condutividade térmica em alimentos

Equação	Fonte
$k = 0,140 + 0,42X_w$	KOLAROV & GROMOV (1973)
$k = 0,53978 + 0,00418xST$	PEREIRA et al. (2003)
$k = 0,901 - 0,967 \exp^{-0,014M}$	NJIE et al. (1998)

sendo:

k - condutividade térmica experimental (W/m°C)

M - umidade (%)

X_w - umidade (adimensional)

ST - sólidos totais (%)

3.6 - Análise estatística

Na análise estatística dos dados usou-se o programa ASSISTAT, versão 6.7 (SILVA & AZEVEDO, 2001), para os dados da caracterização físico-química e calor específico foi utilizado o delineamento inteiramente casualizado, com a comparação entre médias pelo teste de Tukey.

Os dados de massa específica, foram avaliados segundo o esquema fatorial 7 x 2 x 6 (7 concentrações, 2 temperaturas e 6 repetições) enquanto as viscosidades aparentes foram comparadas de acordo com o esquema fatorial 7 x 6 x 3 (7 concentrações, 6 temperaturas e 3 repetições).

4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Caracterização físico-química das polpas de bacuri

Para que haja comparação entre os materiais oriundos de lugares diferentes, tem-se que levar em consideração os fatores edafoclimáticos, pois através deles os frutos apresentarão características peculiares.

Nas Tabelas A.1 a A.3 (Apêndice A) encontram-se as análises de variância dos dados de pH, acidez total titulável e ácido ascórbico. Observa-se, na análise de variância, na Tabela A.1, que não houve efeito significativo, pelo do teste F, da concentração sobre o pH das polpas de bacuri. Com relação à acidez total titulável e ao ácido ascórbico observou-se, nas Tabelas A.2 e A.3, respectivamente, significância do teste F, a nível de 1% de probabilidade para o fator concentração da polpa de bacuri.

Na Tabela 4.1 são apresentadas as composições médias do pH, acidez total titulável e ácido ascórbico da polpa do bacuri, em diferentes concentrações, verificando-se que não existe diferença significativa entre os valores médios do pH das polpas de bacuri nas diferentes concentrações e que a média geral do pH do bacuri foi de 3,17, inferior, portanto, ao valor determinado por SOUZA (1996) de 3,84. A acidez total titulável diminuiu de forma significativa com a redução da concentração, apresentando maior valor para a amostra da polpa integral, de cerca de 1,67% de ácido cítrico. CARVALHO et al. (2002) relataram acidez para um tipo de bacuri, de 1,12%.

O ácido ascórbico apresentou tendência de diminuição com a redução da concentração; entretanto, observa-se ausência de diferença significativa entre as amostras com 5,0 e 7,5°Brix, e entre as amostras de 7,5 a 17,5°Brix. A redução do ácido ascórbico da amostra com 20°Brix, em relação à de 5°Brix, foi de aproximadamente 34,4%. MORTON (1987) observou valor superior do ácido ascórbico para o bacuri (33mg/100g). O baixo valor do ácido ascórbico determinado no presente trabalho pode ser atribuído às perdas ocorridas durante as etapas do processamento, sobretudo durante a homogeneização.

Tabela 4.1 - pH, acidez total titulável e ácido ascórbico das polpas de bacuri com diferentes concentrações

Concentração (°Brix)	pH	Acidez total titulável (% ácido cítrico)	Ácido ascórbico (mg/100g)
5,0	2,96 a	0,3993 g	1,0250 c
7,5	3,24 a	0,7366 f	1,1770 bc
10,0	3,23 a	0,8825 e	1,2053 b
12,5	3,21 a	1,1522 d	1,2290 b
15,0	3,19 a	1,4065 c	1,2623 b
17,5	3,19 a	1,4822 b	1,3217 b
20,0*	3,18 a	1,6684 a	1,5627 a
MG	3,17	1,1040	1,2547
DMS	0,6	0,0475	0,1578
CV (%)	6,98	1,54%	4,51

* Polpa integral; MG - média geral, CV - coeficiente de variação, e DMS - desvio mínimo significativo.

Obs.: médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade

Na Tabela A.4 (Apêndice A), vê-se que, de acordo com a análise de variância, existem diferenças entre os valores médios das cinzas para as polpas de bacuri nas diversas concentrações, a nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

A Tabela 4.2 apresentam os percentuais de cinzas (conteúdo mineral) das amostras de bacuri, os quais variaram de 0,1 a 0,4%. Os teores diminuíram significativamente com a redução da concentração, sendo esse decréscimo de 71,1%, entre a amostra a 20°Brix e a 5°Brix. O valor das cinzas da polpa integral (20°Brix) é igual ao valor obtido por CAVALCANTE (1991) ou seja, de 0,40%.

Tabela 4.2 - Cinzas das polpas de bacuri em diferentes concentrações

Concentração (°Brix)	Cinzas (%)
5,0	0,1166 g
7,5	0,2066 f
10,0	0,2566 e
12,5	0,3066 d
15,0	0,3466 c
17,5	0,3666 b
20,0*	0,4033 a

MG = 0,2862% ; DMS = 0,0161; CV (%) = 2,01

* Polpa integral; MG - média geral, CV - coeficiente de variação, e DMS - desvio mínimo significativo.

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo teste Tukey, a nível de 5% de probabilidade

Da análise de variância dos dados obtidos para os sólidos totais do bacuri nas diferentes concentrações observa-se, na Tabela A.5 (Apêndice A) que o valor de F é significativo a nível de 1% de probabilidade.

Já na Tabela 4.3 tem-se os valores médios dos sólidos totais para as amostras estudadas, os quais aumentaram 273,1% entre as amostras de 5,0 e 20,0 °Brix; desta forma, consta-se que os valores dos sólidos totais são estatisticamente diferentes, exceto entre as amostras com 17,5 e 20°Brix. GUIMARÃES (1992) verificou, para amostras de bacuri *in natura*, teores de sólidos totais de 18,73%, estando de acordo com o valor determinado para a polpa integral.

Tabela 4.3 - Valores médios dos sólidos totais da polpa de bacuri

Concentração (°Brix)	Sólidos totais (%)
5,0	5,09 f
7,5	9,17 e
10,0	12,68 d
12,5	15,11 c
15,0	16,86 b
17,5	18,38 a
20,0*	18,99 a

DMS = 1,21; MG = 13,754%; CV% = 3,17

* Polpa integral; MG - média geral, CV - coeficiente de variação e DMS - desvio mínimo significativo.

Obs.: médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo teste Tukey a nível de 5% de probabilidade

Constata-se, na Tabela A.6 (Apêndice A) haver diferença significativa entre os sólidos insolúveis em água das várias amostras, a nível de 1% de probabilidade pelo teste F

De acordo com a Tabela 4.4, tem-se os teores médios dos sólidos insolúveis em água para as amostras de polpa de bacuri, e se observa redução do teor de sólidos insolúveis com a diminuição da concentração do material para a maioria das amostras, enquanto se nota entre as polpas a 20,0 e a 5,0°Brix, decréscimo dos sólidos insolúveis de 81%.

Tabela 4.4 - Valores médios dos sólidos insolúveis em água da polpa de bacuri, em função da concentração

Concentração (°Brix)	Sólidos insolúveis em água (%)
5,0	1,24 f
7,5	2,00 e
10,0	2,82 d
12,5	3,90 c
15,0	4,02 c
17,5	5,31 b
20,0*	6,51 a

DMS para colunas = 0,31; MG = 3,69%; CV% = 2,98

* Polpa integral; MG - média geral, CV - coeficiente de variação e DMS - desvio mínimo significativo.

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a nível de 5% de probabilidade

A Tabela A.7 apresenta os resultados da análise de variância dos valores de umidade das polpas de bacuri, e mostra que a análise resultou em diferença significativa entre as amostras, a nível de 1% de probabilidade, pelo teste F.

São apresentados na Tabela 4.5 os valores médios referentes à percentagem de umidade das amostras, constando-se então, que não existe diferença significativa entre as amostras com 17,5 e 20°Brix, de acordo com o teste Tukey, a nível de 5% de probabilidade. Como esperado, a umidade aumentou com o acréscimo de água destilada adicionada às amostras, resultando na maior umidade a amostra com menor concentração

(5°Brix). O valor da umidade na polpa integral de bacuri é semelhante ao valor determinado por CAVALCANTI (1991) de 80,70%.

Tabela 4.5 - Valores médios da umidade da polpa de bacuri, em função da concentração

Concentração (°Brix)	Umidade (%)
5,0	94,9067 a
7,5	90,8300 b
10,0	87,3200 c
12,5	84,8867 d
15,0	83,1367 e
17,5	81,5067 f
20,0*	81,0067 f

DMS = 1,2301; MG = 86,2276% ; CV% = 0,5116

* Polpa integral; MG - média geral, CV - coeficiente de variação e DMS - desvio mínimo significativo.

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade

Na Tabela 4.6. tem-se as equações do tipo linear, quadrática e cúbica, propostas para os ajustes dos valores experimentais das propriedades físico - químicas da polpa do bacuri em diferentes concentrações, observa-se, que para o ajuste dos valores preditos para acidez total titulável, levando-se em consideração o critério do coeficiente de determinação, as equações que melhor se ajustaram, foram a quadrática e a cúbica, apresentando valores acima de 0,99. Para o ácido ascórbico a equação que melhor se ajustou ao R^2 foi a cúbica, mostrando valor acima de 0,99; a equação do tipo quadrática não foi significativa, como se observa no quadro de análise de variância, no apêndice A, na Tabela A2; O valor dos sólidos totais apresentou melhor ajuste para a equação do tipo quadrática, com o R^2 acima de 0,99, porém não foi significativo a equação do tipo exponencial, como se nota-se no apêndice A, na Tabela A3; a umidade indicou o melhor ajuste na equação do tipo quadrática, com valor do coeficiente de determinação acima de 0,99; a equação do tipo exponencial não foi significativa, como mostra no apêndice A, na Tabela 4. Para as cinzas, observa-se que as melhores equações ajustadas foram a quadrática e a exponencial, porém esta última apresentou valor um pouco superior, ou seja, do R^2 0,9981. Além disso, para os sólidos insolúveis a equação que melhor se ajustou

para os dados experimentais, foi a exponencial, com valor acima de 0,99, levando-se em consideração o coeficiente de determinação.

Tabela 4.6 – Parâmetros das equações de regressão das propriedades físico-químicas da polpa do bacuri diferentes concentrações e coeficientes de determinação

Equações	Acidez total titulável (% ac. Cítrico)				
	a	b	c	d	R ²
ATT = a + bB	6,42 x 10 ⁻²	8,31x10 ⁻²	-	-	0,9795
ATT = a + bB + cB ²	-0,21	0,13	-2,16x10 ⁻³	-	0,9919
ATT = a + bB + cB ² + dB ³	0,21	0,13	-2,13x10 ⁻³	-8,59x10 ⁻⁷	0,9919
Acido ascórbico (mg/100g)					
AA = a + bB	0,90	2,79x10 ⁻²	-	-	0,8501
AA = a + bB + cB ² + dB ³	0,21	0,252	-2,12x10 ⁻²	5,9x10 ⁻⁴	0,9952
Sólidos totais (%)					
ST = a + bB	2,27	0,91	-	-	0,9374
ST = a + bB + cB ²	-4,89	2,28	-5,45x10 ⁻²	-	0,9994
umidade (%)					
U = a + bB	97,75	-0,92	-	-	0,9376
U = a + bB + cB ²	104,91	-2,28	5,45x10 ⁻³	-	0,9993
Cinzas (%)					
C = a + bB	0,05	1,81x10 ⁻²	-	-	0,9567
C = a + bB + cB ²	4,97x10 ⁻²	0,03	-8,31x10 ⁻⁴	-	0,9941
C = a + B + cB ² + dB ³	-0,14	6,66x10 ⁻²	3,27x10 ⁻³	6,52x10 ⁻⁵	0,9981
Sólidos insolúveis (%)					
SI = a + bB	-0,52	-	-	-	0,9800
SI = a + B + cB ²	0,13	0,21	5,03x10 ⁻³	-	0,9841
SI = a + bB + cB ² + dB ³	-1,77	0,78	-0,04	1,35x10 ⁻³	0,9944

B- Concentração (°Brix); ATT – acidez total titulável; AA – Ácido ascórbico; ST – Sólidos totais, U – umidade; C – Cinzas e SI – Sólidos insolúveis

4.2 - Estudo reológico

4.2.1 - Viscosidades aparentes

4.2.1.1 - Efeito da temperatura e velocidade de rotação

De acordo com os dados apresentados na Tabela 4.7, na qual se observam as viscosidades aparentes médias das amostras a 5,0°Brix em seis temperaturas, para oito velocidades de rotação do spindle, constata-se que as viscosidades aparentes diminuíram com o aumento da velocidade de rotação. Entre as velocidades de 50 e 100 rpm em todas as temperaturas e entre as velocidades de 10 e 20 rpm nas temperaturas de 30, 40 e 50°C, as reduções não são estatisticamente significantes, mas mantêm a tendência de redução; nos demais casos as reduções foram estatisticamente significantes. Essas reduções atingiram percentuais de cerca de 98% entre as velocidades de 0,5 e 100 rpm; também se observam reduções das viscosidades aparentes com o aumento de temperatura, casos em que as reduções são menos acentuadas, não se detectando diferenças estatísticas entre temperaturas, nas rotações de 20, 50 e 100 rpm; apesar disso, as viscosidades apresentaram tendência numérica de diminuição com o aquecimento em todas as rotações, variando entre 10 e 60°C de 16% (0,5 rpm) a 60% (100 rpm).

SANCHEZ et al. (2001) ao trabalharem com pasta de tomate, constataram redução da viscosidade, com o aumento da temperatura.

Tabela 4.7 - Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de bacuri a 5°Brix a diferentes temperaturas

T (°C)	Velocidade de rotação (rpm)							
	0,5	1,0	2,5	5,0	10	20	50	100
10	33,17 aA	27,67 aB	17,50 aC	9,00 aD	6,50 aE	4,27 aF	1,93 aG	1,14 aG
20	30,00 bA	27,33 aB	18,13 aC	8,47 abD	6,70 aE	3,98 aF	1,07 aG	0,77 aG
30	30,00 bA	21,67 bB	12,53 bC	7,47 abcD	5,60 abE	4,07 aE	0,97 aF	0,60 aF
40	28,67 bcA	19,67 cB	10,40 cC	7,20 bcD	5,20 abE	3,78 aE	0,87 aF	0,56 aF
50	28,67 bcA	17,67 dB	8,67 dC	6,60 cD	4,63 bE	3,33 aE	0,85 aF	0,50 aF
60	27,87 cA	15,13 eB	8,61 dC	6,33 cD	4,40 bE	2,75 aF	0,80 aG	0,45 aG

DMS para colunas = 1,55; DMS para linhas = 1,64; MG = 10,29 Pa.s; CV% = 6,32

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

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

Observando-se a Tabela 4.8 com as viscosidades aparentes para as amostras a 7,5°Brix, nota-se que os valores de viscosidade decrescem em todas as temperaturas com o aumento da rotação situando-se, tais decréscimos entre as rotações de 0,5 a 100 rpm, em torno de 98%, repetindo os resultados das amostras a 5,0°Brix. Da mesma forma, entre as viscosidades aparentes para 50 e 100 rpm não se verificam diferenças estatísticas, exceto na temperatura de 10°C, mas a tendência de diminuição permanece e de forma estatisticamente significativa entre viscosidades obtidas para as demais rotações. O aquecimento das amostras acarretou diminuição das viscosidades aparentes, variando referidas reduções, de 28,6% para a rotação de 10 rpm a 63,1%, para a rotação de 50 rpm, ambas entre as temperaturas de 10 e 60°C.

Tabela 4.8 Valores médios da viscosidade aparente (Pa s) das polpas de bacuri a 7,5°Brix nas diferentes temperaturas

T (°C)	Velocidade de rotação (rpm)							
	0,5	1,0	2,5	5,0	10	20	50	100
10	40,00 aA	30,00 aB	17,00 aC	10,00 aD	7,00 aE	5,33 aF	2,17 aG	1,20 aH
20	31,67 bA	25,67 bB	16,83 aC	8,00 bD	7,00 aE	4,83 bF	1,22 bG	0,83 abG
30	31,67 bA	25,00 cB	14,00 bC	7,83 bcD	6,00 bE	4,00 cF	1,16 bcG	0,80 abG
40	30,00 cA	24,00 dB	12,00 cC	7,43 cD	5,50 cE	3,97 cdF	1,16 bcG	0,84 abG
50	29,00 dA	20,00 eB	11,00 dC	7,50 cD	5,00 dE	3,57 dF	0,81 bcG	0,60 bG
60	28,00 eA	17,00 fB	8,41 eC	7,00 dD	5,00 dE	3,00 eF	0,80 cG	0,52 bG

DMS para colunas = 0,41; DMS para linhas = 0,44; MG = 11,07 Pa s; CV% = 1,56

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.9, são apresentados os valores das viscosidades aparentes médias das amostras a 10,0°Brix, e se tem comportamentos idênticos das viscosidades nas amostras a 5,0 e a 7,5°Brix, decrescendo com o aumento da rotação e temperatura, reduzindo-se, assim, entre as menor e maior rotações, na mesma faixa de valor percentual de 98%, variando entre as temperaturas extremas entre 18% (1,0 rpm) e 73% (50 rpm). Nesta concentração, alguns valores isolados de viscosidade aparente fogem de tal comportamento, gradativamente decrescente, como é o caso das viscosidades na rotação de 0,5 rpm e temperatura de 30°C, rotação 1,0 rpm e temperatura de 60°C, rotação de 2,5 rpm e temperaturas de 20 e 50°C e rotação de 20 rpm e temperatura de 40°C, o que, porém não

configura, uma fuga do comportamento geral de decréscimo. Comparando-os com os dados de PELEGRINE et al. (2002), para polpas de abacaxi e manga, concluiu-se que as viscosidades também diminuíram com o aumento da temperatura, para os dois tipos de polpa.

