

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS - UNICAMP
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

REOLOGIA DE SUCOS DE FRUTAS TROPICAIS:
MANGA, MARACUJÁ, MAMÃO E GOIABA

Roselene Aparecida Coser Adorno
Química

Orientadora: Prof.Dra Florência Cecília Menegalli
Co-orientadora: Prof.Dra Maria Isabel Rodrigues

PARECER

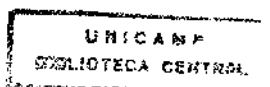
Este exemplar corresponde à redação final da tese defendida por ROSELENE APARECIDA COSER ADORNO e aprovada pela Comissão Julgadora em 29.04.1997.

Campinas, 29 de abril de 1997

Profa.Dra FLORENCIA MENEGALLI
Presidente da Banca

Tese apresentada à Faculdade de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual de Campinas para obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Campinas- SP
1997



UNIDADE	10 C
N.º CHAMADA	1/UNICAMP
V.	15/7/97
TCM20 EC	30672
PROC.	281/97
C	☐
D	☒
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	21/05/97
N.º CPD	

CM-00098803-5

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA F.E.A. - UNICAMP

Ad47r

Adorno, Roselene Ap. Coser

Reologia de sucos de frutas tropicais: manga, maracujá, mamão e goiaba / Roselene Ap. Coser Adorno. -- Campinas, SP: [s.n], 1997.

Orientador: Florência Cecília Menegalli

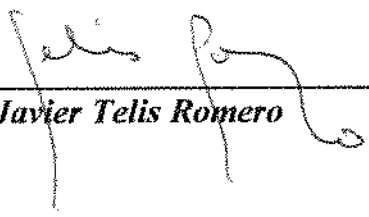
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas.
Faculdade de Engenharia de Alimentos

1. Reologia. 2. Suco de manga. 3. Suco de maracujá.
4. Suco de mamão. 5. Suco de goiaba. I. Menegalli, Florência
Cecília. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de
Engenharia de Alimentos. III. Título.

BANCA EXAMINADORA

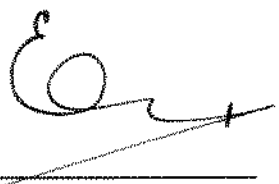


Prof.^a. Dr.^a. Florência Cecília Menegalli
(Orientadora)



Prof. Dr. Javier Telis Romero
(Membro)

Dr. Alfredo A. Vitali
(Membro)



Prof. Dr. Enrique Ortega
(Membro)

Campinas, ____ de _____ de 1997

Aos meus pais, pelo amor e carinho.

Ao Ricardo pelo seu amor e incentivo.

ÍNDICE

AGRADECIMENTOS.....	i
RESUMO.....	ii
SUMMARY	iii
NOMENCLATURA	iv
CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 2 - REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1.1 Classificação do comportamento reológico	3
2.1.2 Aplicação dos Modelos Reológicos para Sucos de Frutas	7
2.1.3 Aplicação dos Modelos Reológicos para Purês de Frutas.....	13
2.1.4 Efeitos da Temperatura e da Concentração na Viscosidade.....	15
2.1.5 Viscosímetro de Cilindros Concêntricos	22
CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	23
3.1 Análises Físicos-Químicas.....	23
3.1.1 Determinação de pH	23
3.1.2 Acidez Total Titulável	23
3.1.3 Determinação de Sólidos Totais.....	24
3.1.4 Determinação de Cinzas	24
3.1.5 Determinação de Açúcares Redutores por Somogyi-Nelson.....	24
3.1.6 Determinação de Carboidratos Totais	25
3.1.7 Determinação de Pectinas	26
3.1.8 Determinação da Densidade.....	28
3.2 Metodologia para Obtenção dos Dados Reológicos	29
CAPÍTULO 4 - MANGA.....	31
4.1 Introdução	31
4.2 Resultados	33
4.2.1 Características Físicas e Químicas do Suco de Manga	33

4.2.2	Caracterização Reológica.....	36
4.2.2.1	Análise dos Reogramas.....	37
4.2.2.2	Obtenção dos Parâmetros Reológicos	39
4.2.2.3	Correlação dos Parâmetros Reológicos em função da Temperatura e Concentração	50
CAPÍTULO 5 - MARACUJÁ		56
5.1	Introdução	56
5.2	Resultados	58
5.2.1	Características Físicas e Químicas	58
5.2.2	Caracterização Reológica.....	61
5.2.2.1	Análise dos Reogramas.....	61
5.2.2.2	Obtenção dos Parâmetros Reológicos	64
5.2.2.3	Correlação dos Parâmetros Reológicos em função da Temperatura e Concentração	73
CAPÍTULO 6 - MAMÃO		78
6.1	Introdução	78
6.2	Resultados	79
6.2.1	Características Físicas e Químicas do suco de mamão	79
6.2.2	Caracterização Reológica.....	81
6.2.2.1	Análise dos Reogramas.....	83
6.2.2.2	Obtenção dos Parâmetros Reológicos	85
6.2.2.3	Correlação dos Parâmetros Reológicos em função da Temperatura e Concentração	92
CAPÍTULO 7 - GOIABA		97
7.1	Introdução	97
7.2	Resultados	98
7.2.1	Características Físicas e Químicas do suco de goiaba	98
7.2.2	Caracterização Reológica.....	101

7.2.2.1 Análise dos Reogramas.....	102
7.2.2.2 Obtenção dos Parâmetros Reológicos	105
7.2.2.3 Correlação dos Parâmetros Reológicos em função da Temperatura e Concentração	115
CAPÍTULO 8 - CONCLUSÕES	122
BIBLIOGRAFIA.....	123
APÊNDICE A Fluxograma básico do processamento de sucos.....	129
APÊNDICE B Resultados complementares do suco de manga.....	131
APÊNDICE C Resultados complementares do suco de maracujá	138
APÊNDICE D Resultados complementares do suco de mamão	151
APÊNDICE E Resultados complementares do suco de goiaba	160
APÊNDICE F Equações Fundamentais para Viscosímetros de Cilindros Concêntricos.....	169
APÊNDICE G Reogramas para os sucos de Manga, Maracujá, Mamão e Goiaba.....	174

AGRADECIMENTOS

À Profa.Dr^a FLORÊNCIA CECÍLIA MENEGALLI, pela orientação, pela dedicação, paciência e pela confiança em minha pessoa para a realização deste trabalho.

À Profa.Dr^a MARIA ISABEL RODRIGUES, pela co-orientação, pela atenção e pela sua preciosa ajuda durante a maior parte do trabalho, sempre mostrando-se disponível, nos momentos de dificuldade.

Ao Eng. MARCELO REGIS PEREIRA da empresa UTIARA S/A AGROINDÚSTRIA E COMÉRCIO pelo fornecimento das amostras dos sucos concentrados, essenciais para a elaboração da tese.

Ao professor CELSO ARRUDA da Faculdade de Engenharia de Petróleo da UNICAMP, pela colaboração no uso do equipamento para a determinação das propriedades reológicas dos sucos.

Ao funcionário da Engenharia de Petróleo, LUIZ POMPEU, pela ajuda e acompanhamento durante a obtenção dos resultados experimentais.

Ao funcionário da FEA- UNICAMP, MÁRCIO GERALDO de OLIVEIRA pela ajuda durante a realização da parte experimental.

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento- CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado.

A todos que de forma direta ou indiretamente ajudaram na realização desta tese.

RESUMO

O trabalho apresenta a caracterização reológica de quatro sucos de frutas tropicais: manga, maracujá, mamão e goiaba, realizada através de um reômetro rotacional, Haake, modelo RV20.

Os efeitos da concentração e temperatura foram analisados nas faixas de 10 a 25°Brix e 10 a 50°C. Para sucos de maracujá, mamão e goiaba também foram realizados ensaios a 30 e 40°Brix na faixa de temperatura entre 10 e 30°C. No caso do suco de maracujá foi possível determinações à temperatura de 50°C para estas concentrações maiores.

A composição química e física dos diversos sucos também foi verificada, determinando-se o conteúdo de açúcares totais e redutores, grau Brix, sólidos totais, acidez e conteúdo de pectina. Para completar a caracterização dos sucos, a densidade foi medida em função da concentração.

Em todos os casos, os sucos apresentaram um comportamento não-Newtoniano, sendo que o modelo de Herschel-Bulkley (H-B), foi o que melhor ajustou os dados experimentais. Uma leve dependência com o tempo foi verificada.

Os parâmetros reológicos do modelo obtidos pelo ajuste através de regressão não-linear, foram correlacionados em função da temperatura e concentração. A equação que apresentou estatisticamente a melhor porcentagem de variação explicada (R^2) foi a seguinte:

$$\gamma = a_1 \exp(a_2 \cdot T) \cdot C^{a_3}$$

onde :

γ = τ_0 , K ou n (parâmetros do modelo de H-B)

T = temperatura (K)

C = concentração (°Brix)

a_1, a_2 e a_3 = parâmetros de ajuste do modelo.

SUMMARY

In this work, a rheological characterization of four tropical fruit puree (mangos, passion fruit, papaya and guava) was made with a Rotoviscometer (Haake model RV 20).

Concentration and temperature effects were analysed over a concentration range of 10-25 Brix, in temperature steps of 10°C up to 50°C. Passion fruit, papaya and guava concentrates (30 and 40 Brix) were also analysed at lower temperatures (10-30°C). At these concentrations for the passion fruit, it was possible to verify the behaviour up to 50°C.

Chemical composition was determined (total sugar, reducing sugars, total solids, pectin content and total acidity) and density measurements were correlated as functions of concentration.

The experimental results show that rheological non-Newtonian behaviour of these juices. It follows the Herschel-Bulkley (H-B) model, being weakly time-depedent.

Rheological model parameters were obtained by non-linear regression of the experimental data. These parameters were correlated as a function of temperature and concentration.

A single equation $y = a_1 \exp(a_2 \cdot T) \cdot C^{a_3}$ was used to describe concentration and temperature effects.

Where:

$y = \tau_0, K, n$ (H-B parameters)

T = temperature (K)

C = concentration (°Brix)

a_1, a_2, a_3 = model parameters.

NOMENCLATURA

a_0	- constante da equação 2.8, Pa.s
$a_{0,k}$	- constante da equação 2.9, Pa.s ⁿ
$a_{0,n}$	- constante da equação 2.10, adimensional
$a_{1,n}$	- constante da equação 2.11, adimensional
a_1	- constante da equação 4.2 a 4.5, adimensional
a_2	- constante da equação 4.2 a 4.5, adimensional
a_3	- constante da equação 4.3 e 4.5, adimensional
a_k	- constante da equação 2.15a, adimensional
A	- área de cisalhamento, m ²
C	- concentração de sólidos, °Brix
E_a	- energia de ativação do escoamento, J.mol ⁻¹
F	- força de cisalhamento do fluido, N
h	- altura do cilindro em contato com o fluido, m
$k_{0,c}$	- constante da equação 2.4, adimensional
k_c	- constante da equação 2.4, adimensional
K	- índice de consistência, Pa.s ⁿ
n	- índice de comportamento de fluxo, adimensional
r	- raio, m
R	- coeficiente de correlação, %
R^2	- porcentagem de variação explicada
R	- constante dos gases, 8,414 J.mol ⁻¹ .K ⁻¹
R_b	- raio do cilindro, m
R_c	- raio do copo, m
T	- torque, N.m
T	- temperatura, Kelvin
y_{obs}	- valor observado ou experimental
y_{pre}	- valor previsto pelo modelo

Letras Gregas

α_k	- constante das equações 2.15 e 2.16, adimensional
α_n	- constante da equação 2.14, adimensional
β_n	- constante das equações 2.14 e 2.15, adimensional

χ^2	- teste do Qui-Quadrado, adimensional
$\dot{\gamma}$	- taxa de deformação, s^{-1}
η	- viscosidade absoluta, Pa.s
η_a	- viscosidade aparente, Pa.s
λ	- constante da equação 2.15, adimensional
ρ	- densidade, g/cm^3
τ	- tensão de cisalhamento, $N.m^{-2} = Pa$
τ_o	- tensão inicial, $N.m^{-2} = Pa$
τ_b	- tensão de cisalhamento no cilindro, $N.m^{-2} = Pa$
ω	- velocidade angular do fluido, $rad.s^{-1}$
Ω	- velocidade angular de rotação do cilindro, $rad.s^{-1}$

Sub-índices

a	- aparente
c	- Casson
o	- inicial
obs	- observado
pre	- previsto

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

O Brasil é um grande exportador de frutas frescas, mas existe um mercado potencial internacional para frutas tropicais com a comercialização na forma de sucos concentrados, gerando mais lucros e menos perdas.

O suco chega ao centro consumidor com mais facilidade, e é mais econômico comparado com o comércio da própria fruta, que deve chegar ao mercado externo com ótimas qualidades.

A tabela 1.1 apresenta os dados de exportação das principais frutas frescas pelo Brasil no ano de 1992.

Tabela 1.1 - Principais frutas exportadas pelo Brasil (1992).

Produtos	Quantidade (1000t.)
Laranja	81,8
Maçã	32,6
Banana	91,5
Abacaxi	16,0
Manga	9,1
Mamão papaya	4,9
Goiaba	0,18

Fonte: Chitarra & Chitarra (1994)

Em consequência desta demanda do mercado externo, algumas indústrias de alimentos começaram a se preocupar em estudar o comportamento reológico de sucos, para adequar suas instalações industriais ou mesmo projetar novas unidades de processamento, para levar essas frutas não mais "in natura", mas na forma de sucos, que cheguem ao mercado externo de forma mais rápida, com altas qualidades e com mais economia.

O conhecimento do comportamento reológico de sucos concentrados ou não, é útil não só para o controle de qualidade do produto, mas principalmente no projeto de tubulações e

bombas, sistemas de agitação e mistura, esterilização, estocagem, concentração, resfriamento etc.

Os sucos de maracujá, manga, mamão e goiaba ainda são pouco consumidos no mercado interno, pois tem-se grande facilidade de encontrar nos mercados as frutas frescas. Na literatura existem poucas referências sobre os dados reológicos e da composição dos sucos dessas quatro frutas.

O objetivo deste trabalho foi a caracterização reológica e análise da composição química e física dos sucos de maracujá, manga, mamão e goiaba a várias concentrações de sólidos solúveis e a várias temperaturas. As faixas de concentração e temperaturas estudadas foram aquelas que são usualmente encontradas nos diversos volumes de controle de uma planta industrial. Verificou-se a validação dos dados experimentais a três modelos reológicos: o da Lei de Potência, modelo de Casson e o modelo de Herschel-Bulkley. Estudou-se ainda a influência da temperatura e do teor de sólidos solúveis nos parâmetros reológicos do modelo escolhido. Propôs-se então um modelo matemático para descrever a influência destas variáveis nos parâmetros reológicos.

O trabalho realizado nesta tese está organizado nos seguintes capítulos: no Capítulo 2 estão apresentados os embasamentos teóricos utilizados na análise dos resultados, bem como os antecedentes bibliográficos existentes. O Capítulo 3 descreve a metodologia utilizada na condução dos experimentos. Os resultados obtidos para os sucos de manga, maracujá, mamão e goiaba estão apresentados nos Capítulos 4, 5, 6 e 7, respectivamente.

CAPÍTULO 2

REVISÃO DA LITERATURA

2.1.1. Classificação do Comportamento Reológico

Os fluidos podem ser classificados em Newtonianos e não Newtonianos. Nos fluidos Newtonianos as propriedades reológicas são independentes da taxa de deformação e do histórico anterior de cisalhamento, dependendo somente da temperatura e da composição. Exemplos de fluidos Newtonianos são : leite líquido, sucos de frutas (clarificados), solução de sacarose, água, substâncias de baixo peso molecular e gases (HOLDSWORTH, 1971; RAO, 1977 a,b; RAO, 1986).

Os fluidos Newtonianos apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, com o coeficiente linear igual a zero. A equação matemática de um fluido Newtoniano é:

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad [2.1]$$

onde : τ = tensão de cisalhamento [N.m⁻² = Pa]
 $\dot{\gamma}$ = taxa de deformação [s⁻¹]
 η = viscosidade absoluta [Pa.s]

Os fluidos que não exibem o comportamento descrito pela eq.[2.1], são chamados de fluidos não-Newtonianos e podem ser classificados como dependentes ou independentes do tempo (HOLDSWORTH, 1971; RAO, 1977 a,b; RAO, 1986).

A maioria dos fluidos alimentares se apresentam na bibliografia como independentes do tempo ou seja, suas propriedades reológicas não são uma função do tempo, pelo menos com a metodologia utilizada pelos autores.

A viscosidade aparente de fluidos não-Newtonianos independentes do tempo, à temperatura e composição constantes, depende somente da magnitude da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento. Os fluidos onde a viscosidade aparente diminui com o aumento

da taxa de deformação, são chamados de pseudoplásticos. Muitos fluidos alimentares apresentam esse tipo de comportamento, entre eles, os sucos concentrados e purês de frutas.

Se a viscosidade aparente aumenta com o aumento da taxa de deformação, o fluido recebe o nome de dilatante. Esse tipo de comportamento foi encontrado em mel (HOLDSWORTH, 1971), amido de milho, soro de purê de tomate, etc.

Um dos modelos reológicos mais utilizados para descrever o comportamento dos fluidos em amplas faixas da taxa de deformação é o modelo da Lei de Potência ou de Ostwald-de-Waele:

$$\tau = k(\dot{\gamma})^n \quad [2.2]$$

onde : τ = tensão de cisalhamento [N.m⁻² = Pa]
 $\dot{\gamma}$ = taxa de deformação [s⁻¹]
 k = índice de consistência [Pa.sⁿ]
 n = índice de comportamento do fluido [adimensional]

Para fluidos pseudoplásticos, o índice de comportamento de fluido (n) é menor que a unidade, e quanto menor seu valor, mais intenso é o comportamento pseudoplástico. O valor de n decresce com o aumento do conteúdo de sólidos e o efeito da temperatura afeta muito pouco. O índice de consistência (K) aumenta com o conteúdo de sólidos e geralmente decresce com a temperatura.

Existem fluidos não-Newtonianos independentes do tempo que não podem ser representados pelo Modelo da Lei de Potência, pois devido a sua estrutura interna, que impede a deformação, necessita de uma tensão inicial para começar o escoamento. Abaixo dessa tensão o material exibe características de um sólido e permanece em repouso, e só começa a escoar acima do valor da tensão inicial. O modelo usado para descrever o comportamento desse tipo de fluido é o Modelo de Herschel-Bulkley (H-B) :

$$\tau = \tau_0 + k(\dot{\gamma})^n \quad [2.3]$$

onde : τ = tensão de cisalhamento [N.m⁻² = Pa]
 τ_0 = tensão inicial [N.m⁻² = Pa]
 $\dot{\gamma}$ = taxa de deformação [s⁻¹]

- n = índice de comportamento do fluxo [adimensional]
 k = índice de consistência (Pa.sⁿ)

O modelo H-B é muito útil porque os comportamentos do tipo Newtoniano, Lei da Potência (pseudoplástico ou dilatante) e plástico de Bingham ($n=1$), podem ser considerados como casos particulares da eq.[2.3].

Um outro modelo reológico foi desenvolvido para fluidos não-Newtonianos independentes do tempo: modelo reológico de Casson, que é usado para suspensões de partículas em meio Newtoniano, levando-se em conta a interação entre eles:

$$\tau^{0,5} = k_{0,c} + k_c (\dot{\gamma})^{0,5} \quad [2.4]$$

onde $k_{0,c}$ e k_c são constantes. O valor de $(k_{0,c})^2$ tem sido utilizado como estimativa do valor da tensão inicial (RAO, 1977 a,b; RAO, 1986).

A escolha do modelo reológico é uma função das características do fluido. O modelo da Lei de Potência tem se mostrado em muitos casos adequado para os cálculos de engenharia e devido à sua simplicidade, tem sido amplamente utilizado nesta área (RAO & ANANTHESWARAM, 1982).

Alguns fluidos apresentam propriedades dependentes do tempo e podem ser divididos em duas categorias:

-1) fluido tixotrópico- são aqueles em que a viscosidade aparente diminui com o tempo de cisalhamento, quando a temperatura, a composição e a taxa de deformação são mantidos constantes. Se explica por rupturas estruturais reversíveis ou seja a estrutura se recupera com a retirada da tensão aplicada.

-2) fluido reopético- são aqueles em que a viscosidade aparente aumenta com o tempo de cisalhamento, mantidas as outras condições constantes.

O aumento ou decréscimo da consistência pode ser total ou parcialmente irreversível. No caso de um decréscimo irreversível da viscosidade aparente o fenômeno denomina-se Reomalaxis ou Reodestruição.

O comportamento tixotrópico foi observado em leite concentrado açucarado, maionese e sucos concentrados, enquanto que o comportamento reopético é raramente observado em alimentos (RAO, 1977 a,b; RAO, 1986) entretanto foi observado para clara de ovo.

Para quantificar os fluidos dependentes do tempo, dois métodos são usados:

- 1) Avaliação do " loop " de histerese através de um diagrama de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação, ou
- 2) Determinação da tensão de cisalhamento em função do tempo, a uma ou mais taxas de deformação (STEFFE, 1990).

Fluidos viscoelásticos são aqueles que exibem tanto propriedades viscosas (escoamento) como elásticas (armazenamento de energia) conforme as tensões aplicadas e recuperam a elasticidade da estrutura quando a tensão é retirada. Exemplos de fluidos viscoelásticos são : misturas para sorvetes e creme de leite (RAO, 1977 a,b).

Viscosidade Aparente

Quando usamos o termo "viscosidade", precisamos tomar cuidado pois este é reservado para fluidos Newtonianos.

Para fluidos não-Newtonianos, a viscosidade avaliada a uma dada taxa de deformação é denominada "viscosidade aparente" . O termo "viscosidade aparente" é definido como o quociente entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação:

$$\eta_a = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad [2.5]$$

onde η_a = viscosidade aparente [Pa.s]
 τ = tensão de cisalhamento [N.m⁻² = Pa]
 $\dot{\gamma}$ = taxa de deformação [s⁻¹]

O conceito de "aparente" não é muito útil para projetos, já que varia com a taxa de deformação. Entretanto, é um dado procurado pelas indústrias para controle de qualidade do produto.

