



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
(UFCG)**

**CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
(CTRN)**



**UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA
AGRÍCOLA (UAEA)**

DISSERTAÇÃO

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

**COMPORTAMENTO REOLÓGICO E PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS DA
POLPA DE GRAVIOLA**

VANSOSTENES ANTONIO MACHADO DE MIRANDA

Campina Grande - Paraíba

Setembro, 2011

**COMPORTAMENTO REOLÓGICO E PROPRIEDADES
TERMOFÍSICAS DA POLPA DE GRAVIOLA**

VANSOSTENES ANTONIO MACHADO DE MIRANDA

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: Processamento e Armazenamento de Produtos
Agrícolas**

ORIENTADORES: Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

Prof.^a. Dr.^a. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

Campina Grande - Paraíba

Setembro - 2011

70
532.139.110
1174-20



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFSCG

M672c Miranda, Vansostenes Antonio Machado.

Comportamento reológico e propriedades termofísicas da polpa de graviola / Vansostenes Antonio Machado de Miranda. - Campina Grande, 2011.

90 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais.

Orientadores: Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz, Profª. Drª. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo.

Referências.

1. Comportamento Reológico. 2. *Annona muricata*. 3. Viscosidade Aparente. 4. Calor Específico. 5. Difusividade Térmica. 6. Condutividade Térmica. 7. Massa Específica. I. Título.

CDU 532.135(043)



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
COORDENAÇÃO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

VANSÓSTENES ANTONIO MACHADO DE MIRANDA

PROPRIEDADES REOLÓGICAS E TERMOFÍSICAS DA POLPA DE GRAVIOLA

BANCA EXAMINADORA

PARECER

Alexandre J. M. Queiroz
Dr. Alexandre José de Melo Queiroz – Orientador

APROVADO

Rossana M. F. de Figueirêdo
Dr. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo – Orientadora

Aprovado

Vimário S.S.C.
Dr. Vimário Simões Silva – Examinador

APROVADO

Josivanda P. Gomes
Dra. Josivanda Palmeira Gomes – Examinadora

APROVADO

SETEMBRO - 2011

**A Deus, o Magnífico Criador e às luzes de ajuda;
se continuarmos a nossa evolução a perfeição nos
será permitida e conseguida.**

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus criador, e às benevolentes luzes espirituais, pelo refúgio e fortaleza na minha caminhada.

A Almerinda, Tiago e Victor pelo amor, alegria e carinho de estarem sempre comigo; amo-os de paixão.

Aos meus Tutores, Alexandre Queiroz e Rossana Figueirêdo, pelas orientações, confiança e amizade nas minhas indagações, pois sem esse vislumbamento de assertivas ações, esta caminhada seria muito mais difícil. Meu eterno Obrigado.

A meus pais, Francisco e Auxiliadora, e irmãos, pelas orações e incentivos.

À UFCG e à FACEPE, por me ter oportunizado este Minter.

Ao Prof. Francisco Henrique Duarte Filho e sua equipe técnica, pelo empenho na implementação do Minter IFPE/UFCG.

Aos professores do Minter UFCG, e à coordenadora do Minter, Prof.^a Josivanda Palmeira, pelas ações que tornaram nossa caminhada firme e doce.

Aos colegas do Minter, pelo companheirismo, amizade e dedicação e a alegre convivência.

Aos colegas João Tavares e Nélio Pereira, pelo incentivo, companheirismo e dedicação aos colegas do Minter.

E a todos que, direta e indiretamente, contribuíram nesta caminhada: Prof. Mayke, Edmilson, Karla, Vanessa, Leila, Iremar, Francisco e Wilia.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS.....	iv
LISTA DE TABELAS.....	vi
RESUMO.....	ix
ABSTRACT.....	x
1 – INTRODUÇÃO.....	1
1.1 – Objetivo geral.....	2
1.1.1 – Objetivos específicos.....	2
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 – Graviola.....	3
2.2 – Caracterização química e físico química.....	5
2.2.1 - pH.....	5
2.2.2 - Cinzas.....	6
2.2.3 - Sólidos totais.....	7
2.2.4 - Sólidos solúveis totais (°Brix).....	7
2.2.5 - Umidade.....	7
2.2.6 - Atividade de água (a_w).....	8
2.2.7 - Cor.....	8
2.3 - Propriedades termofísicas.....	9
2.3.1 - Calor específico.....	9
2.3.2 - Massa específica.....	13
2.3.3 - Difusividade térmica.....	15
2.3.4 - Condutividade térmica.....	17
2.4 - Reologia.....	18
2.4.1 - Fluidos newtonianos.....	20
2.4.2 - Fluidos não- newtonianos.....	20
2.5 - Modelos reológicos	22
2.5.1 - Lei da potência.....	22
2.5.2 - Lei de Casson.....	23
3 - MATERIAL E MÉTODOS.....	24
3.1 – Matéria- prima.....	24
3.2 - Processamento da matéria prima.....	24

3.2.1 - Recepção.....	25
3.2.2 - Lavagem.....	25
3.2.3 - Despolpamento.....	25
3.2.4 - Acondicionamento.....	25
3.2.5 - Congelamento.....	25
3.2.6 - Armazenamento.....	25
3.3 - Preparo das amostras.....	26
3.4 - Caracterização química, física e físico – química.....	26
3.4.1 – pH.....	26
3.4.2 - Cinzas.....	26
3.4.3 - Sólidos totais.....	26
3.4.4 - Sólidos solúveis totais.....	27
3.4.5 - Umidade.....	27
3.4.6 - Atividade de água.....	27
3.4.7 - Cor.....	27
3.5 - Propriedades reológicas.....	27
3.5.1 - Influência da temperatura.....	28
3.6 - Propriedades termofísicas.....	28
3.6.1 - Calor específico.....	28
3.6.2 - Massa específica.....	30
3.6.3 - Difusividade térmica.....	31
3.6.4 - Condutividade térmica.....	32
3.7 - Erros.....	33
3.8 - Análise estatística.....	33
4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	34
4.1 - Caracterização química, física e físico-química.....	34
4.2 – Comportamento reológico.....	36
4.2.1 - Modelos reológicos.....	36
4.2.2 - Viscosidades aparentes.....	45
4.2.2.1 - Efeito da temperatura.....	51
4.3 - Propriedades termofísicas.....	61
4.3.1 - Calor específico.....	61
4.3.2 - Massa específica.....	63

4.3.3 - Difusividade térmica.....	65
4.3.4 - Condutividade.....	66
5 - CONCLUSÕES.....	68
6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	69
APÊNDICE A.....	81
APÊNDICE B.....	85

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Fruto da graviola (<i>Annona muricata</i> L.)	3
Figura 3.1 - Fluxograma do processamento da graviola	24
Figura 4.1 - Tensão de cisalhamento em função de taxa de deformação da amostra integral, 12 °Brix, com ajustes pelo modelo da Lei da Potência	38
Figura 4.2 - Tensão de cisalhamento em função de taxa de deformação da amostra integral, 12 °Brix, com ajustes pelo modelo de Casson	39
Figura 4.3 - Tensão de cisalhamento em função de taxa de deformação da polpa de graviola concentrada (17 °Brix), com ajustes pelo modelo da Lei da Potência	41
Figura 4.4 - Tensão de cisalhamento em função de taxa de deformação da polpa de graviola concentrada (17 °Brix), com ajustes pelo modelo de Casson	42
Figura 4.5 - Tensão de cisalhamento em função de taxa de deformação da polpa de graviola concentrada (25 °Brix), com ajustes pelo modelo da Lei da Potência	44
Figura 4.6 - Tensão de cisalhamento em função de taxa de deformação da polpa de graviola concentrada (25 °Brix), com ajustes pelo modelo de Casson	45
Figura 4.7 - Viscosidade aparente em função da velocidade de rotação da polpa de graviola com 12 °Brix nas temperaturas de 5 a 50 °C	47
Figura 4.8 - Viscosidade aparente em função de velocidade de rotação da polpa de graviola com 17 °Brix nas temperaturas de 5 a 50 °C	49
Figura 4.9 - Viscosidade aparente em função da velocidade de rotação da polpa de graviola a 25 °Brix nas temperaturas de 5 a 50 °C	51
Figura 4.10 - Viscosidade aparente da polpa de graviola integral (12 °Brix) em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação	52
Figura 4.11 - Viscosidade aparente da polpa de graviola com 17 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação	55

Figura 4.12 - Viscosidade aparente da polpa de graviola com 25 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação	58
Figura B.1 - Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro de Dickerson da polpa da graviola R1 com 12 °Brix	86
Figura B.2 - Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro de Dickerson da polpa da graviola R1 com 17 °Brix	86
Figura B.3 - Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro de Dickerson da polpa da graviola R1 com 25 °Brix	87
Figura B.4 - Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro Dickerson da graviola R2 12° Brix.....	87
Figura B.5 - Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro de Dickerson da polpa da graviola R2 com 17 °Brix	88
Figura B.6 - Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro de Dickerson da polpa da graviola R2 com 25 °Brix	88
Figura B.7 - Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro de Dickerson da polpa da graviola R3 com 12 °Brix	89
Figura B.8 - Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro de Dickerson da polpa da graviola R3 com 17 °Brix	89
Figura B.9 - Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro de Dickerson da polpa da graviola R3 com 25 °Brix	90

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Composição da graviola em 100 g de fruto	4
Tabela 2.2 - Equações para estimar a massa específica de sucos e polpa de frutas	14
Tabela 3.1 - Equações para o cálculo do calor específico de alimentos	30
Tabela 3.2 - Equações para estimar a massa específica teórica	30
Tabela 3.3 - Equações utilizadas no cálculo da difusividade térmica teórica	32
Tabela 3.4 - Equações utilizadas no cálculo teórico da condutividade térmica da polpa da graviola	33
Tabela 4.1 - Valores médios dos parâmetros da caracterização química, física e físico-química das polpas de graviola integral e concentradas	34
Tabela 4.2 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos reológicos Lei da Potência e Casson para a polpa de graviola integral (12 °Brix)	36
Tabela 4.3 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos reológicos Lei da Potência e Casson para a polpa da graviola concentrada com 17 °Brix	40
Tabela 4.4 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos reológicos Lei da Potência e Casson para a polpa da graviola concentrada com 25 °Brix	43
Tabela 4.5 - Viscosidades aparentes (mPa s) da polpa de graviola com 12°Brix em função da velocidade de rotação e temperatura	46
Tabela 4.6 - Viscosidades aparentes (mPa s) da polpa de graviola com 17 °Brix em função da velocidade de rotação e temperatura	48
Tabela 4.7 - Viscosidades aparentes (mPa s) da polpa de graviola com 25 °Brix em função da velocidade de rotação e temperatura	50
Tabela 4.8 - Equações de regressão do logaritmo das viscosidades aparentes da polpa de graviola com 12 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação	53
Tabela 4.9 - Viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0) e energias de ativação (E_a) da polpa de graviola integral (12 °Brix) calculadas a partir da equação de Arrhenius	54

Tabela 4.10 - Equações de regressão do logaritmo das viscosidades aparentes da polpa de graviola com 17 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação	56
Tabela 4.11 - Viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0) e energias de ativação (E_a) da polpa de graviola com 17 °Brix calculadas a partir da equação de Arrhenius	57
Tabela 4.12 - Equações de regressão do logaritmo das viscosidades aparentes da polpa de graviola com 25 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação.	59
Tabela 4.13 - Viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0) e energias de ativação (E_a) da polpa de graviola com 25 °Brix calculadas a partir da equação de Arrhenius	60
Tabela 4.14 - Comparação entre as energias de ativação (E_a) das polpas de graviola com 12, 17 e 25 °Brix calculadas a partir da equação de Arrhenius	61
Tabela 4.15 - Valores médios do calor específico da polpa de graviola nas concentrações de 12, 17 e 25°Brix	62
Tabela 4.16 - Valores teóricos de calor específico calculados para as polpas de graviola nas concentrações de 12, 17 e 25 °Brix	63
Tabela 4.17 - Valores médios de massa específica das polpas de graviola nas concentrações de 12, 17 e 25 °Brix e temperaturas de 10 a 50 °C	64
Tabela 4.18 - Valores teóricos de massa específica calculados para as polpas de graviola nas concentrações de 12, 17 e 25 °Brix	64
Tabela 4.19 - Valores experimentais médios de difusividade térmica das polpas de graviola nas concentrações de 12, 17 e 25°Brix	65
Tabela 4.20 - Valores teóricos de difusividade térmica calculados para as polpas de graviola nas concentrações de 12, 17 e 25°Brix.....	66
Tabela 4.21 - Valores médios de condutividade térmica das polpas de graviola com diferentes concentrações (12, 17 e 25°Brix).....	66
Tabela 4.22 - Valores de condutividade térmica calculados por meio de equações propostas para as polpas de graviola a 12, 17 e 25 °Brix	67
Tabela A.1 - Análise de variância das cinzas da polpa da graviola com diferentes concentrações	82

Tabela A.2 - Análise da variância de sólidos totais da polpa da graviola com diferentes concentrações	82
Tabela A.3 - Análise da variância da umidade da graviola nas diferentes concentrações	82
Tabela A.4 - Análise da variância da atividade de água da graviola nas diferentes concentrações	82
Tabela A.5 - Análise de variância de análise da luminosidade da graviola nas diferentes concentrações	83
Tabela A.6 - Análise da variância de análise da intensidade de vermelho (+a*) da graviola nas diferentes concentrações	83
Tabela A.7 -- Análise da variância de análise da intensidade de amarelo da graviola nas diferentes concentrações	83
Tabela A.8 -- Análise da variância do calor específico da graviola com diferentes concentrações	83
Tabela A.9 -- Análise de variância da massa específica da graviola nas diferentes concentrações e temperaturas	84
Tabela A.10 - Análise de variância da difusividade térmica da polpa da graviola nas diferentes concentrações	84
Tabela A.11 - Análise da variância da condutividade térmica da graviola nas concentrações de 12, 17 e 25 °Brix	84

Dissertação: Propriedades reológicas e termofísicas da polpa de graviola

Autor: Vansostenes Antônio Machado de Miranda

Orientadores: Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

Prof^a. Dr^a. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

RESUMO

O conhecimento das propriedades termofísicas e reológicas dos fluidos de origem agrícola, é necessário para os cálculos de transferência de calor envolvidos em projetos e processos de refrigeração, aquecimento e transporte. Com o intuito de aproveitar a polpa da graviola produzida na região semiárida do Nordeste objetivou-se a determinação das propriedades reológicas e termofísicas de polpas de graviola integral (12 °Brix) e concentradas (17 °Brix e 25 °Brix), caracterizadas previamente quanto às características químicas, físicas e físico-químicas. Para as medidas viscométricas utilizou-se um viscosímetro Brookfield obtendo-se as leituras diretas de viscosidade e torque e através da conversão destes dados, obtiveram-se as tensões de cisalhamento e as taxas de deformação. Os modelos da Lei da Potência e Casson foram ajustados aos dados de tensão de cisalhamento, em função da taxa de deformação. Das propriedades termofísicas foram determinados a massa específica, o calor específico e a difusividade térmica, pelos métodos picnométrico, das misturas e do cilindro infinito, respectivamente. A condutividade térmica foi obtida da relação com as propriedades anteriores. Equações propostas em literatura foram utilizadas para estimar as propriedades termofísicas e os resultados foram comparados com os obtidos experimentalmente. As polpas foram caracterizadas como sendo alimentos ácidos e a concentração aumentou os parâmetros de cor luminosidade, intensidade de vermelho e intensidade de amarelo. As amostras apresentaram comportamento pseudoplástico e as viscosidades foram afetadas pela temperatura, com efeito estimado pela equação de Arrhenius. O calor específico, a difusividade térmica e a condutividade térmica sofreram redução nos seus valores com o aumento da concentração de sólidos solúveis totais, comportamento inverso ocorreu para a massa específica. A massa específica foi bem estimada por meio de equações em todas as concentrações. A estimativa da condutividade térmica por equações propostas em literatura afastou-se dos resultados obtidos a partir dos dados experimentais.

Palavras-chave: *Annona muricata*, viscosidade aparente, calor específico, difusividade térmica, condutividade térmica, massa específica

Dissertation: Rheological and thermophysical properties of soursop pulp

Author: Vansostenes Antônio Machado de Miranda

Advisors: Prof. Dr. Alexandre José de Melo Queiroz

Prof. Dr. Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

ABSTRACT

Knowledge of thermophysical and rheological properties of agricultural-based fluids is required to calculate heat transfer involved in refrigeration, heating and transportation. In order to use soursop pulp produced in the semiarid region of Northeastern Brazil, the present study aimed at determining the rheological and thermophysical properties of whole soursop pulp (12 °Brix) and concentrates (17 °Brix and 25 °Brix), previously characterized as to chemical, physical and physicochemical traits. A Brookfield viscometer was used to obtain direct readings of viscosity and torque. These data were then converted to determine shear stress and shear rate. Power law and Casson models were fit to shear stress data, as a function of shear rate. Density, specific heat and thermal diffusivity were calculated from thermophysical properties, using pycnometric, mixture and infinite cylinder methods, respectively. Thermal conductivity was obtained of the relationship with previous properties. Equations proposed in the literature were used to estimate thermophysical properties and results compared with those obtained experimentally. Pulp was characterized as being acidic and concentration increased brightness, redness and yellowness. Samples exhibited pseudoplastic behavior and viscosities were affected by temperature and this affect was estimated by the Arrhenius equation. Specific heat, thermal diffusivity and thermal conductivity decreased with an increase in total soluble solid concentration, in contrast to what occurred for density. The latter was well estimated by equations at all concentrations. Estimates of thermal conductivity using equations proposed in the literature differed from those obtained from experimental data.

Keywords: *Annona muricata*, apparent viscosity, specific heat, thermal diffusivity, thermal conductivity, density

1-INTRODUÇÃO

Historicamente como base da economia brasileira desde os primórdios da nossa colonização, a agricultura nacional se consolida como geradora de renda e agregadora de valor; a sua modernização trouxe um aumento considerável na produção agrícola, acentuando a exportação e contribuindo para o crescimento da economia nacional. Neste cenário, a fruticultura surge, dentre outros ramos, forte no mercado nacional e internacional de frutas frescas, sendo um atraente negócio para os produtores brasileiros através do qual se visualiza considerável aumento de oportunidades para seus produtos, contribuindo para agregar valor aos seus produtos. Segundo LACERDA et al. (2004), o Brasil participa com menos de 0,5% das exportações mundiais de frutas frescas, concentradas principalmente na venda de produtos tropicais; .os mesmos autores diz que o agronegócio representa aproximadamente, 21% do total do produto interno bruto (PIB), sendo responsável por 37% dos empregos e por 41% das nossas exportações.

De acordo com MENDES (2008), a produção mundial de frutas gira em torno dos 690 milhões de toneladas, movimentando recursos financeiros internacionais na casa dos US\$ 21 bilhões. Caso sejam acrescentados os valores das frutas processadas, este valor sobe para US\$ 55 bilhões. Segundo CARVALHO & MIRANDA (2009), o Brasil desponta na terceira posição dos produtores mundiais de frutas, sendo a produção interna de 41,2 milhões de toneladas de fruta, estando atrás apenas da China, com 167 milhões de toneladas, e da Índia, com 57,9 milhões de toneladas produzidas.

A graviola (*Annona muricata* L.) é originária da América Central e dos vales Peruanos, e cultivada na Colômbia, Venezuela, Porto Rico, México, Havai e em algumas regiões da África e Ásia. É conhecida como graviola, curaçau, jaca-de-pobre, ata-de-lima, araticum-manso, ata, coração-de-rainha e jaqueira-mole. A produção mundial de graviola se concentra em alguns países da América do Sul, principalmente no Brasil, Venezuela e Colômbia.

De acordo com SÃO-JOSÉ et al. (2003), a produção de graviola é destinada aos mercados consumidores na forma *in natura*. Deste montante, parte da produção se destina à agroindústria visando a produção de polpa, suco, néctares, etc. A polpa tem grande valor como matéria-prima uma vez que, sendo produzida nas épocas de safra, pode ser armazenada sob refrigeração ou congelamento para comercialização nos períodos mais propícios ou segundo a demanda do mercado consumidor, prestando-se tanto para

consumo direto como para a elaboração de doces em massa, geléias, gelados comestíveis e néctares, entre outros (BUENO et al., 2002).

Aumentar o tempo de vida útil da graviola pelo processamento da polpa, é importante na medida em que, na forma *in natura*, o fruto se deteriora em pouco tempo. Para a preservação de suas características de aroma, consistência e sabor, devem ser empregados métodos de conservação que, no caso de polpas de frutas, normalmente envolvem refrigeração ou congelamento. Para este fim, estudos das propriedades termofísicas da graviola devem ser aprofundados e, uma vez conhecidas e determinadas, se prestem para cálculos de processos de transferência de calor úteis para dimensionamentos, custos energéticos e tempos envolvidos.

O conhecimento das propriedades termofísicas e reológicas são importantes nas diferentes fases de processamento e industrialização da polpa, com o objetivo de se projetar os gastos energéticos e as instalações envolvidas nos processos de aquecimento ou resfriamento utilizados em pasteurização, esterilização, refrigeração, congelamento e outros.

1.1 – Objetivo geral

Diante do potencial de industrialização de polpa de graviola objetivou-se, neste trabalho, determinar as propriedades termofísicas e reológicas da polpa integral da graviola (12°Brix) e das polpas concentradas (17°Brix e 25°Brix).

1.1.1 - Objetivos específicos

-Caracterizar química, física e físico-quimicamente, as polpas integral e concentradas;

- Determinar as propriedades reológicas das polpas integral e concentradas nas temperaturas de 5 a 50 °C;

- Ajustar os modelos reológicos Lei da Potência e Casson, aos dados experimentais;

- Determinar as propriedades termofísicas das polpas: massa específica, calor específico, difusividade térmica e condutividade térmica;

-Estimar as propriedades termofísicas por meio de equações da literatura e verificar sua aplicabilidade comparando-as com os resultados obtidos experimentalmente.

2 – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 - Graviola

A gravioleira é conhecida como *Annona muricata*, L., dicotiledonea, Anonaceae. A família Annonaceae possui 132 gêneros e 2300 espécies (JESSUP, 1988). A maioria dessas plantas é de origem tropical, com exceção daquelas do gênero *Asimira*, nativas de clima temperado e que ocorrem na América do Norte, e a espécie *Annona cherimola* Mill, de origem dos altiplanos andinos, cultivada em diversas regiões do mundo e considerada a mais saborosa das frutas. Muitas das demais espécies são nativas do Brasil (KAVATI, 1992).

A gravioleira (Figura 2.1) é uma das importantes frutíferas cultivadas no Nordeste brasileiro, região à qual se adapta muito bem, principalmente nos Estados da Paraíba, Ceará, Pernambuco e Bahia, cujos frutos são utilizados na fabricação de suco, sorvetes, compotas, geléias e doces (SACRAMENTO et al., 2003). É considerada a anonácea com maior potencial de industrialização, utilizada, sobretudo na produção de polpa. Por se trata de frutas tipicamente tropical desempenha importante papel na economia e na nutrição da população; tem grande apelo nas prateleiras de supermercados em virtude do sabor e aroma agradáveis, e polpa branca suculenta (LOPES et al., 1994).