Tabela 4.9- Valores médios de viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 10°Brix a temperaturas diferentes

T (°C)	Velocidade de rotação (rpm)							
	0,5	1,0	2,5	5,0	10	20	50	100
10	60,00 aA	33,00 aB	18,93 aC	11,60 aD	7,63 aE	7,63 aE	3,00 aG	1,24 aH
20	39,00 cA	31,00 bB	19,40 aC	11,00 bD	7,23 aE	4,00 aF	2,07 bG	1,03 abH
30	42,00 bA	30,67 bB	15,87 bC	10,00 cD	7,13 aE	3,17 bF	1,70 bG	1,07 abH
40	36,00 dA	28,00 cB	13,87 cdC	9,27 dD	6,00 bE	4,33 aF	1,60 bG	0,70 bH
50	32,00 eA	26,00 eB	14,00 cC	8,17 eD	5,50 bcE	4,00 aF	0,85 cG	0,60 bG
60	30,00 fA	27,00 dB	13,40 dC	8,27 eD	5,00 cE	4,00 aF	0,82 cG	0,55 bG

DMS para colunas = 0,53; DMS para linhas = 0,56; MG = 13,45 Pa.s; CV% = 1,65

DMS – Desvio mínimo significativo, MG – Média geral, CV – Coeficiente de variação

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade

De conformidade com a Tabela 4.10, que apresenta as viscosidades aparentes médias das amostras a 12,5°Brix, repetem-se, como nas amostras em concentrações inferiores, as reduções de viscosidades aparentes com aumento da velocidade de rotação e da temperatura, em que as reduções com a rotação se dão no mesmo nível percentual de 98% entre 0,5 e 100 rpm, enquanto os decréscimos com a temperatura apresentam maior amplitude, variando de 26% a 2,5 rpm a 77% a 50 rpm entre as temperaturas de 10 e 60°C. Observa-se ainda valor discrepante apenas a 20 rpm, na temperatura de 40°C, tratando-se de caso isolado. Em trabalho realizado com suco de morango, FORTUNA (2003) também observou esses decréscimos das viscosidades, com o aumento da temperatura.

Tabela 4.10. Valores médios das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de bacuri a 12,5°Brix, a diferentes temperatura

T (°C)	Velocidade de rotação (rpm)							
	0,5	1,0	2,5	5,0	10	20	50	100
10	60,00 aA	40,00 aB	19,00 aC	15,00 aD	7,40 aE	4,00 aF	4,00 aF	1,80 aG
20	45,00 bA	36,00 bB	18,00 bC	12,00 bD	7,00 bE	4,00 aF	2,00 bG	1,00 bH
30	44,00 cA	34,00 cB	17,00 cC	11,00 cD	7,00 bE	3,33 bF	1,80 cG	0,80 cH
40	40,00 dA	30,00 dB	16,00 dC	10,00 dD	6,00 cE	4,17 aF	1,70 cG	0,70 cdH
50	39,00 eA	25,17 eB	14,00 eC	9,00 eD	5,60 dE	3,50 bF	0,90 dG	0,60 dH
60	38,00 fA	25,00 eB	14,00 eC	8,60 fD	5,10 eE	1,00 cF	0,90 dF	0,60 dG

DMS para colunas = 0,18; DMS para linhas = 0,19; MG = 14,47 Pa s; CV% = 0,53

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

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

Na Tabela 4.11 são apresentados os valores médios das viscosidades aparentes da polpa de bacuri a 15°Brix, nas diferentes temperaturas e velocidades. Observando-se os valores médios das viscosidades aparentes, nota-se haver diminuição com o aumento da temperatura, para cada velocidade em particular. Também constata-se que as viscosidades diminuem com o aumento das velocidades, para cada temperatura. Para todos os dados relativos à rotação, verifica-se que a diminuição das rotações se dão no mesmo percentual de 98% entre 0,5 e 100 rpm; já para os decréscimos das temperaturas entre 10 e 60°C, com relação a cada velocidade, observa-se que houve uma variação de 26% a 10 rpm, a 82% a 50 rpm. JUSZCZAK et al. (2003) ao realizarem trabalho determinando as propriedades reológicas de mostarda, observaram diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da temperatura.

Tabela 4.11. Valores médios das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de bacuri a 15°Brix, nas diferentes temperaturas

T (°C)	Velocidade de rotação (rpm)							
	0,5	1,0	2,5	5,0	10	20	50	100
10	62,00 aA	43,67 aB	19,47 aC	16,00 aD	7,87 aE	4,17 aF	4,02 aF	1,20 aG
20	48,00 bA	39,00 bB	19,00 bC	14,00 bD	8,00 aE	3,67 bF	2,80 bG	0,90 abH
30	46,00 cA	38,00 cB	18,00 cC	13,00 cD	7,00 bE	3,80 abF	2,00 cG	0,75 bH
40	45,00 dA	35,33 dB	16,58 cC	11,00 dD	6,00 cE	3,50 bF	1,08 deG	0,71 bG
50	42,67 eA	31,00 eB	15,17 eC	10,17 eD	6,00 cE	3,50 bF	1,20 dG	0,70 bH
60	40,00 fA	27,00 fB	14,00 fC	10,00 eD	5,80 cE	1,00 cF	0,71 eFG	0,56 bG

DMS para colunas = 0,39; DMS para linhas = 0,42; MG = 15,63 Pa s; CV% = 1,06

DMS – Desvio mínimo significativo, MG – Média geral, CV – Coeficiente de variação

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

Na Tabela 4.12 que abriga as viscosidades aparentes médias das amostras a 17,5°Brix, constata-se reduções estatisticamente significantes e graduais, entre todas as viscosidades aparentes das amostras, conforme se aumentou a velocidade de rotação, com reduções entre 0,5 e 100 rpm de cerca de 98%. Sob a influência do aumento da temperatura verificam-se, ainda, reduções gradativas estatisticamente significantes, em sete das oito velocidades utilizadas (0,5, 1,0, 2,5, 5,0, 10,0, 20,0 e 50,0 rpm) com variações entre as temperaturas mínima e máxima, de 24 a 70%.

Tabela 4.12 - Valores médios e viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 17,5°Brix nas diferentes temperaturas

T (°C)	Velocidade de rotação (rpm)							
	0,5	1,0	2,5	5,0	10	20	50	100
10	65,00 aA	45,00 aB	25,60 aC	18,00 aD	8,17 aE	5,00 aF	4,00 aG	1,19 aH
20	50,00 bA	42,00 bB	22,00 bC	17,00 bD	8,00 bE	4,50 bF	3,00 bG	0,85 bH
30	48,00 cA	40,00 cB	20,00 cC	15,00 cD	7,67 cE	4,00 cF	2,50 cG	0,75 bH
40	46,00 dA	38,00 dB	18,00 dC	13,00 dD	7,00 dE	3,70 dF	2,00 dG	0,75 bH
50	44,00 eA	35,00 eB	16,00 eC	12,00 eD	6,50 eE	3,97 cF	1,70 eG	0,70 bH
60	42,00 fA	34,00 fB	15,00 fC	11,00 fD	6,00 fE	2,00 eF	1,20 fG	0,70 bH

DMS para colunas = 0,16; DMS para linhas = 0,17; MG = 17,03 Pa.s; CV% = 0,40

DMS – Desvio mínimo significativo, MG – Média geral e CV – Coeficiente de variação

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

De acordo com os valores de viscosidade aparente, médias das amostras a 20,0°Brix, mostrados na Tabela 4.13, é possível verificar a semelhança do comportamento das viscosidades dessas polpas em relação ao aumento de velocidade de rotação quando comparado em relação as polpas a 17,5°Brix, repetindo o efeito gradual confirmado estatisticamente entre cada uma das viscosidades, com decréscimos totais em torno de 98%. Entre temperaturas, essa semelhança só ocorre para as rotações de até 5,0 rpm, embora para velocidades maiores ainda se observem as reduções verificadas em todas as outras concentrações variando, neste caso, de 24 a 62%, entre as temperaturas de 10 e 60°C.

Tabela 4.13 - Valores médios viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 20°Brix nas diferentes temperaturas

T (°C)	Velocidade de rotação (rpm)							
	0,5	1,0	2,5	5,0	10	20	50	100
10	70,00 aA	46,00 aB	28,00 aC	20,00 aD	9,00 aE	6,00 aF	4,00 aG	1,90 aH
20	60,00 bA	45,00 bB	25,00 bC	17,00 bD	8,50 bE	5,50 bF	3,50 bG	1,00 bH
30	50,00 cA	43,00 cB	23,00 cC	16,00 cD	8,00 cE	5,33 bF	3,00 cG	0,90 bH
40	47,00 dA	42,00 dB	20,00 dC	15,00 dD	7,17 dE	4,00 cF	2,63 cG	0,85 bH
50	45,00 eA	38,00 eB	18,33 eC	14,00 eD	7,00 dE	3,80 cF	2,00 dG	0,80 bH
60	43,00 fA	35,00 fB	17,00 fC	13,50 fD	6,33 eE	3,00 dF	1,90 dG	0,73 bH

DMS para colunas = 0,43; DMS para linhas = 0,45; MG = 18,49 Pa.s; CV% = 0,98

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

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

Do conjunto de dados apresentado nas Tabelas 4.7 a 4.13, para condições semelhantes de velocidade de rotação, constata-se tendência de diminuição da viscosidade com o aumento da temperatura, com respaldo na literatura. PELEGRINE et al. (2002) relataram que o aumento da temperatura faz com que a viscosidade da fase líquida diminua, aumentando a mobilidade das partículas em suspensão diminuindo, conseqüentemente, a viscosidade dos sucos e das polpas.

Segundo CABRAL et al. (2002), observou-se para polpa de cupuaçu peneirada, que a viscosidade aparente diminui com o aumento da temperatura, entre 10 e 30°C.

FERREIRA et al. (2002) ao trabalharem com polpa de caju e goiaba, com temperaturas variando de 10 a 60°C, também mostraram que o aumento da temperatura fazia com que houvesse diminuição das viscosidades aparentes.

4.2.1.2 - Efeito da concentração e velocidade de rotação

De acordo com os dados expostos na Tabela 4.14, na qual são vistos os valores médios de viscosidade aparente para as sete concentrações e oito velocidades de rotação na temperatura de 10°C, constata-se que as viscosidades aumentaram com o aumento de concentração em todas as velocidades de rotação, variando esse aumento de 38% na rotação 10 rpm a 122% na rotação 5 rpm, entre as amostras a 5,0 e a 20°Brix; o aumento médio resultou em cerca de 76%. Entre amostras com concentrações subseqüentes em alguns casos não se identificaram diferenças estatisticamente significativas, mas na maioria dos casos isto pode ser verificado.

Tabela 4.14 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 10°C nas diferentes concentrações

Veloc. de rotação (rpm)	Concentração (°Brix)						
	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
0,5	33,17 aF	40,00 aE	60,00 aD	60,00 aD	62,00 aC	65,00 aB	70,00 aA
1,0	27,67 bG	30,00 bF	33,00 bE	40,00 bD	43,67 bC	45,00 bB	46,00 bA
2,5	17,50 cE	17,00 cF	18,93 cD	19,00 cD	19,47 cC	25,60 cB	28,00 cA
5,0	9,00 dG	10,00 dF	11,60 dE	15,00 dD	16,00 dC	16,00 dC	20,00 dA
10	6,50 fE	7,00 eE	7,63 eCD	7,40 dDE	7,87 eBC	8,17 eB	9,00 eA
20	4,27 fC	5,33 fB	3,90 fC	4,00 fC	4,17 fC	5,00 fB	6,00 fA
50	1,93 gC	2,17 gC	3,00 gB	4,00 fA	4,02 fA	4,00 gA	4,00 gA
100	1,14 hB	1,20 hB	1,24 hB	1,80 gA	1,20 gB	1,19 hB	1,90 hA

DMS para colunas = 0,43; DMS para linhas = 0,45; MG = 18,21 Pa.s; CV% = 0,97

DMS – Desvio mínimo significativo, MG – Média geral, CV – Coeficiente de variação

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

Com relação aos valores médios obtidos na Tabela 4.15, na qual se tem as viscosidades aparentes médias para as sete concentrações e oito velocidades de rotação na temperatura de 20°C, as viscosidades aumentam com a concentração, oscilando entre as concentrações de 5 e 20°Brix de 27% na velocidade de rotação de 10 rpm a 228%, na velocidade de 50 rpm. Nesta temperatura, apenas os aumentos ocorridos em 1,0 rpm e 20

rpm se aproximaram percentualmente dos acréscimos observados na temperatura de 10°C para as mesmas rotações, 65% contra 66% e 38% contra 41%, respectivamente. O acréscimo médio nas viscosidades entre as concentrações máxima e mínima foi de 78% idêntico, portanto ao aumento médio para 10°C. Este acréscimo entre as concentrações e se comparando os valores com os do trabalho realizado por BHATTACHARYA (1990), para o comportamento reológico de tamarindo, também verificou-se aumento das viscosidades com o acréscimo da concentração.

Tabela 4.15 -Valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 20°C, nas diferentes concentrações

Veloc. de rotação (rpm)	Concentração (°Brix)						
	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
0,5	30,00 aG	31,67 aF	39,00 aE	45,00 aD	48,00 aC	50,00 aB	60,00 aA
1,0	27,33 bF	25,67 bG	31,00 bE	36,00 bD	39,00 bC	42,00 bB	45,00 bA
2,5	18,13 cD	16,83 cE	19,40 cC	18,00 cD	19,00 cC	22,00 cB	25,00 cA
5,0	8,47 dE	8,47 dE	11,00 dD	12,00 dC	14,00 dB	17,00 dA	17,00 dA
10	6,70 eC	6,70 eC	7,23 eBC	7,00 eC	8,00 eAB	8,00 AeB	8,50 eA
20	3,98 fC	3,98 fC	4,00 fBC	4,00 fBC	3,67 fC	4,50 fBC	5,50 fA
50	1,07 gD	1,22 gCD	2,07 gBC	2,00 gBC	2,80 fAB	3,00 gA	3,50 gA
100	0,77 gA	0,83 gA	1,03 hA	1,00 hA	0,90 gA	0,85 hA	1,00 hA

DMS para colunas = 0,85; DMS para linhas = 0,87; MG = 15,72; CV% = 2,20

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

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

A Tabela 4.16 apresentada os valores médios de viscosidades aparentes para as sete concentrações e oito velocidades de rotação na temperatura das 30°C. Entre as amostras nas concentrações de 5,0 a 20,0°Brix tem-se aumentos na faixa de 31% na velocidade de rotação de 20 rpm a 210% a 50 rpm, com aumento médio de 87% para todas as velocidades.

Tabela 4.16 -Valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 30°C nas diferentes concentrações

Veloc. de rotação (rpm)	Concentração (°Brix)						
	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
0,5	30,00 aG	31,67 aF	42,00 aE	44,00 aD	46,00 aC	48,00 aB	50,00 aA
1,0	21,67 bG	25,00 bF	30,67 bE	34,00 bD	38,00 bC	40,00 bB	43,00 bA
2,5	12,53 cG	14,00 cF	15,87 cE	17,00 cD	18,00 cC	20,00 cB	23,00 cA
5,0	7,47 dF	7,83 dF	10,00 dE	11,00 dD	13,00 dC	15,00 dB	16,00 dA
10	5,60 eC	6,00 eC	7,13 eAB	7,00 eB	7,00 eB	7,67 eAB	8,00 eA
20	4,07 fB	4,00 fB	3,17 fB	3,33 fB	3,8000 fB	4,00 fB	5,33 fA
50	0,97 gD	1,16 gCD	1,70 gBCD	1,80 gBCD	2,00 gBC	2,50 gAB	3,00 gA
100	0,60 gA	0,80 gA	1,07 gA	0,80 hA	0,7500 hA	0,75 hA	0,90 hA

DMS para colunas = 0,92; DMS para linhas = 0,95; MG = 14,63 Pa.s; CV% = 2,58

DMS – Desvio mínimo significativo, MG – Média geral e CV – Coeficiente de variação

Os valores médios de viscosidade aparente para as sete concentrações e oito velocidades de rotação na temperatura de 40°C, apresentaram-se na Tabela 4.17 O acréscimo médio de viscosidade entre as concentrações de 5,0 a 20,0°Brix foi de 85%, valor semelhante à média encontrada para a temperatura de 30°C. Os valores extremos foram de 6% e 221% para as velocidades de 20 e 50 rpm, respectivamente. Nota-se que, para cada velocidade específica, percentuais de aumento foram semelhantes entre as amostras nas temperaturas de 30 e 40°C, em que se tem, nas velocidades de 0,5, 5,0, 10,0, 50 e 100 rpm, o percentual de 67% contra 64%, 114% contra 108%, 43% contra 38%, 210% contra 211% e 50% contra 51%, respectivamente.

Tabela 4.17 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpas de bacuri a 40°C, nas diferentes concentrações

Veloc. de rotação (rpm)	Concentração (°Brix)						
	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
0,5	28,67 aG	30,00 aF	36,00 aE	40,00 aD	45,00 aC	46,00 aB	47,00 aA
1,0	19,67 bG	24,00 Fb	28,00 bE	30,00 bD	35,00 bC	38,00 bB	42,00 bA
2,5	10,40 cF	12,00 cE	13,87 cD	16,00 cC	16,17 cC	18,00 cB	20,00 cA
5,0	7,20 dF	7,43 dF	9,27 dE	10,00 dD	11,00 dC	13,00 dB	15,00 dA
10	5,20 eC	5,50 eBC	6,00 eB	6,00 eB	6,00 eB	7,00 eA	7,17 eA
20	3,78 BCf	3,97 fABC	4,3333 fA	4,17 fAB	3,50 fC	3,70 fBC	4,00 fABC
50	0,87 gD	1,16 fCD	1,60 gBC	1,70 gB	1,08 gCD	2,00 gB	2,70 gA
100	0,56 gA	0,84 gA	0,70 hA	0,70 hA	0,71 gA	0,75 hA	0,85 hA

DMS para colunas = 0,53; DMS para linhas = 0,54 Pa.s; MG = 13,48 Pa.s; CV% = 1,60

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

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

Na Tabela 4.18, em que são vistos os valores médios de viscosidade aparente para as sete concentrações e oito velocidades de rotação na temperatura de 50°C, observa-se aumento médio percentual entre concentrações de 5,0 e 20,0 °Brix de 82%, variando entre extremos de 14% a 20 rpm a 135% a 50 rpm, e, também que o aumento percentual médio se aproxima dos aumentos, nas temperaturas de 30 e 40°C.