Se um fluido é Newtoniano, as viscosidades Newtoniana e aparente são idênticas, independentes do valor da taxa de deformação. Para fluidos do tipo Lei da Potência, pseudoplástico ($n < 1,0$) ou dilatante ($n > 1,0$), a viscosidade aparente é dada por:

$$\eta_a = k(\dot{\gamma})^{n-1} \quad [2.6]$$

A viscosidade aparente para fluidos do tipo Herschel-Bulkley (H-B) pode ser determinada de forma análoga :

$$\eta_a = k(\dot{\gamma})^{n-1} + \frac{\tau_0}{\dot{\gamma}} \quad [2.7]$$

Para os fluidos do tipo pseudoplástico e plástico de Bingham, a viscosidade aparente diminui com o aumento da taxa de deformação, para os Newtonianos é constante e aumenta com o aumento da taxa de deformação para os fluidos dilatantes (HOLDSWORTH, 1971; RAO, 1977a; RAO, 1986; STEFFE, 1990).

2.1.2. Aplicação dos Modelos Reológicos para Sucos de frutas

Uma completa revisão das propriedades reológicas de sucos de frutas, pode ser encontrada em JIMÉNEZ & DURÁN (1979) e HOLDSWORTH (1971).

Suco de Pêssego

HARPER (1960) estudou os sucos concentrados e os purês de pêssegos, verificando que apresentavam comportamento pseudoplástico, onde a viscosidade aparente diminuía com a taxa de deformação.

IBARZ (1992) verificou o comportamento do suco de pêssego livre de pectina e de polpa. As medidas reológicas foram feitas num viscosímetro de cilindros concêntricos Rotovisco RV12 (Haake), a diferentes conteúdos de sólidos solúveis (69, 65, 60, 55, 50, 45 e 40°Brix) e temperaturas (5, 10, 15, 20, 25, 35, 45 e 60°C). O comportamento encontrado foi Newtoniano para todas as condições estudadas.

Suco de Maçã

SARAVACOS (1970) utilizando um viscosímetro de cilindros concêntricos Contraves Rheomat 15, observou que o suco de maçã clarificado (despectinizado e filtrado) comportou-se como um fluido Newtoniano para concentrações entre 15 e 75° Brix, na faixa de temperatura entre 25 a 70°C. Para o suco turvo (não despectinizado, filtrado) na mesma faixa de temperatura e concentrações menores que 50°Brix era Newtoniano. A concentrações mais altas (50 e 65,5° Brix), o comportamento era pseudoplástico.

Para temperaturas menores que 50°C, o suco de maçã turvo e concentrado (65,5°Brix) exibiu um comportamento tixotrópico, onde houve a formação de "loop" de histerese obtido pelo progressivo decréscimo na leitura do instrumento a uma dada velocidade de rotação fixa.

Os parâmetros reológicos obtidos são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Parâmetros reológicos do modelo da Lei de Potência para suco de maçã.

Produto	Temperatura (°C)	°Brix	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	Referência
Suco de maçã clarificado	27	20	0,0021	1,0	Saravacos (1968)
	27	60	0,03	1,0	
Suco de maçã turvo (filtrado)	30	10,5		1,0	Saravacos (1970)
	30	30,0		1,0	
	30	40,0		1,0	
	30	50,0		0,85	
	30	65,5		0,65	

RAO et alli (1984), utilizando um viscosímetro de cilindros concêntricos Haake RV2 encontraram para sucos comerciais de maçã (despectinizado, filtrado) na faixa de 41,0 a 68,3° Brix e faixa de temperatura de - 10 a + 40°C comportamento Newtoniano. O modelo usado para ajustar os índices de comportamento de fluxo foi o da Lei de Potência, onde os valores obtidos estavam ao redor de 1,0 em toda a faixa de valores de temperatura e concentração. Para

valores iguais de temperatura e concentração, os valores da viscosidade aparente de várias amostras analisadas se mostraram similares.

Suco de Laranja

INGRAM (1948) citado por HOLDWORTH (1971), mostrou que a tixotropia de sucos concentrados de citros é devido a uma estrutura de gel que se forma lentamente e é facilmente destruída. Acredita-se que o conteúdo de pectina seja o responsável pela elevada viscosidade encontrada nos sucos concentrados de laranja.

EZELL (1959) citado por HOLDSWORTH (1971), utilizando um viscosímetro Rotacional Brookfield modelo LVF, estudou o comportamento de sucos concentrados comerciais de laranja a 42°Brix e 30°C, verificando um comportamento pseudoplástico e dependente do tempo (tixotrópico). Os parâmetros reológicos não puderam ser determinados porque a viscosidade aparente foi obtida a uma única velocidade de rotação. Para os valores fixos do teor de polpa entre 9,5 a 15,5 %, a viscosidade aparente aumentou continuamente com o teor de sólidos solúveis (na faixa de 23 a 55°Brix). O aumento da viscosidade foi maior nas concentrações mais elevadas. Para os valores fixos do teor de sólidos solúveis, foi reportado um aumento da viscosidade aparente com o aumento do teor de polpa. A viscosidade aparente de amostras comerciais do suco a 42°Brix variou durante o período de safra, caracterizando efeito da variação da matéria prima.

MIZRAHI & BERK (1970), utilizando um viscosímetro de cilindros concêntricos Contraves Rheomat 15, obtiveram dados interessantes sobre o suco concentrado de laranja a 60-65°Brix e seu "soro" (suco sem polpa). O suco concentrado apresentou comportamento pseudoplástico, com tensão inicial e também dependente do tempo (tixotrópico). A recuperação da estrutura ocorreu após o cisalhamento a baixas taxas de deformação, mas à taxa de deformação de 1500 s⁻¹, houve a destruição irreversível devido em parte à desintegração de partículas da polpa. O "serum" concentrado também apresentou comportamento pseudoplástico, mas somente a elevadas concentrações de pectina foi observado o aparecimento de tensão inicial e comportamento dependente do tempo. O "soro" concentrado e despectinizado era um fluido Newtoniano e sua viscosidade a 60°Brix era muito próxima a de uma solução de sacarose a 60°Brix. Da comparação destes dados, deduziu-se que as substâncias pécticas solúveis

conferem ao serum o comportamento não Newtoniano, tensão inicial e propriedades dependentes do tempo, e que a extensão destes depende da concentração.

Os resultados são apresentados na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Parâmetros Reológicos do Modelo da Lei de Potência para suco de laranja.

Produto	Temperatura (°C)	°Brix	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	Referência
Suco de laranja comercial	30	44	-	0,65	Saravacos (1970)
	30	30	-	0.85	
Suco de laranja sem polpa	30	18	-	1,00	Saravacos (1970)
	30	10	-	1,00	
Suco de laranja sem polpa	30	65	2,60	0,91	Mizrahi & Berk (1970)
	30	60	5,30	0,73	
Suco de laranja sem polpa despectinizado	30	60	-	1,00	Mizrahi & Berk (1970)

VITALI & RAO (1984), estudaram o comportamento de três variedades de suco de laranja concentrado (65°Brix) com teor variável de polpa na faixa de -19 a +30°C, utilizando um viscosímetro de cilindros concêntricos Haake Rotovisco RV2. As amostras do "serum" (suco com baixo teor de polpa na faixa de 4,6 a 7,1 %) a 65°Brix, demonstraram comportamento pseudoplástico descrito adequadamente pelo modelo da Lei de Potência. O valor do índice de comportamento do fluido (**n**) permaneceu praticamente constante e o índice de consistência **K** diminuiu com o aumento da temperatura na faixa estudada.

Trabalhando com a variedade laranja pêra, BRANCO (1995), analisou o comportamento reológico de sucos, a altas concentrações de 55 a 64,2°Brix e temperaturas baixas de -23,0 a 20 °C. Neste caso, os modelos de Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk, correlacionaram bem os dados.

Suco de Uva

SARAVACOS (1968), utilizando um viscosímetro de tubo pressurizado, estudou o comportamento do suco de uva Concord comercial clarificado, com teor de sólidos solúveis na faixa de 15 a 64°Brix a temperatura de 27°C. O comportamento reológico encontrado foi Newtoniano, exceto a altas concentrações onde o índice do comportamento de fluxo era menor que 1,0 (variação na faixa de 0,90a 0,94). A viscosidade aparente aumentou com o aumento do teor de sólidos solúveis. Em 1970, o pesquisador estudou o mesmo produto à temperaturas entre 20 e 70°C , utilizando um viscosímetro de cilindros concêntricos Rheomat 15. O suco apresentou comportamento Newtoniano para concentrações abaixo de 55°Brix, entretanto a 64°Brix o comportamento encontrado foi pseudoplástico. Os parâmetros reológicos são apresentados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 - Parâmetros Reológicos do Modelo da Lei de Potência para suco de Uva Concord.

Temperatura (°C)	°Brix	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	Referência
27	20	0,0025	1,0	Saravacos (1968)
27	60	0,11	1,0	
30	15		1,0	Saravacos (1970)
30	30		1,0	
30	50		1,0	
30	64		0,90	

RAO et alli (1984), utilizando um viscosímetro de cilindros concêntricos Haake RV2, encontraram para os sucos comerciais de uva (despectinizados, filtrados) na faixa de 41 a 73° Brix e temperatura de -10 a + 40°C, comportamento Newtoniano. O modelo da Lei de Potência foi ajustado com índices de comportamento do fluido obtidos ao redor de 1,0 em toda faixa de valores de temperatura e concentração.

Suco de Maracujá

VITALI et alli (1974) empregando um viscosímetro de cilindros concêntricos Contraves RM-15, estudaram o comportamento do suco de maracujá a concentrações na faixa de 15,6 a

33,4 °Brix e temperaturas entre 20 a 50°C. Verificaram um comportamento pseudoplástico e dependente do tempo (tixotropia). Usaram o modelo da Lei de Potência, que se mostrou adequado à descrição do comportamento reológico, todos pseudoplásticos. Encontraram os valores dos parâmetros dependentes da concentração e temperatura. Para maior concentração, o valor de **K** foi maior e valor de **n** foi menor. Com a temperatura o valor de **K** foi menor e houve um pequeno aumento do **n**. Parte dos parâmetros reológicos determinados estão apresentados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 - Parâmetros Reológicos do Modelo da Lei de Potência para suco de maracujá.

Temperatura (°C)	°Brix	K (Pa.s ⁿ)	n (-)
21,6	15,6	0,071	0,737
21,4	20,7	0,288	0,593
20,0	25,3	0,798	0,523
23,2	30,6	1,620	0,488
20,0	33,4	2,620	0,445

Fonte: Vitali et alli (1974)

Outros Sucos de Frutas

IBARZ et alli (1987), estudaram o comportamento reológico do suco de pêra clarificado e despectinizado à concentrações variando de 30 a 70° Brix e temperaturas entre 5 a 60°C. Utilizaram para obter os parâmetros, um viscosímetro de cilindros concêntricos Haake Rotovisco RV20. Encontraram comportamento Newtoniano para todas as concentrações e temperaturas.

IBARZ & PAGÁN (1987) utilizando um viscosímetro de cilindros concêntricos Haake Rotovisco RV 12, estudaram o comportamento reológico do suco de framboesa à concentrações entre 15 a 41°Brix e faixa de temperatura de 5 a 60°C. O suco apresentou comportamento pseudoplástico a altas concentrações e baixas temperaturas. À concentrações mais baixas e a altas temperaturas, o comportamento encontrado foi Newtoniano.

RAO & PALOMINO (1974), estudaram o comportamento reológico do suco de mamão à concentração de 7,3°Brix e temperatura de 26°C, utilizando um viscosímetro capilar. Encontraram comportamento pseudoplástico com valor do índice do comportamento do fluido $n=0,53$ e para o índice de consistência, $K=10,1 \text{ dinas.s}^n.\text{cm}^{-2}$.

GARCIA et alli (citado por JIMÉNEZ & DURÁN, 1979), também estudaram o suco de mamão a concentração de 12,6°Brix e temperatura de 40°C. Utilizaram um viscosímetro Brookfield LVF, encontrando comportamento pseudoplástico. Os valores dos parâmetros reológicos foram: $n=0,23$ e $K=53,3 \text{ dinas.s}^n.\text{cm}^{-2}$.

IBARZ et alli (1992) estudaram o suco de groselha (despectinizado, clarificado) com concentração variando entre 35 a 64,5° Brix e faixa de temperatura entre 5 a 60°C. Usaram para estudar o comportamento um viscosímetro de cilindros concêntricos Haake Rotovisco RV12, encontrando comportamento Newtoniano para todas as concentrações e temperaturas.

GUNJAL & WAGHMARE (1987), utilizando um viscosímetro Brookfield RVT, estudaram o comportamento reológico do suco de manga à concentração de 20°Brix e faixa de temperatura entre 40 a 80°C. Encontraram para o suco comportamento pseudoplástico, com o índice de consistência (K) decrescendo com o aumento da temperatura.

2.1.3. Aplicações dos Modelos Reológicos a Purês de Frutas

Os purês são estudados de forma análoga aos sucos de frutas, pois apresentam uma natureza complexa e diversa que dificulta a generalização dos dados obtidos, pois são submetidos a diferentes condições de medida e diferentes métodos de obtenção.

HARPER (1960) estudou os purês de pêssegos (10,9 a 58,4 % de sólidos totais) e peras (15,2 a 51,3 % de sólidos totais) e de damascos (16,7 a 59,3 % de sólidos totais), utilizando um viscosímetro de cilindros concêntricos à temperatura de 27°C. Verificou que a viscosidade aparente diminuiu com a velocidade de cisalhamento, caracterizando-os como pseudoplásticos. Os valores do índice de comportamento do fluido (n) diminuíram e os do índice de consistência, aumentaram com aumento do teor de sólidos solúveis.

O mesmo autor também estudou purês de damascos (16,7 a 59,3 % de sólidos totais), obtendo as medidas num viscosímetro de cilindros concêntricos, à 27°C, verificando um comportamento pseudoplástico.

CHARM (1963), estudou o comportamento do purê de maçã e observou um comportamento descrito pelo modelo de Herschel-Bulkley. O valor da tensão inicial foi obtido a partir do modelo de Casson. Os valores dos parâmetros reológicos encontrados foram: $n = 0,47$; $K = 5,63 \text{ Pa.s}^n$ e $\tau_0 = 59,5 \text{ Pa}$.

SARAVACOS & MOYER (1967), estudaram os purês de pêra, pêssego, maçã e ameixas às temperaturas de 30 a 82°C, empregando um viscosímetro rotacional Brookfield RVT. Todos os produtos apresentaram comportamento pseudoplástico descrito pelo modelo da Lei de Potência. O purê de maçã apresentou-se também tixotrópico. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 2.5 e indicam uma diminuição dos valores do índice de consistência (K) com o aumento da temperatura, enquanto que o índice de comportamento de fluxo n permaneceu praticamente constante.

Tabela 2.5 - Parâmetros Reológicos do Modelo da Lei de Potência para purês de pêra, pêssego, maçã e ameixa.

Produto	Sólidos totais (% p/p)	Temperatura (°C)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)
Purê de maçãs	11,0	30	11,6	0,30
		82	9,0	0,30
Purê de peras	16,0	30	5,6	0,35
		82	4,6	0,35
Purê de pêssegos	11,7	30	7,2	0,28
		82	5,8	0,27
Purê de ameixa	14,0	30	2,2	0,34
		82	2,0	0,34

Fonte : Saravacos & Moyer (1967)

SARAVACOS (1968), utilizando um viscosímetro de tubo, estudou o purê de damasco a 13,8 % de sólidos totais à 27°C, encontrando também comportamento pseudoplástico. Usando a mesma metodologia, o pesquisador investigou purês de pêssegos (10 % sólidos totais), peras (14,6 % sólidos totais) e maçãs (11,6 % sólidos totais) a 27°C . Todos os purês apresentaram comportamento pseudoplástico, mas o de maçã apresentou-se também dependente do tempo (tixotrópico).

RAO & PALOMINO (1974) e GARCIA et alli (1974), estudaram o comportamento de purês de frutas tropicais (goiaba, manga, banana e mamão), utilizando um viscosímetro de tubo capilar e um viscosímetro Brookfield LVF respectivamente. Todos apresentaram comportamento pseudoplástico, seguindo o modelo da Lei de Potência.

VITALI & RAO (1982) empregando um viscosímetro de tubo pressurizado, estudaram os purês de goiaba na faixa de 9,9 a 16,0°Brix e temperatura entre 25 a 60°C. Todos foram definidos como pseudoplásticos, exibindo comportamento com tensão de cisalhamento inicial. O modelo de Mizrahi-Berk descreveu bem o comportamento.

DURÁN & COSTELL (1982) estudaram o purê de damasco (11,5 a 15 °Brix) e temperatura de 22,5°C, o qual apresentou-se levemente tixotrópico, exibindo uma tensão inicial definida e obedecendo a equação de Herschel-Bulkley.

2.1.4. Efeitos da Temperatura e da Composição na Viscosidade

Durante o processamento, os alimentos fluidos são submetidos a diversas temperaturas nos evaporadores, pasteurizadores e desaeradores, dentre os equipamentos principais para a obtenção de sucos e purês. Com a concentração dos sucos ou purês, ocorre o aumento dos sólidos solúveis e totais variando a composição dos mesmos em cada etapa do processamento. Evidentemente as propriedades reológicas são afetadas por mudanças tanto da temperatura como da composição e tem sido objeto de estudo por vários pesquisadores (RAO, 1977; RAO, 1986; RAO & ANANTHESWARAM, 1982).

O conhecimento destas alterações no comportamento reológico é de fundamental importância nos projetos de tubulações, bombas, evaporadores e trocadores de calor. Além disso, as propriedades reológicas são importantes para o controle de qualidade de produto durante a estocagem, transporte e comercialização.

Para os fluidos Newtonianos, o conhecimento da viscosidade como função da temperatura e concentração é suficiente para o dimensionamento de equipamentos. Para os fluidos não Newtonianos, como a viscosidade aparente varia também com a taxa de deformação, é necessário conhecer a variação das características reológicas dos produtos com a taxa de deformação, temperatura e concentração (HOLDSWORTH, 1971; RAO & ANANTHESWARAN, 1982).

Efeito da Temperatura

A mudança da viscosidade com a temperatura pode ser representada por uma equação análoga à de Arrhenius (HARPER & EL SAHRIGI, 1965; HOLDSWORTH, 1971; VITALI & RAO, 1984 a,b; RAO, 1986):

$$\eta_o = a_o \exp\left(\frac{E_{a,n}}{RT}\right) \quad [2.8]$$

onde:

- η_a = viscosidade aparente [Pa.s]
- a_o = constante [Pa.s]
- $E_{a,n}$ = energia de ativação do escoamento [J.mol⁻¹]
- R = constante dos gases [8,414 J.mol⁻¹K⁻¹]
- T = temperatura [K]

O aumento de temperatura tem o efeito de diminuir a viscosidade, o que pode ser observado na eq.[2.8]. Em geral, quanto maior a energia de ativação, maior é o efeito da temperatura na viscosidade.

Valores de energia de ativação foram obtidos (HOLDSWORTH, 1971) para vários alimentos fluidos, tais como sucos de frutas diluídos, solução de sacarose, sucos de frutas concentrados e purês de frutas. Na tabela 2.6 são apresentados os valores da energia de ativação para alguns fluidos alimentares Newtonianos.

Para fluidos não-Newtonianos, a viscosidade utilizada na eq.[2.8] é a viscosidade aparente a uma determinada taxa de deformação.

Tabela 2.6 - Energias de ativação do escoamento para alimentos líquidos Newtonianos.

Produto	°Brix	Energia de Ativação (Kcal.gmol ⁻¹)
Suco de maçã clarificado (despectinizado, filtrado)	75	14,2
	50	8,4
	30	6,3
	15	5,3
Suco de maçã turvo (filtrado)	30	5,1
	10,5	3,5
Suco de laranja filtrado	18	5,8
	10	5,3
Água	-	3,6

Fonte: Holdsworth, (1971)

HOLDSWORTH (1971) examinou os valores da Energia de Ativação para sucos e purês de frutas pseudoplásticos e concluiu que estes valores aumentam quanto menor o valor do índice de comportamento de fluxo n (tabela 2.7). Os maiores valores da Energia de Ativação foram observados para sucos clarificados com altos teores de sólidos solúveis e os menores valores para os purês.

De uma maneira geral, um aumento da temperatura resulta numa diminuição do valor do índice de consistência (K), enquanto que o índice de comportamento do fluido (n) é pouco afetado.

VITALI & RAO (1974), utilizaram a eq.[2.8] para os sucos concentrados de maracujá na faixa de 15,6 a 33,4°Brix e temperatura entre 30 a 50°C. Foi usado o modelo da Lei de Potência para descrever o comportamento pseudoplástico. O valor da viscosidade aparente decresceu com o aumento da temperatura. Analisando os valores da Energia de Ativação, notaram que estes dependem tanto da concentração (maior concentração, menor energia de ativação) como da taxa de deformação (maior taxa de deformação, menor energia de ativação) e que aumentam com o aumento do valor do índice de comportamento do fluido n .

Tabela 2.7 - Índice de Comportamento de Fluxo (n) e Energias de Ativação para escoamento de Sucos e Purês Pseudoplásticos.

Suco ou purê	°Brix	n (-)	Energia de Ativação (Kcal.gmol ⁻¹)
Suco concentrado de laranja	44,0	0,65	5,4
	30,0	0,85	4,2
Suco de maçã turvo	65,5	0,65	9,1
	50,0	0,85	6,1
Purê de maçã	11,0	0,30	1,2
Purê de pêssego	11,7	0,30	1,7
Purê de pêra	16,0	0,30	1,9

Fonte: Holdsworth (1971)

VITALI et alli (1982) estudaram o efeito da temperatura na viscosidade aparente de purês de goiaba nas concentrações entre 9,8 a 16,0°Brix na faixa de temperatura entre 25 a 60°C. A equação [2.8] mostrou-se adequada à taxas de deformação fixas, onde houve uma diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura. Quanto às variações de concentração e de temperatura, o valor de n (índice de comportamento do fluido) mostrou-se sem variação.

RAO et alli (1984) e VITALI & RAO (1984) utilizaram a eq.[2.8] para sucos concentrados de laranja (65 °Brix) com baixo teor de polpa, de maçã (41 a 73,5°Brix) e uva (41 a 74,5°Brix) na faixa de temperatura de -10 a + 40°C. Sucos de laranja são fluidos pseudoplásticos e foram modelados à taxa de deformação fixa de 100 s⁻¹. Os sucos de maçã e de uva são fluidos Newtonianos e a viscosidade aparente é constante e independente da taxa de deformação. A concentrações fixas de sólidos solúveis, os valores da viscosidade aparente diminuíram com o aumento da temperatura.