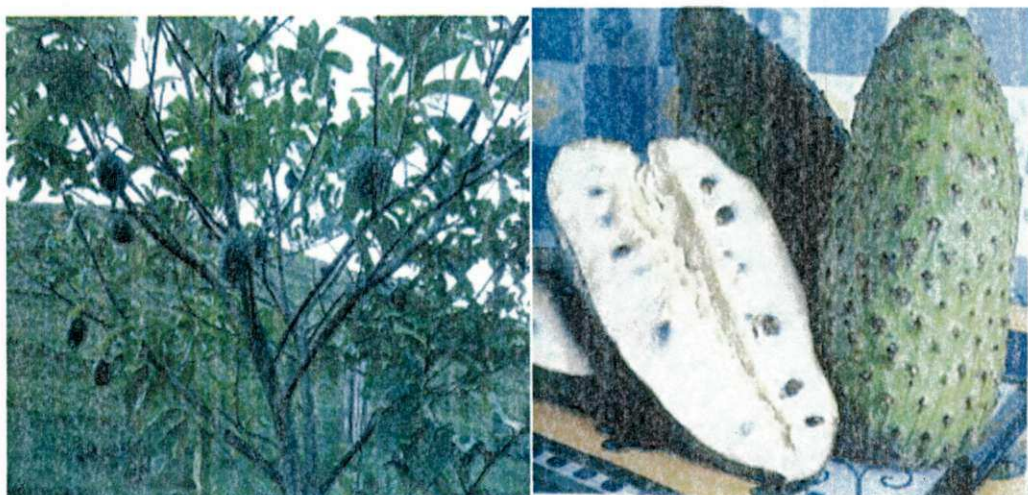


Figura 2.1 - Fruto da graviola (*Annona muricata* L.) (Fonte: GRAVIOLA, 2011)

JARAMILLO-FLORES & HERNANDEZ-SANCHEZ (2000), relataram que esta frutífera tem excelente potencial para exportação, tanto como polpa congelada, suco e/ou como mistura com outros sucos.

Na Tabela 2.1 é fornecida a composição química da polpa da graviola; segundo USDA (2007); esses valores correspondem a cerca de 70% da composição de sua polpa.

Tabela 2.1 - Composição da graviola em 100 g de fruto

Composição	
Água	78 – 85,3%
Proteínas	0,62 – 1,7 g
Lipídios	0,7 g
Glicídios	11,5 – 18,2 g
Acidez	0,8 – 3,0 %
Açúcar total	10,1 – 16,8 %
pH	3,6 – 4,2
Taninos	3,6 – 4,2 g
Calorias	60
Fibra	1,10 – 4,21 g
Cálcio	22,0 – 41,6 mg
Fósforo	28 – 78,4 mg
Ferro	0,6 – 6,0 mg
Vitamina A	20 U.I.
Vitamina B1	0,4 – 1,0 mg
Vitamina B2	0,05 – 0,07 mg
Niacina	0,9 mg
Vitamina C	10,5 – 57,0 mg

Fonte: USDA (2007)

Segundo EPSTEIN (1999) a gravioleira é um arbusto de crescimento com poucas ramificações, ereto, podendo alcançar de 4 a 8 metros de altura, Figura 2.1, quando bem conduzido agronomicamente o seu cultivo; suas flores são hermafroditas de coloração verde-escuro; o fruto é conhecido como jaca-do-Pará, coração-de-rainha e araticum manso.

O fruto é uma baga composta (sincarpo) (Figura 2.1) com peso oscilando entre 0,4 a 10 kg, comprimento médio de 30 cm e formato de coração; a casca tem espículas carnosas moles e é verde-claro na colheita (PINTO, 2009).

De acordo com LIMA (2002) em algumas regiões do Nordeste brasileiro predomina o tipo de graviola conhecida como nordestina ou crioula, com frutos cordiformes, pesando entre 1,5-3,0 kg, polpa mole, doce a subácida; O mesmo autor encontrou, avaliando os frutos maduros do tipo “crioula”, teores de sólidos solúveis totais de 17,6 °Brix e acidez total titulável de 1,05%. A polpa é branca, sucosa e as sementes, com 1 a 2 cm de comprimento, peso 0,59 g (170 sementes/100 g) são preta na sua retirada do fruto, passando a marrom decorridos alguns dias, encontrando-se uma média de 100 sementes por fruto; sua propagação pode ser através de sementes e, vegetativamente, por enxertia (borbulhia ou garfagem).

Com o intuito de possibilitar a melhora da qualidade genética desse fruto, tal como também, o seu rendimento agroindustrial, a Embrapa/CPAC (Cerrado) introduziu variedades de graviola oriundas da Colômbia, em 1981. A variedade Morada produz fruto em torno de 40 kg de polpa/planta/ano sendo característica da produção de frutos grandes, além das variedades Blanca, Lisa, FAO I e FAO II (SACRAMENTO et al., 2003).

2.2 – Caracterização química e físico-química

De acordo com CHITARRA & CHITARRA (2005) o conhecimento dos parâmetros químicos de frutas e vegetais é imprescindível para se determinar o tempo e as condições de armazenamento dos frutos, bem como aumentar o tempo de vida de prateleira, além de determinar o emprego de processamentos pós-colheita visando agregar valor aos excedentes das safras.

2.2.1 - pH

A acidez desejável em frutos dependerá do destino que lhe será dado, pois frutos com menor acidez são os indicados para satisfazer as exigências do consumidor brasileiro ao consumir a fruta ao natural, enquanto os de maior acidez são recomendados para a industrialização (BOTREL, 1994).

Por definição, pH é a concentração de íons hidrogeniônicos $[H^+]$; sendo um indicativo do nível da acidez da substância, este aumenta ou diminui com a redução ou aumento da concentração desses íons. Como é um indicativo da acidez FRANCO & LANDGRAF (1996), classificaram os alimentos como sendo de baixa acidez e cujos valores de pH se situam acima de 4,0, de ácidos os valores compreendidos entre 4 e 4,5 e muito ácidos aqueles com pH abaixo de 4,0. Esta análise se faz necessária, nas determinações físico-químicas, pois evidencia a influência ou o meio propício ao crescimento de micro-organismos em alimentos capazes de deteriorar a qualidade das frutas e polpas.

CECCHI (2003) afirma haver influência deste parâmetro na textura de geléias e gelatinas, retenção do sabor e odor de produtos de frutos além de ser um indicativo em alguns casos no estudo de maturação de frutas. Nas análises sensoriais é bem detectável o teor ácido nesse teste, evidenciado com esta medida, além do sabor e odor de frutas e soluções alimentícias.

2.2.2 - Cinzas

A cinza é constituída por grandes quantidades de K, Na, Ca e Mg; pequenas quantidades de Al, Fe, Cu, Mn e Zn e traços de Ar, I, F e outros elementos, o produto final da análise de cinza não é necessariamente da mesma composição que o material original do alimento ou polpa, em virtude da perda por volatilização ou alguma interação que tenha havido com os constituintes da amostra original (PARK & ANTONIO 2006).

O produto final desta análise química são os constituintes inorgânicos, evidenciando, portanto, a importância do método para o conhecimento da composição do teor de minerais nos sucos e polpas dando um indicativo da quantidade e riqueza das amostras (MUNIZ, 2004).

ORDÓNEZ (2005), resalta que a presença de minerais nos alimentos é muito variável em razão de vários fatores, entre os quais a composição dos minerais do solo. E segundo LEE & KADER (2000), a composição nutricional de um fruto também pode variar, conforme a cultivar, o grau de maturação, o clima, a época do ano, o tipo de solo e sua fertilidade.

2.2.3-Sólidos totais

É um parâmetro da caracterização físico-química importante uma vez que, junto com a umidade, corresponde ao peso total da amostra. Segundo CHAVES et al. (2004) a matéria seca ou sólidos totais é composta de proteínas, lipídios, glicídios, sais minerais, vitaminas, ácidos orgânicos, pigmentos e outras substâncias fisiológicas ativas ou não.

Os sólidos totais são obtidos pela diferença entre o peso total da amostra e o teor de umidade. Muitos componentes físico-químicos são indicadores de qualidade nos alimentos, entre eles os sólidos totais.

2.2.4- Sólidos solúveis totais

De acordo com CHITARRA & CHITARRA (2005) os sólidos solúveis indicam a quantidade, em grama, dos sólidos que se encontram dissolvidos no suco ou polpa das frutas. Comumente designados °Brix e têm tendência de aumento com o avanço da maturação. São constituídos principalmente de açúcares, sendo variáveis com a espécie, a cultivar, o estágio de maturação e o clima.

Segundo CHITARRA & CHITARRA (2006), os sólidos solúveis constituem a porção dos sólidos totais que se encontram dissolvidos na seiva vacuolar. É a fração correspondente à obtida por subtração dos sólidos insolúveis em água dos sólidos totais.

Conforme COSTA et al. (2004) os sólidos solúveis totais influenciam na qualidade do produto, principalmente com relação às propriedades termofísicas, químicas e biológicas da fruta. A análise do °Brix tem grande importância no controle dos ingredientes a serem adicionados ao produto e na qualidade final.

2.2.5 - Umidade

Segundo BRASIL (2005) a umidade representa a água contida no alimento, e pode ser classificada em: umidade de superfície, que se refere à água livre ou presente na superfície externa do alimento, facilmente evaporada, e umidade adsorvida, referente à água ligada, encontrada no interior do alimento, sem se combinar quimicamente com o mesmo.

ALDRIGUE et al. (2002), citaram a importância desta determinação nas análises dos produtos mas reconhecem a dificuldade na determinação precisa, devido às três

diferentes maneiras da água se apresentar nos alimentos (água ligada, água disponível e água livre) e mencionaram que o método mais preciso e mais indicado é o gravimétrico com emprego de calor.

De acordo com GOMES & OLIVEIRA (2011) a umidade ou teor de água de um alimento constitui um dos mais relevantes e mais avaliados índices em alimentos. É de grande importância econômica por refletir o teor de sólidos de um produto e sua perecibilidade.

2.2.6 - Atividade de água

AZEREDO (2004) define a atividade de água como a relação entre a pressão parcial de vapor da água contida no alimento e a pressão de vapor da água pura na mesma temperatura. Está relacionada aos alimentos com o crescimento microbiano; varia numericamente de 0 a 1 e é proporcional à umidade relativa de equilíbrio.

JAYARAMAN & DAS GUPTA (1995), relatam que este parâmetro é um fator de preservação de alimentos, pois as alterações físico-químicas, o crescimento microbiológico e as reações das fases lipídicas e aquosas que podem ocorrer durante o processamento e armazenagem do produto alimentício dependem diretamente desta propriedade.

Segundo GIOIELLI & PITOMBO (1998) a atividade de água caracteriza o estado da água nos alimentos, ou seja, é uma medida da disponibilidade da água para promover alterações físicas, químicas ou biológicas. É uma medida qualitativa, e fator relevante na industrialização e na comercialização de alimentos.

2.2.7 - Cor

PONTES (2004), diz que a cor dos alimentos é um atributo essencial na qualidade, servindo não só de base para identificação e aceitação de grandes variedades de produtos, mas também influenciando negativa ou positivamente na percepção dos demais atributos sensoriais. Para GRIFFITHS (2005), a cor está associada a muitos aspectos de nossa vida influenciando, de maneira inconsciente, sentimentos de decisões e incluindo as que envolvem a escolha dos alimentos; como aceitabilidade e aparência aliados às características sensoriais esses atributos são afetados pela cor, levando ao prazer e satisfação.

Segundo CHITARRA & CHITARRA (2005), a coloração é utilizada como parâmetro para a seleção de muitos produtos em classes ou categorias comerciais; a coloração se relaciona mais diretamente com a percepção da aparência pelo consumidor, ao passo que a concentração de pigmentos pode estar mais diretamente relacionada com a maturidade do produto.

O método proposto pela CIE (Comissão Internacional de L'Eclairage), definido em 1976, se baseia, num espaço tridimensional, de modo que cada cor é representada por um único ponto nesse espaço e definido pelas coordenadas L^* , a^* e b^* (BILLMEYER & SALTZMANN, 1981). O eixo L^* - representa a luminosidade numa escala de 0 (preto) a 100 (branco); o eixo a^* - representa uma escala de tonalidade de vermelho (+a) a verde (-a) e o eixo b^* - representa uma escala de tonalidade amarela (+b) a azul (-b).

2.3 - Propriedades termofísicas

As propriedades termofísicas são responsáveis pelo estudo dos fenômenos de aquecimento e resfriamento dos materiais.

Considerando que por sua composição, os frutos têm importante papel na alimentação humana, sobretudo por serem significativas fontes de vitaminas e fibra energética, o conhecimento das propriedades termofísicas de alimentos se faz necessário para o desenvolvimento de cálculos de transferência de calor envolvidos nos projetos dos equipamentos de refrigeração e armazenamento de alimentos, com a finalidade de aumentar o tempo pós-colheita de cada material. Tais propriedades intrínsecas de cada produto são essenciais para a simulação da variação da temperatura no interior dos alimentos, durante o congelamento, e são também importantes para as estimativas do tempo de congelamento e da carga térmica do produto. Assim, a necessidade de soluções aproximadas para explicar esses fenômenos tem motivado um esforço considerável para o desenvolvimento e estudo dessas propriedades termofísicas.

2.3.1- Calor específico

Para determinar o calor específico de um produto existem diversos métodos e um dos mais usados e simples, se baseia na determinação do equilíbrio térmico estabelecido entre um primeiro corpo com que se pretende determinar o calor específico, e um segundo corpo de calor específico conhecido.

Considerando a grandeza física calor específico como a quantidade de calor que ganha ou perde um quilograma de produto para produzir uma variação térmica da temperatura requerida, escrita na forma da Equação 2.1, é importante o seu conhecimento no dimensionamento de equipamentos que requeiram determinar a quantidade de energia que se deve adicionar ou remover no processamento, sendo ou dando uma indicação de gastos energéticos que se terá no processo.

$$C_p = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (2.1)$$

em que:

C_p - calor específico ($\text{kJ.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$)

Q - quantidade de calor (kJ);

m - massa (kg);

ΔT - variação de temperatura (K).

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

Na determinação experimental do calor específico dos materiais biológicos pelo método das misturas, uma amostra de massa e temperatura conhecidas é introduzida em um calorímetro, que possui um fluido de massa e calor específico conhecido; geralmente utiliza-se a água; daí, o calorímetro é agitado até que se obtenha o equilíbrio térmico e a capacidade calorífica do calorímetro seja determinada utilizando-se o balanço de calor da Equação 2.2 descrita por SILVA et al. (2002).

$$C_1 m_1 (T_1 - T_3) + C_{cal} (T_1 - T_3) = C_2 m_2 (T_3 - T_2) \quad (2.2)$$

em que:

C_1 e C_2 - calor específico da água ($\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)

m_1 - massa de água à temperatura ambiente (kg)

m_2 - massa de água refrigerada (g)

C_{cal} - capacidade calorífica do calorímetro (kJ/K)

T_1 - temperatura inicial da água (K)

T_2 - temperatura da água resfriada (K)

T_3 - temperatura de equilíbrio (K)

A capacidade calorífica da amostra é baseada no princípio de que o calor ganho ou perdido pelo calorímetro é também, aquele perdido ou absorvido pela amostra. Na determinação do calor específico do produto, utiliza-se a Equação 2.3:

$$m_p C_p (T_4 - T_5) = C_1 m_3 (T_5 - T_3) + C_{cal} (T_5 - T_3) \quad (2.3)$$

em que:

m_p – massa do produto (g)

C_p – calor específico do produto ($\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)

C_1 – calor específico da água ($\text{kJ kg}^{-1} \text{K}^{-1}$)

m_3 – soma das massas m_1 e m_2

T_4 – temperatura inicial do produto (K)

T_5 – temperatura de equilíbrio (K)

No método das placas, MOHSENIN (1980), diz que a amostra é envolvida por placas aquecidas eletricamente, e mantidas na mesma temperatura da amostra, que também é aquecida da mesma maneira. Desta forma, teoricamente não existem perdas de calor; então, o calor cedido pelo produto em um tempo é igual ao ganho pelo mesmo.

Um terceiro método conhecido como DSC – Differential Scanning Calorimetry - calorímetro diferencial de varredura, 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 (ALVARADO, 2001). A quantidade de amostra usada neste método, é mínima e, portanto, necessita que o material seja cuidadosamente homogeneizado, devendo-se realizar várias repetições para melhorar a precisão. Esses tipos de equipamentos são complexos e de altos preços, conforme o modelo e a precisão que oferecem.

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

SIEBEL (1982) citado por CHOI & OKOS (1986), desenvolveu uma equação para o cálculo do calor específico de produtos alimentícios com altos teores de água (Equação 2.4). MUNIZ et al. (2006) utilizaram esta equação para estimar o calor específico de polpas de bacuri.

$$C_p = 0,837 + 3,349 X_w \quad (2.4)$$

em que:

C_p - calor específico ($\text{kJ kg}^{-1} \text{ }^\circ\text{C}$)

X_w - fração mássica da água (decimal)

DICKERSON (1968) desenvolveu uma expressão (Equação 2.5) que tem sido usada para produtos alimentícios com conteúdo de umidade acima de 50%. usada com bastante frequência em suco de frutas. ARAÚJO et al. (2004), utilizaram esta equação para estimar o calor específico de polpas de cupuaçu.

$$C_p = 1,675 + 2,512 X_w \quad (2.5)$$

em que:

C_p - calor específico (kJ/kg K)

X_w - fração mássica da água (decimal)

A equação de Lamb citada por CHOI & OKOS (1986), foi sugerida para calcular o calor específico de alimentos para temperaturas acima do ponto de congelamento, em função da fração mássica da água (Equação 2.6). Esta equação foi utilizada por FONTAN et al. (2009) para estimar o calor específico da água de coco.

$$C_p = 1,465 + 2,721 X_w \quad (2.6)$$

em que:

C_p - calor específico (kJ/kg K);

X_w - fração mássica da água (adimensional).

MANOHAT et al. (1991), também estimaram o calor específico trabalhando com suco concentrado de tamarindo e soluções de sacarose e sugerem a Equação 2.7. LIMA et al. (2003), utilizaram esta equação para estimar o calor específico de polpas de umbu obtendo erros relativos inferiores a 5%.

$$C_p = 4,18 + (6,839 \times 10^{-5} T - 5,03 \times 10^{-2} S) \quad (2.7)$$

Onde: C_p - calor específico (kJ/kg K)

T - temperatura (K)

S - sólidos totais (%)

2.3.2 – Massa específica

A massa específica definida como a relação existente entre a massa e o volume de uma amostra conhecida para materiais líquidos, não varia significativamente com a pressão em condições comuns, mas mudam com a temperatura e composição do produto (HIMMELBLAU, 1998).

Este parâmetro importante, massa específica de um determinado produto, é a relação da massa por unidade de volume de uma substância, em determinada temperatura (Equação 2.8).

$$\rho = \frac{m}{v} \quad (2.8)$$

sendo que:

ρ - massa específica (kg/m³)

m - massa (kg)

v - volume (m³)

Segundo QUEIROZ (1993), a massa específica é um parâmetro relevante para compreender o poder de solvatação de uma substância, nas diversas fases do solvente, a qual 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.

De acordo com SILVA et al. (1990), a massa específica também serve para a caracterização, identificação e utilização de substância ou de materiais, sendo que muitos processos químicos, como a fermentação, são controlados através da medida desta propriedade termofísica importante.

A medida da massa específica pode ser aplicada para a determinação da concentração de soluções puras de açúcar em produtos açucarados, de álcool em bebidas alcoólicas, de sólidos solúveis em suco de tomate e em leite, de adulterações e textura de frutas (CECCHI, 2003).

Dados da massa específica são necessários para projetar e avaliar equipamentos de processamento de alimentos, entre os quais evaporadores, bombas, filtros e misturadores, que servem, ainda, como índice de qualidade do produto final (ALVARADO & ROMERO, 1989).

Diversos métodos são utilizados para determinar a massa específica, em que os principais são os do picnômetro e o por flutuação; desses dois métodos a determinação da massa específica de alimentos líquidos pelo método do picnômetro é o mais utilizado. Consiste na medida da massa de um volume conhecido do líquido em um frasco (picnômetros) cujo volume seja calibrado em termos da massa de água pura no mesmo frasco e na mesma temperatura (MADRUGA & ALDRIGUE, 2002), já o outro método consiste na medida de massa específica de líquidos baseados no Princípio de Arquimedes.

A determinação da massa específica em picnômetros é baseada na medida da massa da amostra em recipiente de volume conhecido, fornecendo resultados precisos, que são construídos e graduados de modo a permitir a pesagem de volumes exatamente iguais de líquidos, a uma dada temperatura. Da relação estabelecida entre as massas e os volumes, resulta a sua massa específica na temperatura de determinação (BRASIL, 2005).

A densidade de partículas sólidas de alimentos pode ser determinada pelo deslocamento de ar ou deslocamento de líquidos (MOHSENIN, 1980). De acordo com Browne, citado por RAPUSAS & DRISCOLL (1995), a utilização do método de deslocamento de líquido tem a vantagem de requerer equipamentos simples e de fácil acesso em laboratórios.

Existe, na literatura, uma grande quantidade de equações para a predição da massa específica de alimentos, em função da temperatura, concentração, umidade e de outros parâmetros (Tabela 2.2).

Tabela 2.2 - Equações para estimar a massa específica de sucos e polpa de frutas

Produto	Referência	Equação
Alimentos em geral	CHOI & OKOS (1986)	$\rho = 1098 + 4,26X_s - 0,349(T + 273)$
Sucos de frutas em geral	ALVARADO & ROMERO (1989b)	$\rho = 1002 + 4,61B - 0,460T + 7,001 \times 10^{-3}T^2 - 9,175 \times 10^{-5}T^3$

em que: ρ = massa específica (kg/m³); X_s = fração mássica dos sólidos (adimensional); B = sólidos solúveis totais (°Brix); T = temperatura (°C).

2.3.3- Difusividade térmica

A difusividade térmica é importante na determinação da evolução de sistemas que sofrem processos de aquecimento ou de resfriamento. Esta propriedade prediz a velocidade da penetração de calor no interior do alimento sendo, portanto, de fundamental importância para o projeto de equipamentos e para o cálculo do processamento térmico de polpas, por exemplo. Para alimentos condutivos a difusividade térmica controla a velocidade de propagação da frente de aquecimento (CARBONERA et al., 2003). A difusividade térmica está relacionada com a condutividade térmica (k), com o calor específico (C_p) e com a massa específica (ρ).