Tabela 4.18 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 50°C, nas diferentes concentrações

Veloc. de rotação (rpm)	Concentração (°Brix)						
	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
0,5	28,67 aF	29,00 aF	32,00 aE	39,00 aD	42,67 aC	44,00 aB	45,00 aA
1,0	17,67 bG	20,00 bF	26,00 bD	25,17 bE	31,00 bC	35,00 bB	38,00 bA
2,5	8,67 cF	11,00 cE	14,00 cD	14,00 cD	15,17 cC	16,00 cB	18,33 cA
5,0	6,60 dF	7,50 dE	8,17 dE	9,00 dD	10,17 dC	12,00 dB	14,00 dA
10	4,63 eE	5,00 eDE	5,50 eCD	5,60 eCD	6,00 eBC	6,50 eAB	7,00 eA
20	3,33 fA	3,57 fA	4,00 fA	3,50 fA	3,50 fA	3,9667 fA	3,80 fA
50	0,85 gC	0,81 gC	0,85 gC	0,90 gC	1,20 gBC	1,70 gAB	2,00 Ag
100	0,50 gA	0,60 gA	0,60 gA	0,60 gA	0,70 gA	0,70 hA	0,80 hA

DMS para colunas = 0,70; DMS para linhas = 0,72; MG = 12,44 Pa.s; CV% = 2,30

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

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

Os valores médios da Tabela 4.19, indicam os valores médios de viscosidade aparente para as sete concentrações e oito velocidades de rotação na temperatura de 60°C. Verifica-se aumento médio de viscosidade entre 5 e 20°Brix de 81%, semelhante aos aumentos médios resultantes nas amostras a 40 e a 50°C. Do conjunto de aumentos médios calculados para todas as temperaturas, a variação se situa entre 76% (10°C) e 87% (30°C), sem guardar, portanto, relação com o aumento de temperatura. Nesta temperatura os aumentos variaram de 9% a 20 rpm a 137% a 50 rpm e de acordo com TORRES (2000), no trabalho realizado com mucilagem da palma, também se verificou aumento das viscosidades com aumento das temperaturas.

Tabela 4.19 - Valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 60°C, nas diferentes concentrações

Veloc. de rotação (rpm)	Concentração (°Brix)						
	5	7,5	10	12,5	15	17,5	20
0,5	27,87 aF	28,00 aF	30,00 aE	38,00 aD	40,00 aC	42,00 aB	43,00 aA
1,0	15,13 bF	17,00 bE	27,00 bC	25,00 bD	27,00 bC	34,00 bB	35,00 bA
2,5	8,61 cD	8,41 cD	13,50 cC	14,00 cC	14,00 cC	15,00 cB	17,00 cA
5,0	6,33 dF	7,00 dE	8,27 dD	8,60 dD	10,00 dC	11,00 dB	13,50 dA
10	4,40 eC	5,00 eBC	5,00 eBC	5,10 eB	5,80 eA	6,00 eA	6,33 eA
20	2,75 fB	3,00 gB	4,00 fA	1,00 fD	1,00 fD	2,00 fC	3,00 fB
50	0,80 gB	0,80 gB	0,82 gB	0,90 fB	0,71 fB	1,20 gB	1,90 gA
100	0,45 gA	0,50 gA	0,55 gA	0,60 fA	0,56 fA	0,70 gA	0,73 hA

DMS para colunas = 0,65; DMS para linhas = 0,66; MG = 11,60 Pa.s; CV% = 2,27

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

4.2.2 - Modelos reológicos

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4.20, na qual tem-se os parâmetros do modelo reológico, lei da potência ajustado de tensão de cisalhamento e taxa de deformação, para as amostras de polpa de bacuri em sete concentrações e seis temperaturas. Os ajustes aos dados experimentais podem ser considerados bons, com coeficientes de determinação (R^2) variando de 0,9545 a 0,9976 e valor médio geral de 0,9751. Os resultados para o índice de consistência (K) demonstram a ocorrência de decréscimos com o aumento da temperatura. O índice de comportamento de fluido (n) resultou menor que 1,0 em todos os casos, evidenciando o comportamento pseudoplástico de todas as amostras.

FORTUNA (2003), ao pesquisar suco de morango, utilizou o modelo da Lei da Potência para representar os dados experimentais, observando coeficientes de determinação superiores a 0,9648%. Segundo QUEIROZ et. al. (2004) ao analisarem o suco de cupuaçu também verificaram valores do índice de comportamento de fluido abaixo de 1, caracterizando-o como fluido pseudoplástico e o índice de consistência também diminuí, conforme o aumento da temperatura, para valores acima de 0,93 para o modelo da Lei da potência.

Tabela 4.20 - Parâmetros de ajuste do modelo da **Lei-da-Potência** para a polpa de bacuri em diferentes concentrações e seis temperaturas

Amostras	Temperatura (°C)	Parâmetros		R ²
		K (Pa s ⁿ)	n	
5°Brix	10	9,22	0,2945	0,9714
	20	9,59	0,2993	0,9637
	30	8,39	0,3413	0,9649
	40	6,61	0,3540	0,9792
	50	7,43	0,3477	0,9684
	60	5,62	0,3615	0,9839
7,5°Brix	10	34,30	0,2387	0,9635
	20	32,33	0,2414	0,9579
	30	23,75	0,3186	0,9684
	40	17,41	0,3727	0,9607
	50	18,90	0,2528	0,9238
	60	27,30	0,3557	0,9788
10°Brix	10	48,42	0,2550	0,9846
	20	48,48	0,2296	0,9578
	30	45,01	0,2652	0,9544
	40	34,40	0,3100	0,9730
	50	31,98	0,3174	0,9645
	60	30,14	0,3294	0,9675
12,5°Brix	10	66,15	0,3967	0,9962
	20	62,97	0,4006	0,9968
	30	66,74	0,3116	0,9717
	40	58,79	0,3403	0,9589
	50	54,31	0,2970	0,9617
	60	46,29	0,3243	0,9916
15°Brix	10	92,76	0,3355	0,9909
	20	76,09	0,3721	0,9975
	30	71,31	0,3056	0,9841
	40	58,08	0,3467	0,9681
	50	59,67	0,3191	0,9717
	60	49,71	0,3411	0,9751
17,5°Brix	10	98,46	0,3456	0,9899
	20	76,09	0,3721	0,9975
	30	78,71	0,2909	0,9770
	40	73,94	0,2988	0,9613
	50	73,48	0,2872	0,9549
	60	70,32	0,3456	0,9899
20°Brix	10	137,07	0,3566	0,9916
	20	134,39	0,3608	0,9966
	30	108,22	0,3220	0,9925
	40	99,87	0,2995	0,9791
	50	91,16	0,2958	0,9851
	60	84,26	0,3033	0,9839

Para os resultados dos parâmetros de ajuste pelo modelo de Mizrahi Berk aos dados reométricos de tensão de cisalhamento e taxa de deformação para as polpas de bacuri, expostos na Tabela 4.21, observam-se bons coeficientes de determinação (R^2), os quais variaram de 0,9455 a 0,9974%, com valor médio de 0,9750, praticamente igual ao da Lei da potência constando-se o índice de comportamento de fluido (n_M), vê-se que todos os valores se acham abaixo de 1,0, também demonstrando a evidência de um fluido não-newtoniano com características pseudoplásticas.

Comportamento idêntico foi verificado para esse mesmo modelo, por PELEGRINE et al. (2002) para polpa de manga e abacaxi, com R^2 de 0,99 e 0,93 e índice de comportamento de fluido de 0,24 e 0,20, respectivamente.

Tabela 4.21 - Parâmetros de ajuste do modelo da Mizrahi Berk para a polpa de bacuri em diferentes concentrações e seis temperaturas

Amostras	Temperatura (°C)	Parâmetros			R ²
		K _{OM} (Pa) ^{0,5}	K _M (P _a ^{0,5} .s ⁿ)	N _M	
5°Brix	10	-2736,11	27,39	0,0002	0,9870
	20	-7084,10	70,28	0,0000	0,9457
	30	-7,05114	98,49	0,0644	0,9847
	40	-3,49965	59,51	0,0957	0,9874
	50	-41,4362	44,05	0,0150	0,9887
	60	0,916930	12,72	0,2821	0,9463
7,5°Brix	10	-7,50656	13,33	0,0592	0,9533
	20	-2482,25	24,87	0,0003	0,9552
	30	-33,7477	38,44	0,0274	0,9734
	40	2,734710	16,90	0,3177	0,9581
	50	-8879,47	88,54	0,0000	0,9433
	60	-9,19614	14,18	0,0838	0,9772
10°Brix	10	-8,10269	14,99	0,0678	0,9877
	20	-8036,99	80,72	0,0001	0,9865
	30	-4614,40	46,89	0,0002	0,9790
	40	3,369121	26,37	0,2638	0,9802
	50	2,808769	29,75	0,2429	0,9676
	60	2,137933	34,54	0,2241	0,9698
12,5°Brix	10	5,221409	30,08	0,2899	0,9674
	20	-1,29169	49,14	0,1823	0,9940
	30	-166,321	56,05	0,0105	0,9862
	40	-12,2854	19,58	0,0844	0,9713
	50	-165,977	17,056	0,0088	0,9745
	60	-12,7851	19,39	0,0710	0,9943
15°Brix	10	0,936209	87,06	0,1805	0,9863
	20	1,332007	74,25	0,2079	0,9974
	30	-12,0997	20,33	0,0768	0,9891
	40	-2,72582	10,12	0,1439	0,9731
	50	-5,77519	13,34	0,1058	0,9788
	60	-3,40964	10,45	0,1247	0,9732
17,5°Brix	10	5,698551	45,59	0,2830	0,9897
	20	5,416890	44,93	0,2865	0,9941
	30	5,734051	33,68	0,2768	0,9790
	40	4,719963	39,96	0,2524	0,9403
	50	3,794502	48,11	0,2176	0,9349
	60	1,333827	6,45	0,2973	0,9550
20°Brix	10	4,308204	74,01	0,2449	0,9924
	20	12,17790	10,06	0,2453	0,9235
	30	5,519348	12,56	0,2543	0,9952
	40	-28,3126	38,53	0,0470	0,9413
	50	-4,13765	13,55	0,1142	0,9873
	60	2,057017	7,15	0,1818	0,9847

A Tabela 4.22 apresenta os parâmetros de ajuste do modelo de Herschel-Bulkley aos dados experimentais de tensão de cisalhamento e taxa de deformação. Consta-se que os coeficientes de determinação (R²) também podem ser considerados bons, variando de

0,9595 a 0,9976 e com resultado médio de 0,9814 superando, assim, o R^2 obtido com os modelos da Lei da Potência e de Mizrahi-Berk. Os resultados obtidos para o índice de consistência (K_H) não demonstram influência da temperatura sobre este parâmetro. Os valores para o índice de consistência de fluido (n_H) encontram-se, como nos demais modelos, abaixo de 1,0, confirmando o comportamento não-newtoniano e pseudoplástico das polpas, o que já era esperado uma vez que tal comportamento é corriqueiro em polpas e sucos de fruta, conforme relatado por inúmeros autores, como VIDAL et al. (2000), para polpa de manga. CABRAL et al. (2003), ao analisarem os parâmetros do modelo de Hershel Bulkley para a polpa integral do cupuaçu, verificaram que todos os valores de n_H também ficaram abaixo de 1, com valores no máximo de 0,2383 e coeficientes de determinação acima de 0,9707%.

Tabela 4.22 - Parâmetros de ajuste do modelo da **Herschel - Bulkley** para a polpa de bacuri, em diferentes concentrações e seis temperaturas

Amostras	Temperatura (°C)	Parâmetros			R ²
		τ_{OH} (Pa)	K_H (Pa s ⁿ)	n_H	
5°Brix	10	-23,5164	32,04	0,1265	0,9881
	20	-25,0866	34,26	0,1223	0,9826
	30	-11,9999	19,99	0,1964	0,9782
	40	-6,98235	12,99	0,2413	0,9866
	50	-17,2302	24,27	0,1577	0,9871
	60	-4,71609	9,87	0,2653	0,9893
7,5°Brix	10	5,989480	28,55	0,2678	0,9639
	20	-17,6985	49,57	0,1807	0,9595
	30	-21,8648	44,34	0,2185	0,9735
	40	14,27028	6,109	0,5834	0,9761
	50	-222,209	47,45	0,0325	0,9696
	60	-24,7108	49,87	0,2534	0,9844
10°Brix	10	-20,4325	68,07	0,2045	0,9859
	20	-953,380	54,96	0,0173	0,9942
	30	-175,990	37,95	0,0812	0,9764
	40	16,83444	19,20	0,4206	0,9787
	50	13,73849	19,80	0,4061	0,9682
	60	10,53617	20,86	0,3977	0,9696
12,5°Brix	10	-2,15129	67,98	0,3914	0,9962
	20	-5,76516	67,80	0,3866	0,9969
	30	-134,591	78,07	0,1568	0,9863
	40	-73,7969	55,56	0,2164	0,9682
	50	-89,9213	69,86	0,1598	0,9724
	60	-31,3275	75,36	0,2440	0,9951
15°Brix	10	4,474844	88,65	0,3439	0,9910
	20	1,781237	74,53	0,3760	0,9975
	30	56,8106	56,79	0,2174	0,9886
	40	-39,4462	93,68	0,2661	0,9720
	50	-42,5908	35,22	0,2323	0,9763
	60	1,636246	48,15	0,3474	0,9752
17,5°Brix	10	42,30813	62,19	0,4326	0,9937
	20	38,32283	59,04	0,4403	0,9966
	30	36,83138	45,46	0,3901	0,9821
	40	17,60667	57,96	0,3415	0,9623
	50	2,552967	71,12	0,2927	0,9549
	60	1,734561	2,146	0,3886	0,9622
20°Brix	10	46,60334	95,45	0,4286	0,9939
	20	37,30610	99,44	0,4242	0,9986
	30	48,95007	65,28	0,4159	0,9967
	40	-3,10267	55,79	0,2945	0,9791
	50	-45,2491	60,36	0,2348	0,9873
	60	,985306	76,36	0,3051	0,9839

Na Figura 4.1 estão representadas as curvas da tensão de cisalhamento, em função da taxa de deformação, da polpa de bacuri com a concentração de 5°Brix, nas temperaturas de 10 a 60°C. vê-se que a tensão de cisalhamento aumenta com o aumento da taxa de deformação, o que significa decréscimos nas viscosidades, com o aumento de temperatura, embora não se perceba uma relação perfeita nesses decréscimos. Tal comportamento tem tendência similar à encontrada por TELIS – ROMERO et al. (1998), para suco de laranja.

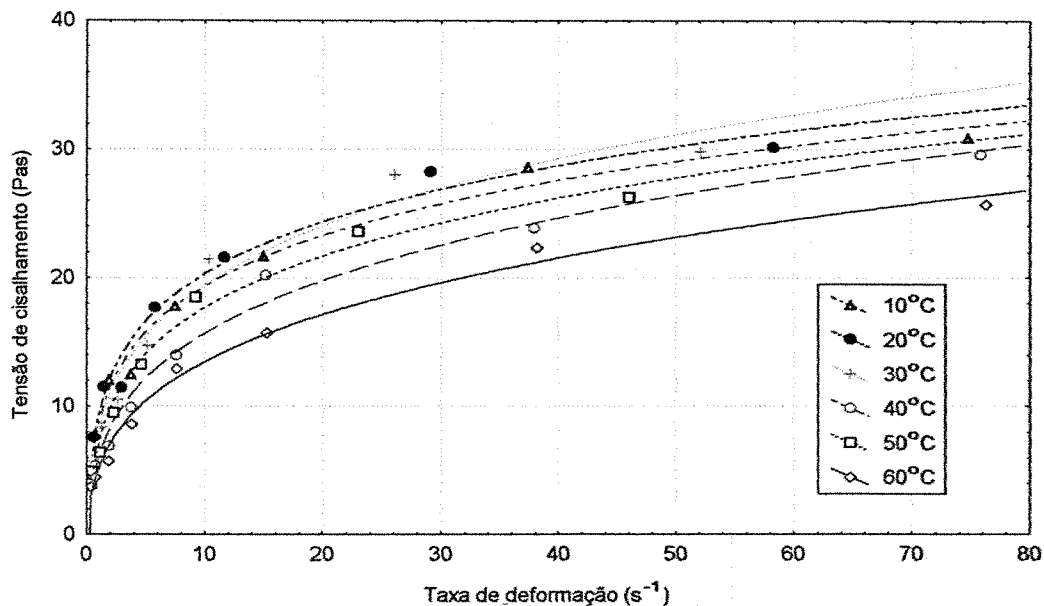


Figura 4.1 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de bacuri, com concentração de 5°Brix – Ajuste pelo modelo de Herschel – Bulkley.

Na Figura 4.2, tem-se as curvas da tensão de cisalhamento, em função da taxa de deformação, para a polpa de bacuri, na concentração de 7,5 °Brix, nas temperaturas de 10 a 60°C. Como a relação entre a tensão e a taxa de deformação é igual a viscosidade constatam-se, para taxas de deformação fixas acima de 10 s⁻¹, aumentos da viscosidade entre as temperaturas de 10 a 50 °C, com uma dispersão da curva referente à amostra a 60 °C.