O efeito da temperatura também pode ser determinado usando o índice de consistência (K) do modelo da Lei de Potência e de outros modelos como o de Herschel-Bulkley. A equação geralmente usada é:

$$K = a_{0,k} \exp\left(\frac{E_{a,k}}{RT}\right) \quad [2.9]$$

onde : K = índice de consistência [Pa.sⁿ]
 $a_{0,k}$ = constante [Pa.sⁿ]
 $E_{a,k}$ = energia de ativação do escoamento [J.mol⁻¹]

RAO et alli (1984) e VITALI & RAO (1984 a,b) utilizaram a eq.[2.9] para os sucos concentrados de laranja (65,1°Brix) com baixo teor de polpa, considerando o índice de consistência K do modelo da Lei de Potência. Com o aumento da temperatura (na faixa de -20 a + 30°C) houve uma redução do índice de consistência de 29,16 para 0,91, com pequena variação do índice de comportamento do fluido de 0,712 para 0,739.

Efeito da Concentração

A viscosidade aumenta com o aumento da concentração de sólidos, para um determinado fluido alimentar (RAO,1986). Em faixas limitadas de concentração, com temperatura e taxa de deformação fixas, o efeito da concentração na viscosidade aparente pode ser descrita por uma relação potencial (HARPER & EL SAHRIGI, 1965; VITALI et alli, 1974; RAO et alli, 1981) ou exponencial (CERVONE & HARPER, 1978; VITALI & RAO, 1984 b), respectivamente:

$$\eta_a = a_{0,n} (C)^{a_{1,n}} \quad [2.10]$$

$$\eta_a = a_{0,n} \exp(a_{1,n} C) \quad [2.11]$$

onde : C = concentração de sólidos
 $a_{0,n}, a_{1,n}$ = constantes

VITALI & RAO utilizaram a eq.[2.10], para sucos concentrados de maracujá e demonstraram que o valor do expoente $a_{1,n}$ é dependente da temperatura e da taxa de deformação.

RAO et alli (1984) encontraram para os sucos concentrados de uvas e maçãs, fluidos Newtonianos, a relação do tipo exponencial. A equação do tipo potência se mostrou mais adequada para purês viscosos, como os concentrados de tomate (RAO, 1986).

VITALI & RAO (1984), encontraram uma relação do tipo exponencial (eq.2.11) para o suco de laranja com concentrações entre 50 a 65°Brix. A equação do tipo exponencial também mostrou-se melhor para descrever o efeito do sólidos solúveis na viscosidade de outros sucos como : suco de pêssego (IBARZ,1992), suco de pêra (IBARZ et alli, 1987) e suco de groselha (IBARZ et alli, 1992). O modelo de potência (eq.2.10) apresentou-se melhor para o suco de banana clarificado (KHALIL et alli, 1989).

O efeito da concentração no índice de consistência, também foi estudado para os fluidos que seguem os modelos do tipo Lei de Potência e Herschel-Bulkley, através de relações análogas às equações 2.10 e 2.11 (CERVONE & HARPER, 1978; RAO et alli, 1981; VITALI & RAO, 1982) :

$$K = a_{0,k} (C)^{a_{1,k}} \quad [2.12]$$

$$K = a_{0,k} \exp(a_{1,k} C) \quad [2.13]$$

onde C = concentração de sólidos
 $a_{0,k}, a_{1,k}$ = constantes

RAO et alli (1981) utilizaram as eq.[2.12] e [2.13] para concentrados de tomate. Verificaram que descreviam adequadamente a influência da concentração no índice de consistência (K) do modelo Lei de Potência. O valor de K aumentou com o aumento da concentração de sólidos totais e o valor do índice de comportamento do fluido (n) teve pouca variação.

VITALI & RAO (1982), demostraram que para os purês de goiaba a eq.[2.13] foi adequada, encontrando um aumento exponencial do índice de consistência do Modelo Mizrahi-Berk com a concentração e também o valor da tensão inicial aumentou com a concentração.

VITALI & RAO (1984 a,b) usaram as eq.[2.12] e [2.13] para sucos concentrados de laranja (65°Brix) com baixos teores de polpa na faixa de temperatura de -20 a + 30°C. Para temperaturas fixas, a viscosidade aparente e o índice de consistência, aumentaram exponencialmente com o aumento do teor de polpa.

IBARZ & PÁGAN (1987) estudaram também o efeito da concentração no índice de consistência em sucos de framboesa usando as eq.[2.12] e [2.13], verificando que a equação do tipo exponencial (eq.2.13) se adequa bem aos dados experimentais.

Efeito Combinado da Temperatura e Concentração

O efeito combinado da temperatura e concentração podem ser correlacionados em uma única equação (cuja forma é usualmente um produto das contribuições individuais de cada parâmetro) para ser usada em aplicações como evaporação, onde a temperatura e a concentração mudam durante o processo. No caso da dependência da temperatura ser expressa por uma relação do tipo Arrhenius (eq.2.8) e da concentração por uma relação do tipo potência (eq.2.10), a equação combinada para o cálculo da viscosidade aparente pode ser expressa por (HARPER & EL-SHRIGI, 1965; RAO et alli, 1981; CASTALDO et alli, 1990) :

$$\eta_a = \alpha_n C^{\beta_n} \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad [2.14]$$

onde α_n e β_n são constantes. A eq.[2.14] é válida para fluidos Newtonianos. Para os fluidos não Newtonianos, só é aplicada a taxas de deformação fixas.

RAO et alli (1984) utilizaram a eq.[2.14] e outro modelo envolvendo a dependência exponencial com a concentração, na modelagem de sucos concentrados de uvas e maçãs, reportados como Newtonianos; esta última se mostrou mais adequada no ajuste dos dados experimentais.

CERVONE & HARPER (1978) propuseram um produto de exponenciais para modelagem do índice de consistência (K) do modelo Lei de Potência :

$$K = \alpha_k \exp(\beta_n C) \exp\left(\frac{\lambda}{RT}\right) \quad [2.15]$$

onde α_k , β_n e λ são constantes.

VITALI & RAO (1982) aplicaram uma equação análoga da eq.[2.15] para purês de goiaba, reportados como pseudoplásticos, na qual a dependência do índice de consistência do modelo Lei de Potência com a concentração foi expressa como uma potência. Para três variedades de sucos de laranja (65°Brix) com diferentes conteúdos de polpa, os pesquisadores

utilizaram uma forma alternativa da eq.[2.15], envolvendo a dependência exponencial com a concentração.

$$K = \alpha_k \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) C^{\beta_k} \quad [2.15a]$$

onde α_k e β_k são constantes.

A equação que descreve o efeito combinado da temperatura e concentração, geralmente são válidas em faixas limites destas duas variáveis (VITALI & RAO, 1984 a,b) e cuidados devem ser tomados quando se utiliza uma única equação em largas faixas de temperatura e concentração. Recomenda-se que seja utilizada várias equações, cada uma numa faixa estreita de temperatura e concentração.

2.1.5. - Viscosímetro de Cilindros Concêntricos

Comercialmente existem muitos viscosímetros que podem ser usados no estudo reológico de fluidos alimentares (VAN WAZER et alli, 1963). Os viscosímetros capilares de vidro operando à pressão atmosférica e uma única taxa de deformação, são usados para fluidos Newtonianos (RAO et alli, 1986).

Para os fluidos alimentares não-Newtonianos, o viscosímetro de cilindros concêntricos (VCC) tem sido muito utilizado (SARAVACOS, 1970; RAO et alli, 1981; VITALI & RAO, 1984 a,b). Ele é projetado para fornecer os parâmetros reológicos fundamentais. Uma das vantagens do viscosímetro de cilindros concêntricos é que permite a medida contínua da relação tensão de cisalhamento e taxa de deformação, permitindo a análise de comportamentos dependentes do tempo (HELDMAN & SINGH, 1981). Quando se usa equações matemáticas para ajustar os dados reológicos, dois pontos importantes devem ser lembrados:

- 1) - erros de extrapolação são substancialmente influenciados pelo modelo reológico escolhido, e
- 2) - poucos pontos experimentais colhidos em uma larga faixa de taxas de deformação, são geralmente mais úteis do que muitos pontos colhidos em uma faixa estreita de taxas de deformação (STEFFE, 1990).

As equações fundamentais para este reômetro se encontram no Apêndice F.

CAPÍTULO 3

MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo é apresentado a metodologia das análises físicas e químicas, bem como a condução dos experimentos para a caracterização reológica dos sucos.

As amostras foram cedidas pela empresa de exportação de sucos tropicais **UTIARA S/A**, na forma concentrada e congelada.

O Apêndice A apresenta um fluxograma esquemático cedido pela empresa com as principais etapas de processamento.

3.1 - Análises Físicas e Químicas

3.1.1 - Determinação de pH

- Pesa-se 10g do suco em um béquer, adiciona-se 90 ml de água destilada e agita-se até homogeneização. Coloca-se o eletrodo dentro da solução com cuidado para que a barra magnética não bata no eletrodo. Com um pHmetro mede-se o valor do pH obtido.

3.1.2 - Acidez Total Titulável (A.O.A.C 22.058)

- Determina-se o pH inicial de 10 g de suco misturado com 100 ml de água destilada. Titula-se com solução de hidróxido de sódio 0,1 N (NaOH 0,1 N) até atingir o pH = 7 e a seguir adiciona-se gota a gota até atingir o pH = 8,10 (ponto de viragem da fenolftaleína, agitando manualmente). Anota-se o volume gasto de NaOH 0,1 N. Calcula-se a acidez total expressa em ácido cítrico anidro.

3.1.3 - Determinação de Sólidos Totais (A.O.A.C 22.019)

- Pesa-se 5 g do suco em uma cápsula previamente tarada. Seca-se em banho maria até evaporar a fase líquida. Coloca-se em uma estufa à vacuo por 6 horas à temperatura de 70°C, resfria-se e pesa-se. Repete-se este procedimento até que o peso se mantenha constante.

3.1.4 - Determinação de Cinzas (A.O.A.C 22.027)

- Pesa-se 2 g do suco num cadinho previamente tarado. Incinera-se no fogo muito bem e depois coloca-se em uma mufla a 600°C durante 4 horas. Para tarar o cadinho é necessário colocá-lo na mufla até atingir 600°C ou deixá-lo por uma hora a 600°C.

3.1.5 - Determinação de Açúcares Redutores por Somogyi-Nelson

Referência : HODGE, V.E & HOFREITES, B.T (1962).

- Sensibilidade do método: 25 mg/l à 200 mg/l

Reagentes

- Reagente de Somogyi-Nelson I (SNI)

- 6,25g de CuSO_4 ou 14,0 g de $\text{CuSO}_4 \cdot 5 \text{H}_2\text{O}$
- 24 g de Na_2CO_3 anidro
- 16 g de NaHCO_3
- 12 g de Tartarato de sódio e potássio ou 16,1 g de tartarato de sódio e potássio tetra hidratado
- 18 g de Na_2SO_4 .

Dissolve-se em aproximadamente 600 ml de água destilada na ordem descrita para 1 L de água destilada. Deixa-se em repouso por uma noite em ambiente escuro. Filtra-se em papel de filtro. Conserva-se em frasco escuro.

- Reagente de Somogyi-Nelson II (SNII)

Solução A: Dissolve-se 50 g de molibdato de amônio anidro ou 53,09 g de molibdato tetra hidratado em 800 ml de água destilada. Adiciona-se 42 ml de ácido sulfúrico concentrado lentamente.

Solução B: Dissolve-se 6 g de Na_2HAsO_4 em 50 ml de água destilada ou 10,6 g de $\text{Na}_2\text{HAsO}_4 \cdot 7 \text{H}_2\text{O}$.

Mistura-se A e B e deixa-se em banho ou estufa a 37°C durante 24 horas.

Procedimento

Coloca-se 2 ml de SNI num tubo graduado para 25 ml. Adiciona-se 1 ml do suco convenientemente diluído. Tapa-se o tubo e deixa-o ferver por 10 minutos em banho-maria. Esfria-se rapidamente em banho de gelo e adiciona-se 2 ml de SNII. Agita-se, deixa-se em repouso por 5 minutos e completa-se o volume para 25 ml com água destilada. Mistura-se bem e mede-se a absorbância à 540 nm contra branco (no lugar do suco colocar água destilada).

Curva Padrão de Glicose

Faz-se uma solução de glicose a 1000 µg/ml e desta prepara-se soluções de 25, 50, 100, 125, 200 e 250 µg/ml.

3.1.6 - Determinação de Carboidratos Totais (Método Colorimétrico com Antrona)

Referência : DREYWOOD, R. (1946).

Sensibilidade do Método: 0,01 g/l à 0,10 g/l.

Reagente: 0,2 g de antrona em 100 ml de ácido sulfúrico concentrado.

Dilui-se o suco para que fique na faixa de 20-40 µg de açúcares totais.

Em um tubo de ensaio adiciona-se 1 ml do suco e leva-se a um banho de gelo. Adiciona-se 3 ml da solução de antrona a 0,2 % em ácido sulfúrico, deixando que a solução escorra lentamente pelas paredes do tubo. Faz-se um branco nas mesmas condições e prepara-se os padrões. Agita-se os tubos após a adição da antrona (no banho de gelo).

Leva-se a um banho-maria a 70-80°C por 10 minutos e faça a leitura a 620 nm.

Padrão de Sacarose - 40 µg/ml.

3.1.7 - Determinação de Pectinas

Reagentes:

- Solução de ácido galacturônico
- Solução 1 N de hidróxido de sódio
- Solução de carbazol
- Ácido sulfúrico d = 1,84
- Álcool etílico purificado
- Álcool etílico 95 %
- Álcool etílico 63 %
- Solução de oxalato de amônio

Procedimento :

1- Extração da fração solúvel em água

Pesa-se 16 gramas de suco diluído ou 4 gramas de suco concentrado num tubo de centrifuga com fundo cônico. Se for suco concentrado, adicionar 12 ml de água destilada. Adiciona-se álcool etílico a 75°C até a marca de 40 ml e coloca-se em banho-maria por dez minutos agitando ocasionalmente com bastão. Lava-se o bastão com 10 ml de álcool. Centrifuga-se durante quinze minutos a 10.000 rpm. Decanta-se o líquido sobrenadante. Repete-se o procedimento usando álcool a 63 %. Depois de decantar o líquido sobrenadante adiciona-se 5 ml de água destilada e dispersa-se o precipitado com bastão com ponta de borracha. Lava-se o bastão com água até marca de 35 ml e agita-se vigorosamente durante 10 minutos. Completa-se para 40 ml e centrifuga-se.

Transfere-se o sobrenadante para balão volumétrico de 100 ml. Repete-se a extração colocando a segunda porção no mesmo balão. Guarda-se o precipitado.

Adiciona-se ao balão 5 ml de solução hidróxido de sódio 1 N, completa-se para 100 ml, homogeneiza-se e deixa-se por quinze minutos em repouso antes de iniciar o processo colorimétrico.

1.1- Extração da fração solúvel em oxalato de amônio

Ao resíduo do item 1 adiciona-se 5 ml de uma solução de oxalato de amônio (1,5 g/200 ml), dispersando-se com um bastão. Lava-se o bastão com solução de oxalato de amônio até a marca de 35 ml e agita-se durante 10 minutos. Completa-se para 40 ml e centrifuga-se. Transfere-se o sobrenadante para balão de 100 ml. Repete-se a extração. Guarda-se o precipitado.

Adiciona-se ao balão 5 ml de solução de hidróxido de sódio 1 N e completa-se, homogeneiza-se e deixa-se 15 minutos em repouso antes de iniciar o processo colorimétrico.

1.2- Fração solúvel em hidróxido de sódio

Transfere-se o resíduo do item 1.1 para um balão volumétrico de 100 ml. Adiciona-se 5 ml de solução de hidróxido de sódio 1 N, completa-se para 100 ml e homogeneiza-se. Deixa-se em repouso por 15 minutos com agitações ocasionais e filtra-se.

1.3- Processo Colorimétrico

Pipeta-se 2 ml do extrato e coloca-se 1 ml em cada um de dois tubos de ensaio. Adiciona-se ao tubo de "amostra", 0,5 ml de solução de carbazol (0,15g/100 ml) e ao tubo do "branco", 0,5 ml de álcool etílico purificado.

Adiciona-se em cada tubo 6 ml de ácido sulfúrico (tempo de adição 7 segundos) e coloca-se em banho-maria a 85°C por 5 minutos.

Retira-se e esfria-se durante 15 minutos. Determina-se a absorbância a 525 nm, zerando o espectrofotômetro com a prova em branco.

Preparação da solução de ácido galacturônico

Pesa-se 0,1205 g do reagente analítico (seco a vácuo por 5 horas, 30°C), dissolve-se e coloca-se em balão volumétrico de 1000 ml. Adiciona-se 0,5 ml de hidróxido de sódio 1 N e dilui-se para 1 litro. Homogeneiza-se e deixa-se em repouso durante uma noite.

1 mL = 100 µg AGA.

Prepara-se soluções de 10, 30, 50 e 70 µg AGA/ml, diluindo-se 10, 30, 50 e 70 ml da solução anterior para 100 ml. Desenvolve-se a coloração de cada solução como indicado no item 1.3, e determina-se a absorbância. Relaciona-se a absorbância com a concentração de AGA em µg/ml.

3.1.8 - Determinação da Densidade

Para a calibração do volume do picnômetro, pesa-se o mesmo com tampa. Enche-se com água destilada à temperatura de 25°C, pesando-se novamente. Joga-se a água e seca-se com um pouco de acetona.

Enche-se com o suco também na mesma temperatura e pesa-se. Para a determinação da densidade do suco, utiliza-se a seguinte equação:

$$\rho = \frac{m_{\text{suco}}}{V_{\text{pic}}} \quad [3.1]$$

onde : m_{suco} = massa do suco
 V_{pic} = volume do picnômetro

O volume do picnômetro deve ser devidamente calibrado com água destilada.

$$V_{\text{pic}} = \frac{m_{\text{agua}}}{\rho_{\text{agua}, 25^\circ\text{C}}} \quad [3.2]$$

3.2 - Metodologia para Obtenção dos Dados Reológicos

As medidas reológicas foram feitas em um viscosímetro de cilindros concêntricos HAAKE Rotovisco RV20 com sistema de medição HAAKE CV20. O sistema de cilindros utilizado foi o modelo Haake ZA30, cujas especificações estão na tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Características do sistema de cilindro

Características	Sensor ZA30
Viscosidade (mPa.s)	1- 10 ⁴
Taxa de deformação (s ⁻¹)	0,3-300
Volume da amostra (cm ³)	5
Espaçamento "gap"(mm)	1,085
Diâmetro do copo (mm)	30,0
Diâmetro do cilindro interno (mm)	27,83
Altura do cilindro interno (mm)	26,9

Fonte: Haake (1989, 1990)

Para obtenção das concentrações desejadas (°Brix) para os estudos, as amostras concentradas foram diluídas em água destilada e a correção do °Brix foi feita usando-se um refratômetro modelo ZEISS à temperatura de 20°C.

Antes do início da tomada dos dados experimentais, esperou-se o sistema atingir a temperatura desejada no estudo, que foi controlada por um banho termostático Haake C, com capacidade para operar na faixa de + 5 a + 95°C ($\pm 0,02^\circ\text{C}$). Acoplado ao equipamento existe um microcomputador onde está instalado o software Rotovisco Rotation versão 2.3 que comanda as operações do sistema.

Para a obtenção dos dados experimentais foram seguidas algumas etapas:

- 1 - Os valores dos passos foram de 40 pontos para a subida e de 40 pontos para a descida;
- 2 - a taxa de deformação utilizada variou de 0 a 200 s⁻¹ em 2 minutos na subida e de 200 a 0 s⁻¹ num tempo de 2 minutos para a descida.

No momento em que a amostra ia sendo colocada no copo de medida, tomou-se o cuidado para que o volume fosse o suficiente para deixar o cilindro interno mergulhado na amostra, evitando assim falhas durante o cisalhamento. As amostras foram homogeneizadas cuidadosamente para que não se formassem bolhas e transferidas para o copo vagarosamente. Em alguns casos houve a formação de bolhas na superfície que foram eliminadas. Todas as amostras foram feitas em duplicata e a faixa de trabalho estudada foi de +10 a + 50°C.

CAPÍTULO 4

MANGA

4.1. Introdução

A manga é considerada entre as três mais importantes frutas tropicais do mundo, após a banana e o abacaxi. Seu fino sabor e aroma, sua coloração e seu valor nutritivo tornaram-na favorita do homem desde as épocas mais remotas.

Nativa da Ásia tropical, a manga ou *Mangífera indica L.*, é hoje cultivada nas regiões tropicais e subtropicais da Ásia, África e das Américas.

O Brasil é o segundo maior produtor mundial, sendo o Nordeste a principal região produtora (MEDINA et alli, 1981). No Brasil são cultivadas as variedades Bourbon, Carlota, Coquinho, Espada, Rosa, e a partir da década de 60 foram introduzidas as variedades norte-americanas Tommy Atkins e a Haden.

A manga possui propriedades medicinais como laxativa, diurética e revigorante. É provavelmente a fonte natural mais rica em caroteno, precursor da vitamina A; contém também quantidade apreciável de ácido ascórbico (vitamina C) quando em estado verde, que diminui progressivamente com a maturação da fruta (MEDINA et alli, 1981).

Sua composição química é constituída principalmente de água, carboidratos, ácidos orgânicos, sais minerais, proteínas, vitaminas e pigmentos. Os açúcares totais variam de 10 a 24 %, segundo a variedade. A maior percentagem de açúcares está na forma de sacarose, seguindo a frutose e a glicose. A acidez total da fruta na forma de ácido cítrico ou málico nas frutas verdes variam de 0,67 até 3,66 % e nas maduras de 0,17 a 0,56 % (MEDINA et alli, 1981).

A tabela 4.1 apresenta os resultados médios das análises químicas de algumas variedades de manga cultivadas no estado de São Paulo.

Tabela 4.1 - Resultados de análises químicas de algumas variedades de manga cultivadas no Estado de São Paulo (MEDINA et alli, 1981).