A difusividade térmica estabelece a velocidade com que o calor se difunde no alimento e a relação entre tempo e a temperatura (Equação 2.9).

$$\alpha = \frac{k}{\rho C_p} \quad (2.9)$$

em que:

α - difusividade térmica (m^2/s);

k - condutividade térmica ($W/m K$);

ρ - massa específica (kg/m^3);

C_p - calor específico ($kJ/kg K$).

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 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 em um local no produto, entre a temperatura e o tempo (GONÇALVES, 2000).

Utilizando condições de transferência de calor em regime transiente, DICKERSON (1965), construiu um aparato experimental que requer apenas dados de tempo-temperatura necessários para os cálculos da difusividade térmica dos alimentos. Como a temperatura da amostra varia linearmente com o tempo, as dificuldades de satisfazer as condições de contorno são mínimas. Simultaneamente, a diferença de temperatura na qual a amostra é aquecida, permite o cálculo da difusividade térmica (Equação 2.10) a partir de um único experimento (TELIS, 1992).

No método de estado variável ou transiente utiliza-se para determinar a condutividade térmica, uma fonte linear de calor para gerar um fluxo de calor constante na amostra, a qual deverá estar inicialmente em equilíbrio térmico (MOHSENIN, 1980). Este método apresenta algumas dificuldades como: medição da temperatura, localização dos termopares, transferência de calor convectiva em medições de propriedades térmicas de materiais granulares e controle da temperatura na amostra.

Existem diversos modelos na literatura para prever a condutividade térmica de alimentos, alguns baseados no teor de umidade, nos sólidos e na temperatura da amostra.

A Equação 2.13 apresentada por Kolarov & Gromov, citados por SWEAT (1994), foi desenvolvida para suco de frutas.

$$K = 0,140 + 0,42X_w \quad (2.13)$$

em que:

K - condutividade térmica (W/m°C);

X_w - fração mássica da água (adimensional).

2.4 - Reologia

Segundo ALVES (2003), a reologia é a ciência que estuda o escoamento e a deformação dos materiais. Através das propriedades reológicas, se obtém informações sobre a maneira como um material reage quando sujeito a uma solicitação de caráter mecânico, que é a expressão da sua estrutura, resultante da sua composição química, das diferentes interações entre seus vários componentes e do processamento a que foi submetido.

O comportamento reológico de polpa de frutos é útil como indicativo e medida de qualidade do produto, como também em projetos, avaliação e operação dos equipamentos processadores de alimentos, tais como as bombas, sistemas de agitação e tubulações (BEZERRA et al., 2009).

O estudo dessas propriedades reológicas nos alimentos exerce papel fundamental na ciência e tecnologia dos alimentos, pois as referidas propriedades estão intimamente relacionadas com sua composição e estrutura influenciando de forma direta a textura e a qualidade sensorial. A maior ou menor fluidez de um alimento está na dependência da

interação física entre as moléculas que o compõem e esta interação, por sua vez, depende das forças de atração e repulsão entre as elas.

A propriedade inversa da fluidez é a viscosidade, ou seja, a resistência do alimento ao sofrer deslocamentos quando submetido a força externa. Portanto, quanto maior a fluidez de um líquido menor a viscosidade e vice versa. Outra definição clássica para a viscosidade é a relação da variação da tensão de cisalhamento pela variação da taxa de deformação, a qual se mantém constante, em um fluido Newtoniano (KIRYU, 2006).

Define-se, a reologia portanto, como o estudo e deformação da matéria, ou seja, da fluidez e, esta maior ou menor fluidez é a viscosidade, a medida da resistência do fluido ao sofrer deslocamentos (BOBBIO & BOBBIO, 2003).

QUEIROZ (1998) diz que o comportamento reológico de derivados de frutas se comporta de maneira previsível e que a concentração de sólidos solúveis, a temperatura, o teor de pectina e o teor de sólidos insolúveis são os responsáveis pelo comportamento reológico.

VENDRÚSCOLO (2005) citando ALVARADO & AGUILERA (2001), diz que as propriedades reológicas são utilizadas no controle de qualidade, avaliação da textura, projetos de controle e processos e determinação da estrutura do alimento, incluindo mudanças físico-químicas que ocorrem durante o processamento e o armazenamento. Os alimentos são materiais complexos passíveis de se comportar como líquido ou sólido, dependendo da tensão aplicada e da escala de tempo do processo de deformação, sendo denominados materiais viscoelásticos (FERRY, 1980). A análise de um material viscoelástico é simples quando a relação entre a tensão e a deformação é linear em qualquer instante ou frequência, sendo apenas função do tempo e independente da magnitude da tensão ou deformação aplicada.

Segundo MACHADO (2002), os fluidos viscosos podem ser 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 ou taxa de cisalhamento, para determinada condição de temperatura e pressão. De modo abrangente, os fluidos podem ser classificados, segundo seu comportamento reológico, como: newtonianos e não-newtonianos.

2.4.1 - Fluidos newtonianos

Os fluidos são newtonianos quando apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, ou seja, a viscosidade é constante. A equação matemática da representação do comportamento reológico dos fluidos Newtonianos é descrita como a Equação 2.14.

$$\tau = \mu \cdot \dot{\gamma} \quad (2.14)$$

onde:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

μ - viscosidade absoluta (Pa s)

2.4.2 - Fluidos não-newtonianos

Os fluidos não-newtonianos são aqueles que não apresentam uma relação de característica linear entre a tensão de cisalhamento do fluido e a taxa de deformação, ou seja, os valores de sua resistência à fluidez, viscosidade, sofrerão variação nos valores da taxa de deformação, nestes casos a viscosidade será aparente, podendo aumentar ou diminuir, de acordo com as características de cada fluido (Equação 2.15). SCHRAMM (2006), afirmou que a viscosidade é dependente da natureza físico-química da substância, da temperatura, da pressão, da taxa de deformação e do tempo.

$$\mu_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.15)$$

onde:

μ_a - viscosidade aparente (Pa s)

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

Os fluidos ainda podem ser classificados como independentes e dependentes do tempo. Os independentes do tempo são: pseudoplástico, dilatante, plástico e plástico de Bingham e, os dependentes do tempo são: tixotrópicos e reopéticos.

De acordo com SCHRAMM (2006), os fluidos que sofrem diminuição de viscosidade quando a taxa de deformação ou taxa de cisalhamento aumenta são denominados pseudoplásticos (*shear thinning*). PANDOLFELLI et al. (2000), dizem que a pseudoplasticidade é decorrente das características físicas das partículas, como área superficial, formato e dimensões; do tipo de interação entre partículas e da concentração, peso molecular e conformação de moléculas de dispersante presentes no meio líquido. Como exemplo de fluidos pseudoplásticos tem-se alguns tipos de emulsões, de suspensões ou dispersões. Vários tipos de polpa e suco de frutas são classificados como fluidos pseudoplásticos: suco concentrado de pomelo (CHIN et al., 2009), suco de manga (DAK et al., 2007), polpas concentradas de figo-da-índia (GRANGEIRO et al., 2007) e polpa de amora-preta (HAMINIUK et al., 2006) entre outros. Segundo NAVARRO (1997), são vários os fatores que afetam a pseudoplasticidade, dentre os quais: para as soluções a temperatura, concentração, estrutura do soluto, pH e taxa de deformação e, para as suspensões a temperatura, concentração, forma das partículas, tamanho das partículas e taxa de deformação.

Segundo ALVES (2003), quando um material apresenta comportamento não-newtoniano e a viscosidade aparente aumenta com o aumento da taxa de deformação, o fluido é denominado dilatante. Como exemplo, tem-se certas suspensões concentradas de partículas sólidas não agregativas como dispersão de amido em água.

De acordo com ZINATO et al. (2007), no fluido plástico a curva pode ser côncava, convexa e retilínea (plástico de Bingham); no entanto, não passa pela origem. Neste tipo de fluido a tensão de cisalhamento inicial é diferente de zero, significando que o fluido não escoar logo que a força é aplicada, sendo necessária uma força de certa magnitude para que o fluido comece a escoar.

Os fluidos tixotrópicos apresentam diminuição da viscosidade com o tempo, quando submetidos a uma taxa de deformação constante; já os fluidos considerados reopéticos apresentam aumento da viscosidade, com o tempo.

2.5 - Modelos reológicos

Existem na literatura inúmeros modelos reológicos teóricos e empíricos para representar a tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, dentre os quais se destacam o modelo da Lei da Potência ou Ostwald de Waele e o modelo de Casson. Esses modelos são úteis para relacionar propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas, como concentração, temperatura, pH e índice de maturação, entre outros (VIDAL, 2000).

2.5.1- Lei da Potência

O modelo da Lei da Potência ou Ostwald de Waele é representado pela Equação 2.16. para fluidos newtonianos $n=1$, para fluidos pseudoplásticos $n<1$ e para fluidos dilatantes $n>1$. De acordo com BRANCO & GASPARETTO (2003), este modelo reológico é utilizado para descrever o comportamento de alimentos devido a sua simplicidade e ampla aplicabilidade.

Segundo MACHADO (1996), o parâmetro reológico do modelo da lei da potência índice do comportamento do fluido (n) é uma grandeza adimensional e indica, fisicamente, o afastamento do fluido considerado do modelo newtoniano e o índice de consistência (k) indica o grau de resistência do fluido diante do escoamento, ou seja, quanto maior o valor de k mais consistente o fluido será.

$$\tau = K\dot{\gamma}^n \quad (2.16)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa)

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

K - índice de consistência ($Pa s^n$)

n - índice de comportamento do fluido (adimensional)

2.5.2- Lei de Casson

Segundo HAMINIUK (2007) o modelo de Casson é usado para fluidos e polpas que só iniciam o processo de escoamento quando a tensão de cisalhamento aplicada supera uma tensão inicial, própria de cada material. Este modelo é representado pela Equação 2.17 e se caracteriza pela existência de uma tensão inicial, a partir da qual o material começa a escoar.

$$\tau^{1/2} = K_{0C} + K_C \dot{\gamma}^{1/2} \quad (2.17)$$

onde:

τ - tensão de cisalhamento (Pa^{0,5})

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s⁻¹)^{0,5}

K_{0C} - tensão de cisalhamento inicial (Pa)

K_C - viscosidade plástica de Casson (Pa s)

3 - MATERIAL E MÉTODOS

A etapa experimental foi conduzida no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) e no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, *Campus* Belo Jardim.

3.1 – Matéria-prima

Graviolas da variedade Morada foram adquiridas de um mesmo lote, no distrito de Taboquinha em Belo Jardim, cidade localizada no Estado de Pernambuco (08°20'08"S; 36°25'27"W), na microrregião do Vale do Rio Ipojuca.

3.2 - Processamentos da matéria-prima

Os frutos foram levados ao IFPE - Campus Belo Jardim - onde foram beneficiados, despulpados e a polpa acondicionada em sacos de polietileno de 1 kg e congelada em freezer. As etapas do processamento dos frutos são apresentadas no fluxograma da Figura 3.1.



Figura 3.1 - Fluxograma do processamento da graviola

3.2.1- Recepção

Os frutos adquiridos foram selecionados manualmente eliminando-se os com injúrias mecânicas e imaturas.

3.2.2 - Lavagem

Foi feita a lavagem em água corrente, depois a imersão dos frutos em solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm e posteriormente o enxague em água corrente.

3.2.3 – Despulpamento

Os frutos descascados foram colocados na parte superior da despulpadora mecânica, em cujo processamento a polpa das sementes foi separada.

3.2.4 - Acondicionamento

A polpa foi acondicionada em sacos de polietileno de baixa densidade contendo 1 kg de polpa com o objetivo de facilitar o manuseio das amostras em pequenas porções, quando da realização das análises.

3.2.5 – Congelamento

A polpa foi congelada em câmara fria a uma temperatura de -20°C , para que fossem mantidas suas características naturais.

3.2.6 – Armazenamento

As polpas foram armazenadas em freezer horizontal a -20°C até serem utilizadas nos experimentos.

3.3 - Preparo das amostras

Foram utilizadas nos experimentos, a polpa de graviola integral, cujo teor de sólidos solúveis totais era de 12 °Brix, e as polpas concentradas. Para a produção das amostras concentradas eliminou-se parte da água da amostra integral, em evaporador rotativo (marca Quimis modelo Q344B2) sob vácuo, na temperatura de 60 °C, até as polpas atingirem teores de sólidos solúveis totais de 17 °Brix e 25 °Brix.

As amostras com 12 °Brix, 17 °Brix e 25 °Brix foram usadas visando às determinações das propriedades termofísicas e reológicas e na sua caracterização química, física e físico-química.

3.4 – Caracterizações química, física e físico-química

3.4.1 - pH

Nesta determinação empregou-se o método potenciométrico, utilizando-se um pHmetro marca Analyser, modelo 300, calibrado com soluções tampão (pH 4,0 e 7,0), com as leituras foram realizadas nas amostras em temperatura ambiente e em triplicata.

3.4.2 - Cinzas

As cinzas foram determinadas pelo método gravimétrico, descrito pelo Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005) com os resultados expressos em percentagem (p/p). As amostras, em triplicata, foram incineradas em mufla, de forma a eliminar toda a matéria orgânica.

3.4.3 - Sólidos totais

Foram determinados em estufa a 70 °C até peso constante, seguindo-se as normas do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005).

3.4.4 - Sólidos solúveis totais

Foram determinados em triplicata em refratômetro com os dados expressos em °Brix.

3.4.5 - Umidade

Foi determinada em triplicata, segundo o método do Instituto Adolfo Lutz (BRASIL, 2005). As amostras foram colocadas em cadinhos tarados e secos, pesados em balança analítica e depois colocados em estufa sob vácuo a 70°C.

3.4.6 - Atividade de água

Foi determinada em três repetições, na temperatura de 20°C, utilizando-se um analisador de atividade de água AquaLab (marca Decagon).

3.4.7 - Cor

As medidas dos parâmetros de cor foram realizadas utilizando-se espectrofotômetro portátil Hunter Lab Mini Scan XE Plus, modelo 4500 L,, sendo os resultados expressos no sistema CIELAB de cor, em que L* indica a luminosidade e a* e b* são as coordenadas de cromaticidade (+a* = vermelho; -a* = verde; +b* = amarelo; -b* = azul). As leituras foram feitas com luminosidade D65, ângulo de observação de 10° e calibração com placa branca.

3.5 - Propriedades reológicas

As medidas das viscosidades aparentes foram realizadas em viscosímetro marca Brookfield modelo DV-II + Pro. As leituras foram feitas em intervalos de 30 segundos nas velocidades de rotação de 50 a 200 rpm, nas temperaturas de 5 a 50°C.

Para conversão das leituras em dados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação utilizou-se a metodologia de MITSCHKA (1982). Com esses dados se construíram os reogramas (tensão de cisalhamento versus taxa de deformação) os quais foram ajustados pelos modelos Lei da Potência e Casson utilizando-se o programa Statística.

3.5.1 - Influência da temperatura

A influência da temperatura sobre a viscosidade aparente foi avaliada utilizando-se a equação de Arrhenius (Eq. 3.1). Para isto as temperaturas em graus Celsius foram transformadas para Kelvin (K) e em seguida calculado o inverso da temperatura. Os valores inversos em Kelvin, juntamente com a viscosidade aparente (Pa s), correspondentes a cada velocidade de rotação, foram graficados no programa Origin Pro. Fez-se a regressão linear desses dados obtendo-se os coeficientes da equação, de onde se calculou a energia de ativação (Eq. 3.1).

$$\eta = \eta_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right) \quad (3.1)$$

Onde:

η - Viscosidade aparente (Pa s)

η_0 – Viscosidade aparente inicial (Pa s)

E_a – Energia de ativação (KJ/g mol)

R-Constante universal dos gases (KJ/ mol K)

T – Temperatura (K)

3.6 - Propriedades termofísicas

3.6.1 - Calor específico

O calor específico experimental foi determinado utilizando-se o método das misturas. Para esta determinação experimental foi usado um calorímetro elaborado a partir de um frasco Dewar, que consiste em uma garrafa térmica com capacidade para 1.000 mL, envolvida em camada de 5 cm de isolante térmico (lã de vidro), inserida em uma carcaça de PVC. A garrafa é fechada com rolha de borracha, dotada de furo por onde é introduzido um termopar, com a finalidade de medir a temperatura interna.

Inicialmente, realizou-se a pesagem do calorímetro seco; em seguida e decorrido 5 a 10 minutos, foi determinada a capacidade calorífica do calorímetro (C_{cal}), pesando-se uma massa de água (m_1) em temperatura ambiente (T_1) e anotados os valores; logo após, foi adicionada uma massa de água resfriada (m_2) com temperatura de aproximadamente

15°C (T_2). Agitado lentamente o calorímetro foi registrada a temperatura T_3 no equilíbrio no termopar. Para determinar a capacidade calorífica do calorímetro, utilizo-se o balanço de calor da Equação 3.2.

$$C_1 m_1 (T_1 - T_3) + C_{cal} (T_1 - T_3) = C_2 m_2 (T_3 - T_2) \quad (3.2)$$

em que:

C_1 e C_2 - calor específico da água (kJ/kg K)

m_1 - massa de água em temperatura ambiente (kg)

m_2 - massa de água refrigerada (kg)

C_{cal} - capacidade calorífica do calorímetro (kJ/K)

Posteriormente, foi acrescentada uma massa de amostra (m_p) de mais ou menos 100g a uma temperatura de aproximadamente 15 °C (T_4), agitando-se lentamente o calorímetro se verificado a temperatura no equilíbrio (T_5).

A determinação do calor específico de cada amostra foi realizada em 4 repetições, utilizando-se a Equação 3.3:

$$m_p C_p (T_4 - T_5) = C_1 m_3 (T_5 - T_3) + C_{cal} (T_5 - T_3) \quad (3.3)$$

em que:

m_p - massa do produto (kg);

C_p - calor específico do produto (kJ/K);

C_1 - calor específico da água (kJ/K);

m_3 - soma das massas m_1 e m_2 (kg);

T_4 - Temperatura inicial do produto (K);

T_5 - Temperatura de equilíbrio (K).

Com vista à determinação do calor específico teórico utilizaram-se as equações de propostas na literatura, apresentadas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 – Equações para o cálculo do calor específico de alimentos

Produto	Equação	Fonte
Sucos de frutas	$C_p = 1,675 + 2,512 X_w$	DICKERSON (1968)
Alimentos em geral	$C_p = 0,837 + 3,349 X_w$	SIEBEL (1982)
Alimentos em geral	$C_p = 1,465 + 2,721 X_w$	CHOI & OKOS (1986)

C_p – calor específico (kJ/kgK); X_w – fração mássica da água (adimensional)

3.6.2 - Massa específica

A massa específica foi determinada em picnômetro de vidro nas temperaturas de 10, 20, 25, 30, 40 e 50 °C, em triplicata, por pesagem em balança analítica com precisão de 0,0001g.

O picnômetro, previamente seco e tarado, foi pesado com água destilada nas diferentes temperaturas determinando assim o volume que, foi preenchido com a amostra e colocado em banho termostático, até atingir a temperatura desejada, o qual foi pesando em seguida. As massas específicas foram obtidas pela razão entre a massa da amostra na temperatura determinada e o volume do picnômetro, na mesma temperatura.

Para a determinação das massas específicas teóricas foram utilizados os modelos propostos em literatura, apresentados na Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Equações para estimar a massa específica teórica

Produto	Referência	Equação
Alimentos em geral	CHOI & OKOS (1986)	$\rho = 1098 + 4,26X_s - 0,349(T + 273)$
Sucos de frutas em geral	ALVARADO & ROMERO (1989b)	$\rho = 1002 + 4,61B - 0,460T + 7,001 \times 10^{-3}T^2 - 9,175 \times 10^{-5}T^3$

ρ - massa específica (kg/m³); X_s - fração mássica dos sólidos (adimensional); B - sólidos solúveis totais (°Brix); T - temperatura (°C)

3.6.3 - Difusividade térmica

As difusividades térmicas da polpa integral e das polpas concentradas foram determinadas em triplicata, de acordo com a metodologia proposta por DICKERSON (1965). Esta metodologia consiste em um aparato cilíndrico metálico com 2,45 cm de raio interno e 23,0 cm de comprimento interno útil, com rolhas de nylon nas extremidades para vedação. O cilindro tem dois termopares, um soldado na superfície externa e o outro inserido através do centro de uma das rolhas, de modo a medir a temperatura no centro radial e em posição equidistante das extremidades. O cilindro é preenchido com as polpas adicionadas de ágar para evitar a convecção natural; a seguir se mergulha o aparato em um banho termostático o qual é aquecido desde a temperatura ambiente, em torno de 25 °C, até 60 °C, registrando-se as temperaturas na superfície e no centro do cilindro, em intervalos de 2 minutos.

Para os cálculos da difusividade térmica das polpas foi utilizada a Equação 3.4.

$$\alpha = \frac{ARc^2}{4(T_s - T_c)} \quad (3.4)$$

em que:

α – difusividade térmica (m²/s)

A – taxa constante de aquecimento (K/s)

Rc – raio do cilindro (m)

T_s – temperatura na superfície do cilindro de raio R (K)

T_c – temperatura no centro do cilindro (K)

Plotando-se os dados de temperatura interna (T_c) e externa (T_s) do cilindro, obtém-se o coeficiente angular da reta, que é a constante da velocidade de aquecimento (A) do banho. A diferença (T_s - T_c) foi obtida quando as curvas (T_s) e (T_c) se tornam paralelas entre si, o que ocorre quando os dados satisfazem a condição da Equação 3.5

$$|(T_s - T_c)_i - (T_s - T_c)_{i+1}| \leq 0,1^\circ\text{C} \quad (3.5)$$

A difusividade térmica das amostras também foi estimada por meio de equações propostas em literatura, apresentadas na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Equações utilizadas no cálculo da difusividade térmica teórica

Produto	Equação	Referência
Alimentos em geral	$\alpha = 0,088 \cdot 10^{-6} + (\alpha_w - 0,088 \cdot 10^{-6}) X_w$	RIEDEL (1969)
Alimentos em geral	$\alpha = [0,057363 X_w + 0,000288(T + 273)] \times 10^{-6}$	SINGH (1982)

em que: α - difusividade térmica (m^2/s); T - temperatura ($^{\circ}C$); α_w - difusividade térmica da água (m^2/s); X_w - fração mássica da água (adimensional)

3.6.4 - Condutividade térmica

Visando à determinação de condutividade térmica, usou-se a Equação 3.6, que relaciona a condutividade térmica com a difusividade térmica, a massa específica e o calor específico, determinados experimentalmente.

$$K = \alpha \rho C_p \quad (3.6)$$

em que:

K - condutividade térmica (W/m K);

α - difusividade térmica (m^2/s);

ρ - massa específica (m^3);

C_p - calor específico (kJ/kg K)

Para estimativa da condutividade térmica teórica das polpas, foram utilizadas as equações propostas por Kolarov & Gromov para suco de frutas e por CHOI & OKOS (1986), para materiais biológicos.