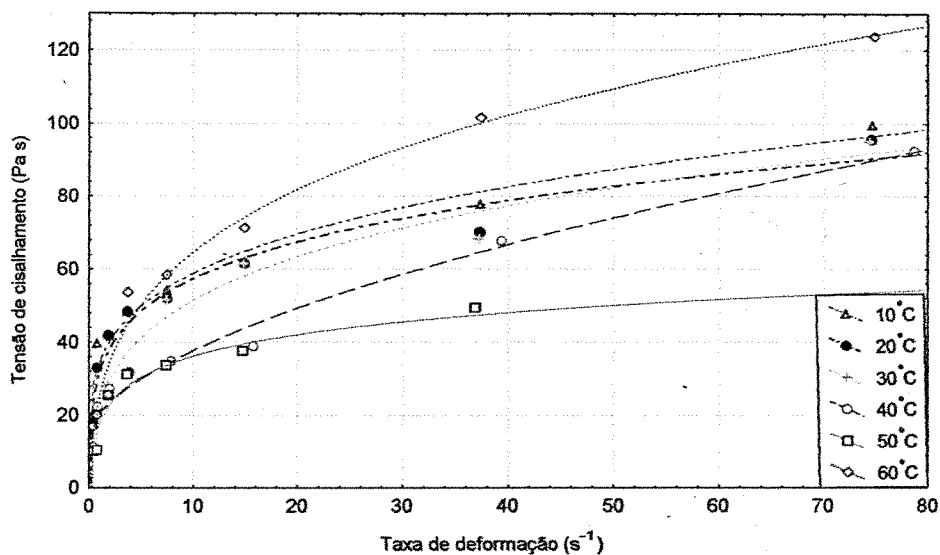


Figura 4.2 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de bacuri, com concentração de 7,5°Brix – Ajuste pelo o modelo de Herschel – Bulkley

Nota-s, na Figura 4.3, a representação gráfica da tensão de cilhamento em função da taxa de deformação, para a polpa de bacuri na concentração de 10 °Brix, nas temperaturas de 10 a 60°C. Observar-se que as viscosidades tendem a diminuir com o aumento da temperatura, com exceção para a temperatura de 30°C. Consta-se que as curvas ajustadas para as temperaturas de 10 a 30°C apresentam a mesma forma e estão bem próximas, um segundo grupo é formado entre as curvas para as temperaturas de 40 e 60°C.

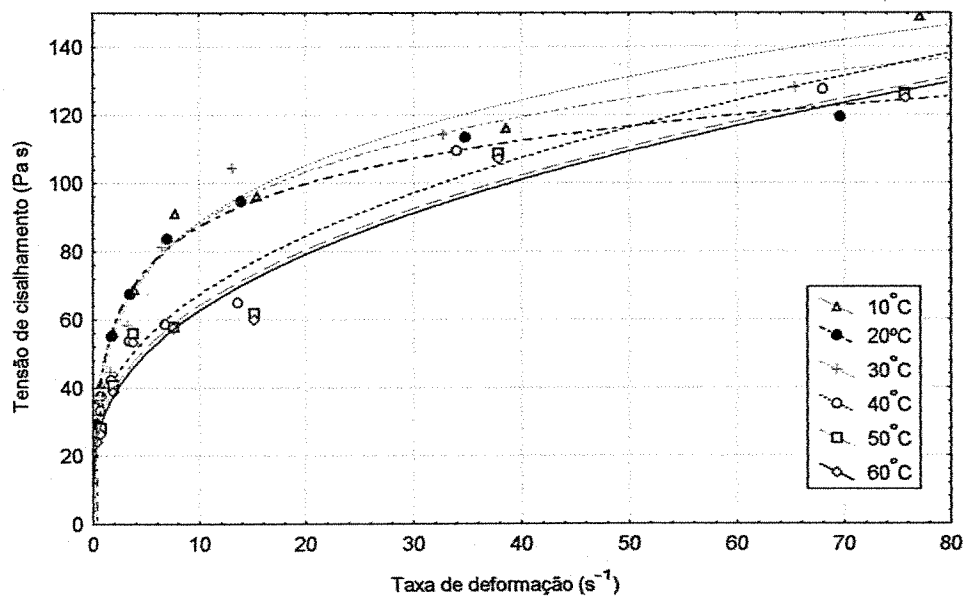


Figura 4.3 - Tensão de cisalhamento, em função da taxa de deformação da polpa de bacuri com concentração de 10°Brix – Ajuste pelo modelo de Herschel – Bulkley

Apresenta-se, na Figura 4.4, o gráfico da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, para a polpa de bacuri na concentração de 12,5°Brix, nas temperaturas de 10 a 60°C. Nessa concentração observar-se que as viscosidades tenderam a diminuir com o aumento da temperatura; resultado semelhante ao obtido por SUGAI (2002), para purê de manga, usando também o modelo de Heschel-Bulkley.

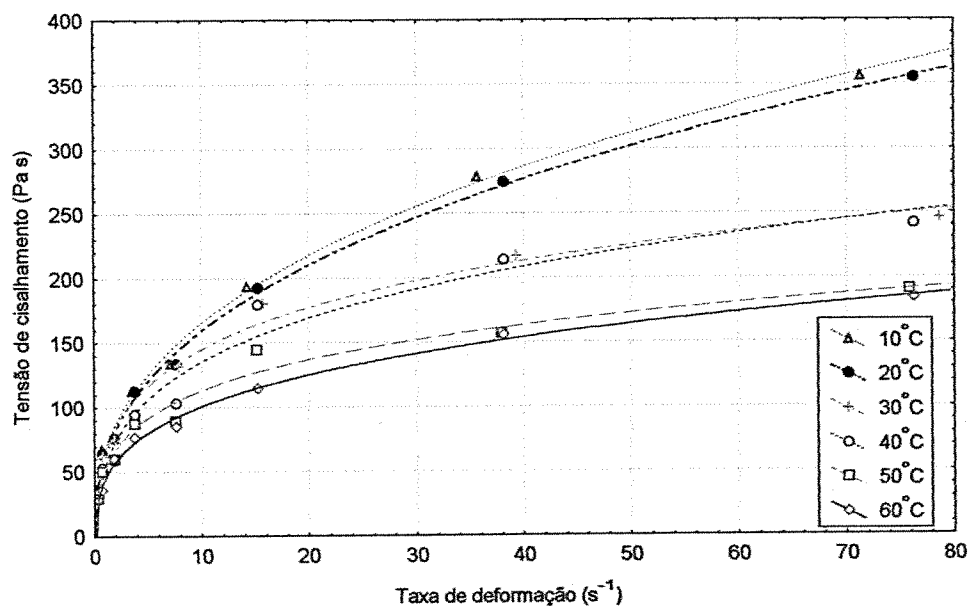


Figura 4.4 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de bacuri com concentração de 12,5°Brix. Ajuste pelo modelo de Herschel – Bulkley

São mostradas na Figura 4.5 as curvas representando a tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, para polpa de bacuri na concentração de 15°Brix, nas temperaturas de 10 a 60°C. Observam-se as viscosidades diminuindo gradativamente em função do aumento da temperatura; comportamento idêntico foi observado por CONCEIÇÃO (2000), ao pesquisar o comportamento reológico da polpa de goiaba.

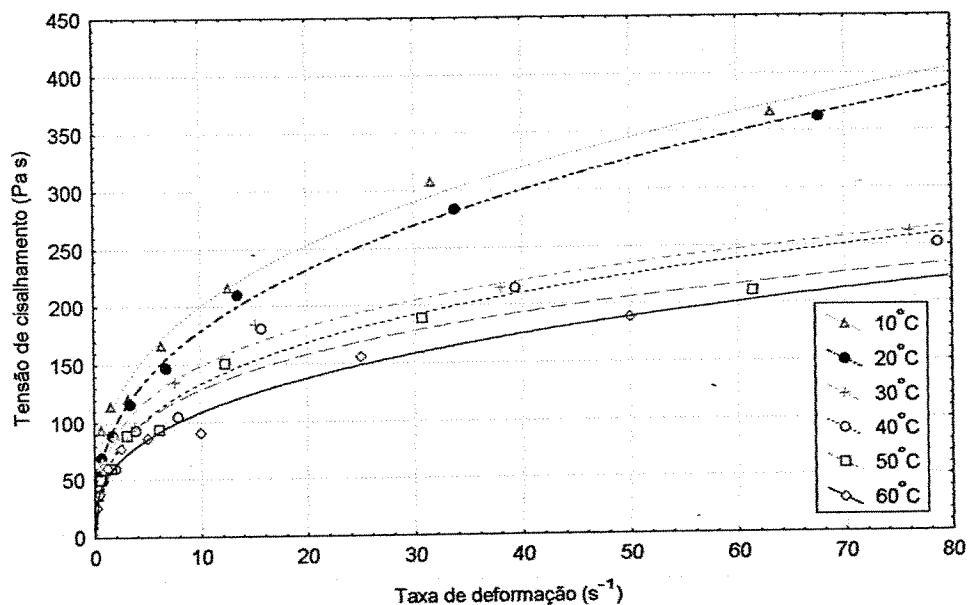


Figura 4.5 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de bacuri com concentração de 15°Brix – Ajuste pelo modelo de Herschel – Bulkley

As curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, para a polpa de bacuri na concentração de 17,5°Brix, nas temperaturas de 10 a 60°C., se acham na Figura 4.6. Verificam-se decréscimos na viscosidade em consequência do aumento das temperaturas, resultado observado por MIGUEL et al. (1999), usando o mesmo modelo, para representar o comportamento reológico de polpa de pêssego.

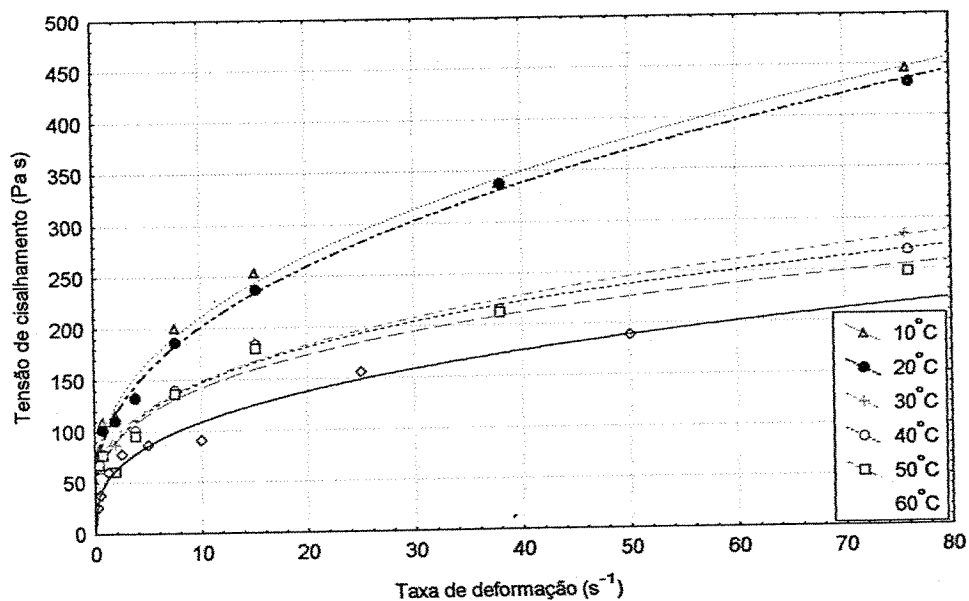


Figura 4.6 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de bacuri com concentração de 17,5°Brix – Ajuste pelo modelo de Herschel – Bulkley

Representam-se, na Figura 4.7, as curvas da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, para polpa de bacuri, na concentração de 20 °Brix, nas temperaturas de 10 a 60°C, observando-se, como nas demais concentrações, diminuições da viscosidade com o aumento de temperatura.

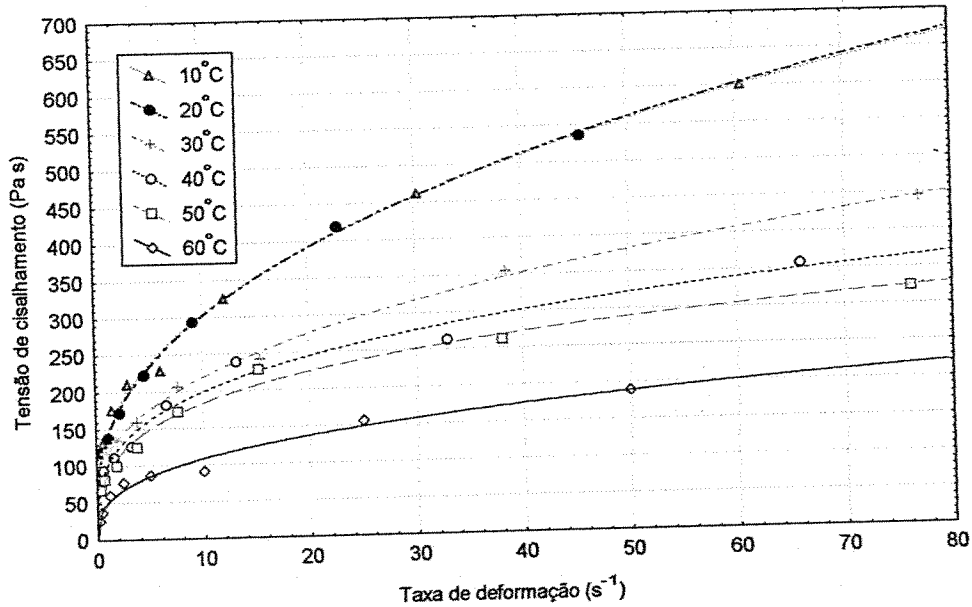


Figura 4.7 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de bacuri com concentração de 20°Brix – Ajuste pelo modelo de Herschel – Bulkley

4.3 - Determinação das propriedades termofísicas

4.3.1 - Calor específico

De acordo com os dados apresentados na Tabela 4.23, nota-se que o calor específico das amostras de bacuri diminui com o aumento da concentração, com o menor valor determinado para as amostras a 20°Brix e o maior na amostra a 5°Brix, refletindo o maior valor dessa propriedade para amostra com maior fração de água em relação à fração de sólidos; Já na concentração 5,0°Brix se dá uma diferença significativa com relação às demais concentrações. Para as concentrações de 7,5 a 17,5°Brix, não há diferença estatística, embora os valores decresçam de forma consistente. Para a polpa a 20°Brix manifesta-se diferença estatisticamente significativa em relação às polpas a 5,0 e a 7,5°Brix. Observando-se a correspondência dessa propriedade na polpa de bacuri em comparação com polpas de outras frutas PEREIRA et al. (2003) e ALVARADO (1994) citam valores entre 2,962 kJ/kg K (açai) e 3,925 kJ/kg K (suco de melancia), enquanto CHOI & OKOS (1996) reportam valores entre 3,185 e 4,079 kJ/kg K, determinados para sucos de fruta em geral. MOURA et al. (2001) relataram resultados para calor específico de 0,9755, 0,8424 e 0,8380 kg/kg °C em suco de laranja com teores de sólidos totais de 7,5, 15,44 e 15,52 %, respectivamente.

Tabela 4.23 - Valores médios do calor específico da polpa de bacuri em função da concentração

Concentração (°Brix)	Calor específico (kJ/kg°C)
5,0	3,616 a
7,5	3,239 b
10,0	3,147 bc
12,5	3,123 bc
15,0	3,105 bc
17,5	3,093 bc
20,0	2,986 c

DMS = 0,17027; MG = 3,187 kJ/kg°C; CV% = 2,96

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra minúscula não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.24 são apresentados os resultados das regressões do tipo linear, quadrática e exponencial ajustados aos dados experimentais do calor específico, em função da concentração para a polpa de bacuri. vê-se que a equação quadrática resultou no melhor ajuste com, coeficiente de determinação superior a 0,86%.

o Tabela 4.24 - Equações propostas para o cálculo calor específico da polpa de bacuri em função da concentração

Equação	a	b	c	R ²
$C_p = a + bB$	3,5884	-0,0318	-	0,7109
$C_p = a + bB + cB^2$	4,0254	-0,1158	0,0034	0,8602
$C_p = ae^{bB}$	3,6145	-0,0102	-	0,7251

C_p - (kJ/kg°C); B - (°Brix); a, b e c - constantes

De acordo com os resultados apresentados na Tabela 4.25, na qual são vistos os valores do calor específico para as amostras em diferentes concentrações calculadas através de equações existentes na literatura, constata-se que a equação proposta por MANOHAR et al. (1991) resultou nos menores erros percentuais quando se compararam os resultados calculados com os obtidos experimentalmente. A utilização das demais equações produziu os menores erros na polpa a 5°Brix, em valores próximos de 11,5%, enquanto nas amostras a partir de 7,5°Brix os erros se mantiveram em torno de 20%.

Tabela 4.25 - Valores de calor específico calculados através de equações existentes na literatura

Equações	Calor específico (kJ/kg°C)						
	5°Brix	7,5°Brix	10°Brix	12,5°Brix	15°Brix	17,5°Brix	20°Brix
Alimentos em geral (DICKERSON, 1968)	4,059	3,957	3,868	3,807	3,763	3,722	3,710
Erro (%)	12,241	22,145	22,885	22,004	21,182	20,302	24,219
Geral (SIEBEL, 1892)	4,015	3,879	3,761	3,680	3,621	3,567	3,550
Erro (%)	11,024	19,738	19,486	17,8335	16,609	15,299	18,862
Suco de Laranja (VIEIRA, 1996)	4,032	3,963	3,893	3,824	3,754	3,685	3,616
Erro (%)	11,494	22,331	22,679	22,444	22,892	19,106	21,072
Produtos alimentícios (Lamb citado por CHOI & OKOS, 1986)	4,047	3,936	3,841	3,775	3,727	3,683	3,669
Erro (%)	11,903	21,497	22,027	20,875	20,023	19,042	22,847
Suco de Tamarindo (MANOHAR et al., 1991)	3,934	3,738	3,568	3,451	3,366	3,288	3,264
Erro (%)	8,784	15,385	7,540	10,500	8,397	6,274	9,286

4.3.2 - Massa específica

Têm-se, na Tabela 4.26 os valores médios de massa específica da polpa de bacuri, determinados nas concentrações de 5,0 a 20,0°Brix e temperaturas de 25 e 30°C. O aumento da massa específica com o aumento da concentração e sua redução com o aumento da temperatura, são é confirmadas em todas as medições e detectados estatisticamente, exceto na temperatura de 25°C entre as amostras a 17,5 e 20,0°Brix. Na temperatura de 25°C a massa específica aumentou em 3,8% entre 5,0 e 20,0°Brix, enquanto na temperatura de 30°C aumentou apenas 3,6% entre as mesmas concentrações. Com relação às duas temperaturas, ocorreu diminuição da massa específica na temperatura de 30°C com relação a de 25°C, em todas as concentrações e entre as temperaturas, as reduções nas massas específicas entre as amostras a 25 e a 30°C variaram entre 0,15% e 0,92%. MOURA et al. (2001), também observaram que, para soluções de creme de leite, a densidade diminui com o acréscimo da temperatura. SHAMSUDIN et al. (2004), constataram, para o suco de goiaba, diminuição dos valores das massas específicas com relação ao aumento da temperatura, de 30 para 40°C, atingindo redução de cerca de 5%.