Variedades	°Brix	pH	Acidez (% ácido citríco)	Açúcares Redutores (%)	Açúcares Totais (%)	Vitamina C (mg ac.asc/100g)
Alda	11,90	4,15	0,48	4,74	10,18	58
Bourbon	18,70	4,40	0,39	7,06	18,09	22
Carlota	18,60	4,55	0,29	5,39	15,14	35
Coquinho	19,70	4,60	0,38	4,85	17,58	33
Espada	18,00	4,90	0,21	4,10	15,88	16
Haden	19,00	4,70	0,21	4,20	14,95	17
Rosa	16,60	4,20	0,64	7,77	14,32	94

A pectina é encontrada na parede celular juntamente com outros componentes como os carboidratos, celulose e hemicelulose, que constituem a estrutura da célula. A maior transformação química que a célula sofre durante a fase de maturação da fruta é a degradação da pectina com a redução do tamanho molecular e a sua esterificação (MEDINA et alli, 1981). Na tabela 4.2 são apresentadas as transformações ocorridas com a pectina na fase de maturação da fruta.

Tabela 4.2 - Transformações da pectina e das frações pécticas durante a fase de maturação da fruta.

Dias após a colheita	Resíduo insolúvel em álcool (%)	Pectina Total (mg %)	Pectina solúvel em água (mg %)	Protopectina (mg %)
1	11,45	1,260	0,716	0,532
8	5,10	0,955	0,590	0,357
14	2,30	0,690	0,552	0,130

Fonte : Medina et alli, 1981

A manga é consumida em quase sua totalidade "in natura". Os produtos que são colocados no mercado são a manga em calda, néctar, suco de manga, geléias, etc. O Brasil produziu no ano de 1992 cerca de 389000 toneladas e exportou 9100 toneladas de manga.

Os maiores exportadores de frutas frescas são: Brasil, Filipinas, Tailândia, Índia, Jamaica e Quênia. Dos produtos de manga os maiores exportadores são: Índia, República Sul-Africana, Jamaica, Egito, China. Os principais países consumidores das frutas frescas são o Reino Unido, França e a Suíça (MEDINA et alli, 1981).

Nos países desenvolvidos tem-se o hábito de incluir às refeições frutas frescas e de ótima qualidade. No Brasil além do consumo ser baixo, o consumidor brasileiro não é tão exigente quanto à qualidade da fruta. O desperdício é bastante alto, e tentando diminuir cada vez mais as perdas por transporte e armazenagem inadequadas das frutas, as empresas começaram a se interessar na transformação das mesmas em sucos, onde o mercado é mais amplo e o produto acaba chegando tanto no mercado interno quanto no externo com maior qualidade, menores perdas com transporte e armazenagem, gerando assim maiores lucros.

O fluxograma básico do processamento da produção do suco concentrado de manga está apresentado no Apêndice A.

4.2. - Resultados

4.2.1. - Características Física e Químicas do Suco de Manga

O suco de manga utilizado na determinação das características física e químicas e no estudo do comportamento reológico, foi cedido pela empresa **UTIARA S/A**, congelado e concentrado. As diversas análises realizadas e os resultados obtidos, estão na tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Composição química média do suco de manga

Análises químicas	Resultados*
pH	3,49
°Brix	28,1
Cinzas (%)	0,709 ± 0,003
Sólidos Totais (%)	27,883 ± 0,077
Acidez Titulável (% ácido cítrico)	1,145 ± 0,003
Açúcares redutores (%)	10,050 **
Açúcares totais (%)	24,170 **

* média de 3 amostras ** as três amostras tiveram o mesmo resultado

Para efeito de comparação, embora a composição química seja afetada pelo grau de maturação e sua variedade, a tabela 4.4 apresenta os valores da composição química de dois sucos de manga obtidos por GUNJAL & WAGHMARE (1987).

Tabela 4.4 - Composição química do suco de manga das variedades " Baneshan " e " Neelum ".

Análises químicas	Baneshan	Neelum
°Brix	20	20
Acidez Titulável (% ácido cítrico)	0,3	0,3
Açúcares Redutores (%)	5,7	4,5
Açúcares Totais (%)	18,2	18,1

Os teores de pectina contidos no suco de manga, foram determinados através do Método do Carbazol (Cap.3). A pectina é um polissacarídeo que junto com a celulose e a hemicelulose formam o material estrutural das paredes dos vegetais. As pectinas são formadas por cadeias de ácido poligalacturônico, com grau variável de esterificação dos seus grupos carboxílicos. Em água formam soluções altamente viscosas e mesmo em pequenas concentrações podem formar géis com açúcar e ácido. As pectinas são hidrolisadas e degradadas por ácidos, soluções aquosas de alcális ou amônia. Em meio ácido ocorre a desmetoxilação dos grupos esterificados e em meio alcalino ocorre a desmetoxilação rápida (BOBBIO & BOBBIO, 1984).

O comportamento reológico do suco e seu grau de geleificação estão diretamente relacionados com o teor de pectina contido no mesmo, por isso a importância de sua determinação. A tabela 4.5 apresenta os valores das frações pécticas extraídas com água, oxalato de amônio e solução de hidróxido de sódio 1N.

Tabela 4.5 - Teor de pectina na forma de ácido galacturônico (AGA)

Fase solúvel em	% AGA *
Água	0,830 ± 0,025
Oxalato de amônio	0,051 ± 0,042
Hidróxido de sódio 1 N	0,045 ± 0,005

* média de 2 amostras

GUNJAL & WAGHMARE (1987), determinaram os valores dos teores de pectina para os sucos das variedades " Baneshan " e " Neelum ", que estão apresentados na tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Teores de pectina contidos nas variedades " Baneshan " e " Neelum ", para a concentração de 20 °Brix.

Pectina (Pectato de cálcio) (mg/100g)	
Baneshan	Neelum
0,35	0,38

Foram determinadas as densidades do suco a várias concentrações à temperatura de 25° C. A densidade é um dos parâmetros usados pelas indústrias no controle da qualidade do produto final e importante também, no dimensionamento de equipamentos. No laboratório as densidades são padronizadas e usadas como referências para o produto final e também usada no controle da estocagem dos sucos. A tabela 4.7 e a figura 4.1 apresentam os valores obtidos das densidades do suco de manga a várias concentrações de sólidos solúveis (°Brix).

Tabela 4.7 - Densidade do suco de manga a várias concentrações.

Concentração (°Brix)	Densidade * (g/cm ³)
10	1,054 ± 0,001
15	1,075 ± 0,002
20	1,096 ± 0,002
25	1,103 ± 0,038

* média de 2 amostras

A equação que relaciona a densidade (g/cm³) em função da concentração de sólidos solúveis (°Brix), pode ser expressa por:

$$\rho = 0,9847 + 0,00826 \text{ } ^\circ\text{Brix} - 1,4.10^{-4} \text{ } ^\circ\text{Brix}^2$$

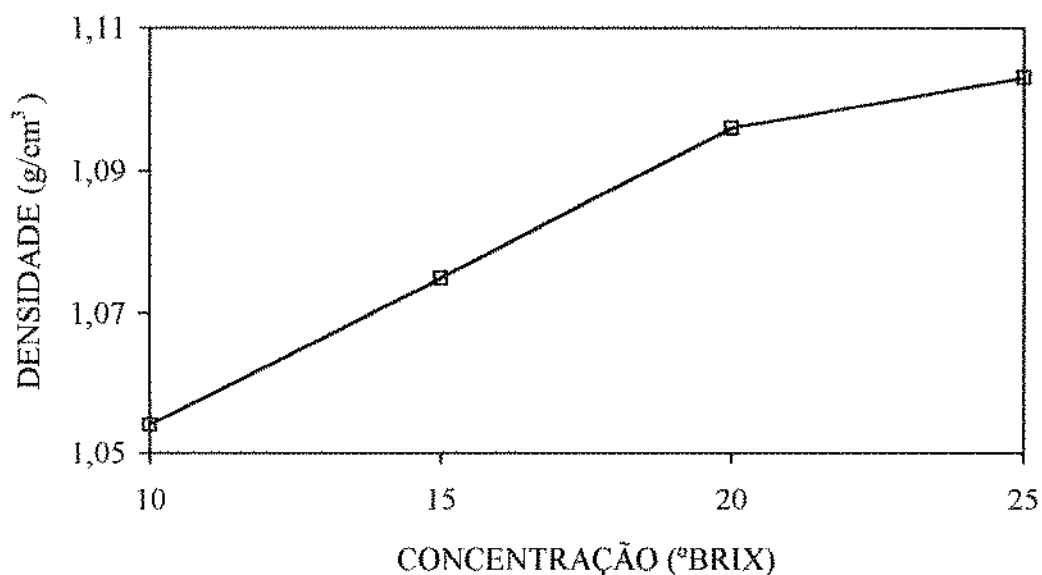


Figura 4.1 - Resultados da densidade em função do °Brix para o suco de manga.

4.2.2. Caracterização Reológica

Para estudar o comportamento reológico do suco de manga, experimentos em duplicata foram realizados numa faixa de concentração de 10 a 28 °Brix e temperatura entre 10 a 50°C. A tabela 4.8 apresenta as concentrações e as temperaturas usadas para a construção dos reogramas (gráfico da tensão de cisalhamento vs taxa de deformação). Os dados da tensão de cisalhamento e da taxa de deformação foram obtidos em um reômetro de cilindros concêntricos - Haake Rotovisco RV20 - com sistema de medição Haake CV20, disponível na Faculdade de Engenharia de Petróleo da Unicamp. Para conclusão, foram analisados o comportamento de duas amostras verificando-se boa reprodutibilidade (Apêndice G).

As leituras do reômetro foram obtidas em forma contínua desde baixa taxa de deformação até a maior (200 s^{-1}) em forma ascendente e posteriormente em ordem decrescente até uma tensão mínima a uma taxa de deformação de $0,250 \text{ s}^{-1}$.

4.2.2.1- Análise dos Reogramas

Para discussão e correlação dos dados foram utilizados apenas os pontos das curvas descendentes, que se apresentaram de forma mais regular e representam a estrutura de equilíbrio. Nas curvas ascendentes verifica-se uma tensão máxima para taxa de deformação abaixo de 50s^{-1} , como pode ser observado na figura 4.2. Este efeito aumenta em função da aparição de uma tensão de cisalhamento inicial, que é proporcional à concentração. Isto poderia ser explicado devido ao fato do suco ser um sistema bifásico (partículas sólidas em meio aquoso), apresentando uma estrutura formada por moléculas de cadeias grandes, partículas solvatadas ou agregadas que ao serem submetidas à aplicação de forças externas, se distorcem ou se rompem de forma irreversível ou ainda, devido ao problema de decantação e suspensão de partículas.

Segundo PEARSON (1994) um modelo simples, tixotrópico com tensão de cisalhamento inicial, verificado experimentalmente para suspensões gelantes, pode explicar muito bem o fenômeno. O autor verifica matematicamente a aparição de máximo, nos períodos não estacionários de estabelecimento dos perfis de tensão ou seja, no início do experimento, quando se verifica o comportamento reológico mencionado anteriormente.

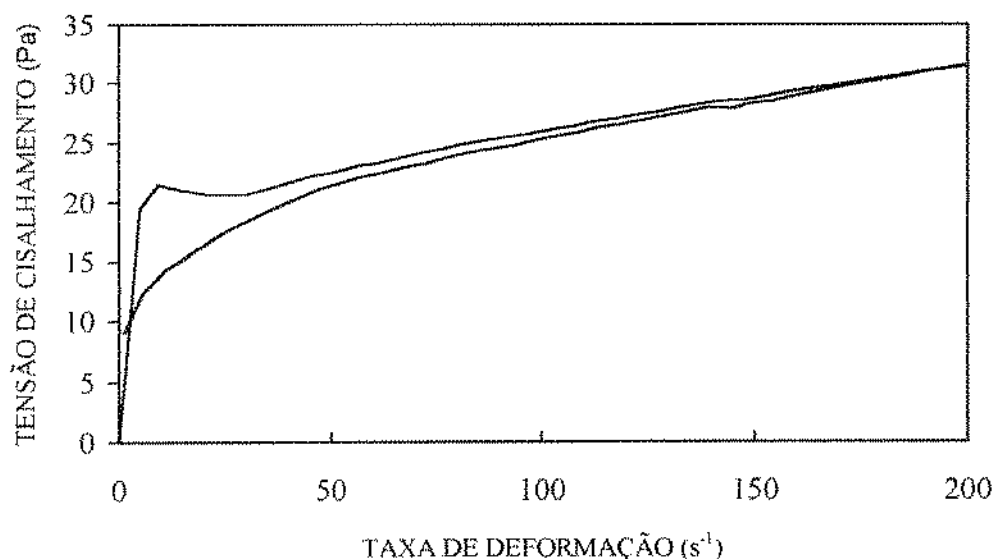


Figura 4.2 - Reograma do suco de manga $T = 40^{\circ}\text{C}$ e 28°Brix .

Tabela 4.8 - Concentrações e Temperaturas usadas para a construção dos reogramas.

Concentração (°Brix)	Temperatura (°C)
10	10
	20
	30
	40
	50
15	10
	20
	30
	40
	50
20	10
	20
	30
	40
	50
25	10
	20
	30
	40
	50
28	10
	20
	30
	40
	50

Na análise de todos os reogramas verifica-se que as curvas ascendentes e descendentes não coincidem, aparecendo um "loop" de histerese, devido ao desarranjo estrutural causado pelo cisalhamento. A tabela 4.9 apresenta os tipos de comportamento verificados. Os resultados apresentam uma certa tendência em função da temperatura e concentração. A baixas temperaturas, nota-se um comportamento levemente reopético. Entretanto, este comportamento não é usualmente verificado em purês de frutas. Uma hipótese seria deste efeito ter sido propiciado devido a decantação de sólidos. Na medida que a temperatura aumenta, independente da concentração, o fluido passa a apresentar uma característica tixotrópica. Este comportamento não parece muito claro, e poderia ser simplesmente devido a uma homogeneização da temperatura na amostra durante a curva ascendente, ou realmente a formação de uma estrutura na amostra que é função desta variável.

A análise deste comportamento merece um estudo mais detalhado. Na literatura, alguns autores têm verificado uma leve tixotropia em purês de frutas.

4.2.2.2. Obtenção dos Parâmetros Reológicos

A figura 4.3 apresenta os resultados obtidos experimentalmente (curva descendente) da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de manga à 28°Brix e temperaturas entre 10 a 50°C. O Anexo B apresenta as figuras correspondentes (B1 a B4) para concentrações de 10, 15, 20 e 25°Brix. Observa-se para todas as concentrações analisadas uma tensão de cisalhamento inicial e um comportamento suave em função da temperatura, verifica-se ainda, o esperado aumento da tensão ($\dot{\gamma}$ = constante) na medida que a temperatura decresce.

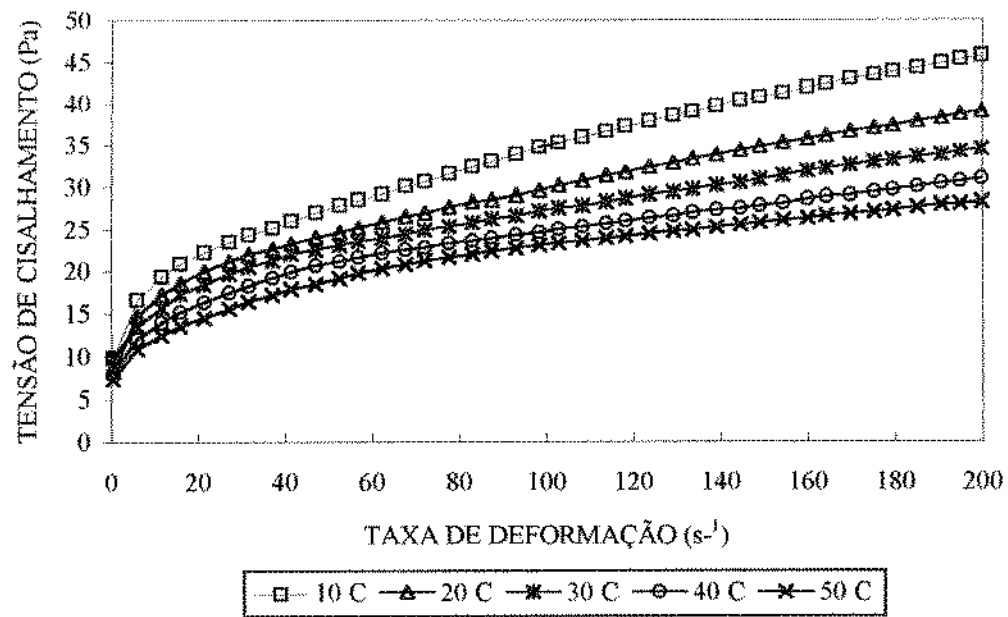


Figura 4.3 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de manga a 28°Brix à várias temperaturas.

Tabela 4.9 - Análise do comportamento apresentado pelo suco de manga a várias concentrações e temperatura variando de 10 a 50 °C.

Concentração (°Brix)	Temperatura (°C)	Comportamento
10	10	Reopético
	20	Reopético
	30	Reopético
	40	Tixotrópico
	50	Tixotrópico
15	10	Reopético
	20	Reopético
	30	Curvas coincidentes
	40	Tixotrópico
	50	Tixotrópico
20	10	Reopético
	20	Reopético
	30	Curvas coincidentes
	40	Tixotrópico
	50	Tixotrópico
25	10	Reopético
	20	Reopético
	30	Curvas coincidentes
	40	Tixotrópico
	50	Tixotrópico
28	10	Reopético
	20	Tixotrópico
	30	Tixotrópico
	40	Tixotrópico
	50	Tixotrópico

Os dados obtidos para cada concentração e temperatura foram correlacionados através de três modelos matemáticos: o da Lei da Potência ou Modelo de Ostwald-de-Waele, o Modelo de Herschel-Bulkley e o Modelo de Casson (equações 2.2, 2.3 e 2.4 respectivamente).

Os parâmetros de cada modelo foram determinados utilizando-se o software **ORIGIN** versão 3.0, através de regressão não linear.

A figura 4.4 apresenta os resultados experimentais da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de manga na concentração de 28°Brix e 20°C. Graficamente observa-se que o modelo de Herschel-Bulkley se ajusta melhor aos dados experimentais, análise esta que será confirmada com os resultados estatísticos apresentados a seguir. Os gráficos para as outras concentrações e temperaturas estão apresentados no Apêndice C.

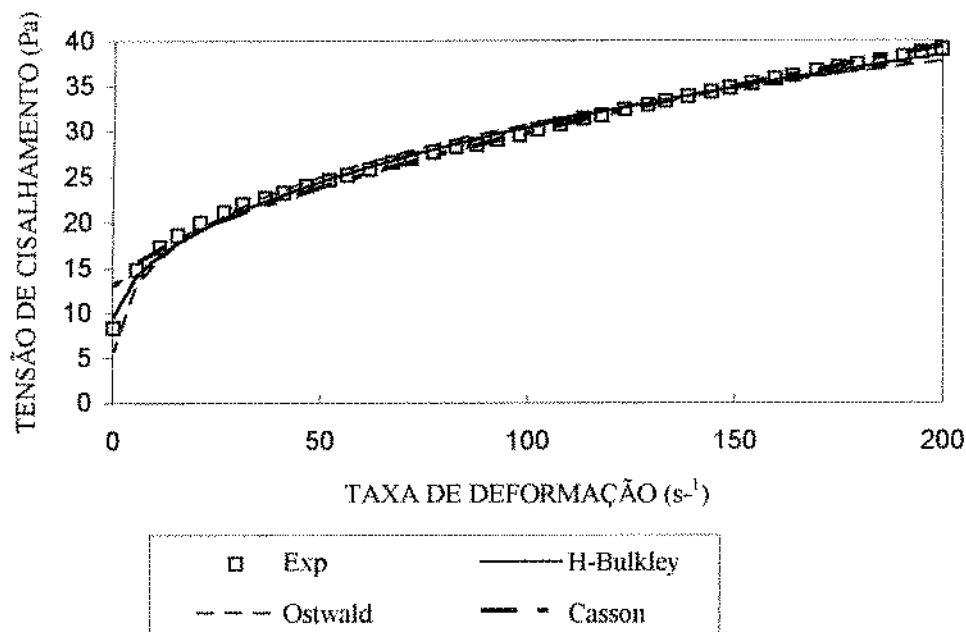


Figura 4.4 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de manga a 28°Brix e 20°C.

Na decisão do modelo mais adequado ou seja, o melhor ajuste dos dados experimentais aos modelos sugeridos, foram analisados os valores de R^2 (porcentagem de variação explicada) definido como a razão entre a soma quadrática da regressão pela soma quadrática total, e pelo teste de Qui-quadrado (χ^2) que expressa a diferença entre os valores previstos pelo modelo e os valores obtidos experimentalmente. Assim, o modelo mais adequado, é aquele com altos valores de R^2 e baixos valores de χ^2

As equações de R^2 e χ^2 estão definidas nas equações 4.1a e 4.1b respectivamente (SPIEGEL, 1994).

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} = \pm \sqrt{\frac{\sum (y_{pre} - \bar{y})^2}{\sum (y_{obs} - \bar{y})^2}} \quad [4.1a]$$

$$\chi^2 = \sum (y_{obs} - y_{pre})^2 \quad [4.1b]$$

onde: SQR = soma quadrática devido a regressão (variação explicada)

SQT = soma quadrática total (variação total)

y_{obs} = valor observado ou experimental

y_{pre} = valor previsto pelo modelo.

$\bar{y}$ = média amostral

A tabela 4.10 apresenta os parâmetros τ_0 , **K** e **n**, seus respectivos erros e os valores de R^2 e χ^2 . As tabelas referentes ao ajuste dos parâmetros através dos modelos de Ostwald e Casson estão apresentadas no Apêndice B.

Comparando-se os valores de R^2 e χ^2 para o ajuste dos três modelos, observa-se para todas as condições estudadas que o modelo de Herschel-Bulkley é o que apresenta os maiores valores de variação explicada e os menores χ^2 .

Analisando-se os resultados expressos na tabela 4.10, verifica-se que, a uma dada concentração, o aumento da temperatura provoca uma diminuição dos valores da tensão de inicial (τ_0). Isto é observado para concentrações de 15 a 28°Brix, mas ao mesmo tempo os valores de τ_0 aumentam com o aumento da concentração do suco. No caso do suco a 10°Brix não há uma tendência definida, provavelmente devido aos valores muito baixos de τ_0 obtidos.