Tabela 3.4 - Equações utilizadas no cálculo teórico da condutividade térmica da polpa da graviola

Produto	Equação	Referência
Sucos de frutas	$K = 0,140 + 0,42X_w$	Kolarov & Gromov citado por SWEAT (1994)
Materiais biológicos	$K = 0,056 + 0,57X_w$	CHOI & OKOS (1986)

K - Condutividade térmica (W/m°C); X_w - Fração mássica da água (decimal)

3.7 - Erros

Na determinação dos erros entre os valores experimentais e teóricos de modelos e/ou equação proposta na literatura foi calculou-se o desvio percentual médio (P) obtido por meio da Equação 3.7.

$$P = \left| \frac{V_{\text{exp}} - V_{\text{teor}}}{V_{\text{exp}}} \right| \times 100 \quad (3.7)$$

Onde:

P- desvio percentual médio (%)

V_{exp} - valor experimental

V_{ter} - valor teórico

3.8 - Análise estatística

Na análise estatística dos dados usou-se o programa ASSISTAT, versão 6.7 Beta. Os dados de calor específico, difusividade térmica e condutividade térmica, foram avaliados utilizando-se o delineamento inteiramente casualizado e os dados de massa específica, foram avaliados segundo o esquema fatorial 3x5x4 (3 concentrações, 5 temperaturas e 4 repetições).

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 - Caracterização química, física e físico-química

Nas Tabelas A.1 a A.7 do Apêndice A são apresentadas as análises de variância dos parâmetros químicos, físicos e físico-químicos analisados. Constata-se que houve efeito significativo, a 1% de probabilidade pelo teste F, da concentração sobre todos os parâmetros analisados.

Na Tabela 4.1 são apresentados os valores dos parâmetros da caracterização química, física e físico-química das polpas de graviola, nas concentrações de 12, 17 e 25°Brix.

Tabela 4.1 – Valores médios dos parâmetros da caracterização química, física e físico-química das polpas de graviola integral e concentradas

Parâmetro	Polpa integral (12°Brix)	Polpa com 17°Brix	Polpa com 25°Brix	Média geral	DMS	CV (%)
pH	4,11	4,04	4,06	-	-	-
Cinzas (%)	0,074 b	1,157 a	1,293 a	0,84	0,15	7,19
Sólidos totais (%)	20,350 c	22,826 b	24,608 a	22,60	0,46	1,02
Umidade (% b.u)	79,784 a	77,172 b	75,392 c	77,50	0,29	0,19
Atividade de água	0,986 a	0,985 a	0,979 a	0,98	0,02	0,43
Luminosidade (L*)	53,720b	58,559 a	58,336 a	56,87	0,45	0,58
Intensidade de vermelho (+a*)	10,426b	11,249 a	11,330 a	11,00	0,44	2,91
Intensidade de amarelo (+ b*)	15,351b	15,697 b	16,393 a	15,81	0,60	2,77

As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si de acordo com o Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

O pH das amostras variou entre 4,04 e 4,11, caracterizando as três amostras como polpas ácidas, em razão do pH estar com valor entre 3,7 e 4,5 (BARUFFALDI & OLIVEIRA,1998). Valores de pH e classificação idêntica foram verificados por MARCELLINI et al. (2003) para as polpas de graviola (pH = 4,36) e atemóia (pH = 4,53).

O teor de cinzas ou resíduo mineral foi determinado em triplicata para as três amostras (integral e concentradas) e a média geral foi de 0,84%. Verifica-se que os valores

não diferiram estatisticamente entre 17 °Brix e 25 °Brix, mas diferiram da polpa integral. Valor próximo foi encontrado por GOUVEIA et al. (2006) na caracterização da polpa da pinha com 28,5 °Brix encontrando uma média de 0,801% de cinzas. De acordo com a tabela decomposição química da USDA (2007) o teor de cinzas da graviola é de 0,70%.

Os valores de sólidos totais diferem estaticamente com o aumento da concentração, identificando aumentos no teor de sólidos pela diminuição da umidade do produto. Os teores de sólidos totais aumentaram de 12,17% entre as concentrações de 12 °Brix para 17 °Brix, o mesmo ocorrendo na concentração de 17 °Brix para a concentração de 25 °Brix, cujo percentual de aumento foi de 7,81%. Esses valores são superiores ao da polpa do mamão, determinado por GRIZOTTO et al. (2005) que foi de 9,8%.

Os teores de umidade (% b.u.) diferiram estatisticamente com o aumento da concentração, conforme previsto. FASOLIN (2006), achou, trabalhando com polpa de graviola, valores de 90,65% de umidade, valor muito superior ao encontrado no presente trabalho. Estatisticamente, confirma-se a maior umidade a 12 °Brix, seguida das concentrações crescentes.

As atividades de água nas três concentrações não diferiram estatisticamente a 5% de probabilidade pelo teste de Tukey, demonstrando pequena variação entre as médias, apesar da redução em valores absolutos com o aumento da concentração das amostras. Valor similar ao do presente estudo foi encontrado por VIANA (2010) para a polpa do cupuaçu integral, que quantificou uma média de $0,989 \pm 0,001$ para atividade de água.

Observa-se aumento de 9,01% na luminosidade da concentração de 12 °Brix quando comparada com a concentração de 17 °Brix, refletindo-se esta variação em diferença estatística entre as amostras. Entre as amostras a 17 °Brix e 25 °Brix, apesar de haver diminuição de 0,38% nos valores médios de luminosidade com o aumento da concentração esta diferença não se mostra na significância estatística.

Os valores que representam a intensidade de vermelho (+a*) diferem estatisticamente entre as concentrações de 12 °Brix e as demais. Ocorre aumento da intensidade de vermelho de 12 °Brix para 17 °Brix totalizando 7,89%; observa-se, também, aumento entre as concentrações de 17 °Brix e 25 °Brix, em um valor de 0,72%, mas neste caso não há diferença estatística entre as amostras.

Os valores que representam a intensidade de amarelo (+b*) aumentam com o aumento da concentração da polpa. Entre 12 °Brix e 17 °Brix não se detecta diferença estatística, embora ocorra um aumento de 2,35%. Entre as concentrações de 17 °Brix e 25 °Brix constata-se um aumento de 4,43%, demonstrado também pela diferença

estatisticamente significativa. Quando se compara a intensidade de vermelho com a amarela, nota-se predominância desta última sobre a primeira; o mesmo se observa com o aumento da concentração. Valores semelhantes foram observados por OLIVEIRA et al. (2006) trabalhando com pitanga adicionada com maltodextrina e pitanga em pó.

4.2 - Comportamento reológico

4.2.1 – Modelos reológicos

Na Tabela 4.2 são apresentados os parâmetros de ajustes aos dados experimentais de tensão de cisalhamento e taxa de deformação, pelos modelos reológicos Lei da Potência e Casson da polpa graviola a 12 °Brix, nas temperaturas de 5 a 50 °C.

Tabela 4.2 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos reológicos Lei da Potência e Casson, para a polpa de graviola integral (12 °Brix)

Modelos	T (°C)	Parâmetros		R^2	P (%)
		K	n		
Lei da Potência	5	1800,78	0,53	0,99	2,50
	10	1918,42	0,52	0,98	2,70
	20	1497,90	0,54	0,90	2,50
	30	1475,72	0,48	0,97	3,10
	40	2413,45	0,31	0,99	0,70
	50	1762,96	0,32	0,96	1,92
Casson	T (°C)	K_{0C}	K_C	R^2	P (%)
	5	55,70	9,06	0,99	0,81
	10	58,52	8,65	0,99	0,93
	20	50,32	8,56	0,99	1,02
	30	52,17	6,32	0,98	1,10
	40	64,46	3,60	0,99	0,26
50	56,21	3,03	0,98	0,70	

Para o modelo Lei da Potência não se observam tendências crescentes nem de redução do parâmetro Índice de Consistência (K) nas temperaturas estudadas. O mesmo não foi verificado com os dados de K obtidos por DAK et al. (2007), estudando o efeito da temperatura e concentração na polpa de manga variedade Kesar.

Com relação ao parâmetro índice do comportamento do fluido (n) verifica-se estabilidade nas temperaturas de 5 °C a 20 °C, observando-se reduções entre esses três primeiros valores, em relação aos demais. GRATÃO (2006), observou, estudando o fluxo laminar da graviola, pouca variação nos valores de n com o aumento da temperatura. Com referência ao parâmetro R^2 , observam-se valores acima de 0,9 em todas as temperaturas, configurando ajustes satisfatórios. Para o desvio percentual médio (P), nota-se que tais valores variaram de 0,7 a 3,10, caracterizando bons ajustes, em todas as temperaturas.

Para o modelo de Casson, de maneira geral, não se observa tendências no valor do parâmetro K_{0C} com o aquecimento. O coeficiente de viscosidade plástica de Casson, K_C , foi afetado pelo aumento de temperatura, sofrendo redução nos seus valores. Contrariamente, SILVA et al. (2005), verificaram trabalhando com polpa de acerola (13 °Brix), diminuição dos valores do K_{0C} com o aumento da temperatura, de 7,394 a 5 °C para 5,368 a 50 °C, e aumento do valor de K_C com o aumento da temperatura, de 0,124 a 5 °C para 0,158 a 50 °C. O coeficiente de determinação (R^2) apresentou valores razoáveis, acima de 0,9, em todas as temperaturas. Os desvios percentuais médios variaram de 0,26 a 1,10, abaixo, portanto de 10%, configurando bons resultados para este parâmetro.

Verifica-se, ante os resultados, que os dois modelos testados (Lei da Potência e Casson) podem ser utilizados para estimar os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de graviola integral (12 °Brix), com a maior precisão obtida através do modelo de Casson, por ter apresentado os maiores R^2 e os menores P.

Na Figura 4.1 são apresentados os dados experimentais de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para os dados reométricos da polpa de graviola integral, 12 °Brix, com ajuste pelo modelo de Lei da Potência. Observa-se pequeno efeito da temperatura entre as curvas de 5 e 10 °C, com dados praticamente coincidentes. A partir de 10 °C o efeito da temperatura se apresenta com clareza, demonstrado pela distinção entre as curvas. Verifica-se, para uma taxa de deformação fixa, uma tendência de diminuição da tensão de cisalhamento com o aumento da temperatura.

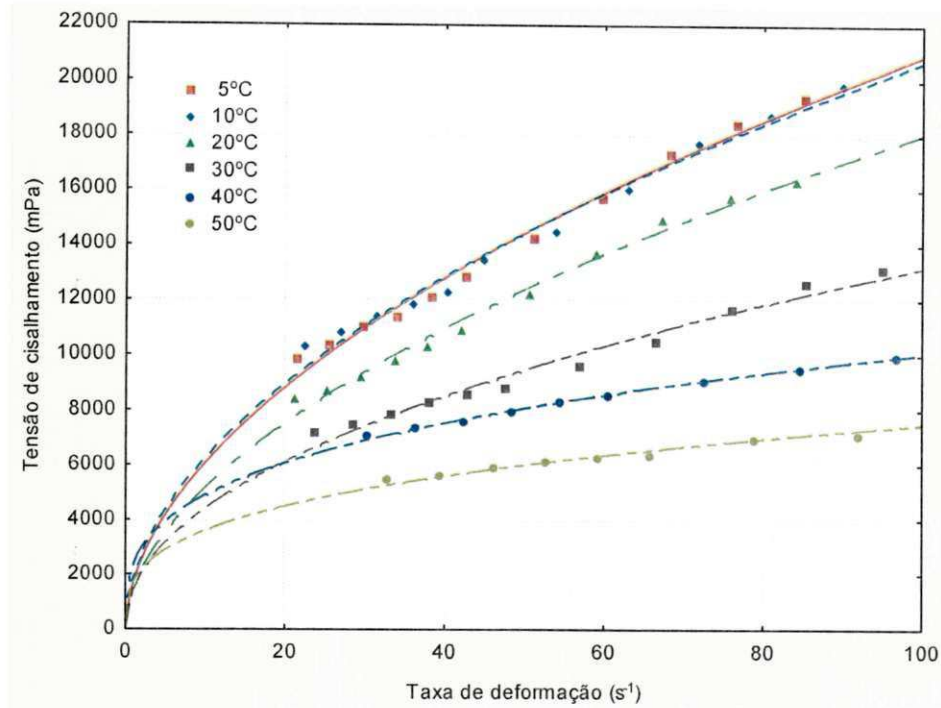


Figura 4.1 - Tensão de cisalhamento em função de taxa de deformação da amostra integral, 12 °Brix, com ajustes pelo modelo da Lei da Potência

Na Figura 4.2 são apresentados os dados experimentais de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de graviola integral, 12 °Brix, com ajuste pelo modelo de Casson. Pela disposição das curvas pode-se caracterizar a polpa de graviola com 12 °Brix como fluido não-newtoniano; verifica-se, para uma taxa de deformação fixa acima de 4 s⁻¹, que a tensão de cisalhamento diminui com o aumento da temperatura. Constata-se que a tensão de cisalhamento aumenta com o aumento da taxa de deformação. Entre as temperaturas de 10 e 20 °C ocorre similaridade de dados e, portanto, não se observa distinção do efeito da temperatura, não ocorrendo entre as outras temperaturas nas quais é claro o efeito sobre a tensão de cisalhamento e sobre a taxa de deformação.

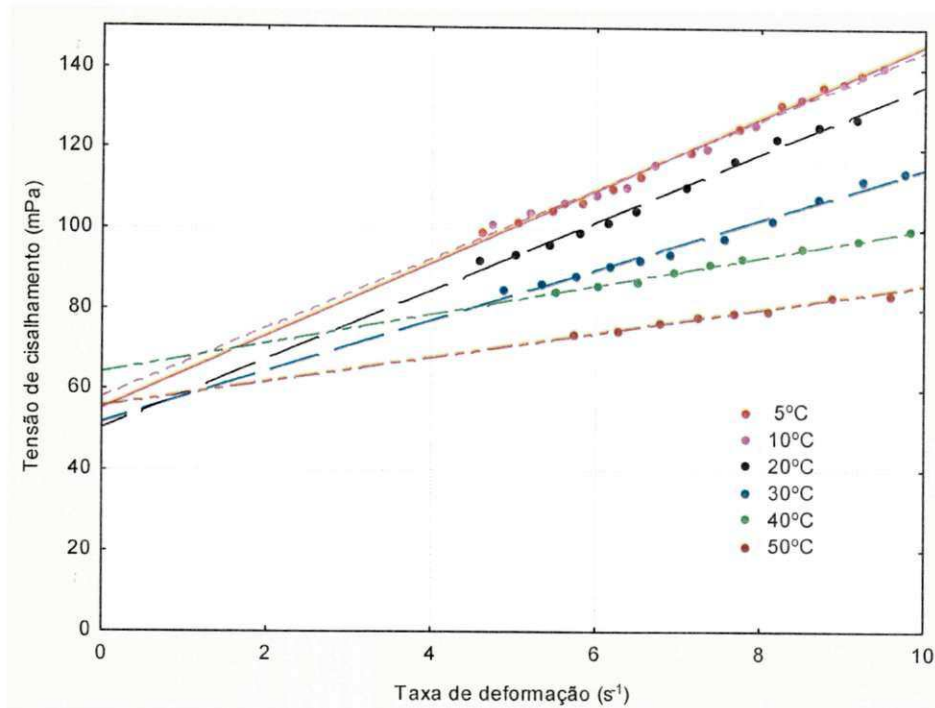


Figura 4.2 - Tensão de cisalhamento em função de taxa de deformação da amostra integral, 12 °Brix, com ajustes pelo modelo de Casson

Na Tabela 4.3 são apresentados os parâmetros de ajustes dos modelos reológicos Lei da Potência e Casson ajustados aos dados experimentais da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa graviola com 17 °Brix.

Para o modelo da Lei da Potência se observa, para o índice de consistência (K), uma diminuição entre as temperaturas de 5 a 30 °C. Para o índice de comportamento do fluido (n) do modelo da Lei da Potência, verifica-se diminuição no valor de n entre 5 e 20 °C. SATO & CUNHA (2007), estudando o comportamento reológico da polpa de jaboticaba (13 °Brix) também verificaram diminuição nos valores do índice de consistência (K) e de n com o aumento da temperatura entre 5 e 65 °C. Os valores dos coeficientes de determinação (R^2), se situaram entre 0,95 e 0,99, e os valores de P iguais ou menores que 2,4%, configurando bons ajustes.

Para o modelo de Casson se observam, de maneira geral, reduções no valor do parâmetro K_{0C} com o aquecimento. Da mesma forma, o coeficiente de viscosidade plástica, K_C , é afetado pelo aumento de temperatura, sofrendo reduções. O coeficiente de determinação R^2 apresentou valores iguais ou acima de 0,98 em todas as temperaturas e os desvios percentuais médios (P), com valor máximo de 0,86, configurando também bons resultados para este modelo.

Constata-se que os dois modelos testados (Lei da Potência e Casson) também podem ser utilizados para estimar os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de graviola com 17 °Brix, com a maior precisão obtida também através do modelo de Casson por ter apresentado os maiores R^2 e os menores P.

Tabela 4.3 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos reológicos Lei da Potência e Casson para a polpa da graviola concentrada com 17 °Brix

Modelos	Temp. (°C)	Parâmetros		R^2	P (%)
		K	n		
Lei da Potência	5	31720,62	0,27	0,99	1,10
	10	29494,44	0,26	0,99	0,81
	20	27625,01	0,24	0,99	0,74
	30	7851,89	0,30	0,95	2,40
	40	11909,79	0,19	0,98	0,83
	50	8397,83	0,22	0,99	0,74
	Temp. (°C)	K_{0C}	K_C	R^2	P (%)
Casson	5	225,59	10,68	0,99	0,25
	10	218,34	9,19	0,99	0,21
	20	210,52	8,02	0,99	0,13
	30	115,04	6,46	0,98	0,86
	40	130,53	3,67	0,99	0,45
	50	115,40	3,76	0,98	0,50

Na Figura 4.3 são apresentados os dados experimentais de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para os dados reométricos da polpa da graviola concentrada, 17 °Brix, com ajuste pelo modelo da lei da potência. Verifica-se, pela posição relativa das curvas, um comportamento distinto resultante de duas faixas de temperatura, entre 5 a 20 °C e 30 a 50 °C, demonstrando um efeito marcante quando as amostras são aquecidas acima de 30 °C.

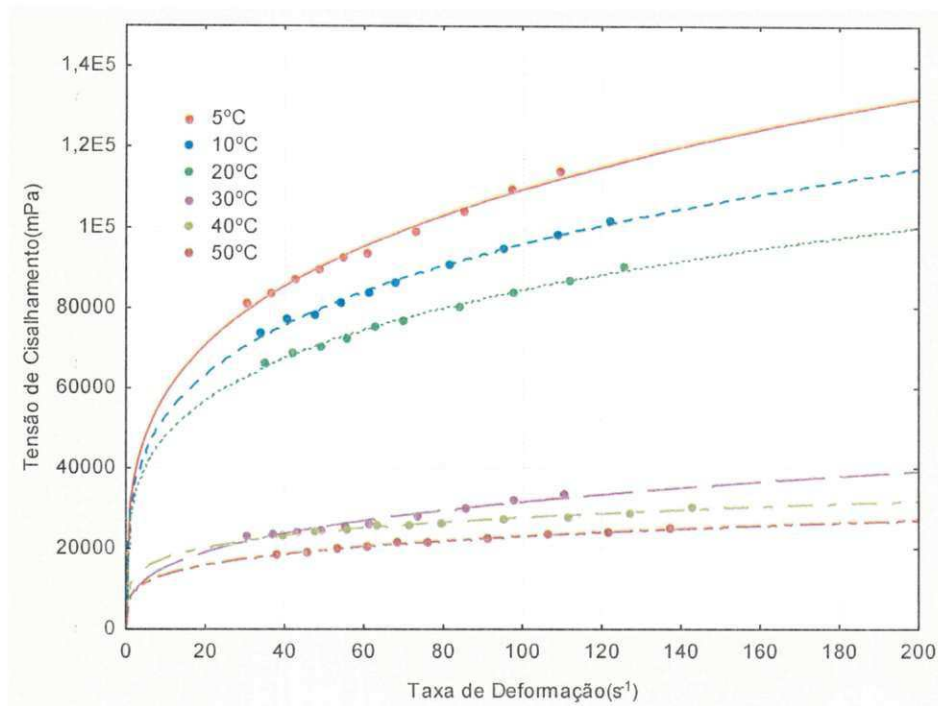


Figura 4.3 - Tensão de cisalhamento em função de taxa de deformação da polpa de graviola concentrada (17 °Brix), com ajustes pelo modelo da Lei da Potência

Na Figura 4.4 são apresentados os dados experimentais de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa de graviola concentrada, 17 °Brix, com ajuste pelo modelo de Casson. Observa-se influência da temperatura sobre o comportamento tensão de cisalhamento e da taxa de deformação da polpa de graviola concentrada. Verifica-se, para uma taxa de deformação fixa, que na maioria dos casos a tensão de cisalhamento diminui com o aumento da temperatura.

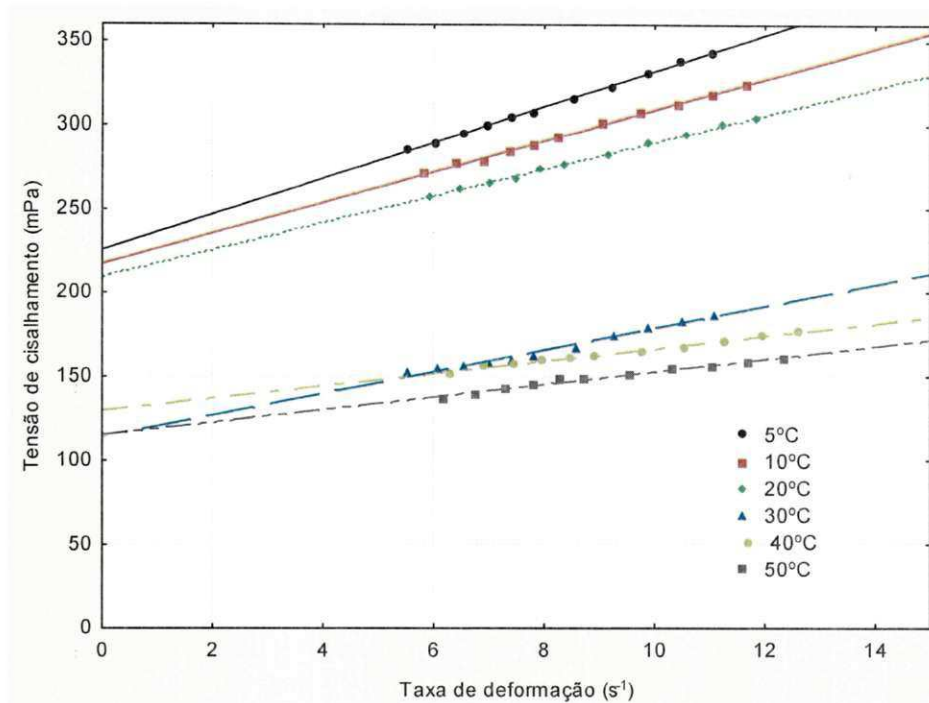


Figura 4.4 - Tensão de cisalhamento em função de taxa de deformação da polpa de graviola concentrada (17 °Brix), com ajustes pelo modelo de Casson

Na Tabela 4.4 se apresentam os parâmetros dos modelos reológicos Lei da Potência e Casson, ajustados aos dados experimentais da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa graviola concentrada até 25 °Brix.