Tabela 4.26 - Valores médios da massa específica da polpa de bacuri, em função da concentração e temperatura

Concentração (°Brix)	Massa específica (kg/m ³)	
	25°C	30°C
5,0	1.009,95 fA	1.008,40 gB
7,5	1.021,76 eA	1.012,35 fB
10,0	1.034,10 dA	1.026,28 eB
12,5	1.038,31 cA	1.033,01 dB
15,0	1.040,61 bA	1.038,46 cB
17,5	1.047,05 aA	1.041,85 bB
20,0	1.048,36 aA	1.044,44 aB

DMS para colunas = 0,89; DMS para linhas = 1,36; MG = 1.031,77 kg/m³; CV% = 0,07

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

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

Os resultados das equações de ajuste do tipo linear e quadrático aos valores experimentais de massa específica em função da concentração, para as temperaturas de 25 e 30°C, se encontram na Tabela 4.27. Os ajustes lineares resultaram em valores razoáveis, com R^2 acima de 0,9, porém nos ajustes por equação quadrática se verificam-se coeficientes de determinação superiores a 0,98. ARAÚJO et al. (2002), observaram, para as amostras de polpa de cupuaçu integral, que a equação do tipo cúbica, para massa específica, apresentou valores de R^2 acima de 0,99.

Tabela 4.27 - Equações propostas para o cálculo da massa específica da polpa de bacuri, em função da concentração.

Temperatura (°C)	Equação	a	b	c	R^2
25	$\rho = a + bB$	1.003,53	2,4617	-	0,9092
	$\rho = a + bB + cB^2$	982,07	6,5493	-01635	0,9844
30	$\rho = a + bB$	997,23	2,5615		0,9429
	$\rho = a + bB + cB^2$	981,72	5,5170	-0,1182	0,9806

ρ - massa específica (kg/m^3); B - concentração (°Brix); a, b e c - constantes

Na Tabela 4.28 tem-se os valores de massa específica, calculados segundo equações propostas em literatura. Pela equação de ALVARADO & ROMERO (1989), nota-se que ocorreu aumento nos erros percentuais, conforme a concentração foi acrescida, fato observada a partir da concentração de 12,5 °Brix. Isto também foi observado no uso da equação proposta por PEREIRA et. al. (2002), cujos erros percentuais, no entanto, aumentaram já a partir dos resultados obtidos para as polpas a 10,0°Brix. Na utilização da equação apresentada por ARAÚJO et al. (2004) os erros tenderam a aumentar nas amostras, a partir de 12,5 °Brix. De maneira geral, verifica-se que todas as equações se adequaram aos dados experimentais de forma conveniente, em que o maior dos erros não atingiu 4%.

Tabela 4.28 - Valores de massa específica calculados através de equações existentes na literatura

Concentração (°Brix)	Massa específica (kg/m ³)					
	ALVARADO & ROMERO (1989) Sucos e polpas de frutas em geral		ARAUJO et al. (2004) Polpa de cupuaçu		PEREIRA et al. (2002) Polpa de açaí	
	25°C	30°C	25°C	30°C	25°C	30°C
5	1016,4920	1015,074	1029,4240	1027,2843	1015,5247	1013,5912
Erro (%)	0,6495	0,50755	1,9284	1,7165	0,5521	0,36073
7,5	1028,0170	1026,599	1029,4240	1027,2843	1017,3914	1015,4579
Erro (%)	0,6125	0,47379	0,7502	0,5408	0,4273	0,6165
10	1039,5420	1038,124	1029,4240	1027,2843	1018,9987	1017,0652
Erro (%)	0,5266	0,38953	0,4517	0,6587	1,4599	1,6469
12,5	1051,0670	1049,649	1029,4240	1027,2843	1020,1129	1018,1794
Erro (%)	1,2283	1,09177	0,8561	1,0621	1,7528	1,9390
15	1062,5920	1061,174	1029,4240	1027,2843	1020,9142	1018,9807
Erro (%)	2,1124	1,97615	1,0749	1,2805	1,8927	2,0785
17,5	1074,1170	1072,699	1029,4240	1027,2843	1021,6606	1019,7271
Erro (%)	2,5852	2,44984	1,6832	1,8875	2,4246	2,6093
20	1085,6420	1084,224	1029,4240	1027,2843	1021,8896	1019,9561
Erro (%)	3,5564	3,4216	1,80606	2,0101	2,5247	2,7091

4.3.3 - Difusividade térmica

Observando-se a Tabela 4.29, que apresenta os valores de difusividade térmica para as diferentes concentrações, vê-se que a difusividade térmica das amostras decresce com o aumento da concentração, porém as amostras nas concentrações de 12,5 a 17,5°Brix não indicaram diferenças estatisticamente significativas entre si, mas permanece, entre os valores, tendência de redução. MOURA (2001), trabalhando com suco de frutas cujos sólidos totais variaram de 9,88% a 15,52% com os respectivos valores de difusividade térmica situando entre $3,841 \times 10^{-7}$ e $2,872 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, também observou que a difusividade térmica diminui com o aumento da concentração, ou seja, quanto menor a quantidade de sólidos totais, maior será a difusividade térmica do produto. AZOUBEL (2004), em trabalho com suco de caju nas concentrações de 5 a 30°Brix, também constatou que a difusividade térmica decresce com o aumento dos sólidos solúveis existentes nas amostras, enquanto para a amostra a 5°Brix a difusividade de $1,44 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$ e para 20°Brix, o valor de $1,34 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$, sendo inferior ao valor determinado para polpa de bacuri, na mesma concentração.

Tabela 4.29 - Valores médios da difusividade térmica da polpa de bacuri, em função da concentração

Concentração (°Brix)	Difusividade térmica (m^2/s)
5	$1,787 \times 10^{-7}$ a
7,5	$1,763 \times 10^{-7}$ b
10	$1,707 \times 10^{-7}$ c
12,5	$1,673 \times 10^{-7}$ d
15	$1,670 \times 10^{-7}$ d
17,5	$1,660 \times 10^{-7}$ d
20	$1,637 \times 10^{-7}$ e

DMS = $0,022 \times 10^{-7}$; MG = $1,699 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$; CV% = 0,48

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

Obs.: Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

A Tabela 4.30, mostra os parâmetros das equações do tipo linear, quadrática e exponencial ajustadas aos dados experimentais de difusividade térmica em função da concentração da polpa de bacuri. Através do critério do coeficiente de determinação,

constata-se que a equação do tipo quadrática foi a que melhor se ajustou aos dados experimentais, seguida pela equação do tipo exponencial.

Tabela 4.30 - Equações propostas para o cálculo da difusividade térmica da polpa de bacuri em função da concentração

Equação	a	b	c	R ²
$\alpha = a + bB$	$1,8233 \times 10^{-7}$	$-0,0099 \times 10^{-7}$	-	0,9131
$\alpha = a + bB + cB^2$	$1,8976 \times 10^{-7}$	$-0,0240 \times 10^{-7}$	$0,0006 \times 10^{-7}$	0,9690
$\alpha = ae^{bB}$	$1,8280 \times 10^{-7}$	-0,0059	-	0,9187

α - (m²/s); B - (°Brix); a, b e c - constantes.

Na Tabela 4.31 apresentam-se os valores da difusividade térmica calculados a partir de modelos citados em literatura, e os erros, em relação às determinações experimentais. Ressaltava-se-se que a equação de TELIS-ROMERO et al. (1998) resultou nos menores erros percentuais, com média de 18,29% seguida pela equação de Martens, citada por SING (1982), com média de 19,53%. O modelo de CHOI & OKOS (1983), apresentou os maiores erros percentuais, com 49,80%.

Tabela 4.31 -Valores de difusividade térmica calculados através de equações propostas em literatura

Concentração (°Brix)	Difusividade térmica (m ² /s)		
	Martens citado por	TELIS-ROMERO et al.	CHOI & OKOS
	SING (1982) Alimentos em geral	(1998) Suco de laranja	(1983) Suco de tomate
5	1,417 x 10 ⁻⁷	1,440 x 10 ⁻⁷	2,677 x 10 ⁻⁷
Erro (%)	20,70	19,41	49,80
7,5	1,394 x 10 ⁻⁷	1,416 x 10 ⁻⁷	2,570 x 10 ⁻⁷
Erro (%)	20,95	19,68	45,77
10	1,374 x 10 ⁻⁷	1,395 x 10 ⁻⁷	2,477 x 10 ⁻⁷
Erro (%)	19,54	18,27	45,10
12,5	1,360 x 10 ⁻⁷	1,380 x 10 ⁻⁷	2,413 x 10 ⁻⁷
Erro (%)	18,73	17,51	44,23
15	1,350 x 10 ⁻⁷	1,370 x 10 ⁻⁷	2,367 x 10 ⁻⁷
Erro (%)	19,19	17,96	41,73
17,5	1,340 x 10 ⁻⁷	1,360 x 10 ⁻⁷	2,325 x 10 ⁻⁷
Erro (%)	19,27	18,07	40,06
20	1,337 x 10 ⁻⁷	1,357 x 10 ⁻⁷	2,311 x 10 ⁻⁷
Erro (%)	18,31	17,10	41,17

4.3.4 - Condutividade térmica

Observa-se, na Tabela 4.32 que a condutividade térmica da polpa do bacuri decresce com o aumento da concentração e que, para as concentrações de 5 a 10°Brix, existe diferença significativa entre os valores de condutividade com relação aos demais, para as concentrações de 12,5 a 17°Brix, mesmo havendo diminuição nos dados entre si, não foi detectada diferença significativa pelo teste de Tukey a nível de 5% de probabilidade mas valor da condutividade difere significativamente, na concentração de 20°Brix com relação ao outro; referida diminuição se dá através da diminuição dos sólidos totais existentes no material; comportamento idêntico também foi observado por SHAMSUDIN et al. (2004), através de pesquisa com sucos de goiaba nas concentrações de 10 a 40°Brix, e temperatura de 30°C. AZOUBEL et al. (2004), encontraram, para suco de goiaba na temperatura de 30°C e concentração de 5°Brix valor de difusividade térmica de 0,58 W/m°C e, para a concentração de 20°Brix valor de 0,48 W/m°C, sendo valores inferiores as da polpa de bacuri.

Tabela 4.32 - Valores médios da condutividade térmica da polpa de bacuri em função da concentração

Concentração (°Brix)	Condutividade térmica (W/m°C)
5	0,6433 a
7,5	0,5766 b
10	0,5533 c
12,5	0,5400 d
15	0,5366 d
17,5	0,5300 d
20	0,5000 e

DMS = 0.01220 ; MG 0.55429 =; CV% = 0.78909

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

Apresentaram-se, na Tabela 4.33 os resultados das regressões dos tipos linear, quadrática e exponencial, ajustados aos dados experimentais da condutividade térmica em função da concentração para a polpa de bacuri. A equação exponencial foi a que melhor se ajustou com coeficiente de determinação superior a 0,95%.

Tabela 4.33 - Equações propostas para o cálculo da condutividade térmica da polpa de bacuri em função da concentração

Equação	a	B	c	R ²
$K = a + bB$	$0,65065 \times 10^{-5}$	-0,00771	-	0,8349
$K = a + bB + cB^2$	$0,72237 \times 10^{-5}$	-0,02137	-	0,9126
$K = a + be^{(-B/c)}$	$0,51261 \times 10^{-5}$	0,12702	4,49	0,952

K - (W/m°C); B - (°Brix); a, b e c - constantes

Analisando-se os dados da Tabela 4.34, consta-se que o menor erro percentual utilizando-se a equação de KOLAROV & GROMOV (1973) para calcular a condutividade térmica foi para a amostra com 20°Brix, e o maior erro (12,28%) na amostra com 5°B. Para a condutividade térmica, calculada segundo a equação proposta por PEREIRA et al. (2003) o menor erro percentual encontrado foi na amostra com 7,5°Brix e o maior (23,84%) na amostra com 20°Brix; já para os dados calculados de acordo com a equação de NJIE et al. (1988) o menor erro percentual foi encontrado na amostra com 5°Brix com o percentual de 0,24% e o maior erro percentual na amostra com 20°Brix com 17,98%.

Tabela 4. 34 - Valores de condutividade térmica calculados através de equações existentes na literatura

Concentração (°Brix)	Condutividade térmica (W/m°C)		
	KOLAROV & GROMOV (1974) Sucos de frutas	PEREIRA et al. (2003) Polpa de açaí	NJIE et al. (1998) Banana
5	0,538	0,561	0,644
Erro%	12,27	12,78	0,24
7,5	0,521	0,578	0,629
Erro%	9,56	0,247	9,23
10	0,506	0,5928	0,616
Erro%	8,42	7,133	11,36
12,5	0,496	0,603	0,606
Erro%	8,05	11,66	12,29
15	0,489	0,610	0,599
Erro%	8,42	13,71	11,61
17,5	0,482	0,617	0,592
Erro%	9,00	16,43	11,71
20	0,480	0,619	0,589
Erro%	3,96	23,84	17,98

5. CONCLUSÕES

1. Os parâmetros físico-químicos acidez total titulável, ácido ascórbico, cinzas, sólidos totais e sólidos insolúveis das polpas de bacuri, foram influenciados e tiveram seus teores aumentados pela concentração do produto. O teor de ácido ascórbico apresentou baixos valores, em todas as concentrações.
2. O calor específico das polpas variou de 3,62 a 2,99 kJ/kg°C e diminuiu com a concentração, dependência esta representada por uma equação do tipo exponencial.
3. A massa específica oscilou entre 1008,40 a 1048,36 kg/m³ entre as polpas, relacionando-se com a concentração por uma equação do tipo quadrática.
4. A difusividade térmica e a condutividade térmica variaram, respectivamente, de $1,79 \times 10^{-7}$ a $1,64 \times 10^{-7}$ m²/s e 0,64 a 0,50 W/m°C entre as amostras, diminuindo com a concentração. O comportamento dessas propriedades com a variação da concentração foi bem ajustado por equações do tipo quadrática e exponencial.
5. Quanto ao comportamento reológico, conclui-se que as polpas de bacuri apresentaram comportamento não-newtoniano do tipo pseudoplástico; as viscosidades aparentes aumentaram com a concentração; diminuíram com a temperatura, enquanto a relação tensão de cisalhamento versus taxa de deformação foi bem ajustada pelo modelo de Herschel-Bulkley. /

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDRIGUE, M. L. Vitamina C. In: ALDRIGUE, M. L.; MADRUGA, M. S.; FIOREZE, R.; SOARES, J. **Aspectos da ciência e tecnologia de alimentos**. João Pessoa: Editora Universitária/UFPB/Idéia, 2003. v.2, p. 261-285.

ALVARADO, J. D. Calor específico. In: ALVARADO, J. D.; AGUILERA, J. M. **Métodos para medir propiedades físicas en industrias de alimentos**. Zaragoza: Acribia, 2001. p. 189 - 212.

ALVARADO, J. D. Propriedades físicas de fruta: difusividad y conductividade térmica efectiva de pulpas. **Latin American Applied Research**, Bahia Blanca, v. 24, n. 1, p. 41-47, 1994.

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

ANGELUCCI, E.; CARVALHO, L.R.; CARVALHO, N.R.P.; FIGUEIREDO, B.I.; MANTOVANI, B.M.D.; MORAES, M.R. **Análise química de alimento: manual Técnico**. Campinas, SP. 1987, 123p.

ARAÚJO, J. L. **Determinação das propriedades termofísicas da polpa do cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.)**. 2001. 85 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

ARAÚJO, J. L.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Propriedades termofísicas da polpa do cupuaçu com diferentes teores de sólidos. **Ciências Agrotécnicas**. Lavras v. 28, n1, p. 126-134, jan/fev. 2004.

ARAÚJO, M. S. O. **Avaliação das características físico-químicas e sensoriais de polpa de acerola (*Malpighia emarginata* D.C) submetida a diferentes técnicas de**

congelamento. 2000. 108 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

ATHIÉ, I.; CASTRO, M. F. P. M.; GOMES, R. A. R.; VALENTINI, S. R. T. **Conservação de grãos.** Campinas: ITAL, 1998. 236 p.

AZOUBEL, P. M.; CIPRIANI, D. C.; EL-AOUAR, A. A.; ANTONIO, G. C.; MURR, F. E. X. Effect of concentration on the physical properties of cashew juice. **Journal of Food Engineering**, Poland, v. 15, n. 20, p.1-5, 2004.

BENASSI, M. T.; ANTUNES, A. J. A. Comparison of meta-phosphoric and oxalic acids as extractant solutions for determination of vitamin C in selected vegetables. **Arquivos de Biologia e Tecnologia**, Curitiba, v. 31, n. 4, p. 507–503, 1998.

BHATTACHARYA, S.; BAL S.; MUKHERJEE, R. K.; BHATTACHAR S. Rheological behavior of tamarind (*Tamarindus indicus*). **Journal of food engineering**. v. 13, p –151-158. India. 1990.

BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHFOOT, E. N. **Fenômenos de transporte.** Editorial Reverte, 1960. S. A 1060.

BLEINROTH, E. W. **Tecnologia de pós-colheita de frutos tropicais.** Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1988. 200 p.

BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Manual de laboratório de química de alimentos.** São Paulo: Livraria Varela, 1995. 129 p.

×BOBBIO, P.A.; BOBBIO, O.F. **Química de processamento de alimentos.** 2ª ed. São Paulo : Varela, 1992. 146p.

BRAGA, A. L. M. **Caracterização das interações macromoleculares em géis ácidos de caseína-xantana-sacarose: análises reológicas e térmicas.** 202 f.Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - FEA, Universidade estadual de Campinas, Campinas. 2002.