Para o índice de consistência (**K**), verifica-se também a diminuição dos valores com o aumento da temperatura para as concentrações de 10, 15 e 20°Brix. Para as concentrações de 25 a 28°Brix, os valores oscilam. No índice de comportamento de fluxo (**n**), os valores tiveram pouca variação com o aumento da temperatura.

Quanto ao conteúdo de sólidos solúveis (°Brix) à temperatura constante, verifica-se que os valores da tensão inicial (τ_0) aumentam com o aumento do conteúdo de sólidos solúveis. Isto pode ser explicado pelo fato do suco ser composto por partículas que podem formar agregados, ou se apresentarem solvatadas ou mesmo formarem estruturas reticulares, e quanto maior o número de partículas maiores são as forças intermoleculares presentes. Essas estruturas armazenam energia a baixas deformações e exibem características de um sólido. Para que o fluido comece a escoar é necessário que se aplique uma tensão finita para que essas ligações se rompam e comecem a escoar.

Observa-se ainda que o índice de consistência (**K**), aumenta com o aumento do conteúdo de sólidos solúveis à temperatura constante. O “**K**” está relacionado com o tamanho das partículas presentes no fluido e mede a resistência à destruição dos agregados pelo

cisalhamento. Os valores do índice de comportamento de fluxo (n) apresentam pequenas variações com o aumento do conteúdo de sólidos solúveis. No entanto, para temperaturas mais altas (40 e 50°C) os valores de n decrescem mais significativamente com o aumento da concentração. Todos os valores de n são menores que a unidade, indicando que o fluido apresenta comportamento pseudoplástico.

Tabela 4.10 - Resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Herchel-Bulkley para o suco de manga a várias temperaturas e concentrações.

Brix	T (°C)	τ_0 (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	Er(τ_0)	Er(K)	Er(n)	χ^2	R ²
10	10	0.38	0.22	0.47	0.05	0.021	0.015	0.001	0.996
	20	0.24	0.26	0.42	0.04	0.022	0.013	0.001	0.997
	30	0.32	0.23	0.43	0.04	0.022	0.015	0.001	0.996
	40	0.37	0.14	0.49	0.04	0.018	0.021	0.001	0.994
	50	0.42	0.08	0.56	0.03	0.010	0.020	0.001	0.995
15	10	1.01	0.72	0.42	0.04	0.022	0.004	0.001	0.999
	20	0.98	0.76	0.40	0.04	0.026	0.005	0.001	0.999
	30	0.99	0.63	0.41	0.06	0.030	0.007	0.001	0.999
	40	0.92	0.46	0.44	0.03	0.014	0.005	0.001	0.999
	50	1.05	0.26	0.51	0.03	0.012	0.008	0.001	0.999
20	10	2.59	1.40	0.43	0.07	0.036	0.004	0.003	0.999
	20	2.23	1.66	0.39	0.09	0.053	0.005	0.004	0.999
	30	2.33	1.49	0.39	0.08	0.049	0.005	0.003	0.999
	40	1.93	1.21	0.40	0.08	0.047	0.006	0.004	0.999
	50	1.92	0.84	0.44	0.05	0.028	0.005	0.002	0.999
25	10	6.118	2.16	0.46	0.33	0.153	0.011	0.063	0.998
	20	4.73	2.67	0.40	0.32	0.182	0.010	0.057	0.998
	30	4.72	2.79	0.38	0.29	0.171	0.009	0.040	0.998
	40	3.18	3.09	0.34	0.24	0.157	0.007	0.023	0.999
	50	2.96	1.91	0.40	0.15	0.085	0.006	0.012	0.999
28	10	9.76	2.52	0.50	0.54	0.224	0.014	0.225	0.997
	20	7.71	2.98	0.44	0.64	0.319	0.017	0.250	0.995
	30	6.91	3.38	0.39	0.59	0.331	0.014	0.110	0.997
	40	4.32	4.27	0.34	0.42	0.273	0.009	0.046	0.998
	50	4.09	3.65	0.351	0.32	0.204	0.008	0.034	0.999

As figuras 4.5 a 4.9 apresentam os valores de τ_0 , K e n em função da concentração para as diversas temperaturas estudadas, para melhor visualização das tendências de comportamento discutido acima.

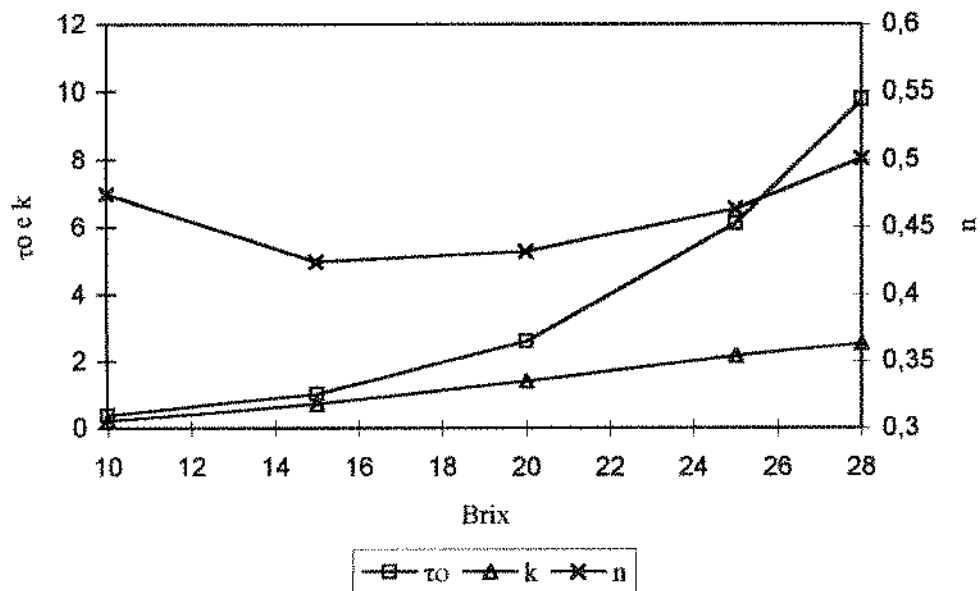


Figura 4.5 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração ($^{\circ}$ Brix) para temperatura de 10°C .

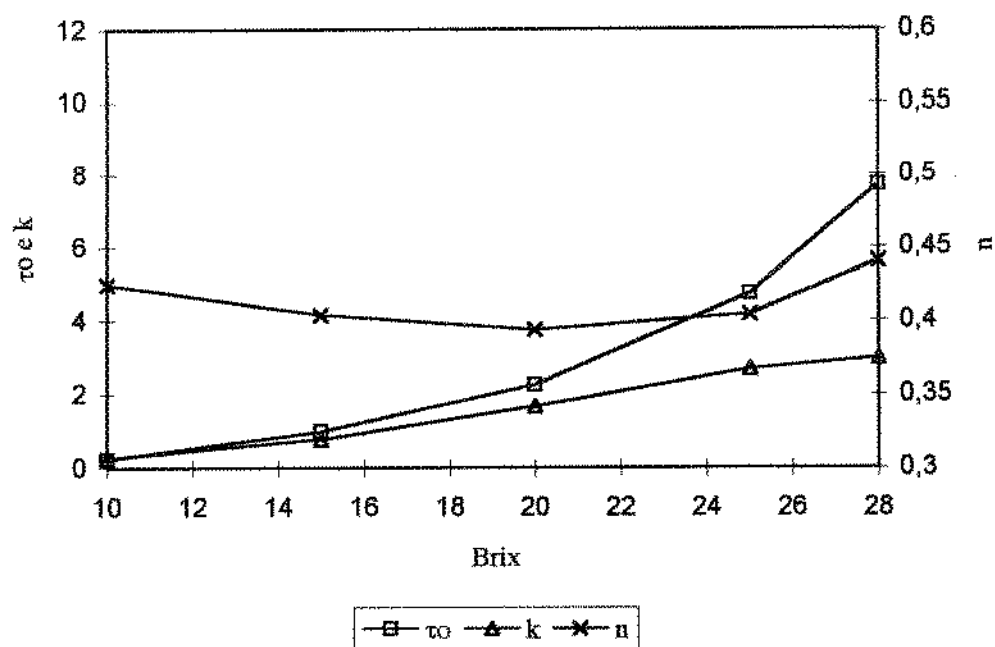


Figura 4.6 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 20°C.

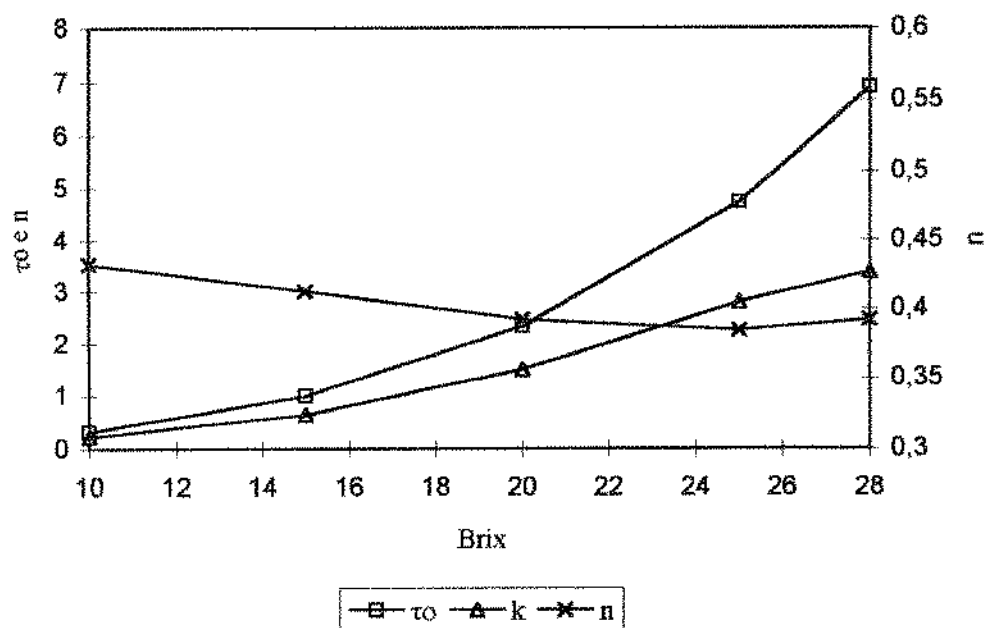


Figura 4.7- Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 30°C.

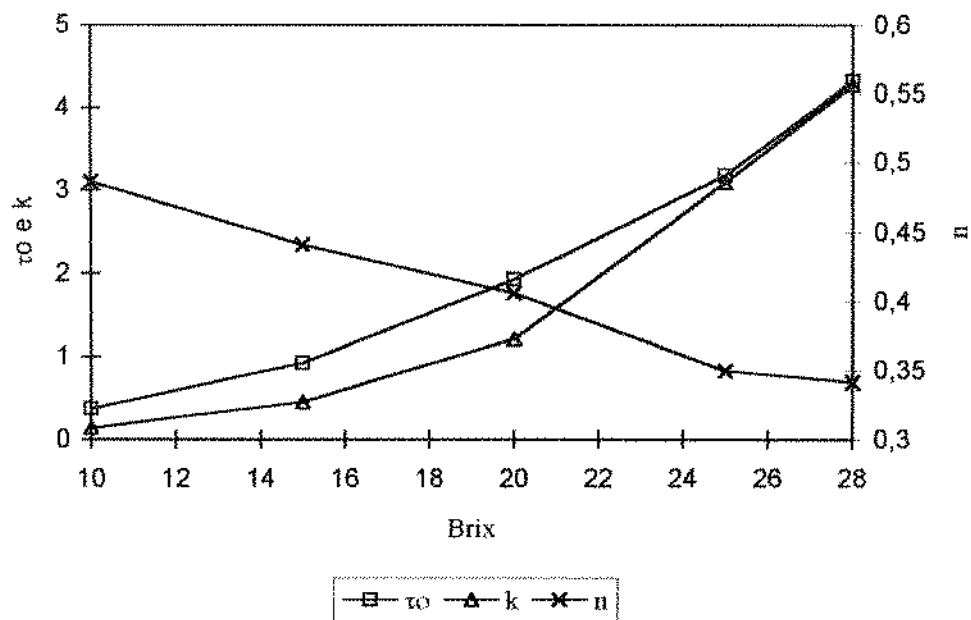


Figura 4.8 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 40°C.

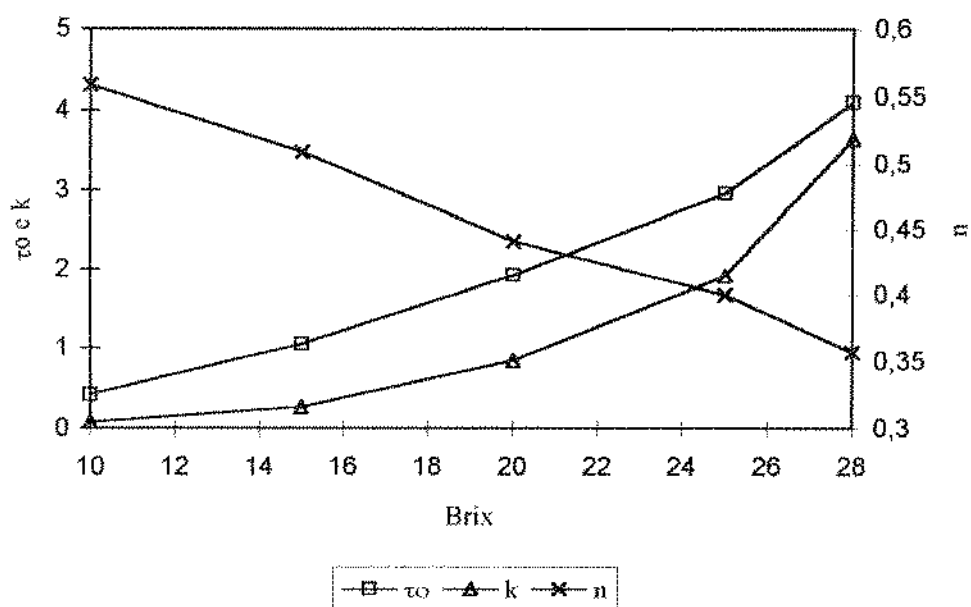


Figura 4.9 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 50°C.

Na literatura, alguns trabalhos sobre purês e concentrados de manga (RAO et alli, 1985), apresentam o comportamento reológico de polpas de manga a várias concentrações (11-26° Brix) na faixa de 25 a 60°C. Os autores utilizaram um reômetro de cilindros concêntricos Rheotest 2, com taxa de deformação de 10 a 100 s⁻¹. Os dados obtidos experimentalmente foram correlacionados através do modelo da Lei da Potência. A tabela 4.11 apresenta os valores de **K** e **n** para diferentes concentrações à temperatura constante de 25°C.

Tabela 4.11 -Coeficientes determinados experimentalmente a diferentes concentrações à temperatura de 25°C.

Concentração (° Brix)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)
11	5,6	0,33
14	8,0	0,30
16	10,0	0,32
20	11,0	0,29
26	20,0	0,33

Variedade: Manga Alphonso, composição não determinada

Verifica-se que os valores do índice de consistência (**K**), também aumentam com o aumento do conteúdo de sólidos solúveis à temperatura constante. Os valores de **n** apresentam pequenas variações.

MANOHAR et all (1990), estudaram as propriedades de escoamento dos concentrados de polpa de manga a várias concentrações (16-30°Brix) e faixa de temperatura de 30 a 70°C, com vários conteúdos de pectina (0,0323-0,1349 % fração seca). Os autores utilizaram um reômetro de cilindros concêntricos, trabalhando a taxas de deformação entre 9,4 a 250 s⁻¹. A tabela 4.12 apresenta os valores dos parâmetros **K** e **n**, para o modelo da Lei da Potência, para concentrados de polpa de 16 a 30°Brix à temperatura de 30°C .

Tabela 4.12 - Valores experimentais de **K** e **n** para polpa de manga
T = 30 °C.

°Brix	K (Pa.s ⁿ)	n (-)
16	5,129	0,295
20	7,944	0,278
25	9,825	0,291
30	19,296	0,283

Variedade: Manga Totapuri. Composição: 16 °Brix, acidez: 0,24, açúcares totais: 13,7%, pectina: 6,04 mg/100g.

Observa-se também que os valores de **K** aumentam com o aumento da concentração de sólidos solúveis e os valores de **n** apresentam pequenas variações.

Ambos os autores mencionados, correlacionaram seus dados pela Lei da Potência, visto que pelo método de medida utilizado não pode verificar-se a existência de uma tensão de cisalhamento inicial. Os valores das constantes obtidas por estes autores podem ser comparados com os obtidos neste trabalho (tabela 4.13) utilizando este modelo. Para as outras temperaturas analisadas os resultados se encontram no Apêndice B.

Tabela 4.13 - Valores experimentais de **K** e **n** para o suco de manga (T =30°C)
obtidos neste trabalho.

°Brix	K (Pa.s ⁿ)	n (-)
10	0,40	0,35
15	1,24	0,31
20	3,01	0,29
25	6,00	0,27
28	8,00	0,27

Composição: 28°Brix, Acidez: 1,14 (%), Açúcares Totais: 24,17 (%), Pectina: 0,93g/100g.

Pode-se observar que os valores de **n** são razoavelmente coincidentes, apesar das diferentes variedades de manga utilizadas em cada trabalho. Porém, o mesmo não ocorre para

os valores do índice de consistência que apresenta ter uma dependência mais forte da variedade do fruto, seu grau de maturação, o teor de pectina e o teor de polpa na composição do suco.

4.2.2.3. Correlação dos Parâmetros em Função da Temperatura e Concentração

Anteriormente (item 4.2.2.2) verificou-se que a temperatura e a concentração são dois fatores que afetam os valores dos parâmetros reológicos. Nos processos industriais onde envolvem tratamento térmico e concentração de fluidos, a correlação dos parâmetros reológicos em função dessas variáveis pode ser muito útil.

Para verificar o modelo mais adequado do efeito da temperatura e da concentração nos parâmetros τ_0 , K e n , foram propostas quatro equações, cuja forma é o produto das contribuições individuais de cada parâmetro. Para a temperatura (Kelvin) testou-se uma relação exponencial e para a concentração (Brix) a de potência. As quatro equações testadas para τ_0 , K e n foram as mesmas e estão relacionadas abaixo:

$$y = \exp^{a_1 T} \cdot C^{a_2} \quad [4.2]$$

$$y = a_1 \exp^{a_2 T} \cdot C^{a_3} \quad [4.3]$$

$$y = \exp^{a_1 / T} \cdot C^{a_2} \quad [4.4]$$

$$y = a_1 \exp^{a_2 / T} \cdot C^{a_3} \quad [4.5]$$

onde: $y = \tau_0$ ou K ou n e a_1 , a_2 e a_3 , são constantes a serem determinadas.

A faixa de temperatura e concentração que foram consideradas no estudo da correlação foram de 20 a 50°C e 15 a 28°Brix respectivamente (Tabela 4.14). A temperatura de 10°C e 10°Brix foram descartadas pois foram afetadas pelos erros de medida.

As constantes das equações foram obtidas através de regressão não linear usando-se o software **STATISTICA** versão 5.0 baseado no método Hooke-Jeeves e quasi Newton.

A tabela 4.15 apresenta os resultados obtidos dos parâmetros a_1 , a_2 e a_3 para τ_0 , K e n , para as quatro equações estudadas, bem como o coeficiente de correlação (R), a porcentagem de variância explicada (R^2) e o teste de χ^2 definido anteriormente nas equações 4.1a e 4.1b (SPIEGEL, 1994).

Tabela 4.14 - Valores de τ_0 , K e n em função da temperatura e concentração.

C (°Brix)	T (K)	τ_0 (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)
15	293	0.98	0,76	0,40
15	303	0.99	0,631	0,41
15	313	0.92	0,45	0,44
15	323	1.04	0,26	0,50
20	293	2.24	1,65	0,39
20	303	2.30	1,49	0,39
20	313	1.93	1,20	0,40
20	323	1.92	0,83	0,44
25	293	4.73	2,66	0,40
25	303	4.72	2,79	0,38
25	313	3.18	3,09	0,34
25	323	2.96	1,91	0,40
28	293	7.71	2,97	0,44
28	303	6.91	3,38	0,39
28	313	4.32	4,27	0,34
28	323	4.10	3,65	0,35

Tabela 4.15 - Resultados dos parâmetros obtidos para τ_0 , K e n em função da temperatura (Kelvin) e concentração (°Brix) para as quatro equações propostas.

Equação	Parâmetros obtidos para equações de τ_0			R	R ² (%)	χ^2
	a ₁	a ₂	a ₃			
4.2	-0,0243	2,748	-	0,97	94,9	3,31
4.3	0,0849	-0,0199	3,098	0,98	96,3	2,42
4.4	-1088,8	1,442	-	0,67	45,0	36,0
4.5	4,4.10 ⁻⁷	1858,2	3,097	0,98	96,2	2,49
Equação	Parâmetros obtidos para equações de K			R	R ² (%)	χ^2
	a ₁	a ₂	a ₃			
4.2	-0,0168	1,895	-	0,85	71,5	6,88
4.3	1,66.10 ⁻⁴	1,96.10 ⁻⁴	2,977	0,95	90,9	2,20
4.4	-1695,3	1,993	-	0,83	69,3	7,41
4.5	1,98.10 ⁻⁴	-58,04	3,000	0,95	90,9	2,20
Equação	Parâmetros obtidos para equações de n			R	R ² (%)	χ^2
	a ₁	a ₂	a ₃			
4.2	-2,4.10 ⁻⁴	-0,272	-	0,58	33,7	0,0166
4.3	0,567	0,0013	-0,245	0,61	37,4	0,0157
4.4	-60,8	-0,232	-	0,60	36,6	0,0159
4.5	1,245	-115,79	-0,245	0,61	37,1	0,0157

Analisando-se os resultados obtidos para τ_0 e K , verifica-se que tanto para equação 4.3 como para equação 4.5 os coeficientes estatísticos estão em boa concordância com altos valores de coeficiente de correlação (0,95 a 0,98 respectivamente), e os mais baixos valores de χ^2 .