Para o modelo da Lei da Potência observa-se uma tendência geral de diminuição no valor do índice de consistência (K) com o aumento da temperatura. CHIN et al.(2009) também encontraram valores decrescentes para o índice de consistência da polpa de pomelo (20 °Brix) com o aumento da temperatura. O índice de comportamento do fluido (n) se mantém com o mesmo valor de 5 a 20 °C, ocorrendo ligeiro aumento entre 40 e 50 °C. O valor de R^2 superior a 0,95 em toda a faixa de temperatura, e o valor de P , inferior a 2,0%, caracterizam ajustes satisfatórios.

Para o modelo de Casson observa-se, com a elevação da temperatura, tendência de diminuição dos valores do parâmetro K_{oc} , e, para a viscosidade plástica de Casson (K_c) verificam-se tendências de diminuição entre 5 e 30 °C. O R^2 mínimo de 0,96 e o P máximo de 1,32 configuram ajustes satisfatórios. VANDRESEN et al. (2009), analisaram o efeito da temperatura sobre o comportamento reológico do suco de cenoura (7,57 °Brix), em diferentes temperaturas (8 a 85 °C), e constataram, através do modelo de Casson, que a tensão inicial e o índice de consistência (K_c), diminuíram com o aumento da temperatura.

Dentre os dois modelos testados (Lei da Potência e Casson) o que melhor se ajustou aos dados experimentais, na maioria das temperaturas, foi o de Casson, por ter apresentado os maiores R^2 e os menores P.

Tabela 4.4 - Parâmetros, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos modelos reológicos Lei da Potência e Casson para a polpa da graviola concentrada com 25 °Brix

	Temp. (°C)	Parâmetros		R^2	P (%)
		K	n		
Lei da Potência	5	64976,95	0,25	0,99	0,60
	10	60013,10	0,25	0,99	0,06
	20	50603,60	0,25	0,99	0,61
	30	54548,90	0,21	0,99	0,68
	40	36658,90	0,28	0,99	0,89
	50	25619,73	0,35	0,96	1,87
	Temp. (°C)	K_{0C}	K_C	R^2	P (%)
Casson	5	325,27	12,58	0,99	0,55
	10	313,68	12,55	0,99	0,47
	20	287,90	11,60	0,98	0,63
	30	292,85	9,27	0,99	0,33
	40	248,60	11,29	0,99	0,39
	50	208,04	15,44	0,96	1,32

Na Figura 4.5 são apresentados os dados experimentais de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de graviola concentrada até 25 °Brix, com ajustes pelo modelo da lei da potência, verificando-se a influência da temperatura sobre o comportamento das amostras, com efeito menos pronunciado entre 40 e 50 °C, com sobreposição e cruzamento das curvas entre 100 e 120 s^{-1} .

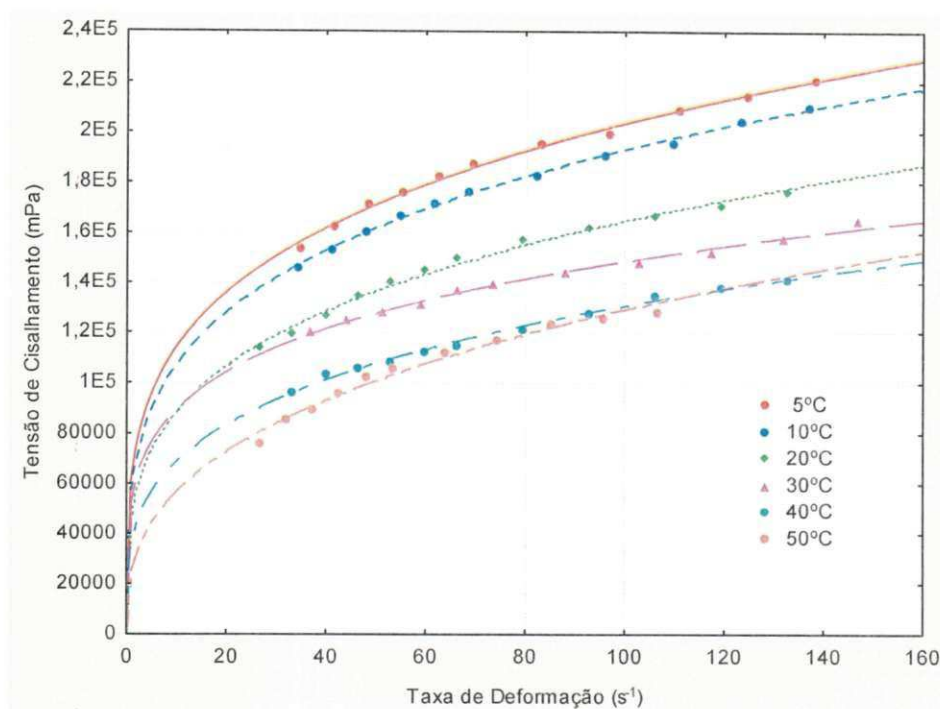


Figura 4.5 - Tensão de cisalhamento em função de taxa de deformação da polpa de graviola concentrada (25 °Brix), com ajustes pelo modelo da Lei da Potência

Na Figura 4.6 são apresentados os dados experimentais de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação da polpa da graviola concentrada, 25 °Brix, com ajuste pelo modelo de Casson. Verifica-se, para uma taxa de deformação fixa, que a tensão de cisalhamento diminui com o aumento da temperatura, exceto para taxa de deformação acima de 10 s^{-1} , em que a curva da temperatura de $50 \text{ }^{\circ}\text{C}$ cruza as curvas de $40 \text{ }^{\circ}\text{C}$ e $30 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

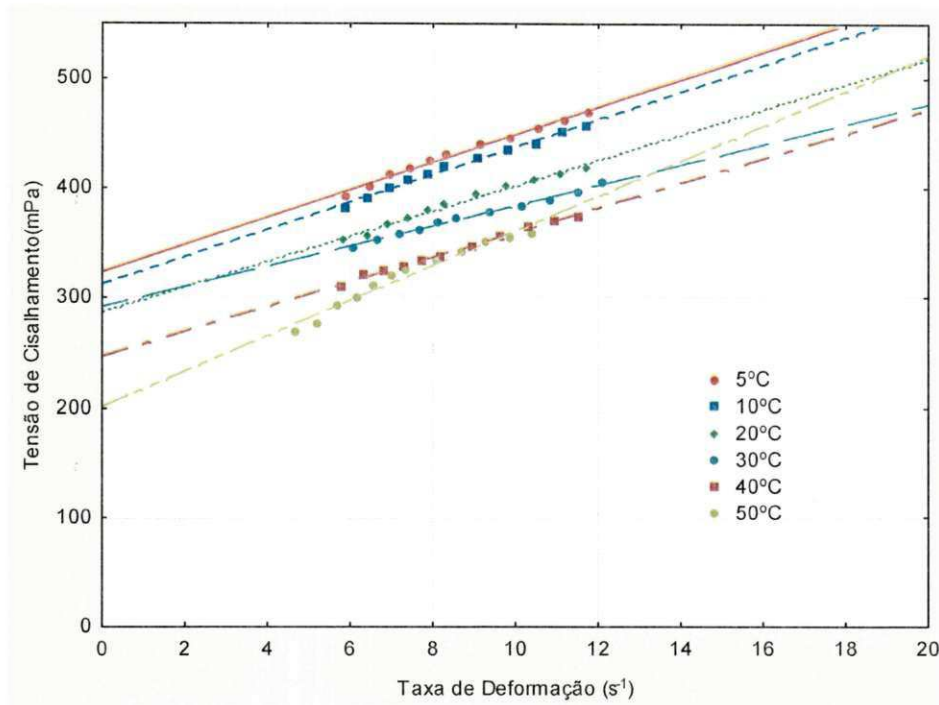


Figura 4.6 - Tensão de cisalhamento em função de taxa de deformação da polpa de graviola concentrada (25 °Brix), com ajustes pelo modelo de Casson

4.2.2 – Viscosidades aparentes

Na Tabela 4.5 estão representados os valores das viscosidades aparentes (m Pa s) da polpa da graviola integral (12 °Brix), nas temperaturas de 5 a 50°C, nas velocidades de rotação de 50 a 200 rpm.

Observa-se haver uma diminuição dos valores de viscosidade aparente com o aumento da temperatura e que, com o aumento da velocidade de rotação, ocorrem reduções da viscosidade, evidenciando comportamento pseudoplástico típico de polpa de frutas. Resultados semelhantes obteve GRANGEIRO (2004), trabalhando com polpa de figo-da-índia nas temperaturas de 10 a 60 °C em diferentes concentrações, e por VIDAL et al. (2006), trabalhando com polpa de manga centrifugada da variedade Keith (16,5 °Brix) nas temperaturas de 10 a 60 °C indicaram que a polpa perdeu pseudoplasticidade e ficou menos viscosa, à medida em que a temperatura aumentou, facilitando o escoamento e a troca de calor, durante o processamento.

As reduções das viscosidades aparentes na velocidade de rotação de 200 rpm em relação à de 50 rpm foram de 50, 49,30, 51,61, 55,56, 63,46 e 62,50% nas temperaturas de 5, 10, 20, 30, 40 e 50 °C.

Tabela 4.5 - Viscosidades aparentes (mPa s) da polpa de graviola com 12°Brix em função da velocidade de rotação e temperatura

Velocidade de rotação (rpm)	Temperatura (°C)					
	5	10	20	30	40	50
50	740	710	620	540	520	400
60	670	620	540	470	450	340
70	620	610	490	420	390	300
80	570	550	460	390	360	280
90	550	510	430	360	330	250
100	490	480	410	330	310	230
120	450	440	380	300	270	200
140	420	420	360	280	240	180
160	400	400	350	270	220	170
180	380	380	320	260	210	160
200	370	360	300	240	190	150

Na Figura 4.7 se apresentam as curvas de viscosidade aparente em função da velocidade de rotação da polpa de graviola com 12 °Brix nas temperaturas de 5 a 50 °C. De maneira geral observa-se influência da temperatura sobre as viscosidades aparentes das amostras, com pequena diferença entre as amostras nas temperaturas de 5 e 10 °C. Na velocidade de rotação aproximada a 40 rpm, ocorre cruzamento das curvas de ajuste entre as temperaturas de 30 e 40 °C, indicando convergência dos dados.

Verifica-se, ainda, que através da forma da curva pode-se afirmar, mais uma vez, que a polpa de graviola com 12 °Brix nas temperaturas de 5 a 50 °C é um fluido pseudoplástico, em razão da viscosidade aparente diminuir com o aumento da taxa de deformação.

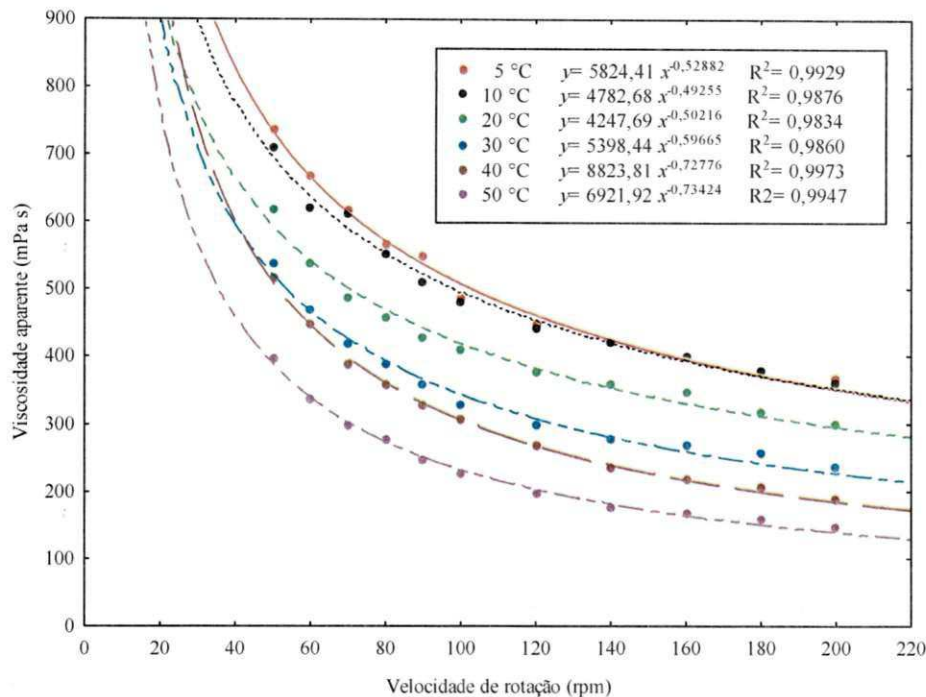


Figura 4.7 - Viscosidade aparente em função da velocidade de rotação da polpa de graviola com 12 °Brix nas temperaturas de 5 a 50 °C

Na Tabela 4.6 estão representados os valores da viscosidade aparente (Pa s) da polpa da graviola concentrada a 17 °Brix, nas temperaturas de 5 a 50 °C, e nas velocidades de rotação de 50 a 200 rpm.

Observa-se diminuição dos valores da viscosidade aparente com o aumento da velocidade de rotação. Também ocorrem, de maneira geral, reduções, com o aumento de temperatura, apesar de relativa estabilidade nas viscosidades entre as temperaturas de 5 e 10 °C e entre 30 e 40 °C. Comportamento semelhante foi verificado por HERNANDEZ et al. (1995) para o suco de laranja ultrafiltrado, que constataram significativa diminuição da viscosidade aparente com a diminuição da concentração e com o aumento da temperatura.

As reduções das viscosidades aparentes na velocidade de rotação de 200 rpm em relação à de 50 rpm foram de 64,29, 64,71, 64,91, 62,22, 66,67 e 66,67% nas temperaturas de 5, 10, 20, 30, 40 e 50 °C.

Tabela 4.6 - Viscosidades aparentes (mPa s) da polpa de graviola com 17 °Brix em função da velocidade de rotação e temperatura

Velocidade de rotação (rpm)	Temperatura (°C)					
	5	10	20	30	40	50
50	7000	6800	5700	4500	4500	3900
60	6600	6400	4900	3900	3900	3300
70	5500	5400	4300	3400	3400	2800
80	4900	4900	3900	3000	3000	2400
90	4410	4300	3600	2800	2700	2200
100	4020	3900	3300	2500	2500	2000
120	3700	3600	2900	2300	2200	1800
140	3200	3200	2600	2100	1900	1600
160	2900	2800	2300	2000	1700	1500
180	2700	2600	2100	1800	1600	1400
200	2500	2400	2000	1700	1500	1300

Na Figura 4.8 apresentam-se as curvas de viscosidade aparente em função da velocidade de rotação da polpa de graviola a 17 °Brix, nas temperaturas de 5 a 50 °C. De maneira geral observa-se influência da temperatura sobre as viscosidades das amostras, com pouca diferença entre as amostras nas temperaturas de 5 e 10 °C e entre 30 e 40 °C.

Constata-se, como verificado para a polpa de graviola com 12 °Brix nas temperaturas de 5 a 50 °C, que a polpa de graviola com 17 °Brix nas mesmas temperaturas também foi classificada como fluidos pseudoplásticos, em razão da viscosidade aparente diminuir com o aumento da taxa de deformação, visualizado através da forma das curvas, na Figura 4.8.

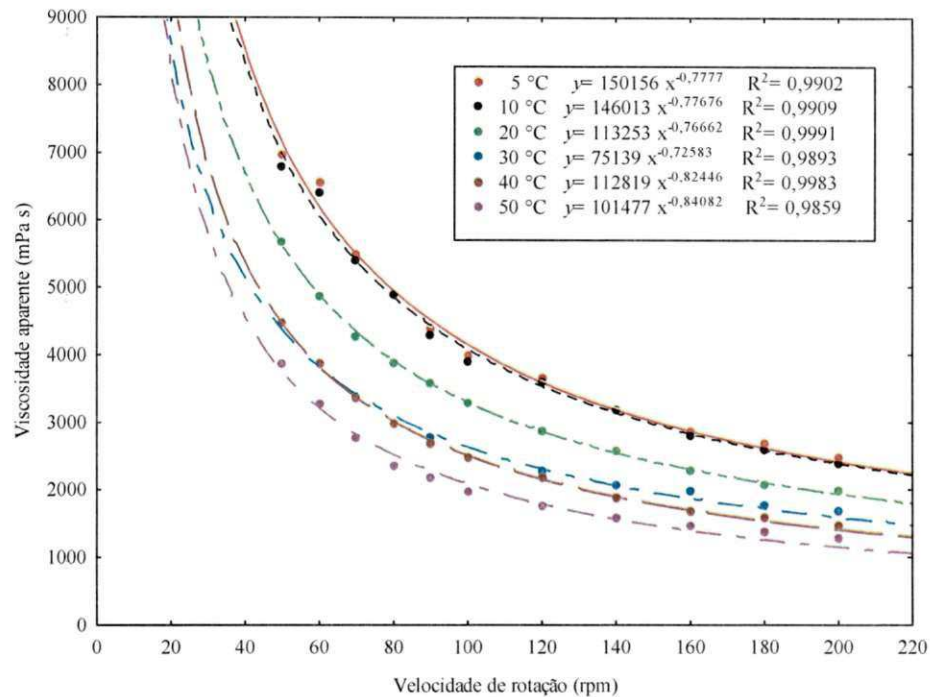


Figura 4.8 - Viscosidade aparente em função de velocidade de rotação da polpa de graviola com 17 °Brix nas temperaturas de 5 a 50 °C

Na Tabela 4.7 estão apresentados os valores da viscosidade aparente (Pa s) da polpa da graviola concentrada a 25 °Brix, nas temperaturas de 5 a 50 °C, nas velocidades de rotação de 50 a 200 rpm. Tal como nas amostras a 12 e 17 °Brix, observam-se diminuições da viscosidade com o aumento da velocidade de rotação, característica de fluidos pseudoplásticos, e com o aumento de temperatura. FERREIRA et al. (2002), verificaram, trabalhando com polpa de caju e goiaba, com temperaturas variando de 10 a 60 °C, que com o aumento da temperatura houve diminuição das viscosidades aparentes.

As reduções das viscosidades aparentes na velocidade de rotação de 200 rpm em relação à de 50 rpm foi de 64,4, 64,0%, 64,2, 66,0, 57,8 e 55,6% nas temperaturas de 5, 10, 20, 30, 40 e 50 °C.

Tabela 4.7 - Viscosidades aparentes (mPa s) da polpa de graviola com 25 °Brix em função da velocidade de rotação e temperatura

Velocidade de rotação (rpm)	Temperatura (°C)					
	5	10	20	30	40	50
50	13200	12500	10600	10300	8300	6300
60	11600	10900	9100	8900	7200	5700
70	10500	9700	8200	7800	6500	5200
80	9400	8900	7400	7100	5800	5200
90	8700	8100	6900	6500	5300	5200
100	8000	7600	6400	6000	4800	4700
120	6900	6500	5600	5100	4300	4000
140	6100	5800	5000	4500	3900	3500
160	5500	5300	4400	4100	3600	3300
180	5100	4900	4100	3800	3300	3000
200	4700	4500	3800	3500	3500	2800

Na Figura 4.9 estão representados os valores da viscosidade aparente (mPa s) da polpa da graviola concentrada a 25°Brix, nas temperaturas de 5 a 50 °C, e velocidades de rotação de 50 a 200 rpm. Observa-se clara distinção entre as curvas, demonstrando a influência da temperatura em todas as faixas, com formação de três blocos distintos em pares de temperaturas: sendo 5 e 10 °C, 20 e 30 °C e 40 e 50 °C.

A polpa de graviola com 25 °Brix nas temperaturas de 5 a 50 °C apresentou comportamento semelhante ao das polpas com 12 °Brix e 17 °Brix, com a viscosidade aparente diminuindo com o aumento da taxa de deformação, sendo também classificada como fluido pseudoplástico, como se pode visualizar através da forma das curvas na Figura 4.9.

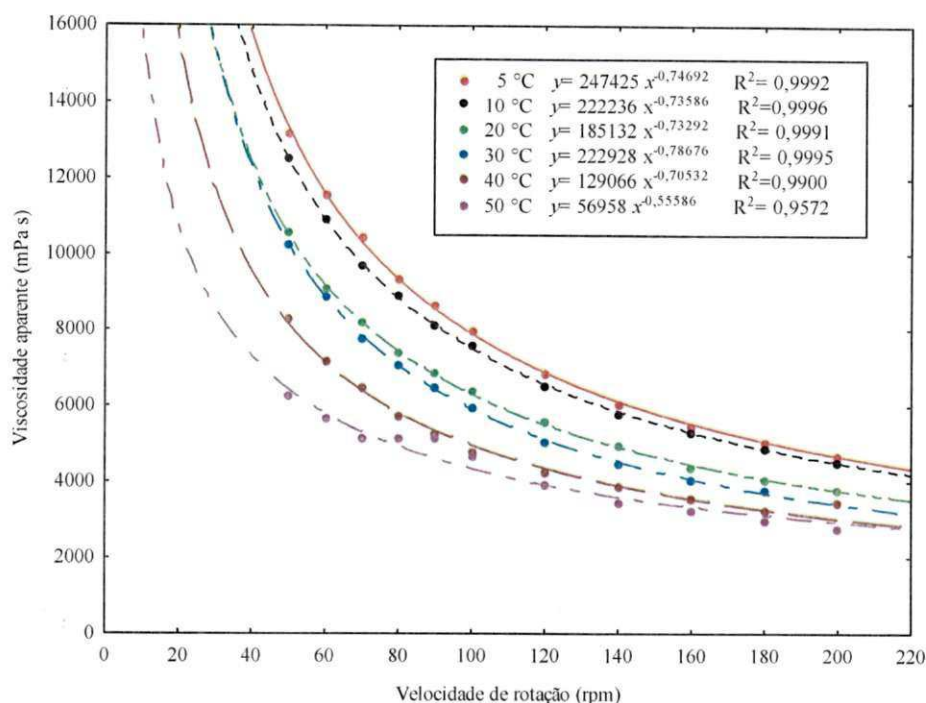


Figura 4.9 - Viscosidade aparente em função da velocidade de rotação da polpa de graviola a 25 °Brix nas temperaturas de 5 a 50 °C

4.2.2.1 – Efeito da temperatura

Na Figura 4.10 tem-se a representação gráfica das curvas de ajustes linear das viscosidades aparentes da polpa de graviola integral (12 °Brix) em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação. Verifica-se, em todas as velocidades de rotação, que a viscosidade aparente aumentou com o inverso da temperatura. Comportamento semelhante foi verificado por HAMINIUK (2005), estudando o comportamento reológico e fracionamento péctico de amora preta (*Rubus spp*) e cajá (*Psidium cattleianum sabine*). Constata-se que para uma temperatura fixa a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da velocidade de rotação. Similarmente, SENGÜL et al. (2005) constataram, para polpa de amora nas temperaturas de 30 a 70 °C e velocidades de rotação de 5 a 100 rpm, redução da viscosidade com o aumento da velocidade de rotação.