- BRASIL, I. M.; GUIMARÃES, A. C. L. **Curso de tecnologia em processamento de sucos e polpas tropicais: química e bioquímica do processamento**. Brasília: ABEAS, 1998. v. 5. 109 p.
- * BRUNNER, G. **Gás Extraction na Introduction to Fundamentals of Supercritical Fluids and the application to separation processes**. Hanburg : Ed Springer, 1994. 386p.
- CABRAL, M.F.P. ; QUEIROZ, A. J. M. ; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theorema grandiflorm* Schum.) peneirada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4 n. 1 p. 37-40 , 2002)
- CABRAL, M. F. P. ; QUEIROZ, A . J. M ; FIGUERÊDO, R.M.F. Comportamento do Estudo do comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theorema grandiflorum* Schum.) integral In: FITO, P., MULET, A., CHIRALT, A., ANOORÊS, A., **Ingenieria de alimentos nuevas fronteras em el siglo XXI: propiedades físicas y aspectos fisicoquímicos em relación com los procesos alimentarios**. Valencia: Editorial UPV, 2003. p. 203-208.
- CARVALHO, C. R. L.; MANTOVAN, D. M. B.; CARVALHO, P. R. N.; MORAES, R.M. de. **Análise química de alimentos**. Instituto de tecnologia de alimentos, Campinas, 1990, 121p.
- CARVALHO, J. E. U.; ALVES, S. M.; NASCIMENTO, W. M. O. Características físicas e químicas de um tipo de bacuri (*Platonia insignis* Mart.) sem sementes. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 573 - 575, 2002.
- CARVALHO, R.L.; MANTOVANI, D.M.B.; CARVALHO, P.R.N.; MORAIS, R.M. **Análise química de alimentos**. Campinas, SP : ITAL, 1990, 121p.
- CASTRO, F. A. F.; AZEREDO, R. M. C. **Estudo experimental dos alimentos: uma abordagem prática**. Viçosa: UFV, 1998. 81 p.
- CAVALCANTE, P.B. **Frutas comestíveis da Amazônia**. 2 ed. Belém: Museu Paranaense Emílio Goeldi, 1991. 279p.

CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras : ESAL./FAEPE, 1990. 293p.

CHOI, Y.; OKOS, M. R. Effects of temperature and composition on the thermal properties of foods. In: LEMAUGUER, M.; JELEN, M. **Food engineering and process applications: transport phenomena**. London: Elsevier Applied Science Publishers, 1986a. v. 1, cap. 6, p. 93–101.

CHOI, Y.; OKOS, M. R. The thermal properties of tomato juice concentrates. **Transactions of the ASAE**, London, v. 26, n.1, p. 305-311, 1983b.

CHOI, Y.; OKOS, M. R. Thermal properties of liquid foods: review. In: OKOS, M. R. **Physical and chemical properties of foods**. St. Joseph: ASAE, 1996. p. 35-77.

CIABOTTI, E. D. **Alterações das propriedades físico-químicas do suco de maracujá (*Passiflora edulis* f. *flavicarpa* Deg.) para diferentes técnicas de congelamento inicial, ao longo do Período de Armazenamento frigorífico**. Campina Grande: UFPB, 2000. 107p. (Tese Mestrado).

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

DELGADO, A. E.; GALLO, A.; PIANTE, D.; RUBIOLO, A. Thermal conductivity of unfrozen and frozen strawberry and spinach. **Journal of Food Engineering**, v. 31, p. 137-146, 1997.

DICKERSON, R. W. An apparatus for the measurement of thermal diffusivity of foods. **Food Technology**, Westport .v. 19, n. 52, p 880-886, 1965.

DICKERSON, R. W. **Thermal properties of foods the freezing preservation of foods** . 4 ed. Westpoint, Connecticut. The A VI Publishing Company, v. 2 , 1968.

DONSI, G.; FERRARI, G.; NIGRO, R. Experimental determination of thermal conductivity of apple and potato at different moisture contents. **Journal of Food Engineering**. n.30, 1996. p. 263-268.

DURAN, L.; COSTELL, E. Rheology of apricot puree: characterization of flow. **Journal of Texture Studies**, Campinas, v. 13, n. 25, p. 43-58, 1982.

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

FERREIRA, F. R.; FERREIRA, S. A. N.; CARVALHO, J. D. U. Espécies frutíferas pouco exploradas, com potencial econômico e social para o Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 9, n. 2, p. 11 – 22, 1987.

FORTUNA, L. J. T. Viscosity of concentrated strawberry juice: effect of temperature and soluble solids content. **Food Science and Technology**, Cracow, v. 6, n. 2, p. 1–7, 2003.

FOUST, A. S.; WENZEL, L. A.; CLUMP, C. W.; MAUS, L.; ANDERSEN, L. B. **Princípios das operações unitárias**. Rio de Janeiro: LTC, 1982. 670 p.

FRANCO, B. D. G. M. **Tabela de composição química dos alimentos**, 9ª ed., São Paulo - SP, Atheneu, 1988 – 307 p.

FRANCO, G. **Tabela de Composição Química dos Alimentos**, 8ª ed., Rio de Janeiro – RJ, LIVRARIA ATHENEU, 1987 – 230 p.

GASPARETTO, C. A.; GEHRKE, T. **Reologia**. Campinas: UNICAMP, 1995. 18 p.

GAVA, A. J. **Princípios de tecnologia de alimentos**. 2ª ed. São Paulo: Ed. Nobel, 1979. 284p.

GOMES, M. S. O. **Conservação pós-colheita: frutas e hortaliças**. Brasília: Embrapa-SPI, 1996. 134 p.

GONÇALVES, A. L. **Propriedades termofísicas de polpa de cajá (*Spondia lutea* L.) a baixas temperaturas**. 2000. 71 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

GUIMARÃES, A. D. G. **Coleta de germoplasma de bacuri (*Platonia insignis* Mart.) na Amazônia: I. microrregião Campos do Marajó**. Belém: EMPRABA/CPATU, 1992. 23p.

GUIMARÃES, F. L. G. **Avaliação das características físico-químicas e sensoriais da polpa de manga (*Mangifera indica* L) submetida a diferentes condições de processamento e de armazenagem frigorificada**. Campina Grande: UFPB, 2000. 97p. (Tese Mestrado).

✓ HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of flow processing behaviour of fluid food products. **Journal of Texture Studies**, v. 1, p. 393-418, 1971.

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

KASAHARA, G. I. **Transferencia de calor y propiedades termicas aplicadas a la congelación de productos vegetales** Refrigeracion y Congelacion de Alimentos. Chile: Editora e Imprenta Maval, 1986.p 61-79.

KOLAROV, K. M.; GROMOV, M. A. Universal equation for calculation of thermal conductivity of fruit and vegetable juices and syrups , v. 20, p. 22-32, 1973.

JUSZCZAK L.; WITCZAK, M.; FORTUNA T.; BANYS, A., Rheological properties of commercial mustards. **Journal of food Engineering**. vol. 63, pag. 209-217, Poland, 2003.

LEITÃO, M. F. de F. **Microbiologia de frutas tropicais e seus produtos** In: Instituto de **Tecnologia de Alimentos**. Alguns aspectos tecnológicos das frutas tropicais e seus produtos. São Paulo: ITAL, 1980, p. 83-126 (Série frutos tropicais).

LIRA, F. A. O. Propriedades reológicas de alimentos fluidos. In: ALVARADO, J. D.; AGUILERA, J. M. **Métodos para medir propiedades físicas em indústrias de alimentos**. Zaragoza: Acribia, 2001. cap. 1, p. 89-108.

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

MADRUGA, M. S.; ALDRIGUE, M. L. Análises químicas, físico-químicas e físicas de alimentos. In: ALDRIGUE, M. L.; MADRUGA, M. S.; FIOREZE, R.; LIMA, A. W. O.; SOUSA, C. P. **Aspectos da ciência e tecnologia de alimentos**. João Pessoa: Editora Universitária/Idéia, 2002. p. 11-58.

MALEK J.; NECAS J.; ROKYTA M.; RYUUŽI;CKA M. Weak and Measure-valued Solutions to Evolutionary PDEs, **International journal of non linear Mechanics**. Chapman 21& Hall, London, 1996.

MANOHAR, B.; RAMAKRISHNA, P.; UDAYASANKAR, K. Some properties of tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice concentrates. **Journal of Engineering**, v. 13, p. 241 - 258, 1991.

MIGUEL G. N., RIBAS, A. I. BELLOSO, O. .M. Rheology of peach dietary fibre suspensions. **Journal of food engineering**. p. 91-99, nº 39 , 1999.

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

MIZHARI, S.; BERG, Z. Flow behavior of concentrated orange juice: mathematical treatment. **J. Texture Studies**., v. 3, n. 2, p. 69-79, 1972.

MOHSENIN, N. N. **Thermal properties of food and agricultural materials**. New York: Gordon and Breach Sci. Publishers, 1980. 407 p.

MORTON, F. J. **Fruits of warm climates**. V. 1., Miami: Editora Brasil, FL. p. 308. 1987.

MOURA, S. C. S. R.; FRANÇA, V. C. L.; LEAL, A. M. C. B. Propriedades termofísicas de soluções modelo similares a suco. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, vol. 1, pág. 62-68, 2001.

MOURA, S. C. S. R.; VITALI A A. FRANÇA, V. C. L. Propriedades termofísicas de soluções modelo similares a creme de leite. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, Campinas, vol. 2, pág. 209-215, 2001.

NAKA, J. **A diversidade das frutas brasileiras**. Brasília, DF, PROFRUTA /MAPA. 2002. 19 p.

NEVES FILHO, L. C. **Resfriamento, congelamento e estocagem de alimentos**. São Paulo: IGF/ABRAVA/SINDRATAR, 1991. 176 p.

NJIE, D. N.; RUMSEY, T. R.; SINGH, R. P. Thermal properties of cassava, yam and plantain. **Journal of Food Engineering**, v. 37, n. 1, p. 63-76, 1998.

OLIVEIRA, F. C.; EUGÊNIO, C. E. A.; VASCONCELOS, L. F. L.; SOARES E. B. Métodos para acelerar a germinação de Sementes de bacuri (*Platonia insignis* Mart.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 151-154, 2002.

PEDROZA, J. P. **Efeito de danos mecânicos sobre propriedades físicas de grãos de milho**. 1991. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola). Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

PELEGRINE, C. A.; SILVA, F. C.; GASPARETTO, C. A. Rheological behavior of pineapple and mango pulps. **Lebensmittel-Wissenschaft und -Technologie**, New York, v. 35, n. 8, p. 645-648, 2002.

- PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Massa específica de polpa de açaí em função do teor de sólidos totais e da temperatura. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 6, n. 3, p. 526-530, 2002.
- PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. Propriedades termofísicas de polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.). **Revista Brasileira de Armazenamento**, Viçosa, v. 28, n. 1, p. 17-24, 2003.
- QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; CBRAL, M. F. Reologia de suco de cupuaçu. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 33., 2004, São Pedro. **Anais...** São Pedro: SBEA, 2004.CD.
- QUEIROZ, F. **Estudo da cinética de extração do óleo essencial de capim - limão com dióxido de carbono líquido**. Campinas: UNICAMP, 1993. 70p. (Tese de Mestrado).
- RAO, M. A.; COOLEY, H. J.; VITALI, A. A. Flow properties of concentrated juices at low temperatures. **Food Technology**, New York, v. 38, n. 3, p. 113-119, 1986.
- RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. **Engineering properties of foods**. 2. ed. New York: 1994, 531 p.
- RAPUSAS, R. S.; DRISCOLL, R. H. Thermophysical properties of and dried white onion slices. **Journal of food engineering**, Local, v. 30, n. 24, p. 149-164, 1995.
- RIBEIRO, E. P.; SERAVALLI, E. A. G. **Química de alimentos**. São Paulo: Edgard Blücher/Instituto Mauá de Tecnologia, 2004. 184 p.
- SANCHEZ, A. V. C.; MONTAÑÉZ, J. B. L.; BUESA, P.L.; The effects of manothermosonication on tomato pectic enzymes and tomato paste rheological properties. **Journal of food Engineering**. Zaragoza –Spain, v. 53, 273 – 278, 2001.
- SHAMSUDIN R.; MOHAMED O IMBRAIM; YAMAN, N K, M, Thermofísical properties of thai seedless guava juice as affected by temperature and concentration, **Journal of Engineering**, 1ª ed. Malasya, p. 3 -5, 2004.

SHARMA, S. K.; MULVANEY, S. J.; RIZVI, S. S. H. **Food process engineering: theory and laboratory experiments**. New York: Wiley – Interscience, 2000. 348 p.

SHERMAN, P. **Industrial rheology**. London: Academic Press, 1999. 423 p.

SILVA, D. J. **Análise de alimentos (métodos químicos e biológicos)**. 2ª ed. Viçosa, MG: UFV, 1990. 949p., p.165 - 170 .

SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, Campina Grande, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2001. ✕

SIMÕES, M. R. **Propriedades termofísicas de polpa de manga**. 1997. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos). Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

SINGH, R. P. Heating and colling processes for foods. In: HELDMAN, D. R.; LUND, D. **Handbook of food engineering**. New York: edited by HELDMAN, D. R. & LUND, D. B, 1992. p. 247-276.

SINGH, R. P. Thermal diffusivity in food processing. **Food Technology**, p. 87-91, 1982.

SOUZA, A. G.C. **Fruteiras da Amazônia**, Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária – Embrapa Centro de Pesquisa Agroflorestal da Amazônia Ocidental – CPAA; Manaus, 204 p.,1996.

SOUZA, A. G. C. **Fruteiras da Amazônia**. Manaus: Embrapa/CPAA, 1996. 204 p.

SOUZA, V. A. B.; ARAÚJO, E. C. E.; VASCOMCELOS, L. F. L.; LIMA, P. S. C. Variabilidade das características físicas e químicas de frutos de germoplasma de bacuri da região meio-norte do Brasil. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 23, n. 3 p. 677–683, 2001.

SOUZA, V. A. B.; VASCONCELOS, L. F. L.; ARAÚJO, E. C. E. **Bacurizeiro: recomendações técnicas**. Teresina: Embrapa/CPAMN, 1999.

SUGAI, A. Y. **Processamento descontínuo de purê de manga (*Mangifera indica* Linn.), variedade: Haden estudo da viabilidade do produto para pronto consumo**. (Dissertação de mestrado). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002. 82 f.

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

TEPPER, B. J.; SHAFFER, S. E.; SHEARER, C. M. Sensory perception on fat in common foods using two scaling methods. **Food Quality and Preference**, v. 5, p. 245-251, 1994.

TORRES, M. L.; FUENTE, E. B. L.; SÁNCHEZ, B. T.; KATTHAIN, R. Rheological properties of the mucilage gum (*Opuntia ficus indica*). **Food Hydrocolloids**. v. 14, p. 417-424, Veracruz, México, 2000.

TORREZAN, R. **Curso de processamento de frutas**. Fortaleza, CE: EMBRAPA/CEPAT, 1996. 83p.

VIEIRA, J. A. G. **Propriedades termofísicas e convecção no escoamento laminar de suco de laranja em tubos**. 1996. 87 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

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

VIEIRA, R. C. de C. **Atlas de Mecânica dos fluidos**. Editora Edgard Blucher; São Paulo, 1971.

VILLACHICA, H.; CARVALHO, J. E. U.; MÜLLER, C. H.; DIAZ, S. C.; ALMANZA M. **Frutales y hortalizas promisorios de la Amazonia**. Lima: Tratado de Cooperación Amazônia. Secretária Pro-Tempore, 1996. p. 152 - 156 (.TCA-SPT Publicaciones, 44).

VITALI, A. A. & M. A. RAO, Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: serum viscosity and effect of pulp content. **Journal of food science**. Campinas. Volume 49 p. 876- 881. 1984.

APÊNDICE A

Tabela A.1. Regressão na análise de variância - int. da acidez titulável para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Reg.linear	1	3,63234	3,63234	12531,1214 **
Reg.quadra	1	0,04616	0,04616	159,2445 **
Reg.cubica	1	0,00000	0,00000	0,0005 *
Reg.4ºgrau	1	0,00031	0,00031	1,0692 ns
Reg.5ºgrau	1	0,00001	0,00001	0,0316
Trataments	6	3,70820	0,61803	2132,1326 **
Desvios...	1	0,00001	0,00001	0,0316
Resíduo	14	0,00406	0,00029	
Total	20	3,71225		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

Tabela A.2. Regressão na análise de variância - int. da Ac. ascorbico para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Reg.linear	1	041132	0,41132	128,5272 **
Reg.quadra	1	0,01370	0,01370	4,2806 ns
Reg.cubica	1	0,05645	0,05645	17,6386 **
Reg.4ºgrau	1	0,00025	0,00025	0,0791 ns
Reg.5ºgrau	1	0,00213	0,00213	0,6644 ns
Desvios...	1	-	-	0,0005
Trataments	6	0,48385	0,08064	25,1154 **
Resíduo	14	0,03853	0,00320	
Total	20	0,52865		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

Tabela A.3. Regressão na análise de variância - int. da cinzas para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Reg.linear	1	0,17281	0,17281	5186,5527 **
Reg.quadra	1	0,00681	0,00681	204,3854 **
Reg.cubica	1	0,00067	0,00067	20,1753 **
Reg.4ºgrau	1	-	-	0,0585 ns
Reg.5ºgrau	1	0,00033	0,00033	10,0162 -
Desvios	1	-	-	0,0141
Trataments	6	0,18063	0,03010	903,5337 **
Resíduos	14	0,00047	0,00003	
Total	20	0,18110		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

Tabela A.4. Regressão na análise de variância - int. sólidos totais para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Reg.linear	1	443,21080	443,21080	2316,3944 **
Reg.quadra	1	29,31506	29,31506	153,2120 **
Reg.cubica	1	0,12500	0,12500	0,6533 ns
Reg.4ºgrau	1	0,00333	0,00333	0,0174 ns
Reg.5ºgrau	1	0,15009	0,15009	0,7844 ns
Desvios	1	0,00041	0,00041	0,0022
Trataments	6	472,80469	78,80078	411,8440 **
Resíduos	14	2,67871	0,19134	
Total	20	475,48340		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

Tabela A.5. Regressão na análise de variância - int. sólidos insolúveis em água para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Reg.linear	1	59,72284	59,72284	4934,4599 **
Reg.quadra	1	0,24980	0,24980	20,6388 **
Reg.cubica	1	0,29162	0,29162	24,0944 **
Reg.4ºgrau	1	0,10900	0,10900	9,0058 **
Reg.5ºgrau	1	0,13525	0,13525	11,1745 -
Desvios	1	0,43274	0,43274	35,7544
Trataments	6	60,94124	10,15687	839,1879 **
Resíduos	14	0,16945	0,01210	
Total	20	61,11069		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