Para o índice de comportamento do fluido (n), nenhuma das equações apresentaram um bom ajuste em função da temperatura e concentração, devido não existir uma tendência bem definida deste índice. Provavelmente por isso, que na revisão da literatura não se encontram propostas de modelos para ajuste deste índice.

As figuras 4.10 e 4.11 apresentam os valores de τ_0 e K respectivamente obtidos do modelo de H-B e as superfícies geradas pelo modelo da equação 4.3 que apresentou melhor

correlação destes parâmetros com a temperatura e concentração. Os gráficos tridimensionais possibilitam uma melhor visualização do efeito combinado destas variáveis nos parâmetros de τ_0 e K .

Na figura 4.10 (a) observa-se que a baixas concentrações, a temperatura não tem praticamente nenhuma influência no τ_0 . No entanto, a 25 e 28°Brix ocorre uma queda acentuada em τ_0 . Verifica-se ainda, que para uma determinada temperatura o aumento da concentração provoca um aumento drástico em τ_0 , principalmente para as baixas temperaturas. A figura 4.10 (b) apresenta os valores observados (obtidos pelo ajuste do modelo de H-B), mostrando uma boa concordância entre eles ao nível de 95 % de confiança.

A figura 4.11 (a) apresenta o efeito da temperatura e concentração no índice de consistência, mostrando que a temperatura não tem praticamente nenhuma influência neste parâmetro. No entanto, a concentração é a variável responsável pelo aumento acentuado do índice de consistência. Da mesma forma se observa (figura 4.11b) que os resultados de K obtidos pelo modelo de H-B estão em boa concordância com os valores ajustados pelo modelo que engloba a temperatura e a concentração.

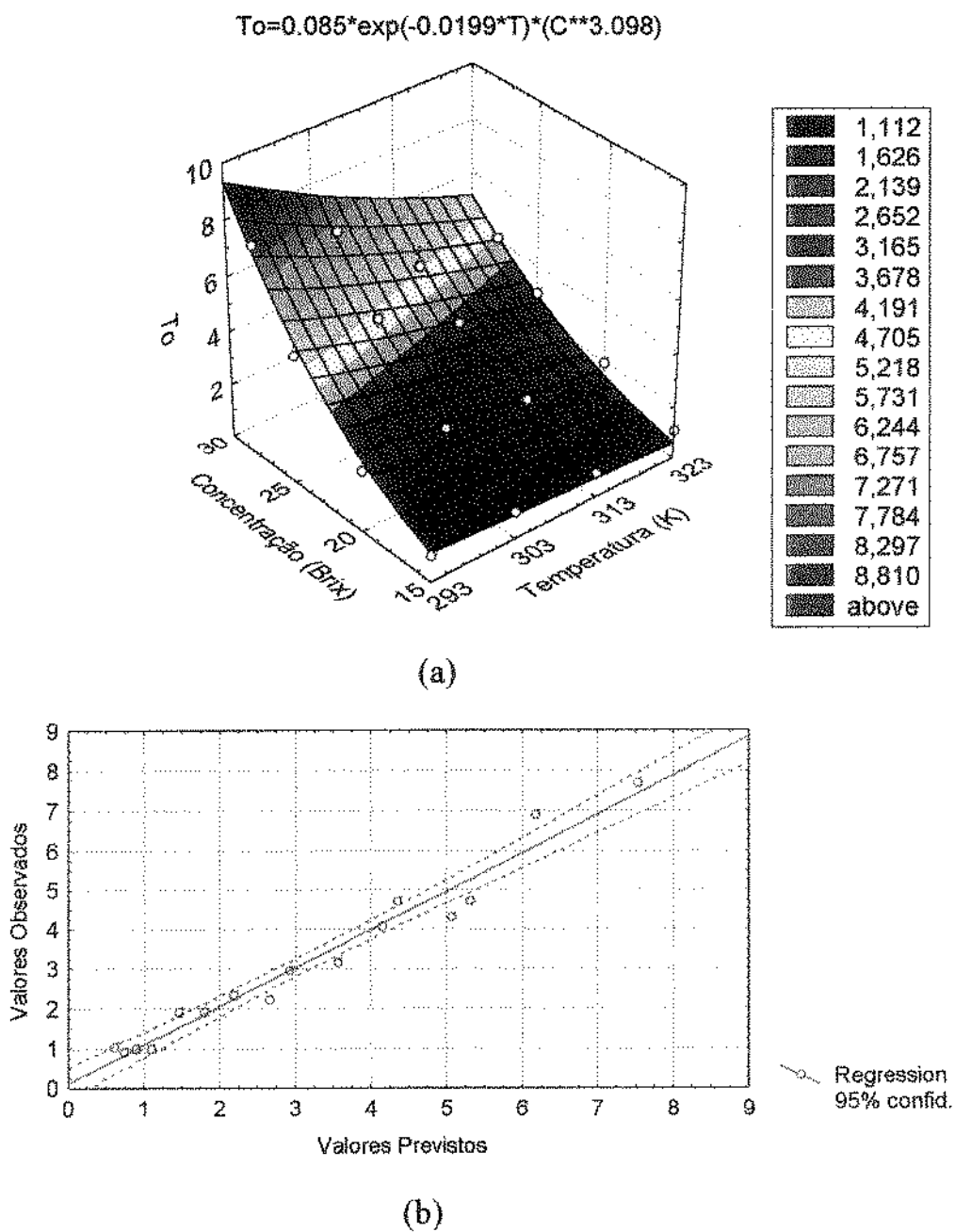


Figura 4.10 - (a) Efeito da temperatura e concentração na tensão de cisalhamento inicial, **(b)-** Valores observados de τ_o (em função do ajuste pelo modelo de H-B) em relação aos valores previstos pelo modelo proposto de τ_o em função da temperatura e concentração (eq.4.3).

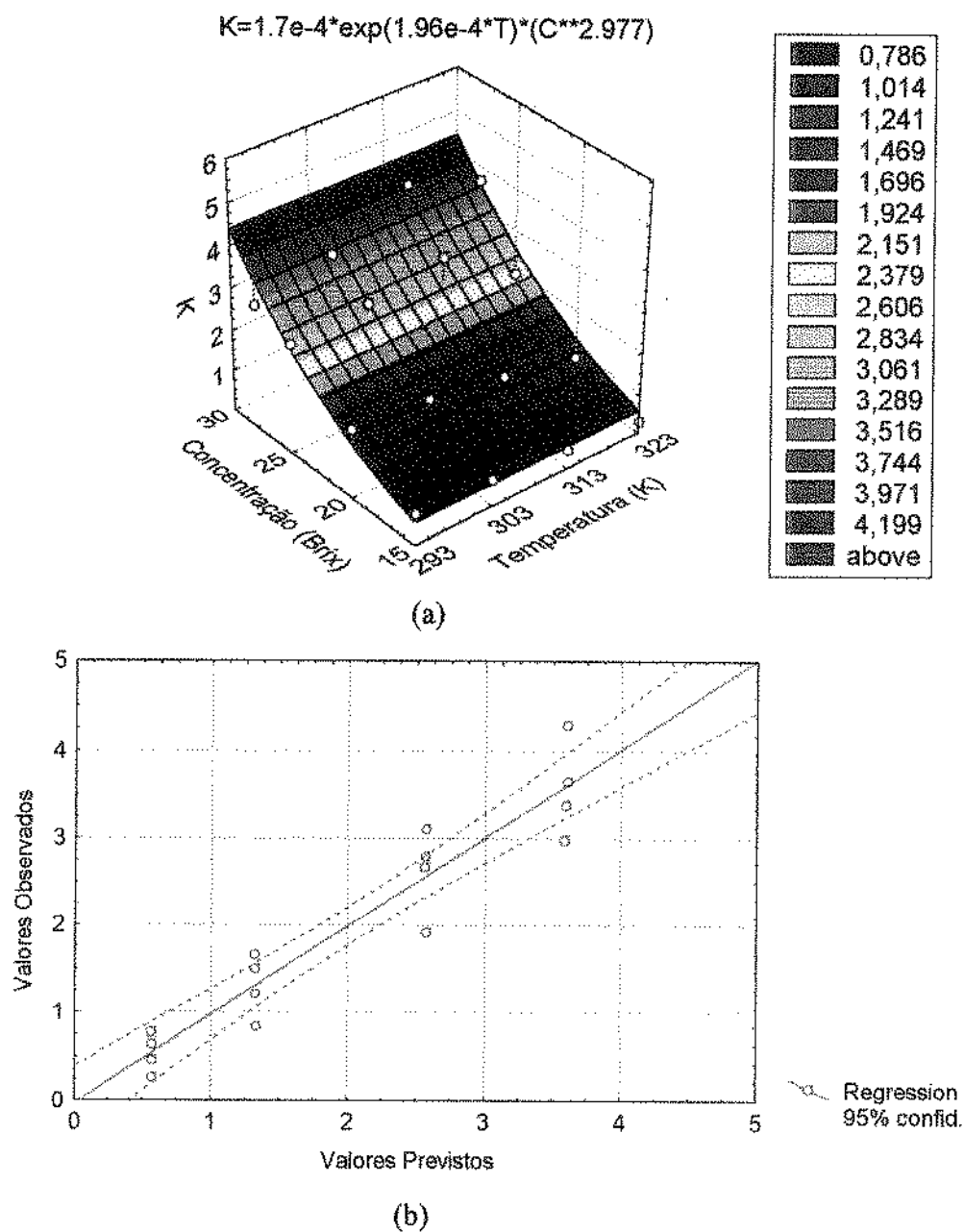


Figura 4.11- (a) Efeito da temperatura e concentração no índice de consistência, (b) - Valores observados de K (em função do ajuste pelo modelo de H-B) em relação aos valores previstos pelo modelo proposto de K em função da temperatura e concentração (eq.4.3).

CAPÍTULO 5

MARACUJÁ

5.1.- Introdução

As frutas do maracujá possuem um sabor particular intenso, forte aroma e devido à sua alta acidez são usadas para a fabricação de bebidas a base de sucos de frutas.

O maracujá pertence à família *Passifloraceae*, que compreende 12 gêneros e mais ou menos 500 espécies. É conhecida também como "fruto da paixão", sendo nativa do sul do Brasil. É também encontrada na Índia, Quênia, Austrália e outros países tropicais (VITALI et alli, 1974).

No Brasil a família é representada por apenas dois gêneros: *Delkea* e *Passiflora*. Dentro do gênero *Passiflora* temos duas variedades de espécies: *Passiflora edulis*, conhecido como maracujá roxo e o *Passiflora edulis f.flavicarpa*, conhecido como maracujá amarelo. A composição química dessas espécies podem variar em função de diversos fatores tais como: espécie, época de colheita, tamanho do fruto, estágio de maturação, manuseio de pós-colheita etc (MEDINA et alli, 1980).

O principal produto obtido do maracujá é o suco. De acordo com HIU & SCHEUER (1961) o sabor e o aroma do suco de maracujá é devido a um óleo insolúvel em água, cuja composição apresenta quatro componentes voláteis: n- hexil caproato, n-hexil butirato, etil caproato e etil butirato, sendo o n-hexil caproato o principal constituinte. Os principais ácidos presentes no suco são: cítrico (maior porcentagem: 93-96 % da acidez total), málico, láctico, malônico e ascórbico. A tabela 5.1 apresenta a composição química do suco natural de maracujá amarelo de acordo com diferentes autores segundo LIRAFILHO (1995).

Tabela 5.1 - Composição química do suco natural de maracujá amarelo.

Determinações	AUTORES			
	FONSECA (1971)	SÉSSA (1985)	GUIMARÃES* (1985)	GARRUTI (1989)
°Brix	15,00	14,00	14,00	13,35
pH	2,90	2,90	3,02	2,60
Acidez Total Titulável (%)	4,26	4,23	4,27	3,64
Cinzas		0,60	0,56	0,67
Açúcares reduzíveis (%)	6,27	4,50	5,37	5,60
Açúcares Totais (%)	7,84	6,54	7,26	6,17

* - análise do suco natural obtido por extração enzimática, logo após o processamento.

A coloração do suco se deve a um complexo de pigmentos caretenóides, no qual predomina o caroteno. As cascas do maracujá tem sido utilizadas na recuperação da pectina, que apresenta um teor de metoxila apropriado para a produção de geléias e são usadas como ração para animais (MEDINA et alli, 1980).

A produção do maracujá no Brasil em 1991, ficou em torno de 380170 toneladas (ANUÁRIO ESTATÍSTICO, 1993). Além do suco, podemos encontrar outros produtos como: batidas e licores, néctar, iogurtes e sorvetes.

Os maiores Estados produtores de maracujá são: o Pará, Bahia, São Paulo e Sergipe (MEDINA et alli, 1980).

Segundo MEDINA et alli (1980) os principais países exportadores do suco de maracujá são: o Quênia, Papúa, Nova Guiné, Fiji e Brasil. Os maiores importadores são os Países da Europa, América do Norte, África, América do Sul e Oceania.

5.2.- Resultados

5.2.1.- Características Físico-Químicas

O suco de maracujá concentrado e congelado a 47,5°Brix também foi cedido pela empresa **UTIRARA S/A**, e o método de obtenção está apresentado no Apêndice A. A metodologia utilizada na determinação das características físico-químicas do suco está descrita detalhadamente no Capítulo 3. A tabela 5.2 apresenta os resultados das análises feitas para o suco de maracujá concentrado, de amostra comercial.

Tabela 5.2.- Composição química do suco de maracujá concentrado

Análises	Resultados *
pH	2,84
°Brix	47,50
Cinzas (%)	2,65 ± 0,0065
Sólidos Totais (%)	45,73 ± 0,1740
Acidez Total (% ác.cítrico)	14,31 ± 0,0091
Açúcares Redutores (%)	16,3 **
Açúcares Totais (%)	22,62 **

* média de 3 amostras

** média de 2 amostras

Para efeito de comparação, a tabela 5.3 apresenta as composições físico-químicas obtidas por GARRUTI (1989) e LIRAFILHO (1995).

Tabela 5.3 - Caracterização físico-química do suco de maracujá.

Análises	GARRUTI (1989)	LIRAFILHO (1995)
Sólidos Solúveis (°Brix)	13,35	15,00
pH	2,60	2,60
Açúcares Totais (%)	6,17	6,80
Açúcares redutores (%)	5,60	3,70
Acidez Total (%ác.cítrico)	3,64	6,60
Cinzas (%)	0,67	0,70

Os teores de pectina contidos no suco de maracujá foram determinados pelo Método do Carbazol, descrito no Capítulo 3 (item 3.1.7). A tabela 5.4 apresenta os valores das frações pécnicas extraídas com água, oxalato de amônio e solução de hidróxido de sódio 1 N.

Tabela 5.4 - Teor de pectina na forma de ácido galacturônico (AGA).

Fase solúvel em	% AGA *
Água	0,5434 ± 0,340
Oxalato de Amônio	0,1296 ± 0,090
Hidróxido de sódio 1 N	0,1009 ± 0,003

* média de 2 amostras

Quanto ao conteúdo de pectina, na literatura só é mencionada análises feitas em cascas por vários autores citado por MEDINA et alli (1980), onde estas são usadas para a recuperação de pectina e para a fabricação de ração animal. A tabela 5.5 apresenta os valores do conteúdo de pectina em cascas de maracujá-amarelo e roxo, provenientes da Índia, Austrália e Havai.

Tabela 5.5 - Teor de pectina em cascas do maracujá amarelo e roxo

% Pectina (Pectato de cálcio)		
Roxo		Amarelo
Índia	Austrália	Havai
1,78	2,40	20,00

Foram determinadas as densidades do suco a várias concentrações de sólidos solúveis à temperatura de 25°C. A tabela 5.6 e a figura 5.1 apresentam os valores obtidos para as densidades do suco à várias concentrações (°Brix).

Tabela 5.6 - Densidades do suco de maracujá a várias concentrações.

Concentração (°Brix)	Densidade * (g/cm ³)
10	1,058 ± 0,002
20	1,097 ± 0,001
30	1,142 ± 0,001
45	1,213 ± 0,001

* média de 2 amostras

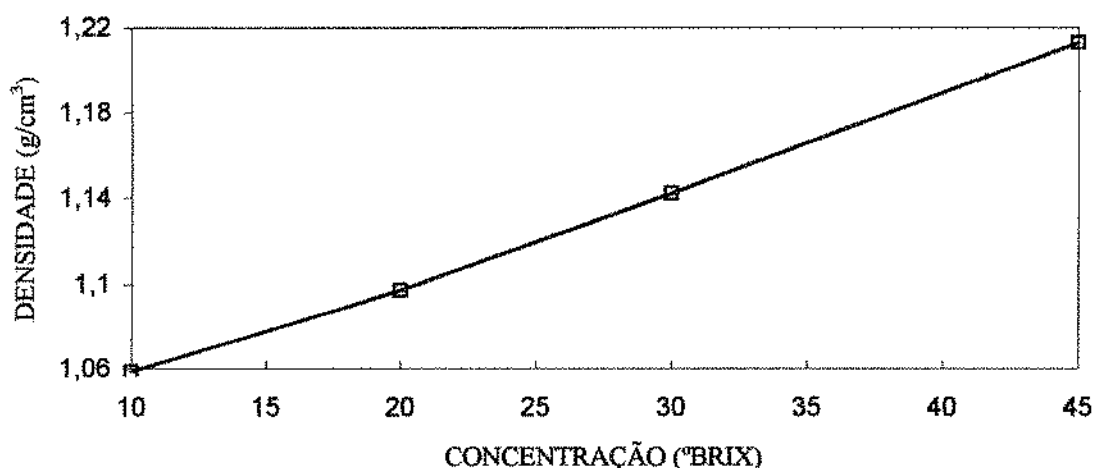


Figura 5.1 - Gráfico da densidade em função da concentração (°Brix) para o suco de maracujá.

A densidade (g/cm³) em função da concentração de sólidos solúveis (°Brix) pode ser expressa por:

$$\rho = 1,01063 + 0,00445^{\circ}\text{Brix}$$

5.2.2 - Caracterização Reológica

O estudo do comportamento reológico do suco de maracujá foi feito à várias concentrações de sólidos solúveis, que variou de 10 a 50°Brix e temperatura entre 10 a 50°C, onde os dados foram obtidos em duplicata. O equipamento utilizado para obter os dados de tensão de cisalhamento e da taxa de deformação foi o mesmo mencionado no Capítulo 4. A tabela 5.7 apresenta as concentrações e as temperaturas utilizadas para a construção dos reogramas.

As leituras no reômetro foram feitas de forma contínua desde baixa taxa de deformação até a maior (200 s^{-1}) em forma ascendente e posteriormente em forma descendente até uma tensão mínima a uma taxa de deformação ($0,260 \text{ s}^{-1}$).

5.2.2.1 - Análise dos Reogramas

Como foi mencionado no Capítulo 4, somente foram usados os pontos descendentes para a discussão e correlação dos dados reológicos. Nota-se também que nas curvas ascendentes há o aparecimento de uma tensão máxima para taxa de deformação abaixo de 50 s^{-1} (figura 5.2). Este efeito se intensifica à medida que a concentração aumenta sendo que o pico de tensão já foi discutido no item 4.2.2.1.

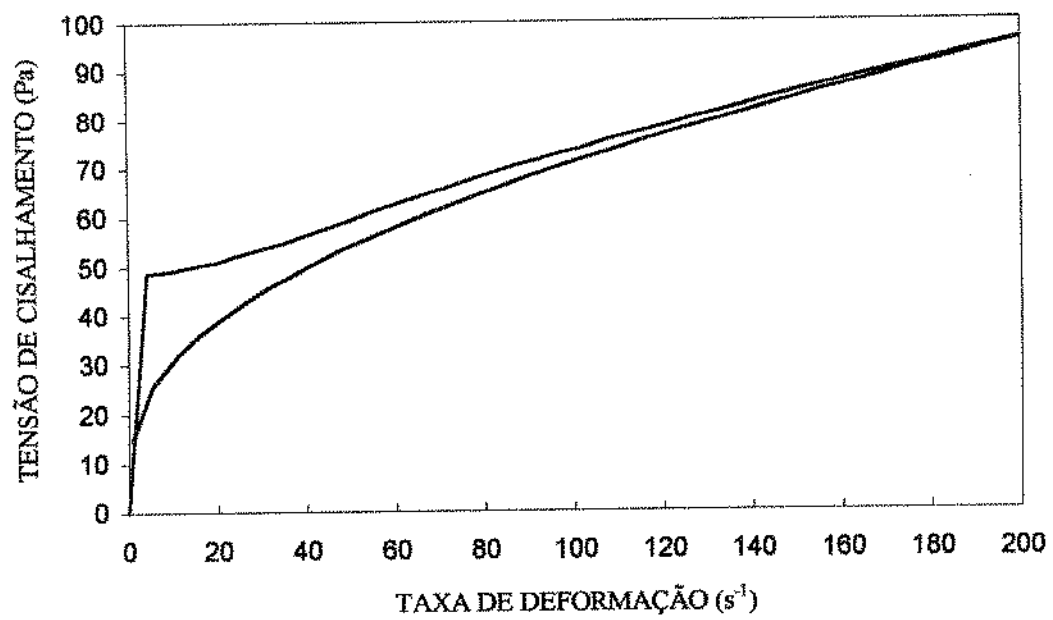


Figura 5.2 - Reograma do suco de maracujá a $T = 30^{\circ}C$ e $50^{\circ}Brix$.

Tabela 5.7 - Concentrações e temperaturas usadas para a construção dos reogramas.

Concentração (°Brix)	Temperatura (°C)
10	10
	20
	30
	40
	50
20	10
	20
	30
	40
	50
25	10
	20
	30
	40
	50
30	10
	20
	30
	40
	50
35	10
	20
	30
	40
	50
40	10
	20
	30
	40
	50

Continuação da tabela 5.7

45	10
	20
	30
	40
	50
50	10
	20
	30
	40

Na análise de todos os reogramas a várias concentrações e temperaturas, verifica-se a não coincidência das curvas ascendentes e descendentes, havendo o aparecimento também do "loop" de histerese como aparece no suco de manga, indicando que o suco de maracujá apresenta comportamento tixotrópico. Este comportamento tixotrópico verifica-se a todas as concentrações e aumenta com o aumento da temperatura.