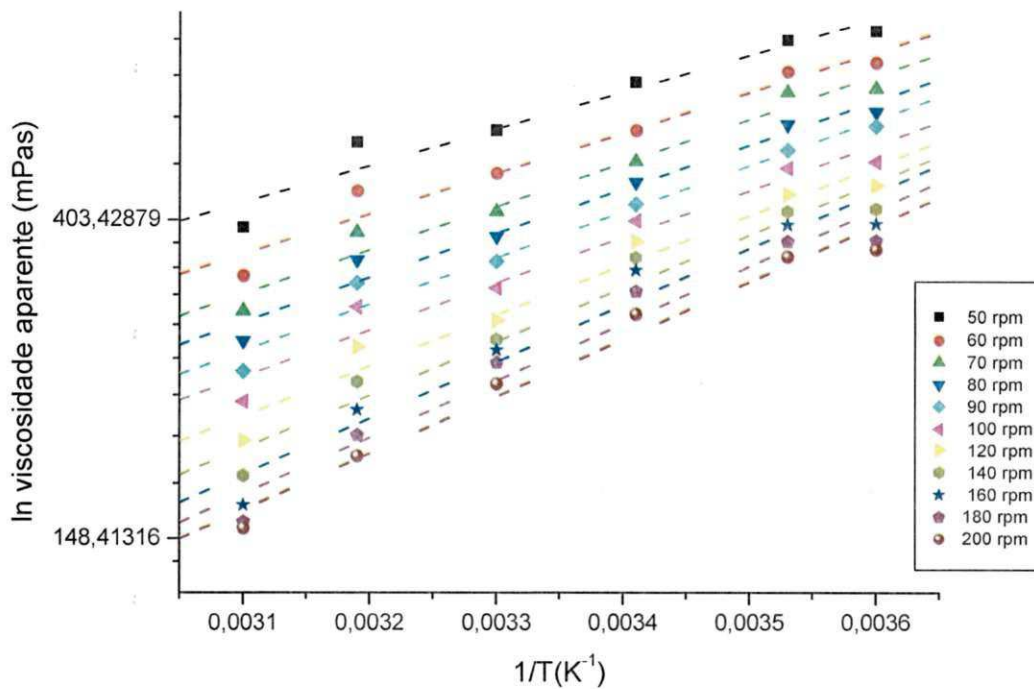


Figura 4.10 - Viscosidade aparente da polpa de graviola integral (12 °Brix) em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação

Na Tabela 4.8 tem-se as equações das regressões lineares da viscosidade aparente em função do inverso da temperatura. A partir dessas equações calcularam-se as energias de ativação (E_a) e as viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0). Observando-se as equações de regressão representada pela equação da reta nas rotações de 50 rpm a 200 rpm, além da diminuição dos valores da viscosidade aparente com o aumento da rotação, há um claro aumento da inclinação das retas que representam cada rotação. A partir da rotação de 140 até 200 rpm, o intervalo entre valores é pequeno.

Tabela 4.8 - Equações de regressão do logaritmo das viscosidades aparentes da polpa de graviola com 12 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação

Velocidade de rotação (rpm)	Equação
50	$y = 2,42858 - 1169,56703 x$
60	$y = 1,91601 - 1284,69947 x$
70	$y = 1,47762 - 1384,84286 x$
80	$y = 1,33821 - 1401,6220 x$
90	$y = 1,05954 - 1462,5432 x$
100	$y = 0,97028 - 1466,33517 x$
120	$y = 0,49449 - 1578,43023 x$
140	$y = 0,08292 - 1676,86426 x$
160	$y = 0,29628 - 1774,9594 x$
180	$y = 0,40663 - 1791,0875 x$
200	$y = 0,46639 - 1793,09841 x$

Na Tabela 4.9 tem-se os valores das viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0) e das energias de ativação calculados pela equação de Arrhenius para a polpa de graviola integral (12 °Brix) para as diferentes velocidades de rotação.

Observa-se que os aumentos da velocidade de rotação acarretam em reduções na viscosidade teórica e tendência de aumento na energia de ativação. A ordem da grandeza da energia de ativação indica a dependência da viscosidade com a temperatura, sendo que o aumento da temperatura provoca um efeito de diminuição da viscosidade, conforme observado por GRATÃO et al. (2004), estudando a relação da viscosidade com a temperatura em açúcar invertido líquido.

De acordo com NINDO et al. (2007), a viscosidade aparente inicial teórica (η_0) está relacionada com o fator de frequência associado às taxas de colisão.

Observa-se que os valores da energia de ativação variaram entre 9,52 e 14,61 kJ g⁻¹ mol⁻¹. Valor dentro desta faixa foi quantificado por HAMINIUK et al. (2006) para a polpa de araçá (11,03 kJ g⁻¹ mol⁻¹) para as temperaturas entre 10 e 60 °C e taxa de deformação de 50 s⁻¹.

Tabela 4.9 – Viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0) e energias de ativação (E_a) da polpa de graviola integral (12 °Brix) calculadas a partir da equação de Arrhenius

Velocidade de rotação (rpm)	η_0 (Pa s)	E_a (kJ g ⁻¹ mol ⁻¹)	R ²
50	11,34	9,52	0,94
60	6,74	10,48	0,96
70	4,35	14,35	0,97
80	3,79	11,43	0,98
90	2,87	11,92	0,98
100	2,61	11,96	0,96
120	1,62	12,88	0,97
140	1,08	13,68	0,96
160	0,73	14,48	0,96
180	0,66	14,61	0,96
200	0,63	14,61	0,98

As viscosidades aparentes da polpa de graviola com 17 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação se encontram na Figura 4.6.

Constata-se, em todas as velocidades de rotação, que a viscosidade aparente aumentou com o inverso da temperatura. HAMINIUK et al. (2006) também verificaram comportamento semelhante para a polpa de amora preta, entre as temperaturas de 10 e 60 °C. Da mesma forma como ocorrido para a polpa integral observa-se, para uma temperatura fixa, que a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da velocidade de rotação para a polpa de graviola com 17 °Brix.

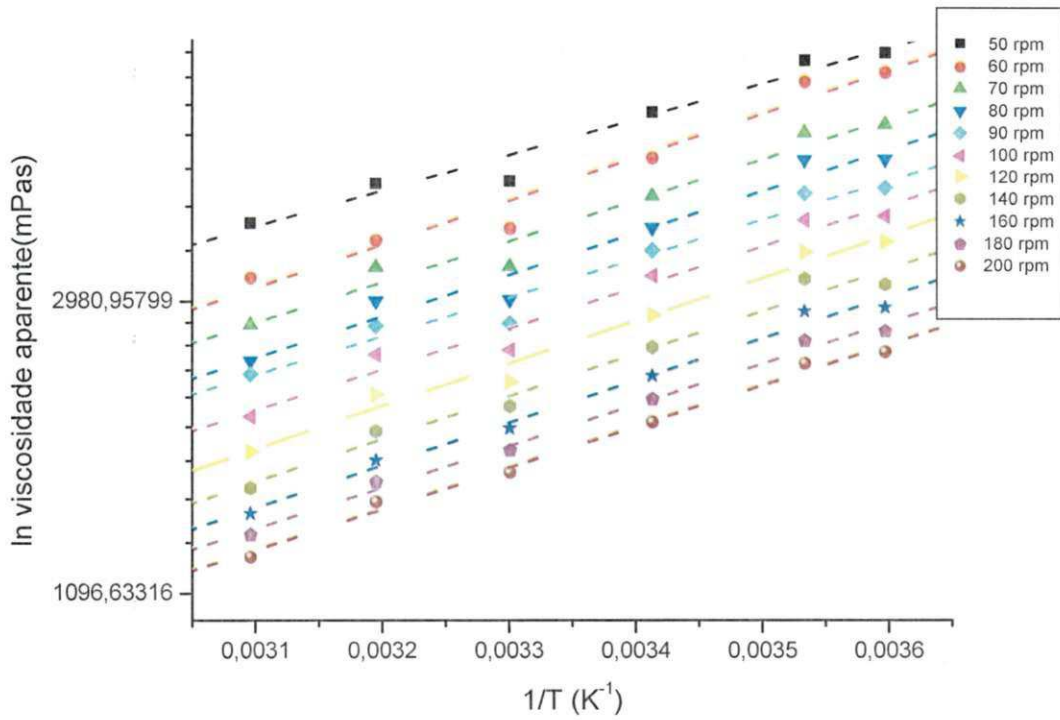


Figura 4.11 - Viscosidade aparente da polpa de graviola com 17 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação

Na Tabela 4.10 têm-se as equações das regressões lineares da viscosidade aparente da polpa de graviola com 17 °Brix, em função do inverso da temperatura. A partir dessas equações calcularam-se as energias de ativação (E_a) e as viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0).

Tabela 4.10 - Equações de regressão do logaritmo das viscosidades aparentes da polpa de graviola com 17 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação

Velocidade de rotação (rpm)	Equação
50	$y = 4,47000 - 1220,81523 x$
60	$y = 3,43714 - 1488,96495 x$
70	$y = 3,60282 - 1395,80516 x$
80	$y = 3,38850 - 1426,27796 x$
90	$y = 3,62920 - 1329,53849 x$
100	$y = 3,27114 - 1406,93123 x$
120	$y = 2,94508 - 1468,02026 x$
140	$y = 2,85966 - 1145,96018 x$
160	$y = 2,81310 - 1446,84909 x$
180	$y = 2,79576 - 1406,11914 x$
200	$y = 2,79576 - 1406,11914 x$

Na Tabela 4.11 estão apresentados os valores das viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0) e das energias de ativação da polpa de graviola com 17 °Brix calculadas pela equação de Arrhenius para as diferentes velocidades de rotação. Nota-se tendência de redução nos valores da viscosidade teórica da polpa com o aumento da velocidade de rotação e, ao contrário da polpa a 12 °Brix, não se observam tendências de aumento ou redução na energia de ativação com a velocidade de rotação. Comportamento semelhante foi verificado por TONON et al. (2009), para a polpa de açaí, nas temperaturas entre 10 e 70 °C.

Tabela 4.11 – Viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0) e energias de ativação (E_a) da polpa de graviola com 17 °Brix, calculadas a partir da equação de Arrhenius

Velocidade de rotação (rpm)	η_0 (Pa s)	E_a (kJ g ⁻¹ mol ⁻¹)	R ²
50	87,45	10,18	0,96
60	37,54	11,69	0,95
70	37,34	11,32	0,95
80	29,30	11,64	0,96
90	37,68	11,08	0,96
100	26,34	11,73	0,97
120	19,79	11,95	0,96
140	17,46	11,88	0,98
160	16,66	11,78	0,99
180	17,50	11,75	0,99
200	16,38	11,73	0,99

Tem-se, na Figura 4.7, as viscosidades aparentes da polpa de graviola com 25 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação. Constata-se, em todas as velocidades de rotação, que a viscosidade aparente aumentou com o inverso da temperatura. HAMINIUK et al. (2006), observaram resultados semelhantes da viscosidade em função do inverso da temperatura com polpa de amora a 5,37 °Brix. Da mesma forma como ocorrido para as polpas integrais e com 17 °Brix, constata-se que para uma temperatura fixa a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da velocidade de rotação para a polpa de graviola com 25 °Brix.

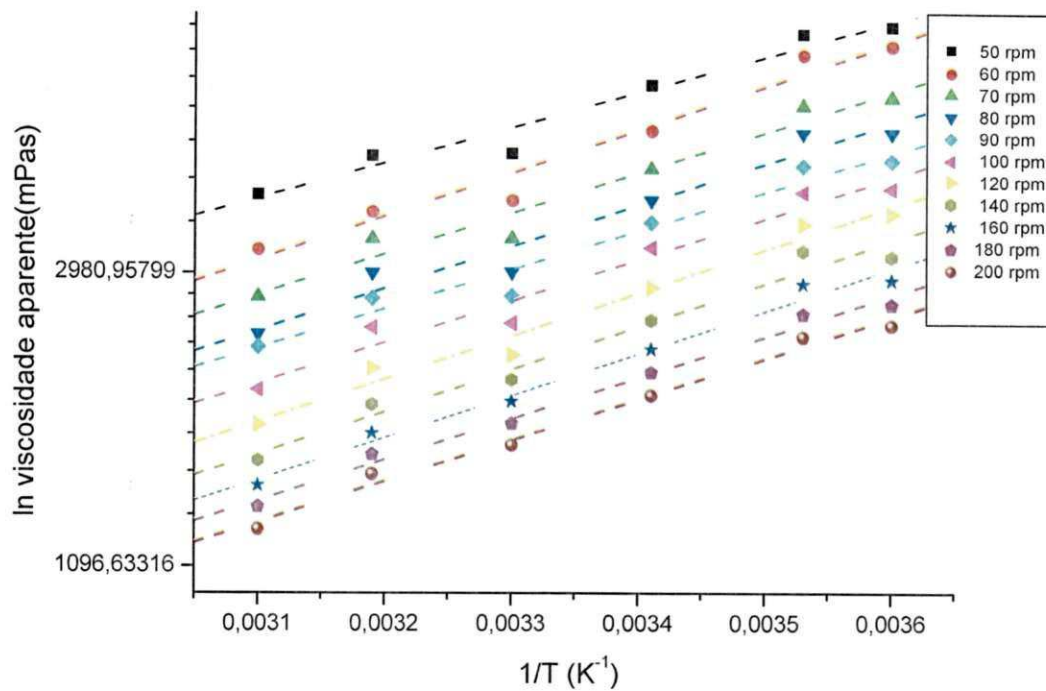


Figura 4.12 - Viscosidade aparente da polpa de graviola com 25 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação

Na Tabela 4.12 tem-se as equações das regressões lineares da viscosidade aparente da polpa de graviola com 25 °Brix, em função do inverso da temperatura. A partir dessas equações calcularam-se as energias de ativação (E_a) e as viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0). Verifica-se também o mesmo comportamento observado nas equações de regressão, que representam o gráfico da viscosidade em função do inverso da temperatura das outras duas concentrações, há diminuição da inclinação da reta que expressa a relação viscosidade em função do inverso da temperatura com o aumento da rotação, evidenciando valores bem próximos, a partir de 140 rpm.

Tabela 4.12 - Equações de regressão do logaritmo das viscosidades aparentes da polpa de graviola com 25 °Brix em função do inverso da temperatura nas diferentes velocidades de rotação

Velocidade de rotação (rpm)	Equação
50	$y = 4,63469 - 1390,19419 x$
60	$y = 4,66820 - 1340,25689 x$
70	$y = 4,56536 - 1309,33879 x$
80	$y = 4,82259 - 1206,04114 x$
90	$y = 4,82259 - 1206,04114 x$
100	$y = 4,74058 - 1183,04210 x$
120	$y = 4,78679 - 1128,64311 x$
140	$y = 4,72397 - 1112,60788 x$
160	$y = 4,82326 - 1055,14813 x$
180	$y = 4,73314 - 1056,57465 x$
200	$y = 5,02459 - 953,34010 x$

Na Tabela 4.13 estão representados os valores das viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0) e das energias de ativação da polpa de graviola com 25 °Brix, calculadas pela equação de Arrhenius para as diferentes velocidades de rotação. Observa-se tendência de redução nos valores da energia de ativação com o aumento da velocidade de rotação entre 90 e 200 rpm. Verifica-se que os valores da energia de ativação são inferiores ao determinado por NINDO et al. (2007) para a polpa de mirtilo com 25 °Brix, que foi de 17 kJ g⁻¹ mol⁻¹.

Tabela 4.13 – Viscosidades aparentes iniciais teóricas (η_0) e energias de ativação (E_a) da polpa de graviola com 25 °Brix, calculadas a partir da equação de Arrhenius

Velocidade de rotação (rpm)	η_0 (Pa s)	E_a (kJ g ⁻¹ mol ⁻¹)	R ²
50	102,99	11,08	0,93
60	96,24	10,91	0,94
70	96,09	10,66	0,97
80	124,29	10,06	0,98
90	127,43	9,57	0,98
100	114,50	9,63	0,98
120	119,91	9,41	0,99
140	112,61	9,28	0,99
160	112,76	9,06	0,99
180	113,65	8,81	0,99
200	152,11	7,95	0,92

Na Tabela 4.14 estão representados os valores das energias de ativação (E_a) da polpa de graviola nas três concentrações calculadas pela equação de Arrhenius para as diferentes velocidades de rotação. Observa-se redução nos valores da energia de ativação com o aumento da concentração para as velocidades de rotação de 70, 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm. Nas rotações de 50, 60 e 80 rpm, ora se observa, aumento e ora diminuição. Com o aumento da velocidade de rotação observam-se aumentos na concentração de 12°Brix, diminuição na concentração de 25°Brix e tendência de estabilidade na concentração de 17°Brix. De forma geral e tomando como medida os valores extremos da velocidade de rotação (50 rpm e 200 rpm), pode-se dizer que, quanto maior for a energia de ativação (E_a), maior também será a dependência da viscosidade aparente (η_a). Constatou-se que a energia de ativação diminuiu nos seus valores extremos na concentração de 25°Brix, observando-se aumentos nas outras duas concentrações.

Tabela 4.14 – Comparação entre as energias de ativação (E_a) das polpas de graviola com 12, 17 e 25 °Brix, calculadas a partir da equação de Arrhenius

Velocidade de rotação (rpm)	E_a (kJ g ⁻¹ mol ⁻¹)		
	Polpa de graviola com 12 °Brix	Polpa de graviola com 17 °Brix	Polpa de graviola com 25 °Brix
50	9,52	10,18	11,08
60	10,48	12,05	11,18
70	14,35	11,48	10,92
80	11,43	11,72	10,06
90	11,92	11,08	10,98
100	11,96	11,73	9,87
120	12,88	11,95	9,41
140	13,68	11,88	9,28
160	14,48	11,78	9,06
180	14,61	11,75	8,81
200	14,61	11,73	7,95

4.3- Propriedades termofísicas

Nas Tabelas 4.15 a 4.22 são apresentados os valores experimentais das propriedades termofísicas calor específico, massa específica, difusividade térmica e condutividade térmica, e os valores teóricos obtidos por equações propostas em literatura, obtidos da polpa de graviola nas concentrações 12,17 e 25 °Brix. Nas Tabelas A.8 a A.11 se encontram os valores da análise da variância dessas propriedades.

4.3.1 – Calor específico

Na Tabela A.8 tem-se a análise de variância do calor específico da polpa de graviola nas diferentes concentrações. Verifica-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, da concentração (teor de sólidos solúveis totais) sobre o calor específico.

Na Tabela 4.15 encontram-se os valores experimentais do calor específico nas concentrações de 12,17 e 25°Brix. Observa-se uma diminuição estatisticamente significativa do calor específico com o aumento da concentração. Comportamento semelhante também foi observado por LIMA et al. (2003), que encontraram valores da polpa de umbu variando de 3,67 a 3,21 kJ/kgK nas concentrações de 10, 20, 30 °Brix havendo, também, diminuição do calor específico com o aumento da concentração.

Tabela 4.15 - Valores médios do calor específico da polpa de graviola nas concentrações de 12, 17 e 25°Brix

Concentração (°Brix)	Calor específico (kJ/kgK)
12	3,84 a
17	3,16 b
25	2,73 c

DMS = 0,054, MG = 3,51 kJ/kg K, CV =0,77%. As médias seguidas por letras diferentes nas colunas diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey

Na Tabela 4.16 são apresentados os resultados de calor específico teórico, calculados por meio de equações propostas em literatura. Os menores erros verificados entre calor específico teórico e experimental ocorrem na amostra 12 °Brix e aumentam à medida em que a concentração, também aumenta. As equações de Siebel e Dickerson tiveram desempenho semelhante quando considerada a magnitude do erro. As equações de Manohat e Vieira indicaram os melhores desempenhos, semelhantes entre si.

Tabela 4.16 - Valores teóricos de calor específico calculados para as polpas de graviola, nas concentrações de 12, 17 e 25 °Brix

Equação	Calor específico (KJ/kgK)		
	12°Brix	17°Brix	25°Brix
Siebel	4,14	4,13	4,12
Erro (%)	7,8	31	50,4
Dickerson	4,16	4,15	4,14
Erro (%)	8,2	31	51,4
Vieira (1996)	3,84	3,70	3,50
Erro(%)	0,0	17,0	28,2
Manohat et al. (1991)	3,82	3,67	3,43
Erro(%)	0,5	16,1	25,6

4.3.2 – Massa específica

Na Tabela A.9 tem-se a análise de variância da massa específica da polpa de graviola para as fontes de variação concentração e temperatura. Verifica-se a ocorrência de efeito significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F, para os fatores temperatura, concentração (teor de sólidos solúveis totais) e para a interação dos mesmos sobre a massa específica da polpa de graviola.

Na Tabela 4.17 se encontram os valores experimentais médios da massa específica das amostras com concentrações de 12, 17 e 25°Brix e temperaturas variando de 10 a 50 °C. As massas específicas variaram de 1163,8 a 1025,5kg/m³, com CV de 0,20%, e aumentaram com o aumento da concentração. De modo inverso, se observam valores progressivamente decrescentes com o aumento de temperatura. Resultados idênticos foram observados por PEREIRA (2001) trabalhando com polpas de açaí, e GRATÃO (2006), trabalhando com polpa de graviola, encontrando valores de massa específica que variaram de 1006,7 a 1203,5 kg/m³.

Tabela 4.17 - Valores médios de massa específica das polpas de graviola nas concentrações de 12, 17 e 25 °Brix e temperaturas de 10 a 50 °C

Temperatura (°C)	Massa específica (kg/m ³)		
	12 °Brix	17 °Brix	25 °Brix
10	1124,1 aC	1143,1 aB	1163,8 aA
20	1077,8 bC	1094,5 bB	1113,1 bA
25	1067,8 cC	1090,8 bB	1104,1 cA
30	1064,6 cC	1077,4cB	1094,5 dA
40	1055,2 dC	1059,2 dB	1075,8 eA
50	1025,5 eC	1037,4 eB	1058,9 fA

DMS para colunas = 0,0046; DMS para linhas 0,0038; CV = 0,2037%. Médias seguidas por mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúscula nas linhas não diferem estatisticamente entre si a 5% de probabilidade pelo Teste de Tukey

Na Tabela 4.18 encontram-se os valores teóricos da massa específica das polpas calculados por meio de equações propostas em literatura. Não se observam grandes diferenças entre as massas específicas teóricas e experimentais, com os erros abaixo de 2%. Resultados semelhantes foram observados por PEREIRA (2001), trabalhando com polpa de açaí com 15 °Brix em cinco diferentes temperaturas. Observa-se que as melhores estimativas foram obtidas com a equação de CHOI & OKOS (1986), para alimentos em geral, resultando nos menores erros percentuais.