Tabela A.6. Regressão na análise de variância - int. teor de **umidade** para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Reg.linear	1	446,15650	446,15650	2293,0481 **
Reg.quadra	1	29,31497	29,31497	150,6661 **
Reg.cubica	1	0,07735	0,07735	0,3976 ns
Reg.4ºgrau	1	0,02621	0,02621	0,1347 ns
Reg.5ºgrau	1	0,21907	0,21907	1,1259 ns
Desvios	1	00,0024	00,0024	00,012
Trataments	6	475,79166	79,29861	407,5599 **
Resíduos	14	2,72397	0,19457	
Total	20	478,51563		

** = significativo ao nível de 1% de probabilidade

* = significativo ao nível de 5% de probabilidade

ns = não significativo

Tabela A.7. Análise de variância dos valores médios de pH para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Tratamento	6	0,17107	0,02851	0,5809 ns
Resíduo	14	0,68710	0,04908	
Total	20	0,85817		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q.M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F

ns - não significativo

Tabela A.8. Análise de variância dos valores médios da acidez total titulável para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Tratamento	6	3,70820	0,61803	2132,1326 **
Resíduo	14	0,00406	0,00029	
Total	20	3,71225		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela A.9. Análise de variância dos valores médios dos teores de ácido ascórbico para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Tratamento	6	0,48385	0,08064	25,1984 **
Resíduo	14	0,04480	0,00320	
Total	20	0,52865		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela A.10. Análise de variância dos valores médios de cinzas para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Tratamento	6	0,18063	0,03010	903,5337 **
Resíduo	14	0,00047	0,00003	
Total	20	0,18110		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela A.11. Análise de variância dos valores médios dos sólidos totais para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Tratamento	6	472,80469	78,80078	411,8440 **
Resíduo	14	2,67871	0,19134	
Total	20	475,48340		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela A.12. Análise de variância dos valores médios dos sólidos insolúveis em água (%) para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Tratamentos	6	60,94124	10,15687	839,1879 **
Resíduo	14	0,16945	0,01210	
Total	20	61,11069		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela A.13. Análise de variância dos valores médios de umidade para a polpa de bacuri nas diferentes concentrações.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Tratamentos	6	475,79166	79,29861	407,5599 **
Resíduo	14	2,72397	0,19457	
Total	20	478,51563		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela A.14. - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 5°Brix.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Temperatura	5	366,07	73,21	172,85 **
Velocidade	7	13.697,93	1.956,84	4.620,11 **
Temperatura x Velocidade	35	389,84	11,14	26,29 **
Resíduo	96	40,66	0,4236	
Total	143	14.494,50		

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

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela A.15. - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) das polpa de bacuri a 7,5°Brix

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Temperatura	5	424,97	84,99	2.831,66 **
Velocidade	7	15.758,56	2.251,22	75.001,69 **
Temperatura x Velocidade	35	382,05	10,92	363,67 **
Resíduo	96	2,88	0,03002	
Total	143	16.568,47		

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

- Significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela A.16. - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 10°Brix

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Temperatura	5	656,29	131,26	2653,52 **
Velocidade	7	25.277,79	3611,11	73.002,18 **
Temperatura x Velocidade	35	13.73,97	39,25	793,61 **
Resíduo	96	4,75	0,04947	
Total	143	27312,80		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F.

** - significativo a nível de 1% de probabilidade

Tabela A.17. - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 12,5°Brix.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Temperatura	5	838,46	167,69	28.388,37 **
Velocidade	7	31.258,03	4.465,43	755.948,56 **
Temperatura x Velocidade	35	914,44	26,13	4.422,98 **
Resíduo	96	0,5671	0,00591	
Total	143	33.011,49		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F. ** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela A.18. Análise de variância dos valores médios das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de bacuri a 15°Brix.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Temperatura	5	811,24	162,24	5.898,51 **
Velocidade	7	36.915,81	5.273,68	19.1725,06 **
Temperatura x Velocidade	35	834,01	23,83	866,30 **
Resíduo	96	2,64	0,0275	
Total	143	38.563,70		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela A.19. - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 17,5°Brix

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Temperatura	5	871,21	174,24	38.233,32 **
Velocidade	7	40.946,41	5.849,48	1.283.544,63 **
Temperatura x Velocidade	35	811,12	23,17	5.085,34 **
Resíduo	96	0,4375	0,00456	
Total	143	42.629,18		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F.

** - significativo a nível de 1% de probabilidade

Tabela A.20. - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpas de bacuri a 20°Brix

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Temperatura	5	1.079,54	215,91	6.572,35 **
Velocidade	7	46.153,17	6.593,31	200.704,11 **
Temperatura x Velocidade	35	1.224,15	34,97	1.064,67 **
Resíduo	96	3,15	0,0329	
Total	143	48.460,02		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela A.21- Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 10°C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Velocidade	7	2.073,78	345,63	10.978,24 **
Concentração	6	55.001,17	7.857,31	249.571,23 **
Velocidade x Concentração	42	3.002,94	71,50	2.271,01 **
Resíduo	112	3,52	0,0315	
Total	167	60.081,43		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F.

** - significativo a nível de 1% de probabilidade

Tabela A.22. - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de bacuri a 20°C.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Velocidade	7	1.500,51	250,08	2.086,05 **
Concentração	6	37.109,86	5.301,41	44.220,76 **
Velocidade x Concentração	42	1.939,33	46,17	385,15 **
Resíduo	112	13,43	0,1199	
Total	167	40.563,13		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela A.23. - Análise de variância dos valores médios das viscosidades aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 30°C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Velocidade	7	1.316,17	219,36	1.541,81 **
Concentração	6	34.002,06	4.857,44	34.140,89 **
Velocidade x Concentração	42	1.371,95	32,66	229,59 **
Resíduo	112	15,93	0,1423	
Total	167	36.706,12		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela A.24. - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 40°C.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Velocidade	7	1.153,03	192,17	4.112,94 **
Concentração	6	29.736,13	4.248,02	90.918,23 **
Velocidade x Concentração	42	1.374,55	32,73	700,45 **
Resíduo	112	5,23	0,0467	
Total	167	32.268,94		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela A.25. - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa s) da polpa de bacuri a 50°C

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Velocidade	7	1.040,68	173,45	2.122,83 **
Concentração	6	26.004,89	3.714,98	45.468,07 **
Velocidade x Concentração	42	1.225,29	29,17	357,06 **
Resíduo	112	9,15	0,0817	
Total	167	28.280,02		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F.

** - significativo ao nível de 1% de probabilidade

Tabela A.26. - Análise de variância dos valores médios da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de bacuri a 60°C.

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Velocidade	7	905,83	150,97	2168,68 **
Concentração	6	23890,64	3412,95	49026,47 **
Velocidade x Concentração	42	1274,79	30,35	436,01 **
Resíduo	112	7,79	0,0696	
Total	167	26079,06		

G.L. - Grau de liberdade; S.Q - Soma dos Quadrados; Q. M. - quadrado médio dos desvios e F - Variável do teste F.

Tabela A.27. - Análise de variância dos valores médios do calor específico da polpa de bacuri

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Tempo	6	1,48947	0,24825	27,8797 **
Resíduo	35	0,31165	0,00890	
Total	41	1,80112		

** Significativo a nível de 1% de probabilidade

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

Tabela A.28. -Análise de variância dos valores médios da condutividade térmica da polpa de bacuri

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Concentração	6	0,03745	0,00624	326,2528 **
Resíduo	14	0,00027	0,00002	
Total	20	0,03772		

** Significativo a nível de 1% de probabilidade

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

Tabela A.29. - Análise de variância dos valores médios da difusividade térmica da polpa de bacuri

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Concentração	6	0,05636	0,00939	141,4873 **
Resíduo	14	0,00093	0,00007	
Total	20	0,05729		

** Significativo a nível de 1% de probabilidade

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

Tabela A.30. -Análise de variância dos valores médios da massa específica da polpa de bacuri

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M	F
Temperatura	1	518,48	518,48	850,62 **
Concentração	6	14.130,67	2.355,11	3.863,85 **
Temperatura x Concentração	6	164,19	27,36	44,89 **
Resíduo	70	42,67	0,609	
Total	83	14.856,0		

** Significativo a nível de 1% de probabilidade

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

APÊNDICE B

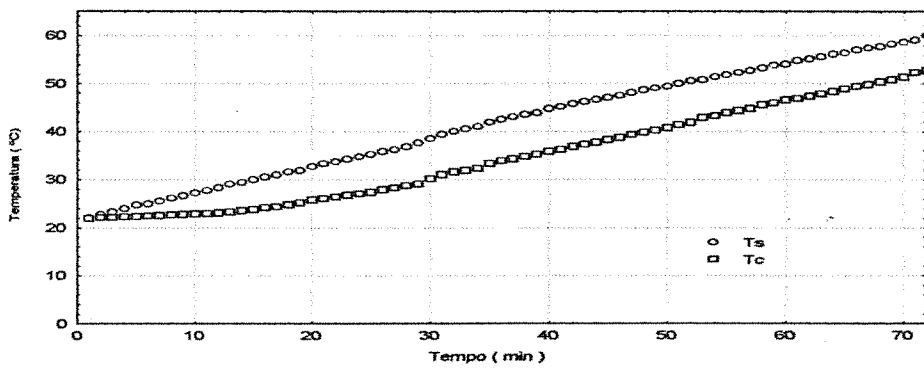
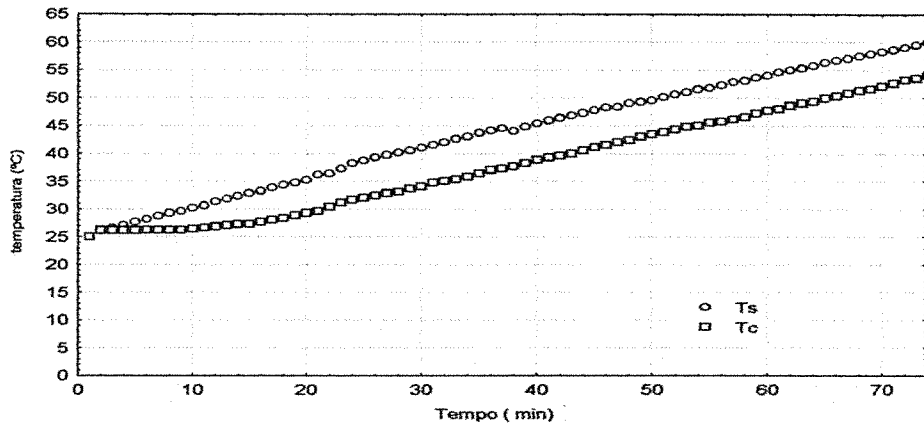
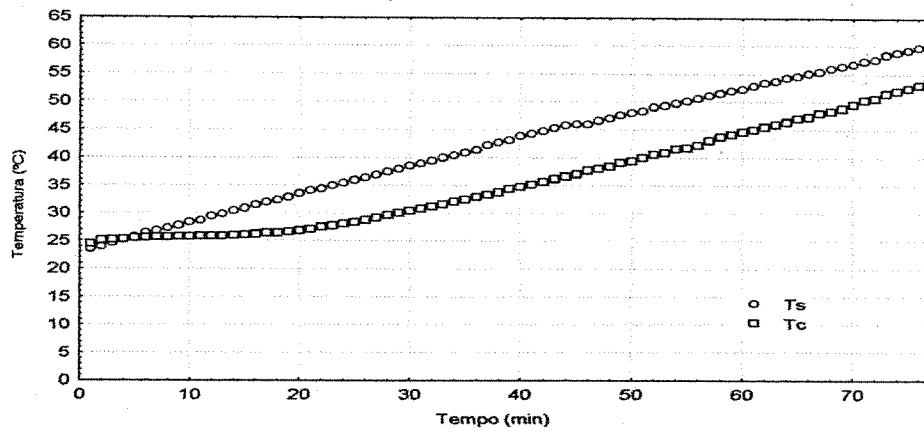


Figura B.1. Valores experimentais para a determinação da viscosidade térmica da polpa do bacuri a 5 °B em três repetições .

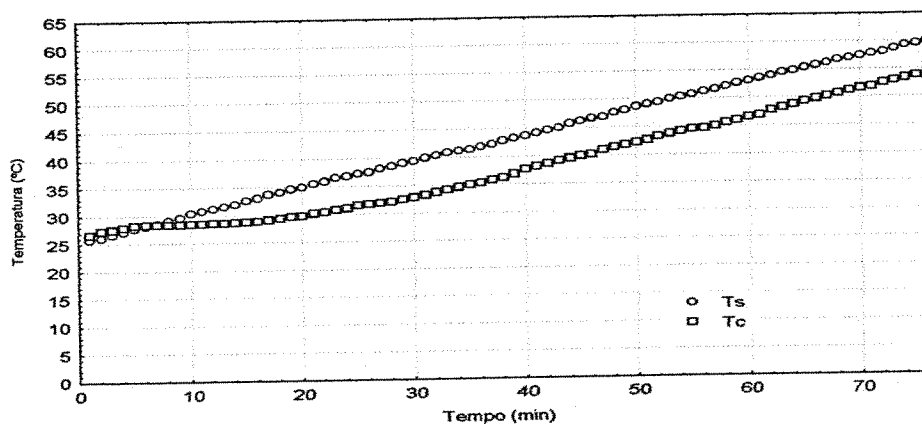
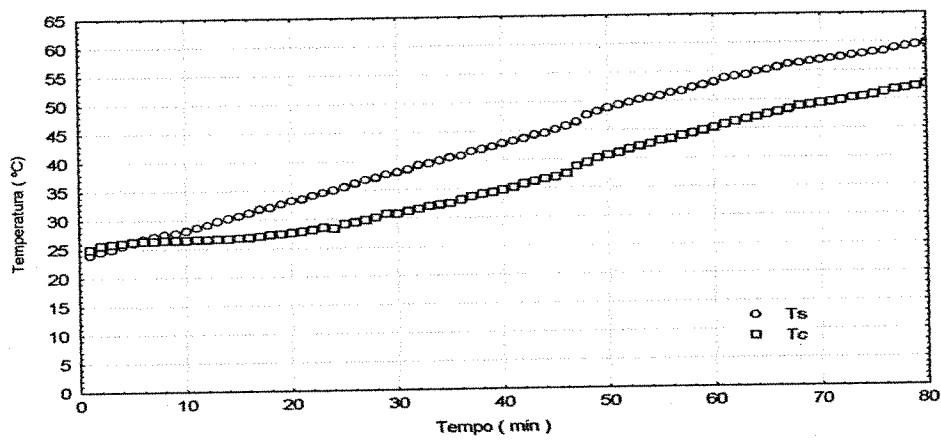
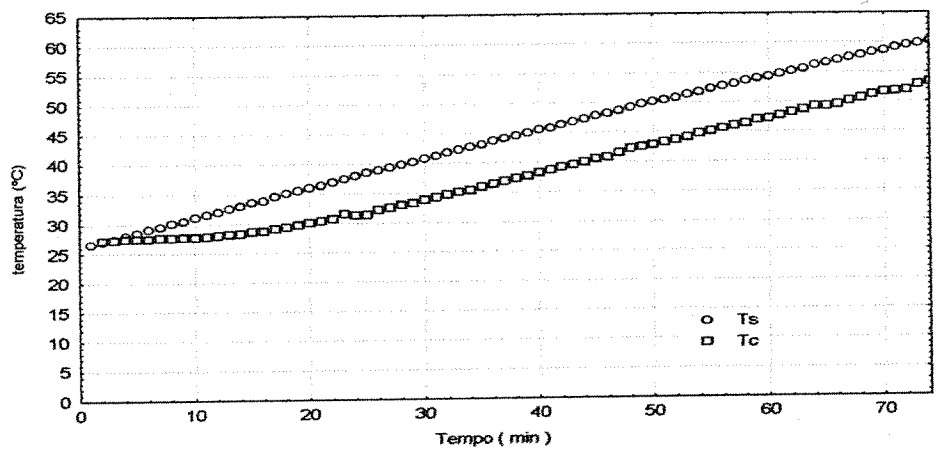


Figura B.2. Valores experimentais para a determinação da viscosidade térmica da polpa do bacuri a 7,5 °B em três repetições .