5.2.2.2 - Obtenção dos Parâmetros Reológicos

A figura 5.3 apresenta os resultados obtidos experimentalmente (curvas descendentes) da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de maracujá a 30°Brix e temperaturas entre 10 a 50°C. O Apêndice C apresenta as figuras C.1 a C.7 para as concentrações de 10, 20, 25, 35, 40, 45 e 50°Brix respectivamente. Observa-se para todas as concentrações analisadas, uma tensão de cisalhamento inicial e o aumento da tensão de cisalhamento ($\dot{\gamma} = \text{cte}$), à medida que a temperatura decresce.

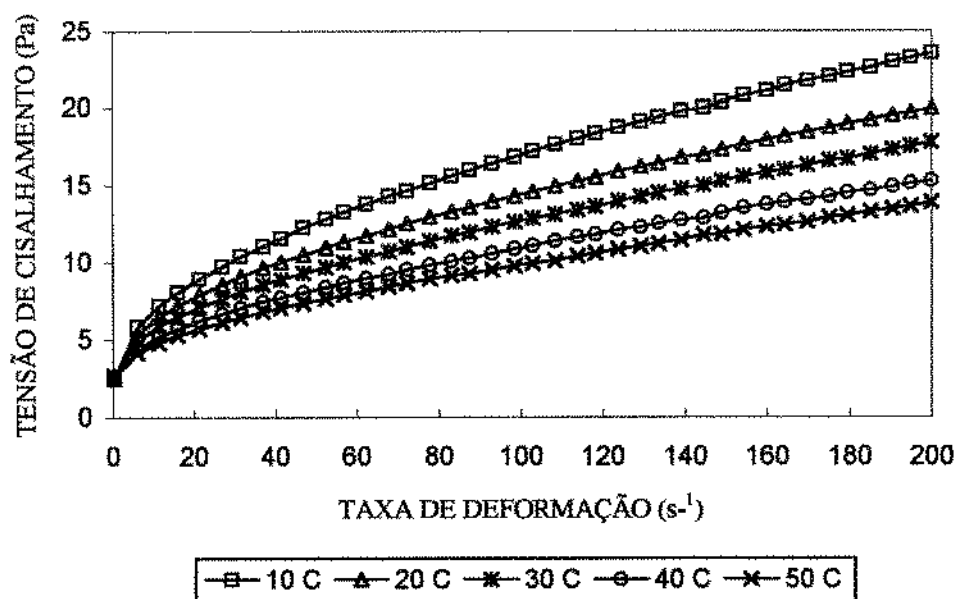


Figura 5.3 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de maracujá a 30 °Brix à várias temperaturas.

Os dados obtidos para cada concentração e temperatura foram correlacionados para três modelos matemáticos utilizando as equações da Lei de Potência, o modelo de Herschel-Bulkley e o modelo de Casson (eq. 2.2, 2.3 e 2.4 respectivamente). Os parâmetros de cada modelo também foram determinados utilizando-se o software **ORIGIN** versão 3.0.

Os resultados experimentais da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de maracujá a 45°Brix e 30°C, está apresentado na figura 5.4. Observa-se que o modelo de Herschel-Bulkley se ajusta melhor aos dados experimentais. Os gráficos para as outras concentrações e temperaturas estão no Apêndice C.

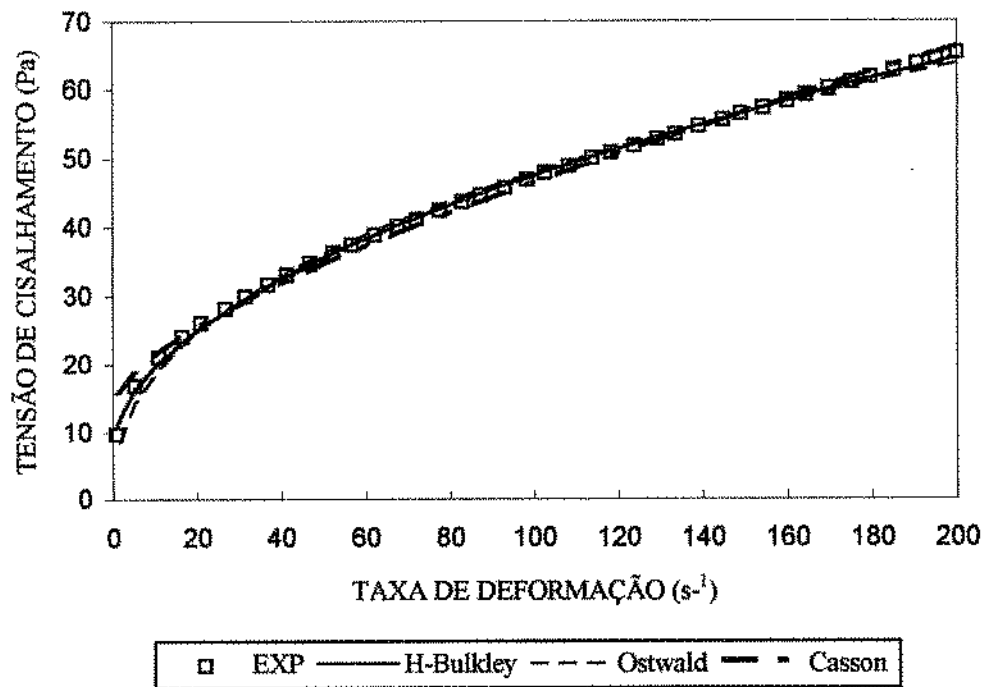


Figura 5.4 - Comparação dos ajustes dos modelos de H-B, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de maracujá a 45°Brix e 30°C.

Na escolha do modelo que melhor se ajusta aos dados experimentais, o critério utilizado foi o mesmo apresentado no Capítulo 4 (item 4.2.2.2) onde analisou-se os valores de R^2 e de χ^2 .

A tabela 5.8 apresenta os parâmetros τ_0 , K e n , seus respectivos erros e os valores de R^2 e χ^2 . Para os modelos de Ostwald e Casson as tabelas estão apresentadas no Apêndice C.

Comparando-se os valores de R^2 e χ^2 para o ajuste dos três modelos, observa-se que para as condições estudadas, o modelo de H-B é o que apresenta os maiores valores de R^2 e os menores χ^2 .

Tabela 5.8 - Resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Herschel-Bulkley para o suco de maracujá a várias temperaturas e concentrações.

°Brix	T (°C)	τ_0 (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	Er(τ_0)	Er(K)	Er(n)	χ^2	R ²
10	10	0.12	0.06	0.63	0.03	0.0083	0.020	0.001	0.996
	20	0.18	0.04	0.67	0.02	0.0051	0.019	0.001	0.997
	30	0.21	0.03	0.67	0.03	0.007	0.032	0.001	0.991
	40	0.34	0.01	0.76	0.02	0.004	0.043	0.001	0.98684
	50	0.18	0.02	0.70	0.02	0.005	0.039	0.001	0.987
20	10	0.86	0.33	0.58	0.04	0.014	0.007	0.002	0.999
	20	0.99	0.25	0.59	0.05	0.016	0.010	0.003	0.999
	30	0.71	0.21	0.58	0.04	0.013	0.011	0.002	0.999
	40	0.78	0.16	0.60	0.05	0.014	0.015	0.002	0.998
	50	0.91	0.14	0.61	0.05	0.015	0.018	0.003	0.997
25	10	1.46	0.74	0.54	0.07	0.027	0.006	0.005	0.999
	20	1.66	0.53	0.56	0.07	0.025	0.008	0.005	0.999
	30	1.62	0.39	0.58	0.06	0.022	0.009	0.005	0.999
	40	1.64	0.35	0.57	0.08	0.025	0.012	0.006	0.998
	50	1.60	0.24	0.61	0.08	0.023	0.016	0.008	0.997
30	10	1.99	1.44	0.51	0.12	0.050	0.005	0.013	0.999
	20	2.41	1.06	0.53	0.12	0.048	0.008	0.015	0.999
	30	2.69	0.77	0.56	0.12	0.042	0.009	0.015	0.999
	40	2.62	0.58	0.58	0.10	0.032	0.009	0.010	0.999
	50	2.69	0.46	0.59	0.10	0.033	0.012	0.013	0.998
35	10	3.14	2.66	0.50	0.24	0.101	0.006	0.044	0.999
	20	3.12	2.08	0.49	0.17	0.073	0.005	0.020	0.999
	30	3.78	1.41	0.54	0.20	0.074	0.008	0.032	0.999
	40	3.98	1.08	0.56	0.19	0.067	0.010	0.038	0.999
	50	3.96	0.72	0.60	0.18	0.055	0.013	0.038	0.998
40	10	4.10	4.61	0.48	0.33	0.144	0.005	0.072	0.999
	20	4.83	3.55	0.49	0.39	0.167	0.008	0.113	0.999
	30	5.08	2.75	0.50	0.40	0.163	0.009	0.125	0.999
	40	5.49	2.27	0.51	0.33	0.132	0.009	0.081	0.999
	50	6.01	1.73	0.53	0.30	0.112	0.011	0.078	0.999

Continuação da tabela 5.8

°Brix	T (°C)	τ_0 (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	Er(τ_0)	Er(K)	Er(n)	χ^2	R ²
45	10	5.48	7.76	0.47	0.34	0.154	0.003	0.064	0.999
	20	6.82	5.53	0.49	0.43	0.188	0.005	0.117	0.999
	30	7.44	3.78	0.51	0.48	0.195	0.008	0.166	0.999
	40	7.56	3.25	0.517	0.54	0.217	0.011	0.250	0.999
	50	8.26	2.56	0.53	0.44	0.168	0.010	0.154	0.999
50	10	8.72	10.57	0.47	0.62	0.28	0.004	0.223	0.999
	20	9.01	7.71	0.48	0.61	0.26	0.005	0.216	0.999
	30	9.41	6.50	0.48	0.57	0.251	0.006	0.204	0.999
	40	10.48	5.05	0.50	0.58	0.243	0.008	0.228	0.999

Analisando-se os resultados contidos na tabela 5.8, verifica-se que para concentrações acima de 40°Brix, um aumento da temperatura provoca um ligeiro aumento dos valores da tensão inicial (τ_0). Para as concentrações mais baixas, não há uma tendência definida de τ_0 com a temperatura.

Para o índice de consistência (K), verifica-se uma diminuição dos valores com o aumento da temperatura para as concentrações estudadas. No índice de comportamento de fluxo (n) para todas as concentrações, há um pequeno aumento dos valores com o aumento da temperatura.

Para todas as temperaturas observa-se que os valores da tensão inicial (τ_0) aumentam com o aumento do conteúdo de sólidos solúveis. Para o índice de consistência (K), verifica-se o mesmo tipo de comportamento. Entretanto, para o índice de comportamento de fluxo (n) observa-se um decréscimo dos seus valores com o aumento do conteúdo de sólidos solúveis. Todos os valores de n são menores que a unidade, indicando ser o fluido pseudoplástico.

Nas figuras 5.5 até 5.9, são apresentadas as diversas constantes em função da concentração à temperatura constante.

O mesmo comportamento foi encontrado por VITALI et alli (1974) para os parâmetros de K e n. O comportamento do suco de maracujá foi estudado a várias concentrações (15,6 a

33,4°Brix) e a várias temperaturas (+20 a + 50°C). Os pesquisadores utilizaram um reômetro de cilindros concêntricos CONTRAVES RM-15, com taxas de deformação a 40, 70 e 100 s⁻¹, encontrando para o suco comportamento pseudoplástico, seguindo o modelo da Lei de Potência. Os valores do índice de consistência **K** para temperatura constante, aumentaram com o aumento da concentração de sólidos solúveis e o os valores de **n** diminuíram. Para a concentração de sólidos solúveis constante, encontraram para os valores de **K** uma diminuição com o aumento da temperatura e para os valores **n** um aumento com o aumento da temperatura.

A tabela 5.9 apresenta os valores experimentais de **K** e **n** obtidos pelos pesquisadores a várias concentrações e temperaturas.

Tabela 5.9 - Valores de **K** e **n** obtidos experimentalmente através do modelo da Lei de Potência.

Temperatura	Sólidos Solúveis (°Brix)					
		33,4	30,6	25,3	20,7	15,6
20	K (Pa.s ⁿ)	2,620	1,624	0,798	0,288	0,0711
	n	0,445	0,488	0,523	0,593	0,737
30	K (Pa.s ⁿ)	2,004	1,429	0,579	0,178	0,0507
	n	0,462	0,482	0,539	0,646	0,766
40	K (Pa.s ⁿ)	1,659	1,128	0,438	0,148	0,0366
	n	0,464	0,491	0,555	0,649	0,806
45	K (Pa.s ⁿ)	1,470	0,976	0,402	0,119	0,0238
	n	0,472	0,500	0,557	0,673	0,852
50	K (Pa.s ⁿ)	1,344	0,906	0,393	0,116	0,0190
	n	0,473	0,498	0,549	0,669	0,878

Composição: Variedade amarela, 11°Brix, 70% de polpa.

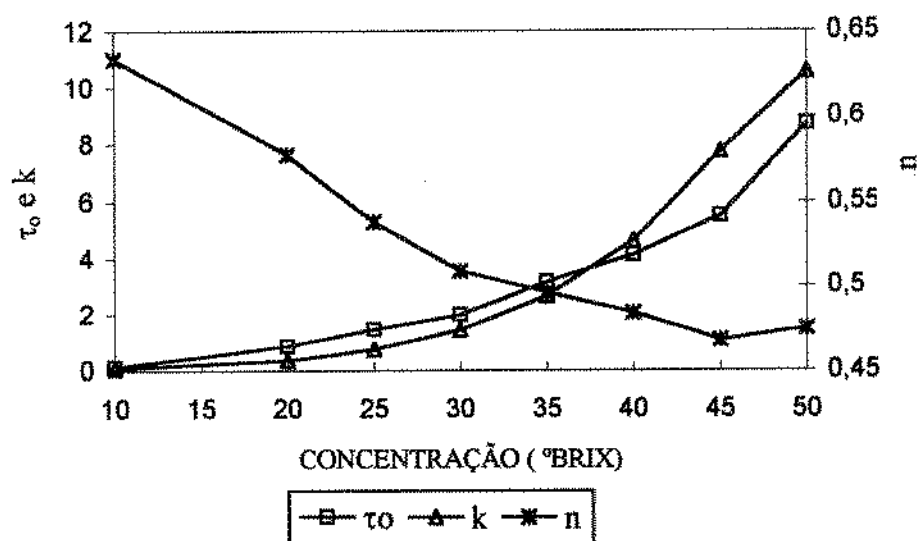


Figura 5.5 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 10°C.

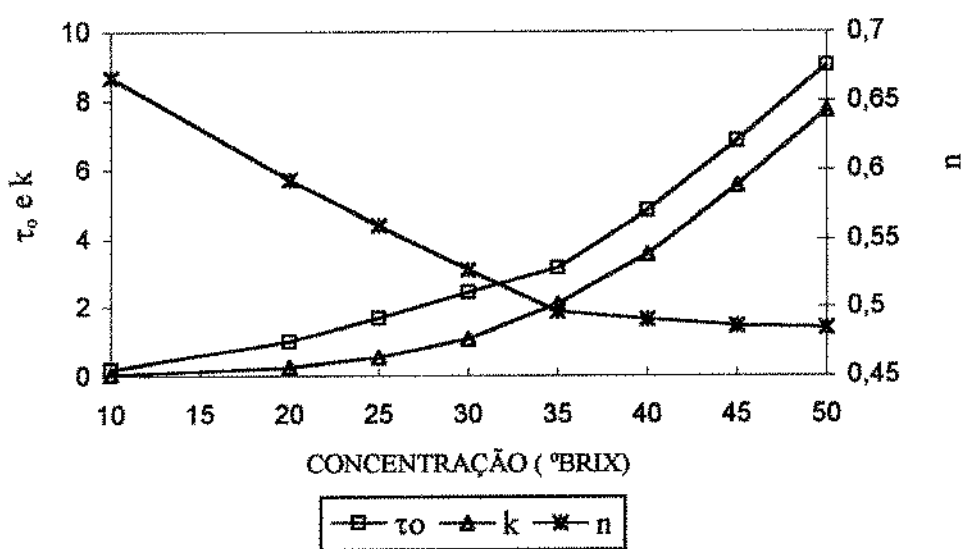


Figura 5.6 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 20°C.

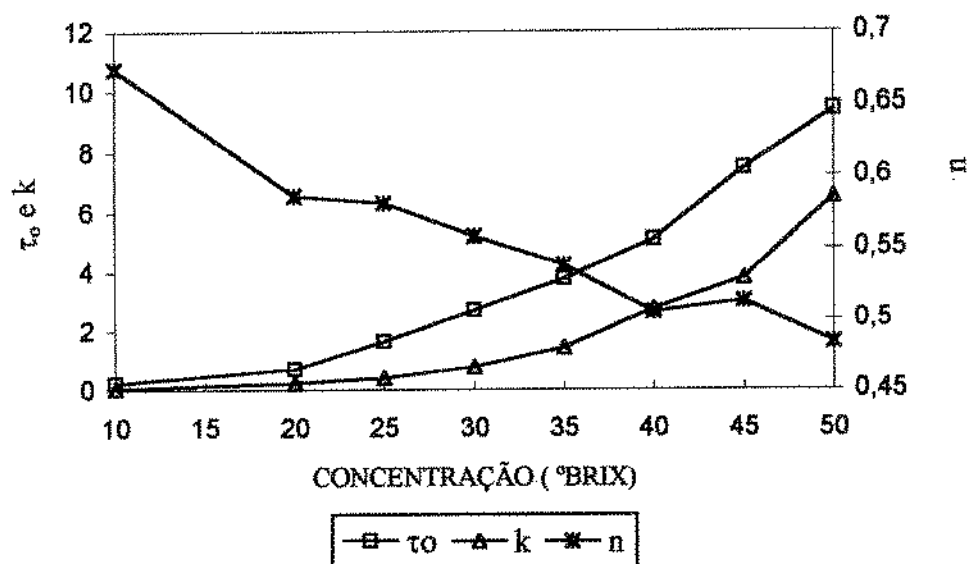


Figura 5.7 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 30°C.

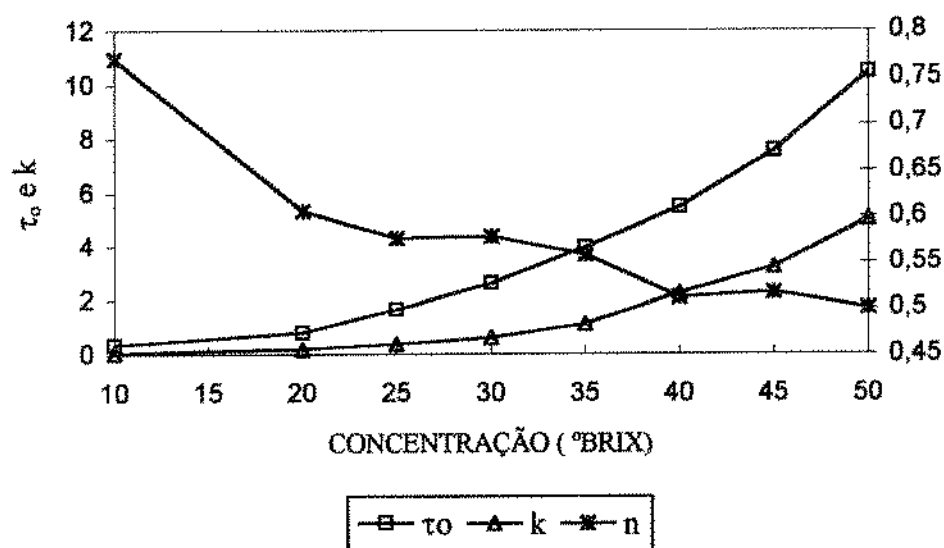


Figura 5.8 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 40°C.

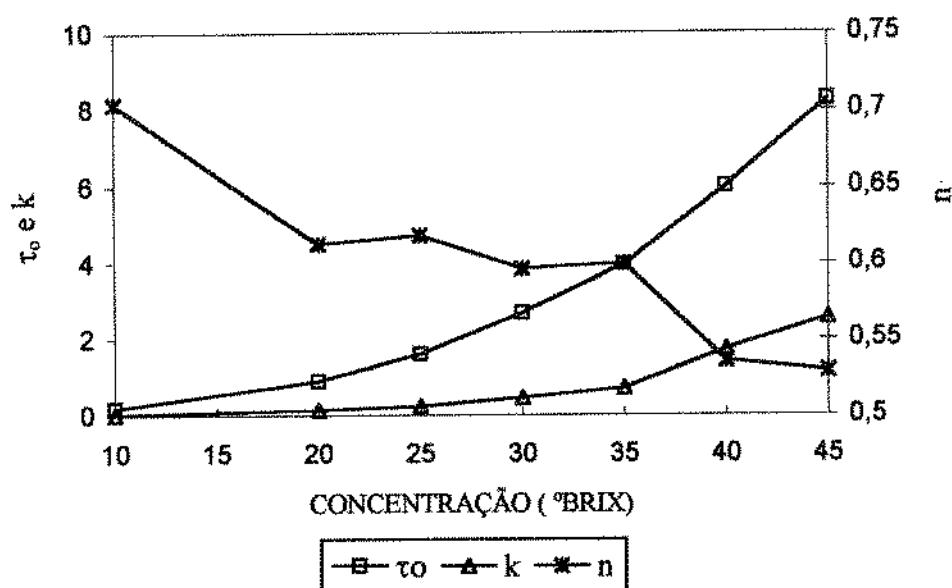


Figura 5.9 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 50°C.

GARRUTI (1989) também estudou várias marcas e tipos de sucos de maracujá comerciais (13,35°Brix) com taxas de deformação variando de 118 a 400s⁻¹, encontrando comportamento reológico pseudoplástico para todas as marcas, obedecendo o modelo da Lei de Potência. A tabela 5.10 apresenta os parâmetros reológicos para as várias marcas de suco de maracujá, com diferentes valores de porcentagem de polpa suspensa.

Tabela 5.10 - Parâmetros reológicos dos sucos de maracujá a T= 25°C.

Suco	K (Pa.s ⁿ)	n (-)
Integral preservado	0,06596	0,545
Marca A	0,01424	0,806
Marca B	0,04097	0,721
Marca C	0,09256	0,522
Marca D	0,13094	0,389
Integral pasteurizado	0,0692	0,530
Integral homogeneizado	0,0973	0,617

Quando comparamos os dados destes autores, tabela 5.9 e tabela 5.10, com os parâmetros obtidos regressando os dados deste trabalho através do Modelo de Ostwald (Apêndice C , tabela C.1), verifica-se que em todos os casos, se obtém coeficientes de consistência maiores e índices de comportamento menores, ou seja, um comportamento mais não-Newtoniano.