Tabela 4.18 - Valores teóricos de massa específica calculados para as polpas de graviola nas concentrações de 12, 17 e 25 °Brix

Equações	Massa específica (kg/m ³)		
	12 °Brix	17 °Brix	25 °Brix
Choi & Okos	1080,7	1091,2	1098,9
Erro (%)	1,2	0,0	0,4
Alvarado & Romero	1048,8	1098,3	1109,4
Erro(%)	1,8	0,7	0,5

4.3.3 – Difusividade térmica

Na Tabela A.10 tem-se a análise de variância da difusividade térmica da polpa de graviola para a fonte de variação concentração. Verifica-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade, pelo teste F, para concentração (teor de sólidos solúveis totais) sobre a difusividade térmica da polpa de graviola.

Na Tabela 4.19 tem-se os valores experimentais médios da difusividade térmica das polpas a 12, 17 e 25 °Brix. Observam-se diminuições dos valores com o aumento da concentração. Entre as polpas a 17 e 25 °Brix, não se verifica diferença mas se identifica a tendência de redução em valores absolutos. Comportamento idêntico foi verificado por PEREIRA et al. (2003) com polpa de açai.

Tabela 4.19 - Valores experimentais médios de difusividade térmica das polpas de graviola, nas concentrações de 12, 17 e 25°Brix

Concentração (°Brix)	Difusividade térmica (m ² /s)
12	1,6433 x 10 ⁻⁷ a
17	1,5333x 10 ⁻⁷ b
25	1,4767x 10 ⁻⁷ b

DMS = 0,0926; MG = 1,5511; CV% = 2,3834. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.20 tem-se os valores teóricos da difusividade térmica calculados para as polpas integral e concentradas. Observa-se que a equação de Riedel (1969) foi a que apresentou menor erro, variando de 1,8% a 11,2%, valores um pouco melhores quando comparados com a equação de Singh (1982). MATOS (2007) obteve, trabalhando com graviola, valores de difusividade de 1,4x10⁻⁷ m²/s e erros entre valores teóricos e experimentais variando entre 2,99 a 5,38%.

Tabela 4.20 - Valores teóricos de difusividade térmica calculados para as polpas de graviola, nas concentrações de 12, 17 e 25°Brix

Equações	Difusividade ($10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$)		
	12°Brix	17°Brix	25°Brix
Riedel (1969)	1,46	1,46	1,45
Erro (%)	11,2	4,7	1,8
Singh(1982)	1,43	1,43	1,43
Erro(%)	10,5	6,7	3,2

4.3.4 – Condutividade térmica

Na Tabela A.11 tem-se a análise de variância da condutividade térmica da polpa de graviola para a fonte de variação concentração. Verifica-se que houve efeito significativo, a 1% de probabilidade, pelo teste F, para concentração (teor de sólidos solúveis totais) sobre a condutividade térmica da polpa de graviola.

Na Tabela 4.21 se encontram os valores médios de condutividade térmica calculada com dados experimentais da polpa da graviola, nas concentrações 12,17 e 25 °Brix. Observam-se diminuições dos valores com o aumento da concentração, com as médias diferindo estatisticamente entre si. Resultado semelhante foi encontrado por MATOS (2007), trabalhando com polpa de banana nanica com 20,55 °Brix, em que os valores encontrados variaram entre 0,5179 a 0,792 W/mK.

Tabela 4.21 - Valores médios de condutividade térmica das polpas de graviola com diferentes concentrações (12, 17 e 25°Brix)

Concentração (°Brix)	Condutividade térmica (W/mK)
12	0,70 a
17	0,52 b
25	0,43 c

DMS = 0,07; MG = 0,55W/m K; CV = 5,13%. As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si, pelo Teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Na Tabela 4.22 se apresentam os valores teóricos e erros percentuais de condutividade térmica, calculada por meio de equações propostas das polpas de graviola nas concentrações de 12,17 e 25 °Brix. Observa-se que os erros das equações em relação

aos valores obtidos por meio experimental, oscilaram de 6,5 a 27,9% na equação de Sweat, e de 11,4 a 48,8% na equação de PEREIRA et al. (2003), demonstrando pouca precisão nas estimativas.

Tabela 4.22 - Valores de condutividade térmica calculados por meio de equações propostas para as polpas de graviola a 12,17 e 25 °Brix

Equações	Condutividade (W/mK)		
	12 °Brix	17 °Brix	25 °Brix
Sweat (1974)	0,55	0,55	0,55
Erro (%)	21,4	6,5	27,9
Pereira et al. (2003)	0,62	0,63	0,64
Erro (%)	11,4	21,2	48,8

5 – CONCLUSÕES

As polpas de graviola integral e concentradas foram classificadas como alimentos ácidos; a concentração das amostras alterou a cor, aumentando a luminosidade, a intensidade de vermelho e a intensidade de amarelo;

As polpas de graviola integral e concentradas apresentaram comportamento pseudoplástico e os dados de tensão de cisalhamento e taxa de deformação foram bem ajustados pelos modelos da Lei da Potência e de Casson. As viscosidades sofreram influência da temperatura com efeito de redução, sendo este efeito bem interpretado pela equação de Arrhenius;

Os valores de calor específico se situaram entre 2,5 e 4,0 kJ/kgK, reduzindo-se com a concentração; as estimativas de calor específico por meio de equações foram satisfatórias na polpa integral mas se afastaram dos resultados experimentais com a concentração das polpas;

A massa específica aumentou com a concentração, e reduziu com a temperatura mas foi bem estimada por equações, com erros menores nas amostras concentradas;

A difusividade térmica se reduziu com a concentração e os resultados foram bem estimados por equações, com melhoria progressiva nas amostras mais concentradas;

A condutividade térmica diminuiu com o aumento do teor de sólidos solúveis totais e sua estimativa por equações propostas em literatura, afastou-se dos resultados obtidos a partir dos dados experimentais.

6 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALDRIGUE, M. L.; MADRUGA, M. S.; FIOREZE, R.; LIMA, A. W. O.; SOUSA, C. P. **Aspecto da ciência e tecnologia de alimentos**. Ed. UFPB, v.1, João Pessoa, 2002. 198p.

ALVARADO, J. D. Calor específico. In: ALVARADO, J. D.; AGUILERA, J. M. **Métodos para medir propriedades físicas em indústrias de alimentos**. Zaragoza: Ed Acribia, 2001. p. 189-212.

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

ALVES, M. M. M. A reologia. In: CASTRO, A. G. **A química e a reologia no processamento dos alimentos**. Lisboa: Instituto Piaget, 2003. cap. 2, p. 37-61.

AZEREDO, H. M. C. **Fundamentos de estabilidade de alimentos**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2004. 195 p.

BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. Fatores que condicionam a estabilidade de alimentos. In: BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. v. 3, cap. 2, p. 13-25.

BEZERRA, J. R. M.; RIGO, M.; JUNIOR, B. D.; KATIELLE, C. V. **Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de morango (*Fragaria ananassa*)**. **Ambiência**, v. 5, n. 1, p. 37-47, 2009.

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

BILLMEYER, F. W.; SALTZMANN, M. **Principles of color technology**. New York: Jonh Wileu & Son., 1981. 474 p.

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

BOTREL, N. Manga: variedades, qualidade e tecnologia pós-colheita. **Informe Agropecuário**, v.17, n. 179, p. 55-60, 1994.

BUENO, S. M.; GRACIANO, R. A. S.; FERNANDES, E. C. B.; GARCIA-CRUZ, C. H. Avaliação da qualidade de Polpas de Frutas Congeladas. **Revista Instituto Adolfo Lutz**, v. 62, n. 2, p. 121-126, 2002.

CARBONERA, L.; CARCIOFI, B. M.; HUBER, E.; LAURINDO, J. B. Determinação experimental da difusividade térmica de uma massa de tomate comercial. **Brasilian Journal of the Technology**, v. 6, n. 2, p. 285-290, 2003.

CARVALHO, J. M.; MIRANDA, D. L. **As exportações brasileiras de frutas: um panorama atual**. Brasília: Universidade de Brasília, 2009. p. 1-20 (Apresentação Oral-Comércio Internacional)

CECCHI, H. M. **Fundamentos teóricos e práticos em análise de alimentos**. 2. ed. Campinas: UNICAMP, 2003. 107 p.

CHAVES, M. C. V.; GOUVEIA, J. P. G.; ALMEIDA, F. A. C.; LEITE, C. A. L.; SILVA, F. L. H. Caracterização físico-química do suco da acerola. **Revista Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 2, p. 1-10, 2004.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutas e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2 ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: glossário**. Lavras: UFLA, 2006. 256 p.

CHIN, N. L.; YUSOF, Y. A.; TALIBA, R. A. Modelling of rheological behavior of pummelo juice concentrates using master-curve. **Journal of Food Engineering**, v. 93, n. 2, p. 134–140, 2009.

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**. Elsevier Applied Science Publishers, 1986. p. 93-101.

COSTA, W. S.; FILHO, J. S.; MATA, M. E. R. C; QUEIROZ, A. J. M. Influência da Concentração de Sólidos solúveis totais no sinal fotoacústico de polpa de manga. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 6, n. 2, p. 141-147, 2004.

DAK, M.; VERMA, R. C.; JAAFFREY, S. N. A. Effect of temperature and concentration on rheological properties of “Kesar” mango juice. **Journal of Food Engineering**, v. 80, n. 4, p. 1011–1015, 2007.

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

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

EPSTEIN, L. Graviola. **Revista Bahia Agrícola**, v 3, n. 3, p. 17-20, 1999.

FASOLIN, L. H. **Extração e estudo do polissacarídeo solúvel de soja e sua avaliação na estabilidade e reologia de suco de graviola adicionado de isolado protéico de soja**. 2006. 144 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

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

- FERRY, J. D. **Viscoelastic properties of polymers**. 3. ed. New York: Editora JohnWiley & Sons, 1980. 641 p.
- 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.; LANDRAF, M. **Microbiologia dos alimentos**. São Paulo Atheneu, 1996. 182 p.
- FREIRE, E. S. **Thermal properties of dry cocoa beans**. 1981. 122 f. M. Sc. Thesis - Cranfield Institute of Technolog, National College of Agricultural Engineering, England.
- FONTAN, R. C. I.; SANTOS, L. S.; BONOMO, R. C. F.; LEMOS, A. R.; RIBEIRO, R. P.; VELOSO, C. M. Thermophysical properties of coconut water affected by temperature. **Journal of Food Process Engineering**, v. 32, n. 3, p. 382–397, 2009.
- GIOIELLI, L. A.; PITOMBO, R. N. M. Conservação de alimentos pelo controle da umidade. In: BARUFFALDI, R.; OLIVEIRA, M. N. **Fundamentos de tecnologia de alimentos**. São Paulo: Atheneu, 1998. v. 3, cap. 6, p. 123-152.
- GOMES, J. C.; OLIVEIRA, G. F. **Análises físico-químicas de alimentos**. Viçosa: UFV, 2011. 303p.
- 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.
- GOUVEIA, D. S.; MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M.; UGULINO, S. M P. Avaliação físico-química e testes de aceitação sensorial do suco de pinha e do blend pinha-leite. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 8, n. 2, p. 127-133, 2006.
- GRATÃO, A. C. A.; BERTO, M. I.; SILVEIRA JR., V. S. Reologia do açúcar líquido invertido: influência da temperatura na viscosidade. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 4, p. 652-656, 2004.

GRATÃO, A. C. A. **Termofluidodinâmica de sucos de frutas pseudoplásticos em dutos cilíndricos e ânnulos concêntricos**. 2006. 256 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

GRANGEIRO, A. A. **Reologia da polpa de figo da Índia**. 2004. 95 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

GRANGEIRO, A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; MATA, M. E. R. M. C. Viscosidades de polpas concentradas de figo-da-Índia. **Revista Brasileira Agrociência**, v. 13, n. 2, p. 219-224, 2007.

GRAVIOLA. Disponível em: < <http://web.floresflorisa.com.br> > Acesso em: 28 ago. 2011.

GRIFFITHS, J. C. Coloring foods e beverages. **Food Technology**, v. 59, n. 5, p. 38-44, 2005.

GRIZOTTO, R. K.; AGUIRRE, J. M.; MENEZES, H. C. Frutas estruturadas de umidade intermediária obtidas de polpas concentradas de abacaxi, manga e mamão. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 4, p. 691-697, 2005.

HAMINIUK, C. W. I.; SIERAKOWSKI, M. R.; IZIDORO, D. R.; MASSON, M. L. Rheological characterization of blackberry pulp. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, n. 4, p. 291-296, 2006.

HAMINIUK, C. W. I. **Comportamento reológico e fracionamento péctico das polpas integrais de araçá (*Psidium cattleianum sabine*) e amora-preta (*Rubus spp*)**. 2005. 85 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Alimentos) Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

HAMINIUK, C. W. I. **Estudo do comportamento reológico e colorimétrico de misturas ternárias e sistemas pécticos de polpas de morango, amora-preta e framboesa**. 2007. 124f. Tese (Doutorado em Tecnologia de alimentos), Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

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

HIMMELBLAU, D. M. **Engenharia química: princípios e cálculos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall do Brasil, 1998. 592 p.

JARAMILLO-FLORES, M. E.; HERNANDEZ-SANCHEZ, H. Thermal diffusivity of soursop (*Annona muricata* L.) pulp. **Journal of Food Engineering**, v. 46, n. 2, p. 139-143, 2000.

JAYARAMAN, K. S.; DAS GUPTA, D. K. **Drying of fruits and vegetables**. In: MUJUMDAR, A.S. **Handbook of industrial drying**. New York: Marcel Dekker, 1995. 1v. Cap. 21, p. 643- 690.

JESSUP, L. W. Australian Annonaceae in an Asian-Pacific context. **Proceedings of the Ecological Society of Australia**, v. 15, p. 249-257, 1988.

LACERDA, M. A. D.; LACERDA, R. D.; ASSIS, P. C. O. A participação da fruticultura no agronegócio brasileiro. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2004.

LEE, S. K.; KADER, A. A. Preharvest and postharvest factors influencing vitamin C content of horticultural crops. **Postharvest Biology and Technology**, v. 20, n. 3, p. 207-220, 2000.

LIMA, M. A. C. **Alterações bioquímicas e fisiológicas durante a maturação e o armazenamento de graviola sob refrigeração associada a 1-metilciclopropeno e cera**. 2002. 208 f. Tese (Doutorado). Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

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

LOPES, J. G. V.; OLIVEIRA, F. M. M.; ALMEIDA, J. I. L. **A gravioleira**. Fortaleza: BNB, 1994.71 p.

MACHADO, J. C. **Reologia e escoamento de fluidos: ênfase na indústria do petróleo**. Rio de Janeiro: Interciência/Petrobrás, 2002. 257 p.

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

MADRUGA, M. S.; ALDRIGUE, M. L. Análises químicas, físico-químicas e físicas de alimentos. In: ALDRIGUE, M. L.; MADRUGA, M. S.; FIOREZE, R.; SOARES, J. **Aspectos da ciência e tecnologia de alimentos**. João Pessoa: Ed. Universitária, 2002. cap. 1, p. 11-57

MATOS, J. S. **Banco de dados de propriedades termofísicas de produtos hortícolas**. 2007. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MARCELLINI, P. S.; CORDEIRO, C. E.; FARAONI, A. S.; BATISTA, R. A.; RAMOS, A. L. D.; LIMA, A. S. Comparação físico-química e sensorial da atemóia com a pinha e a graviola produzidas e comercializadas no estado de Sergipe. **Alimentos e Nutrição**, v. 14, n. 2, p. 187-189, 2003.

MANOHAR, B.; RAMAKRISHNA, P.; UDAYASANKAR, K. Some physical properties of tamarind juice concentrates. **Journal of Food Engineering**, v. 13, n. 4, p. 241-258, 1991.

MANOHAR, B.; RAMAKRISHNA, P.; UDAYASANKAR, K. Some physical properties of tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice concentrates content and temperature. **Journal of Food Engineering**, v. 35, n. 1, p. 57- 63, 1998.

MARTENS, T. **Mathematical model of heat processing in flat containers**. Ph. D. thesis. Katholieke University, Leuven, Belgium, 1980.

MENDES, P. A. M. **Avaliação dos parâmetros físico-químicos determinados nos certificados oficiais de análise das polpas de frutas com padrões de identidade e qualidade.** 2008. 42 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias) Universidade de Brasília, Brasília.

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

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

MUNIZ, M. B.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; DUARTE, M. E. M. Caracterização termofísica de polpas de bacuri. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 26, n. 2, p. 360-368, 2006.

MUNIZ, M. B. **Características químicas, reológicas e termofísicas de polpas de bacuri.** 2004. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola), Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.

NAVARRO, R. F. **Fundamentos de reologia de polímeros.** Caxias do Sul: EDUCS, 1997. 265 p.

NEVES FILHO, L. C. **Resfriamento, congelamento e estocagem de alimentos.** São Paulo: IBF/ABRAVA/SINDRATAR, 1991. 186 p.

NINDO, C. I.; TANG, J.; POWERS, J. R.; TAKHAR, P. S. Rheological properties of blueberry puree for processing applications. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, n. 2, p. 292-299, 2007.

OLIVEIRA, F. M. N.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M. **Análise comparativa de polpas de pitanga integral formulada em pó.** **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 8, n. 1, p. 25-33, 2006.

ORDÓNEZ, J. A. Conceito e objetivos da tecnologia de alimentos. In: ORDÓNEZ, J. A. **Tecnologia de alimentos**. Porto Alegre: Artmed, 2005.p. 13-19.

PANDOLFELLI, V. C.; PILEGGI, R. G.; STUDART, A. R.; OLIVEIRA, I. R. **Dispersão e empacotamento de partículas: princípios e aplicações em processamento cerâmico**. São Paulo: Editora Fazendo Arte, 2000. 195 p.

PARK, K. J.; ANTONIO, G.C. **Análise de materiais biológicos** Campinas: UNICAMP, 2006. 21 p.

PARK, K. J.; MURR, F. E. X.; SALVADEGO, M. **Medição da condutividade térmica de milho triturado pelo método da sonda**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 17, n. 3, p. 242-247, 1997.

PEREIRA, E. A. **Propriedades termofísicas da polpa do açaí**. 2001. 84 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

PEREIRA, E. A.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F. **Propriedades termofísicas de polpa de açaí (*Euterpe oleracea* Mart.)**. *Revista Brasileira de Armazenamento*, v. 28, n. 1, p. 17-24, 2003.

PIETROBON, C. L. R.; PEREIRA, N. C. E.; FREIRE, J. T. **Determinação da condutividade térmica: I – Análise experimental**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 15., 1987, Uberlândia. **Anais...** Uberlândia: Universidade Federal de Uberlândia, v. 1, p. 150-161, 1987.

PINTO, A. C. Q. **Adubação para alta produtividade e qualidade: fruteiras tropicais do Brasil**. Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2009. 238 p.

PONTES, L. V. **Avaliação sensorial e instrumental da cor de misturas em pó para refresco, bebida isotônica e gelatina utilizando corantes naturais**. 2004. 86 f. Dissertação (Mestrado em Nutrição Humana) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

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

QUEIROZ, F. **Estudo da cinética de extração do óleo essencial de capim-limão com dióxido de carbono líquido**. 1993. 86 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

RAPUSAS, R. S.; DRISCOLL, R. H. **Thermophysical properties of and dried white onion slices**. *Journal of Food Engineering*, v. 30, n. 24, p. 149-164, 1995.

RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. **Engineering properties of foods**. 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1994. 531 p.

RIEDEL, L. Measurements of thermal diffusivity of foodstuffs rich in water. *Kaltetechnik-Klimatisierung*, v. 21, n. 11, p. 315-316, 1969.

SACRAMENTO, C. K.; FARIA, J. C.; CRUZ, F. L.; BARRETTO, W. S.; GASPAR, J. W.; LEITE, J. B. V. **Caracterização física e química de frutos de três tipos de gravioleira (*Annona muricata* L.)**. *Revista Brasileira de Fruticultura*, v. 25, n. 2, p. 329-331, 2003.

SÃO-JOSÉ, A. R.; ANGEL, D. N.; BONFIM, M. P.; REBOUÇAS, T. N. H. **Cultivo da graviola**. In: SEMANA INTERNACIONAL DE FRUTICULTURA E AGROINDÚSTRIA, 7., 2000, Fortaleza. **Cursos**. Fortaleza: Sindifruta, Instituto Frutal, 2000. 35 p. 1 CD-ROM.

SATO, A. C. K.; CUNHA, R. L. **Influência da temperatura no comportamento reológico da polpa de jaboticaba**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 27, n. 4, p. 890-896, 2007.

SENGÜL, M.; ERTUGAY, M. F.; SENGÜL, M. **Rheological, physical and chemical characteristics of mulberry pekmez**. *Food Control*, v. 16, n. 1, p. 73-76, 2005.

- SIEBEL, J. E. Specific heat of various products. **ICE Refrig.**, v. 2, p. 256-257, 1982.
- SILVA, M.; MATA, M. E. R. M. C.; DUARTE, M. E. M.; PEDROZA, J. P.; NASCIMENTO, J. P. T. **Resfriamento e propriedades termofísicas do cajá (*Spondias lutea* L.).** *Revista de Produtos Agroindustriais*, v. 4, n. 2, p. 175-185, 2002.
- SILVA, R. R.; BOCCHI, N.; FILHO, R. C. R. **Introdução à química experimental.** São Paulo: McGraw-Hill, 1990. 296 p.
- SCHRAMM, G. **Reologia e reometria: fundamentos teóricos e práticos.** São Paulo: Artliber, 2006. 240 p n1
- STEFFE, J. F. **Rheological Methods in Food Process Engineering**, 2. ed. East Lansing: Freeman Press, 1996. 418 p.
- SWEAT, V. E. **Thermal properties of food.** In: RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. **Engineering properties of foods.** 2. ed. New York: Marcel Dekker, 1994. cap. 3, p. 99-138.
- TELIS, J. R. **Hidrodinâmica e transferência de calor do escoamento laminar de fluidos não-newtonianos em tubos.** 1992. 138 f. Tese (Doutorado Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- TONON, R. V.; ALEXANDRE, D.; HUBINGER, M. D.; CUNHA, R. L. **Steady and dynamic shear rheological properties of açai pulp (*Euterpe oleraceae* Mart.).** *Journal of Food Engineering*, v. 92, n. 4, p. 425–431, 2009.
- USDA - National Nutrient Database for Standard. **Release 20** (2007). Disponível em: <http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/cgi-bin/list_nut_edit.pl>. Acesso em: 08 agosto 2011.
- VANDRESEN, S.; QUADRI, M. N. M.; SOUZA, J. A. R.; HORTZ, D. **Temperature effect on the rheological behavior of carrot juices.** *Journal of Food Engineering*, v. 92, n. 2, p. 269–274, 2009.