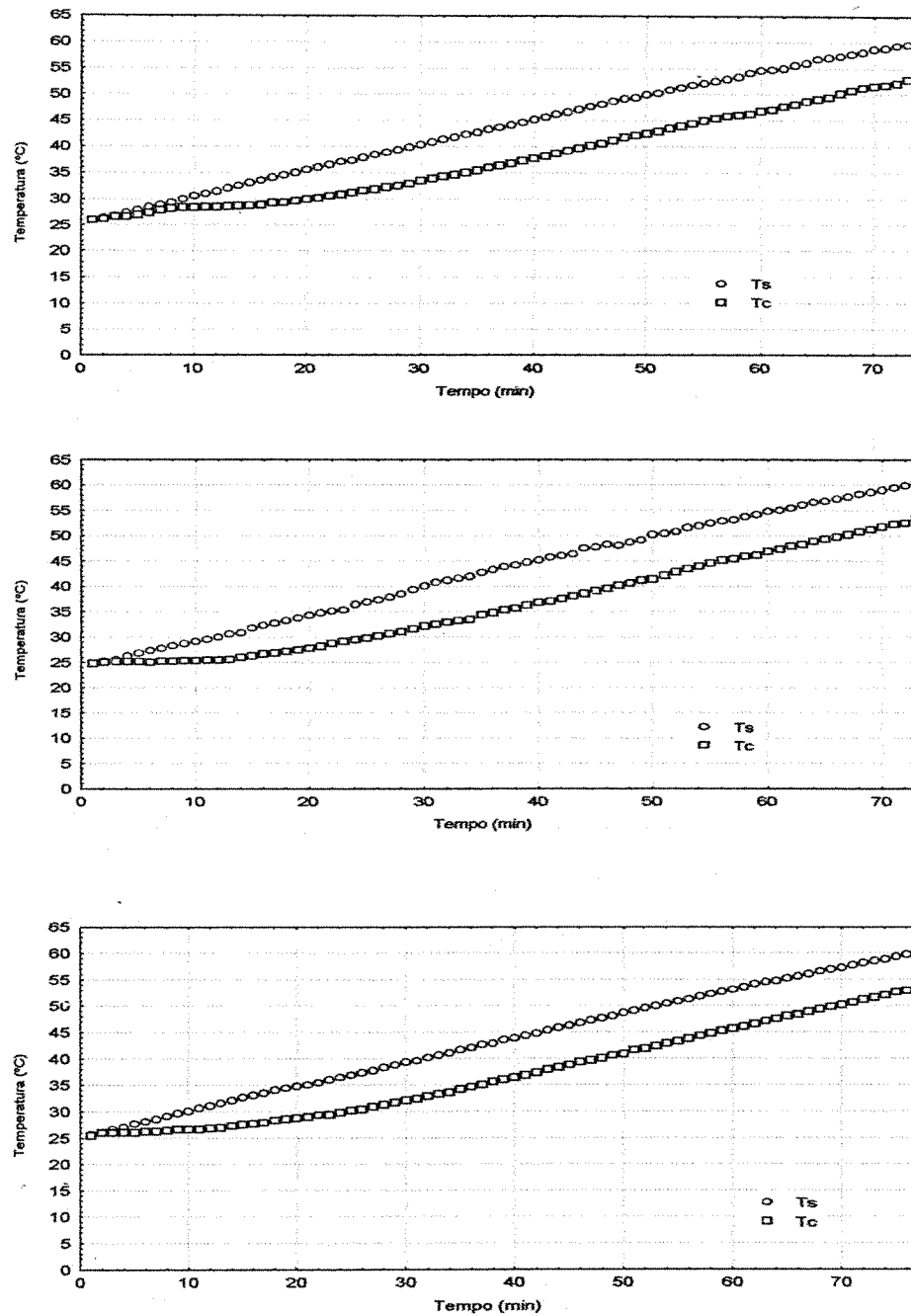


Figura B.3. Valores experimentais para a determinação da viscosidade térmica da polpa do bacuri a 10 °B em três repetições .

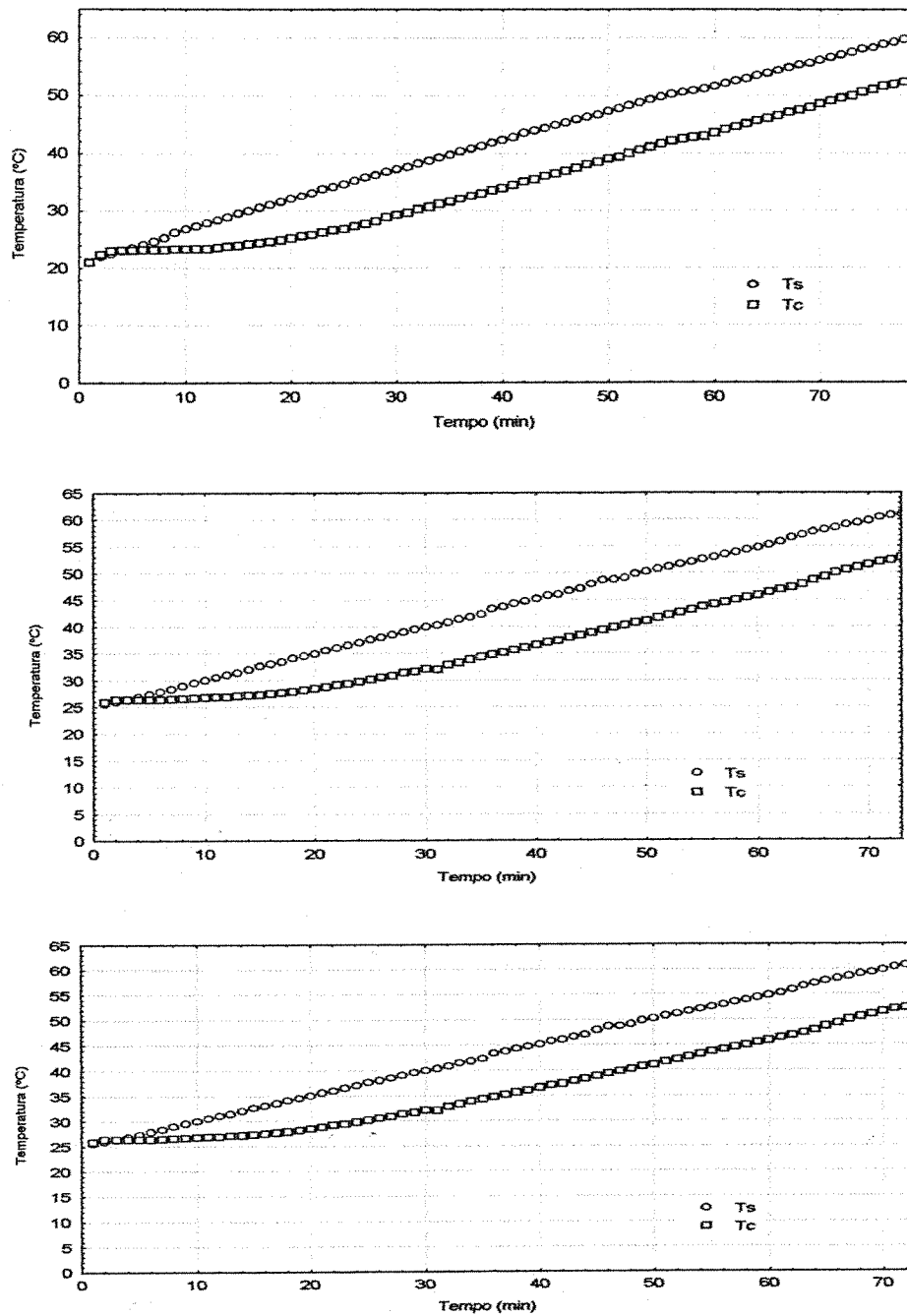


Figura B.4. Valores experimentais para a determinação da viscosidade térmica da polpa do bacuri a 12,5 °B em três repetições.

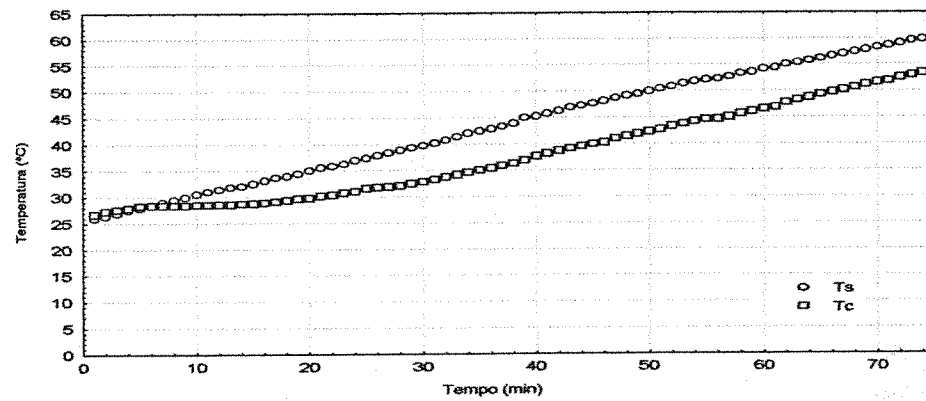
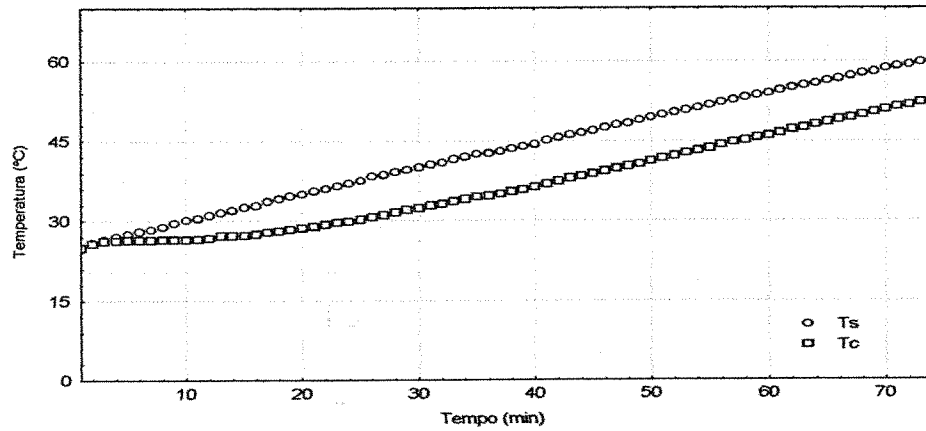
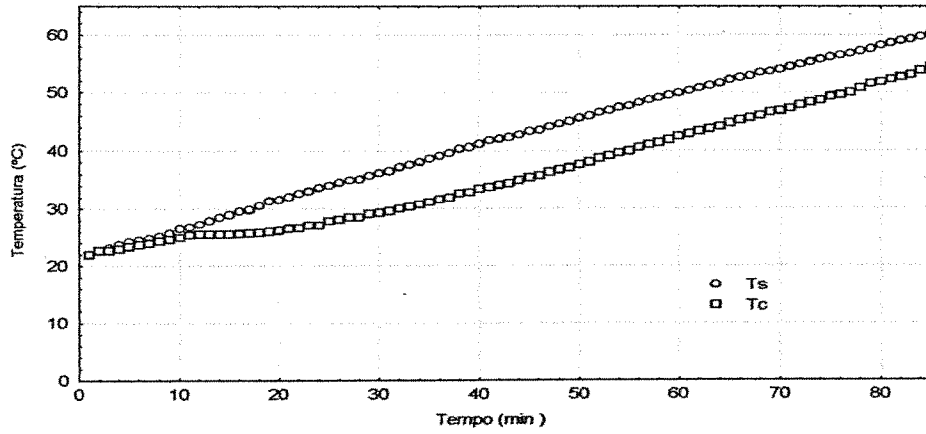


Figura B.5. Valores experimentais para a determinação da viscosidade térmica da polpa do bacuri a 15 °B em três repetições .

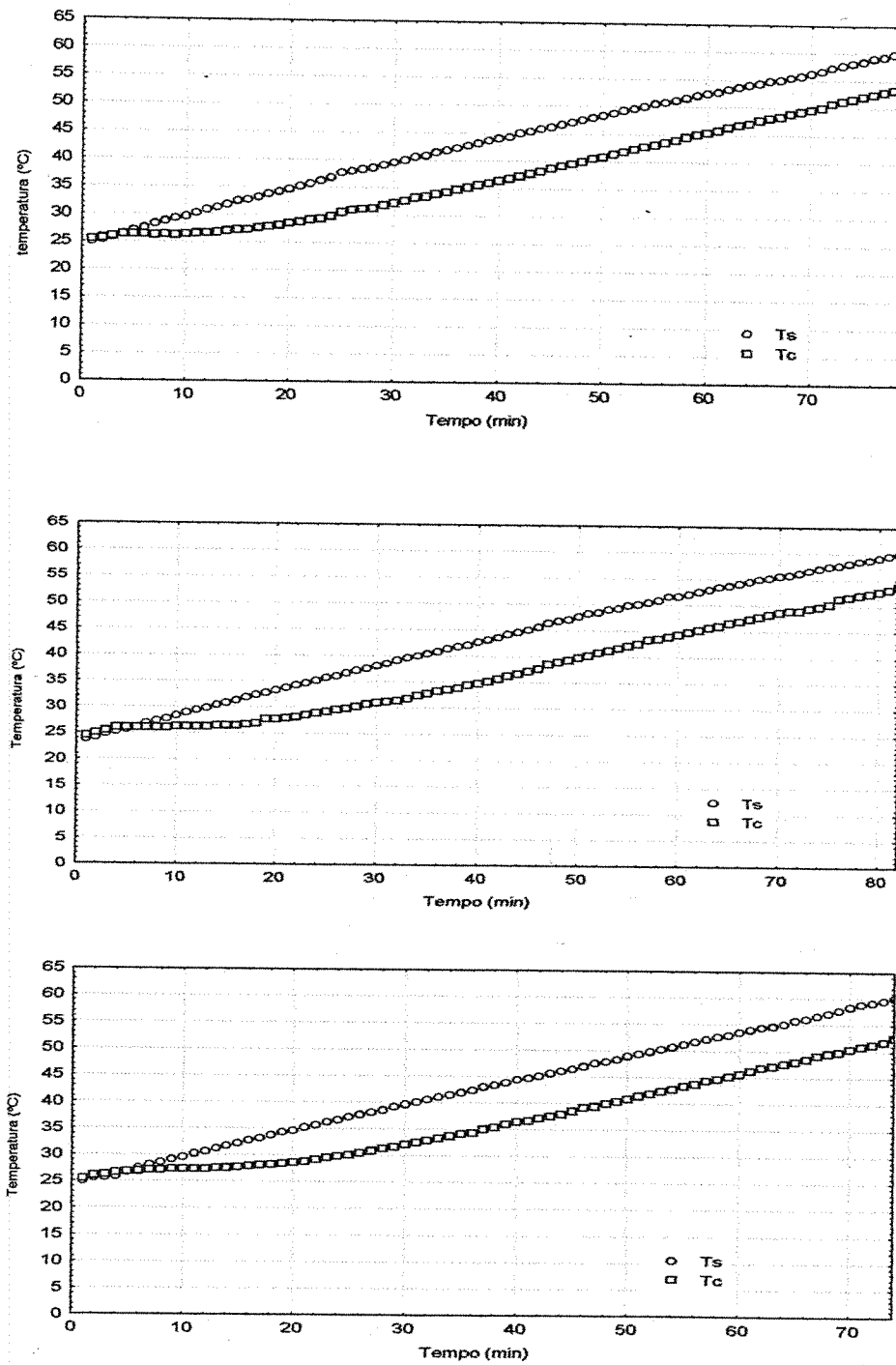


Figura B.6 Valores experimentais para a determinação da viscosidade térmica da polpa do bacuri a 17,5 °B em três repetições .

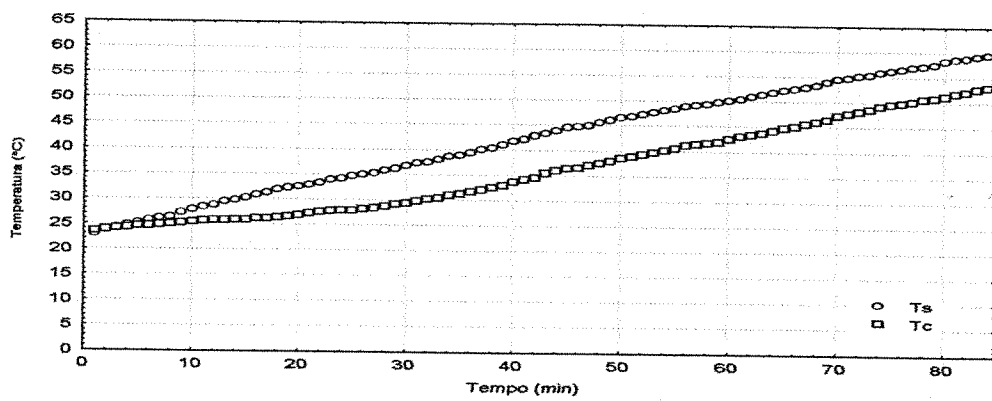
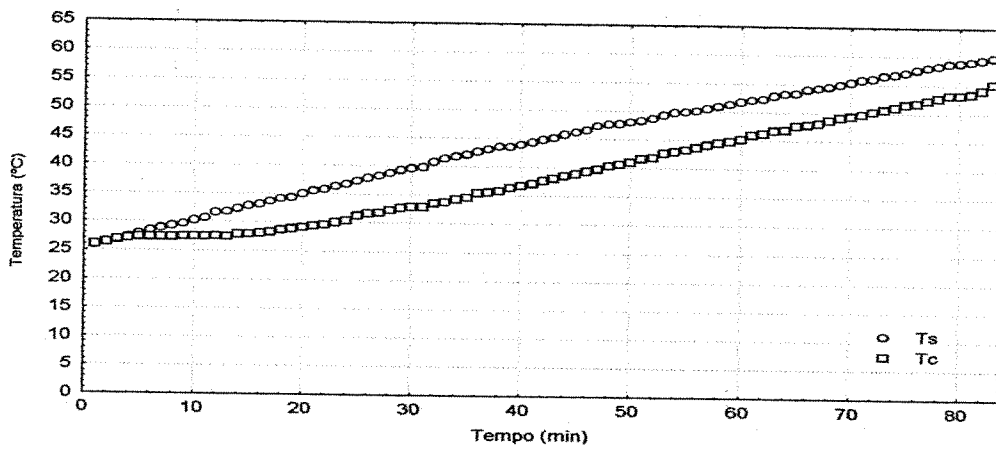
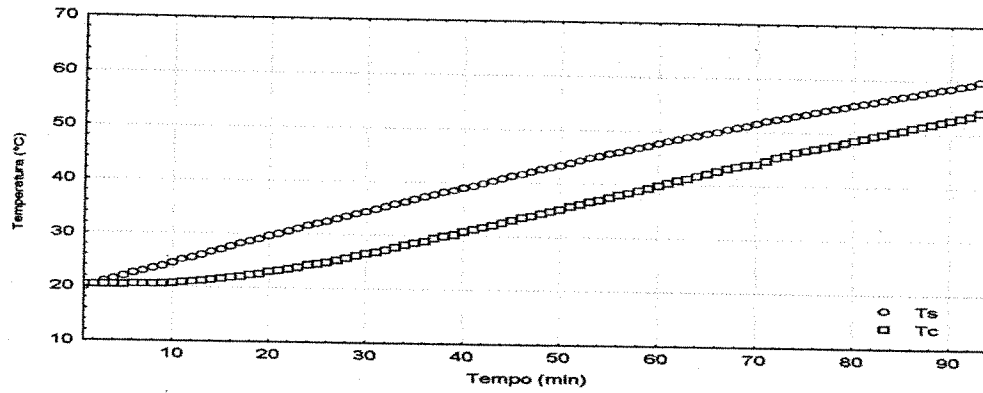


Figura B.7. Valores experimentais para a determinação da viscosidade térmica da polpa do bacuri a 20 °B em três repetições .