VENDRÚSCOLO, A. T. **Estudo dos comportamento reológico e da estabilidade física de polpa de carambola (*Averrhoa carambola* L.)**. 2005. 90 f. Dissertação (Mestrado Engenharia de Alimentos) Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

VIEIRA, R. C. C. **Atlas de mecânica de fluidos**. São Paulo: Edgar Blucher, 1971. 281 p.

VIANA, A. D. **Propriedades termofísica e comportamento reológico da polpa do fruto do cupuaçu em diferentes concentrações (*Theobroma grandiflorum*) em diferentes concentrações e temperaturas**. 2010. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga.

VIDAL, J. R. M. B.; HAMINIUK, C. W. I.; SIERAKOWSKI, M. R.; MASSON, M. L. **Propriedades reológicas da polpa de manga (*Mangifera indica* L cv. Keitt) centrifugada**. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 30, n. 5, p. 955-960 2006.

VIDAL, J. R. M. B. **Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* L- Keitt)**. 2000. 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

KIRYU, H. S. **Investigação reológica e análise mecânica de compósitos não Newtonianos**. 2006. 204f. Dissertação (Mestrado em Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2006.

KAVATI, R. **O cultivo da atemóia**. In: **Fruticultura Tropical**. Jaboticabal: FUNEP, p.39-70. 1992

ZINATO, C. E.; DENÍCULI, W.; SOUZA, J. A. R.; BATISTA, R. O.; MATOS, A. T.; OLIVEIRA, R. A.; FERREIRA, D. C.; SOARES, E. C. **Caracterização reológica de água residuária de galinhas poedeiras**. *Engenharia na Agricultura*, v.15, n.2, p. 179-187, 2007.

APÊNDICE A

Tabela A.1 - Análise de variância das cinzas da polpa da graviola com diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	2,67915	1,33958	366,1713 **
Resíduo	6	0,02195	0,00366	
Total	8	2,70110		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.2 - Análise da variância de sólidos totais da polpa da graviola com diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	36,57491	18,28746	342,2349 **
Resíduo	9	0,48092	0,05344	
Total	11	37,05582		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.3- Análise da variância da umidade da graviola nas diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	39,04661	19,52331	907,5681 **
Resíduo	9	0,19361	0,02151	
Total	11	39,24022		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.4 - Análise da variância da atividade de água da graviola nas diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	0,00008	0,00004	2013,7000 **
Resíduo	6	0,00011	0,00002	
Total	8	0,00019		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.5 - Análise de variância de análise da luminosidade da graviola nas diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	104,45460	52,22730	472,6792 **
Resíduo	18	1,98886	0,11049	
Total	20	106,44346		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.6 - Análise da variância de análise da intensidade de vermelho (+a*) da graviola nas diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	39,04661	19,52331	907,5681 **
Resíduo	9	0,19361	0,02151	
Total	11	39,24022		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.7 - Análise da variância de análise da intensidade de amarelo da graviola nas diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	3,93892	1,96946	10,21049 **
Resíduo	18	3,47197	0,19289	
Total	20	7,41090		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.8 - Análise da variância do calor específico da graviola com diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	0,14183	0,07092	96,0850**
Resíduo	9	0,00664	0,00074	
Total	11	0,14847		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.9 - Análise de variância da massa específica da graviola nas diferentes concentrações e temperaturas

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F1)	5	0,07234	0,01447	2962,8590 **
Concentração (F2)	2	0,01275	0,00637	1305,2247 **
Interação (F1 x F2)	10	0,00065	0,00007	13,3838 **
Tratamentos	17	0,08575	0,00504	1032,8578 **
Resíduo	54	0,00026	0,00000	
Total	71	0,08601		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.10 - Análise de variância da difusividade térmica da polpa da graviola nas diferentes concentrações

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	0,04309	0,02154	15,7642**
Resíduo	6	0,00820	0,00137	
Total	8	0,05129		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

Tabela A.11 - Análise da variância da condutividade térmica da graviola nas concentrações de 12, 17 e 25 °Brix

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Tratamentos	2	0,11302	0,05651	70,1242 **
Resíduo	6	0,00484	0,00081	
Total	8	11,78600		

** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < 0,01$); G.L. - Grau de liberdade; S.Q. - Soma dos quadrados; Q.M. - Quadrado médio dos desvios; F - Variável do teste F

APÊNDICE B

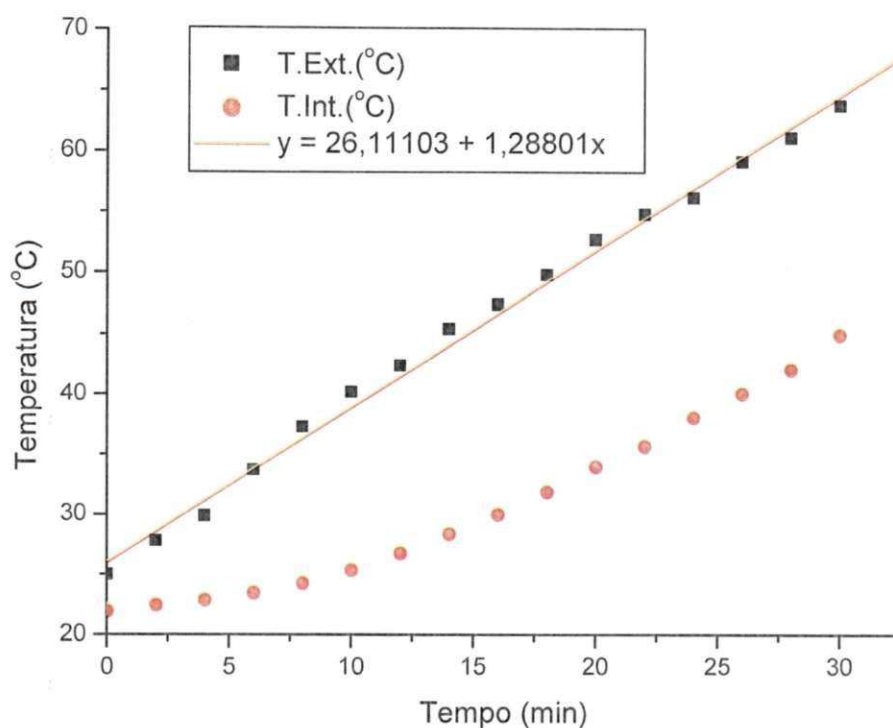


Figura B.1 – Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro de Dickerson da polpa da graviola R₁ com 12 °Brix

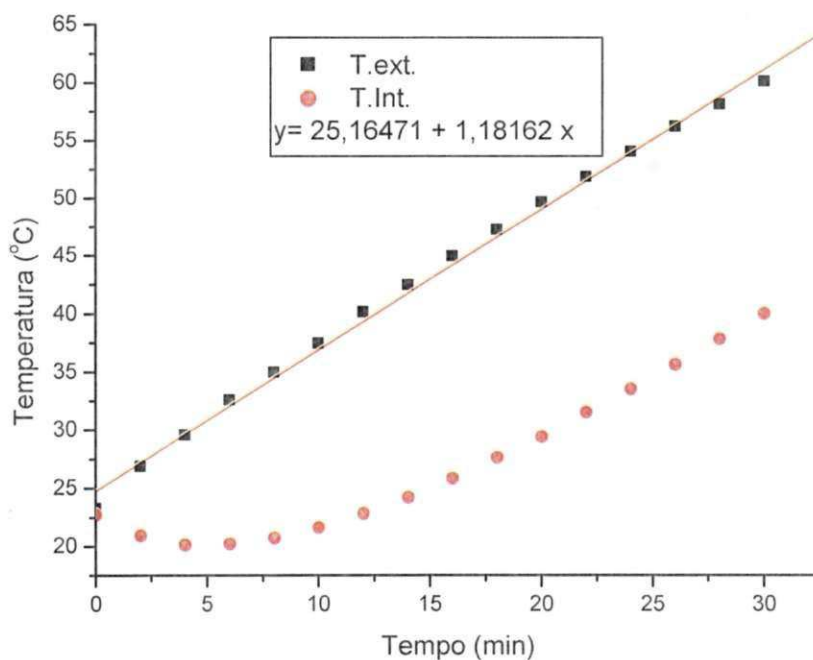


Figura B.2 - Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro de Dickerson da polpa da graviola R₁ com 17 °Brix

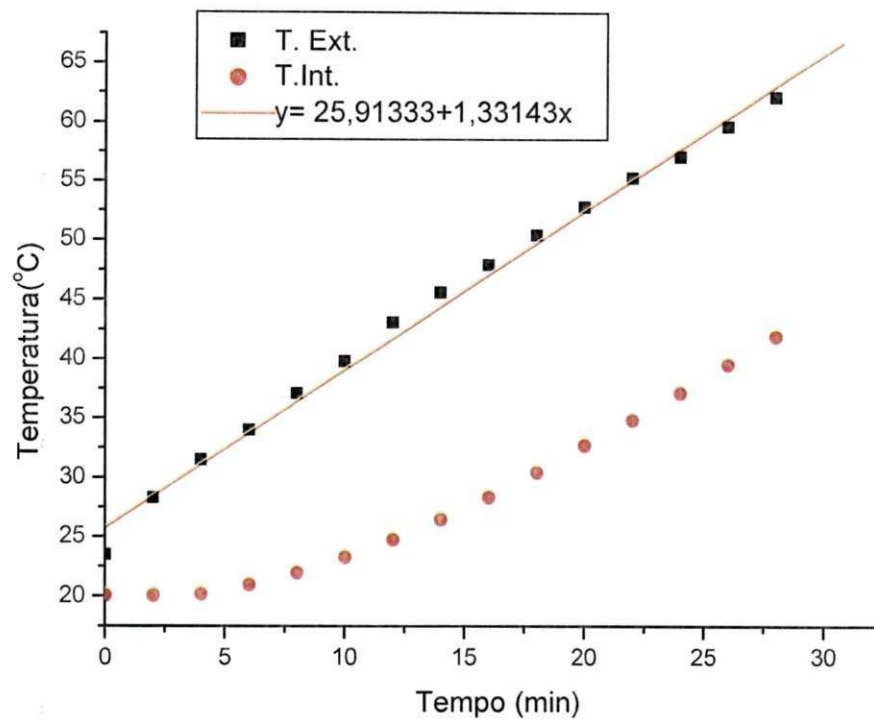


Figura B.3 - Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro de Dickerson da polpa da graviola R₁ com 25 °Brix

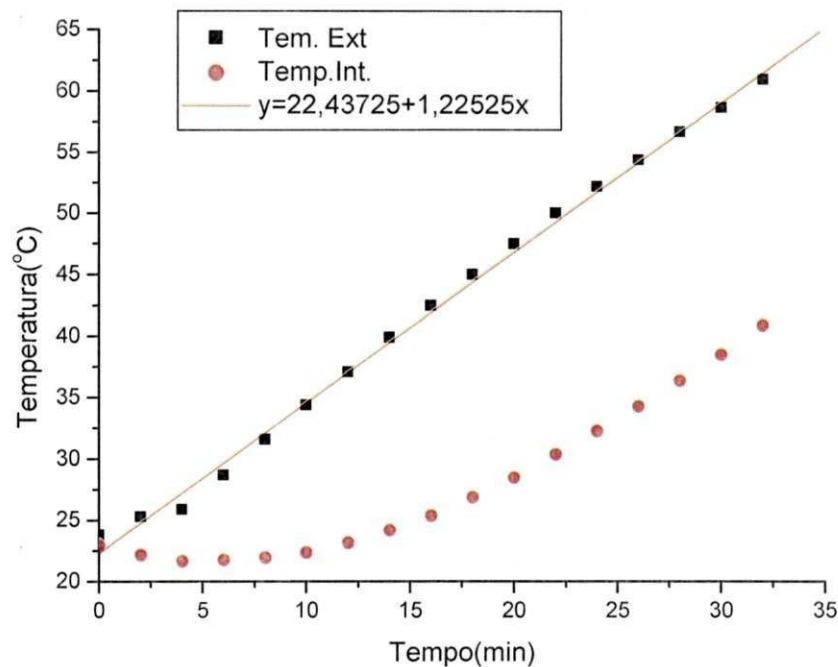


Figura B.4 - Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro de Dickerson da polpa da graviola R₂ com 12 °Brix

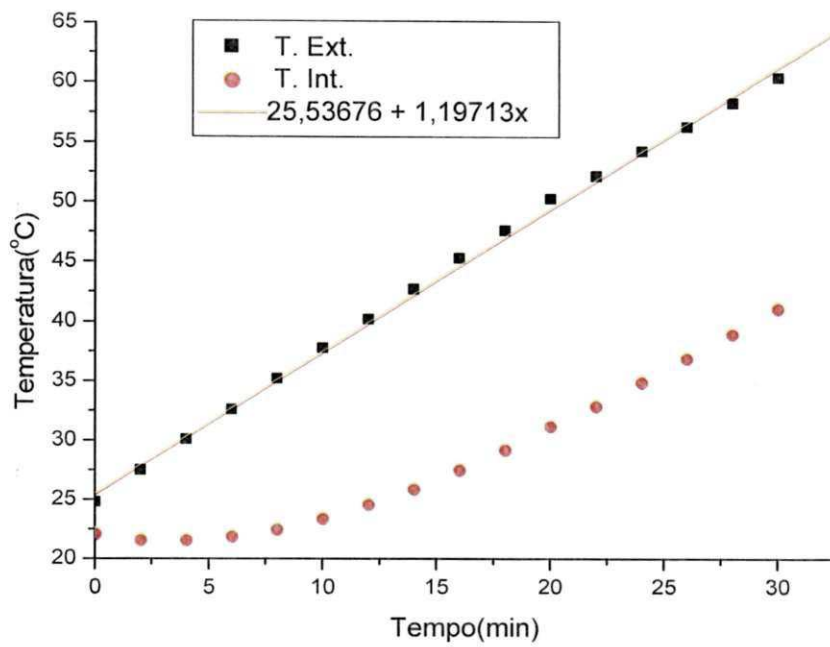


Figura B.5 - Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro de Dickerson da polpa da graviola R₂ com 17 °Brix

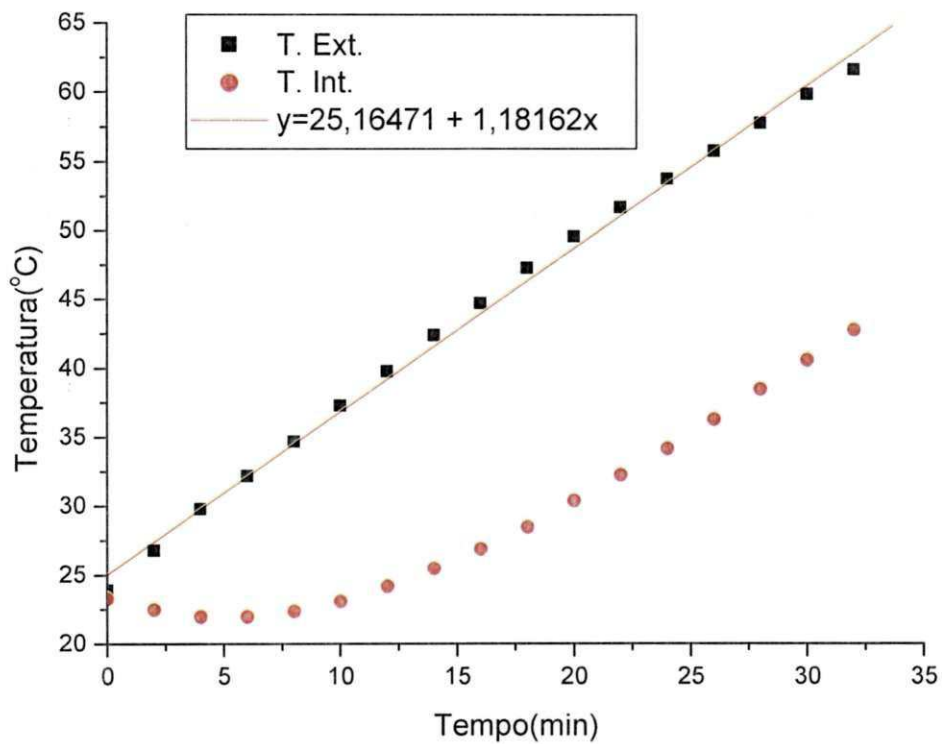


Figura B.6 - Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro de Dickerson da polpa da graviola R₂ com 25 °Brix

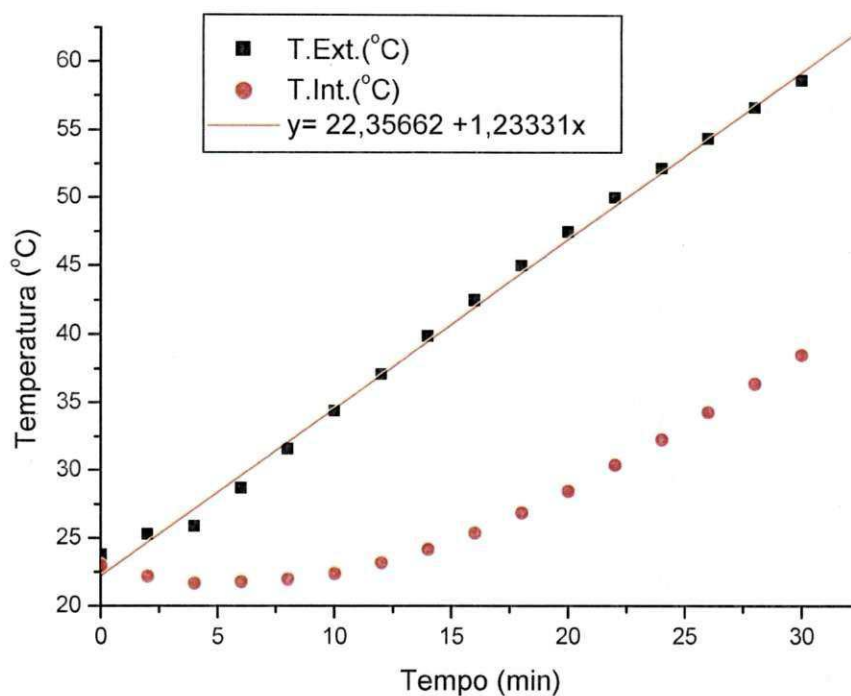


Figura B.7 – Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro de Dickerson da polpa da graviola R₃ com 12 °Brix

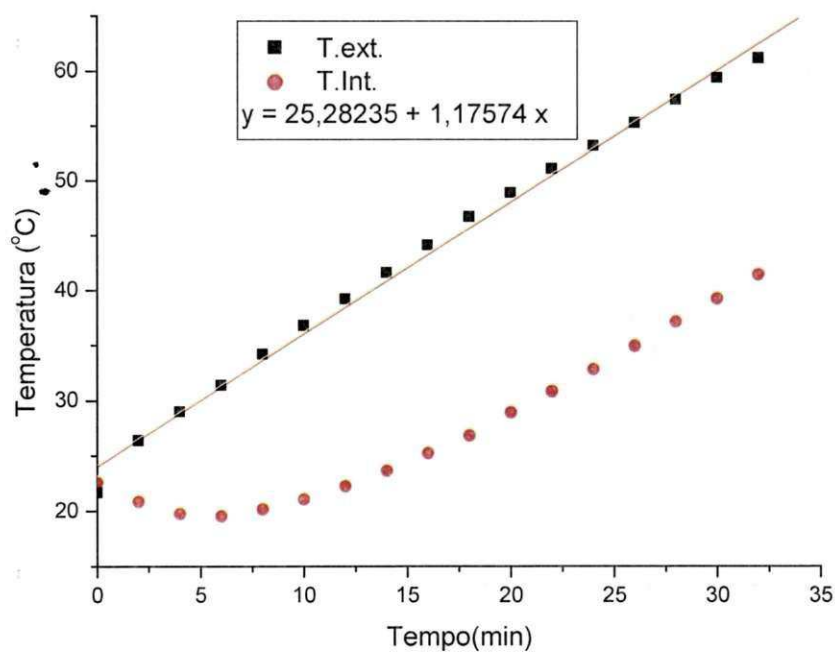


Figura B.8 – Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro de Dickerson da polpa da graviola R₃ com 17 °Brix

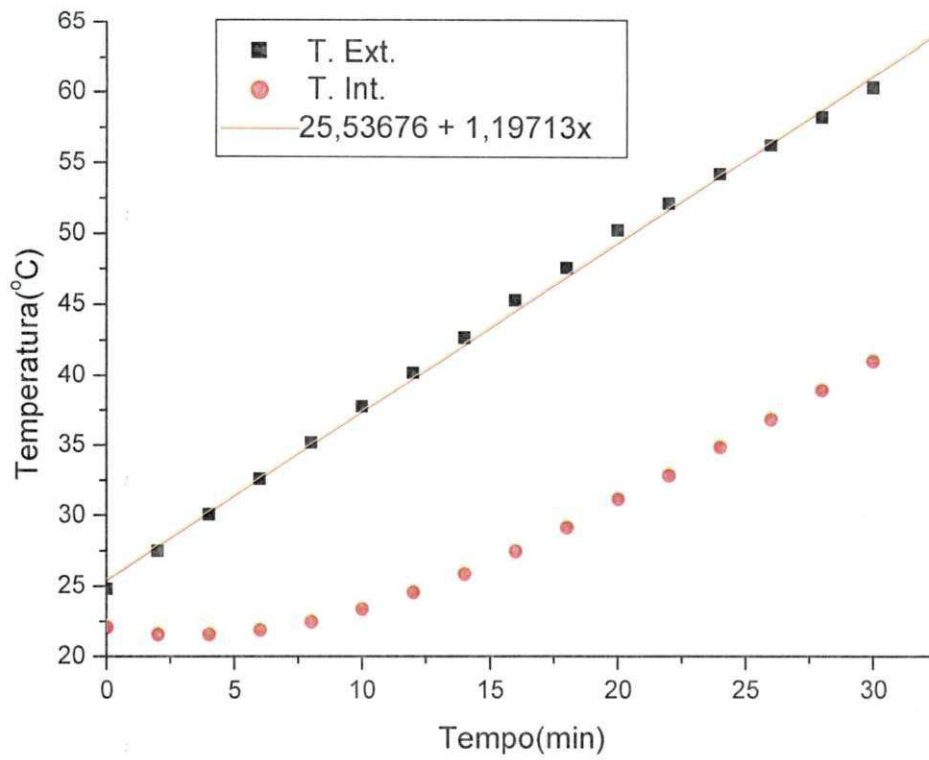


Figura B.9 – Gráfico da temperatura em função do tempo no centro e superfície do cilindro de Dickerson da polpa da graviola R₃ com 25 °Brix