5.2.2.3 - Correlação dos Parâmetros em Função da Temperatura e Concentração

Para verificar o modelo que melhor representa o efeito da temperatura e concentração nos parâmetros τ_0 , K e n , foram utilizadas as mesmas equações apresentadas no Capítulo 4 (item 4.2.2.3). As faixas de temperatura e concentração consideradas no estudo das correlações foram de 20 a 50 °C e de 20 a 50 °Brix respectivamente. A temperatura de 10 °C e concentração de 10 °Brix foram descartadas, pois são as mais afetadas pelos erros de medida.

As constantes das equações foram obtidas através de regressão não linear usando-se o software **STATISTICA** versão 5.0. Os valores dos parâmetros a_1 , a_2 e a_3 referidas as variáveis τ_0 , K e n para as quatro equações utilizadas, bem como os coeficientes de correlação (R), porcentagem de variância explicada (R^2) e o teste do Qui-Quadrado estão na tabela 5.11.

Tabela 5.11 - Resultados dos parâmetros obtidos para τ_0 , K e n em função da temperatura (Kelvin) e concentração ($^{\circ}$ Brix) para as quatro equações propostas.

Equação	Parâmetros obtidos para equações de τ_0			R	R^2	χ^2
	a_1	a_2	a_3			
4.2	-0,0159	1,784	-	0,89	78,5	48,09
4.3	$3,7 \cdot 10^{-5}$	$6,35 \cdot 10^{-3}$	2,69	0,999	99,7	0,66
4.4	-1935,9	2,17	-	0,94	89,0	24,5
4.5	$1,9 \cdot 10^{-3}$	-605,2	2,69	0,999	99,7	0,66
Equação	Parâmetros obtidos para equações de K			R	R^2	χ^2
	a_1	a_2	a_3			
4.2	$-3,56 \cdot 10^{-2}$	3,2	-	0,98	96,4	4,16
4.3	$2,05 \cdot 10^{-3}$	$-2,38 \cdot 10^{-2}$	3,89	0,99	99,5	0,58
4.4	-1982,5	2,02	-	0,67	44,7	64,1
4.5	$1,79 \cdot 10^{-8}$	881,1	4,29	0,98	95,9	4,65
Equação	Parâmetros obtidos para equações de n			R	R^2	χ^2
	a_1	a_2	a_3			
4.2	$8,74 \cdot 10^{-4}$	-0,251	-	0,89	79,0	$10,6^{-3}$
4.3	0,43	$3,16 \cdot 10^{-3}$	-0,21	0,95	90,7	$4,68 \cdot 10^{-3}$
4.4	-0,77	-0,17	-	0,83	68,1	$16,1 \cdot 10^{-3}$
4.5	3,027	-298,2	-0,213	0,95	90,6	$4,73^{-3}$

Analisando-se os resultados obtidos na tabela 5.11, verifica-se que tanto para τ_0 , K e n , a equação 4.3 é a que apresenta os melhores coeficientes estatísticos, R igual a 0,999, 0,99 e 0,95 respectivamente e valores baixos de χ^2 .

Nas figuras 5.10(a), 5.11(a) e 5.12(a), apresentam-se os valores de τ_0 , K e n obtidos pelo modelo de H-B e as superfícies geradas pela equação 4.3. Nas figuras 5.10(b) até 5.12(b), são mostrados os valores observados em função dos preditos.

Pode-se observar que o efeito da temperatura sobre os valores de τ_0 e K é mais acentuado a altas concentrações, sendo praticamente independente da mesma a baixas concentrações.

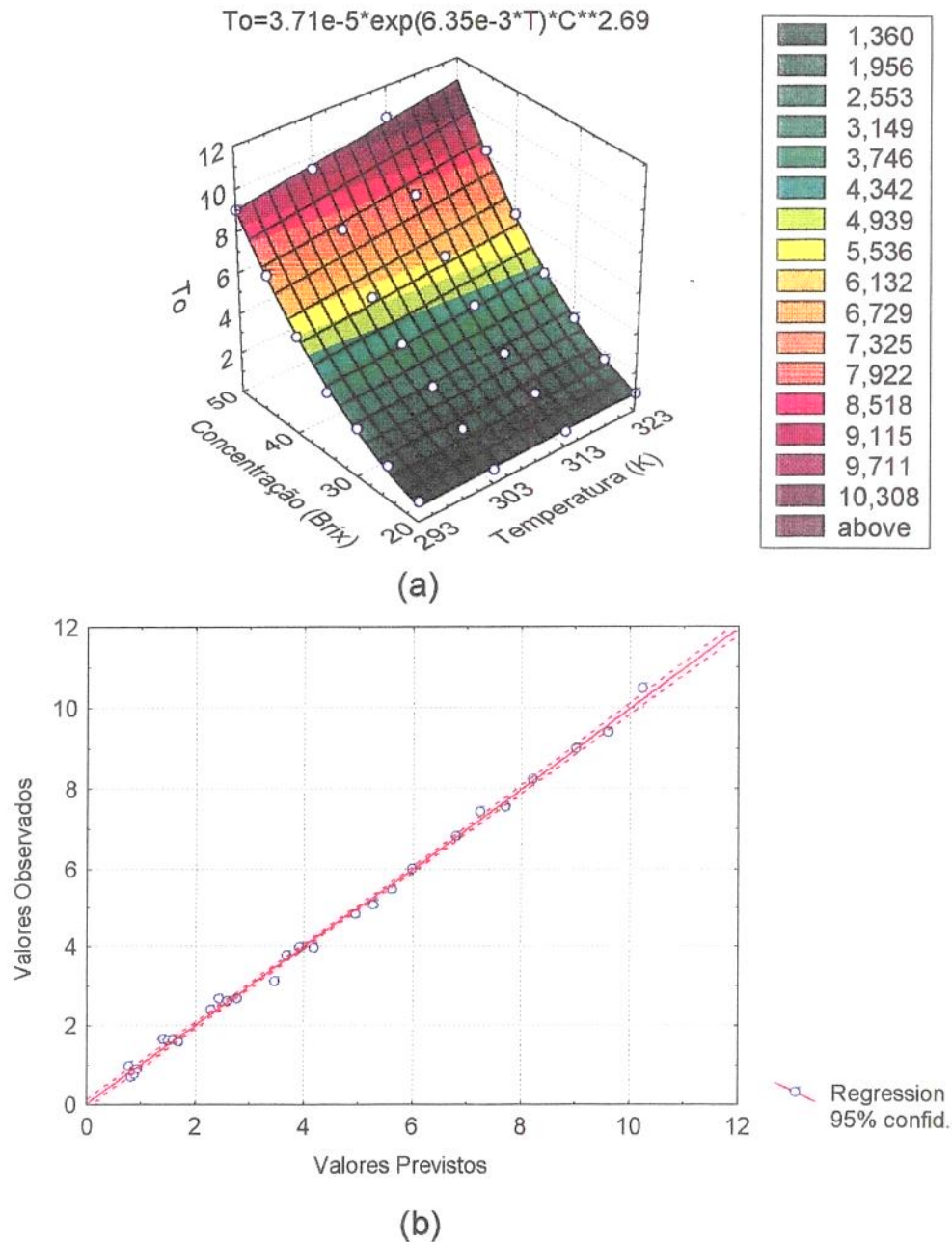


Figura 5.10- (a) -Efeito da temperatura e concentração na tensão de cisalhamento inicial, (b)-Valores observados de τ_0 (em função do ajuste pelo modelo de H-B) em relação aos valores previstos pelo modelo proposto de τ_0 em função da temperatura e concentração (eq.4.3).

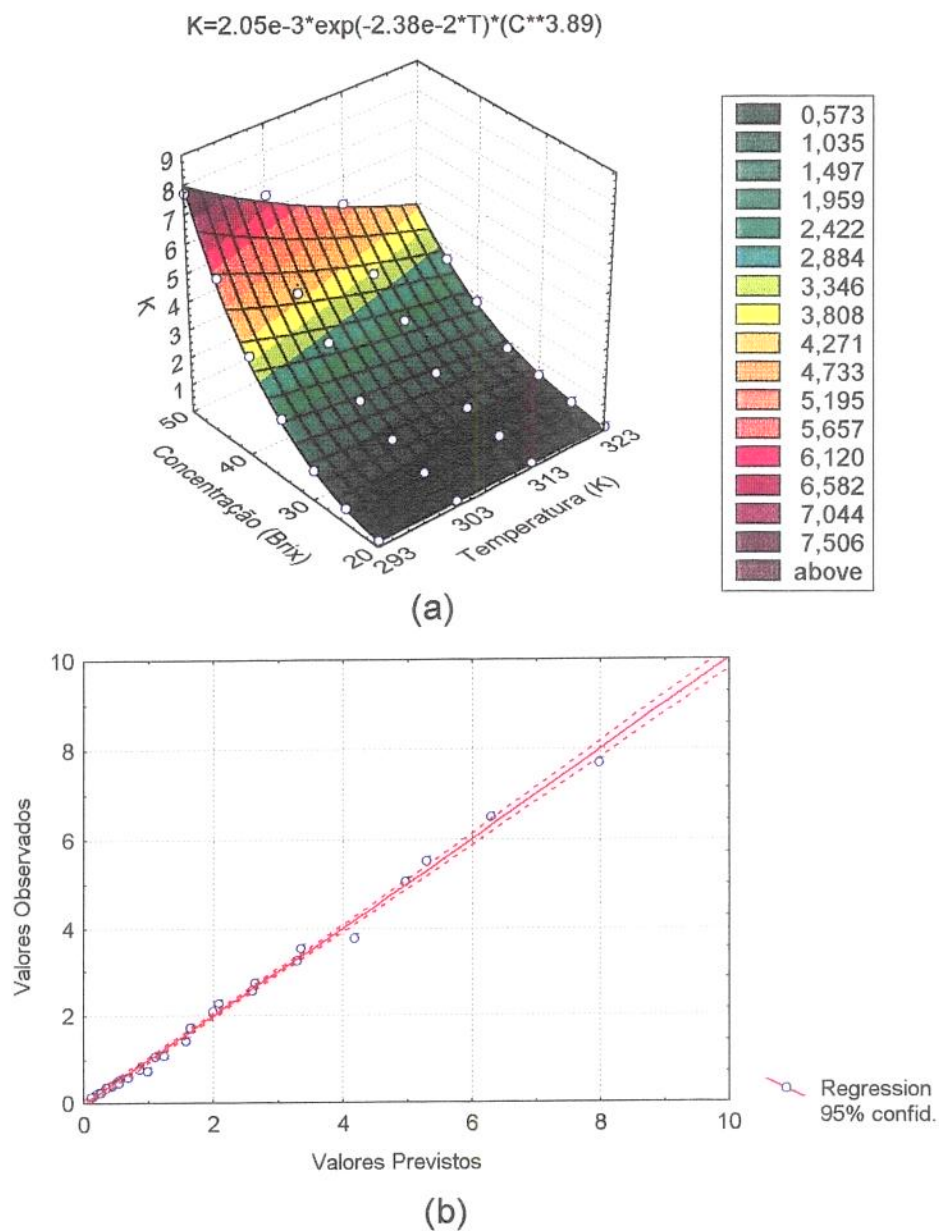


Figura 5.11 - (a) - Efeito da temperatura e concentração no índice de consistência, **(b)**-Valores observados de **K** (em função do ajuste pelo modelo de H-B) em relação aos valores previstos pelo modelo proposto de **K** em função temperatura e concentração (eq.4.3).

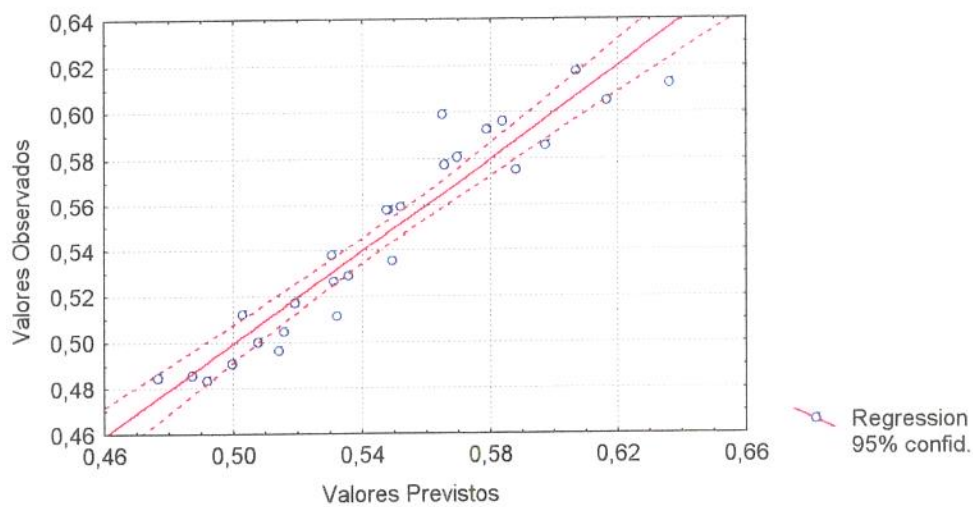
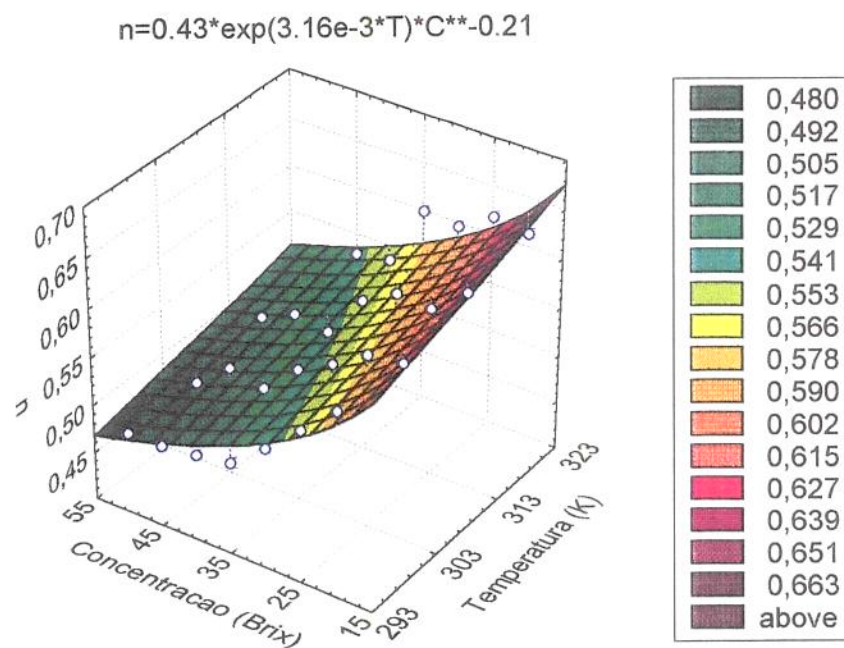


Figura 5.12- (a) - Efeito da temperatura e concentração no índice de comportamento de fluxo, (b)- Valores observados de n (em função do ajuste do modelo de H-B) em relação aos valores previstos pelo modelo proposto de n em função da temperatura e concentração (eq.4.3).

CAPÍTULO 6

MAMÃO

6.1 - Introdução

O mamoeiro é uma planta frutífera bem conhecida originária da América do Sul. Pertencente a classe *Dicotyledoneae* e gênero *Carica*, seu fruto é um dos mais apreciados sendo consumido diariamente por milhares de pessoas no desjejum e sobremesa.

O mamão devido as suas qualidades organolépticas, suculência, facilidade de digestão e fonte de vitamina A é consumida " in natura " ou na forma de produtos industrializados (MEDINA et all, 1980).

É uma boa fonte de cálcio e uma excelente fonte de provitamina A e ácido ascórbico (vitamina C). Apresenta baixa acidez em relação as frutas em geral e sua polpa apresenta valores de pH entre 4,5 a 6,0. Os ácidos presentes neste fruto são o málico e o cítrico. A tabela 6.1 apresenta os resultados obtidos de algumas análises químicas do mamão da variedade amarela.

Do mamoeiro são extraídos a papaína contida no látex conhecido popularmente como "leite de mamão", que é aplicado principalmente em: indústria de borracha, curtumes, indústria têxtil, laticínios, farmacêutico etc. Da semente é extraída um alcalóide, a capaína, que é usada como ativador cardíaco.

Tabela 6.1 - Resultados das análises químicas do mamão (MEDINA et alli, 1980).

°Brix	8,9
pH	5,4
Acidez Total Titulável (%)	0,128
Açúcares Redutores (%)	6,58
Açúcares Totais (%)	6,84
Ácido Ascórbico (mg/100g)	63,0

O mamão também é uma boa fonte de pectina (aproximadamente 0,8%), cuja extração tem sido desenvolvida principalmente na Índia (MEDINA et alli, 1980). A quantidade de pectina varia com o estágio de desenvolvimento do fruto. O conteúdo de pectina no mamão de variedade amarela analisada por MEDINA et alli (1980) é 0,792 g/100g.

Industrialmente pode-se obter vários produtos do mamão: purê, néctar, mamão em calda, geléia, mamão cristalizado e sucos.

No Brasil o mamão é encontrado desde o Rio Grande do Sul até o Rio Grande do Norte. Os maiores estados produtores são: São Paulo, Rio de Janeiro, Pará, Bahia e Paraná. O Brasil exportou no ano de 1992 aproximadamente 4900 toneladas dessa fruta CHITARRA & CHITARRA, 1994).

6.2. - Resultados

6.2.1. - Características Físicas e Químicas do Suco de Mamão

O suco de mamão congelado e concentrado a 25°Brix, foi cedido também pela empresa UTIARA S/A, para ser utilizado na determinação das suas características físicas e químicas e no estudo do comportamento reológico. O fluxograma básico do processamento do suco encontra-se no Apêndice A. Os resultados obtidos das análises estão apresentadas na tabela 6.2 e a metodologia utilizada está no Capítulo 3.

As concentrações de 30 e 40°Brix, foram obtidas em laboratório por concentração em rotavapor à vácuo à temperatura de 50°C.

Tabela 6.2 - Composição química média do suco de mamão.

Análises químicas	Resultados *
pH	4,39
°Brix	25
Cinzas (%)	0,952 ± 0,003
Sólidos Totais (%)	24,87 ± 0,26
Acidez Titulável (% ácido cítrico)	0,45
Açúcares Redutores (%)	20,97 **
Açúcares Totais (%)	21,78 **

* média de 3 amostras ** as três amostras tiveram o mesmo resultado

O teor de pectina contido no suco foi analisado utilizando o método do Carbazol apresentado no Capítulo 3 (item 3.1.7). A sua determinação foi feita devido a pectina estar relacionada com o grau de geleificação no suco. A tabela 6.3 apresenta os valores obtidos das frações pécicas extraídas com água, oxalato de amônio e solução de hidróxido de sódio 1 N.

Tabela 6.3 - Teor de pectina na forma de Ácido Galacturônico (AGA).

Fase solúvel em	% AGA *
Água	0,88 ± 0,04
Oxalato de amônio	0,068 ± 0,004
Hidróxido de sódio 1 N	0,015 ± 0,009

* média de 2 amostras

As densidades do suco a várias concentrações foram determinadas à temperatura de 25° C. A tabela 6.4 e a figura 6.1 apresentam os valores obtidos das densidades do suco a várias concentrações de sólidos solúveis (°Brix).

Tabela 6.4 - Densidade do suco de mamão a várias concentrações.

Concentração (°Brix)	Densidade * (g/cm ³)
10	1,053 ± 0,003
15	1,076 ± 0,001
20	1,088 ± 0,03
25	1,096 ± 0,03

* média de 2 amostras

A equação que relaciona a densidade (g/cm³) em função da concentração de sólidos solúveis (°Brix) pode ser expressa por:

$$\rho = 0,98765 + 0,00807^{\circ}\text{Brix} - 1,5 \cdot 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{Brix}^2$$

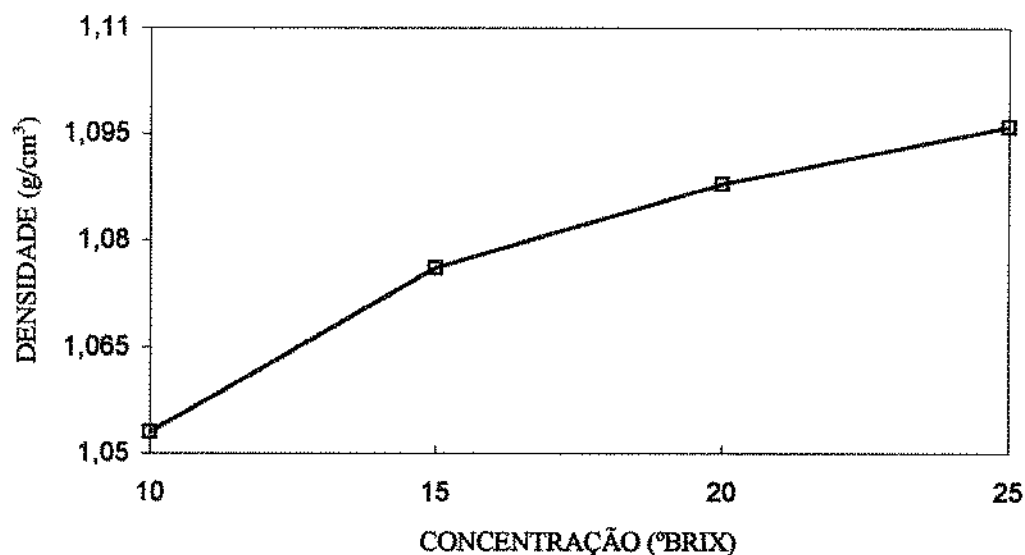


Figura 6.1 - Gráfico da densidade em função da concentração (°Brix) para o suco de mamão.

6.2.2. - Caracterização Reológica

Para o estudo do comportamento reológico do suco de mamão, os experimentos foram realizados em duplicata numa faixa de concentração de 10 a 25°Brix e temperatura entre 10 a 50°C e para as concentrações de 30 e 40°Brix, à temperaturas de 10 a 30°C. Nestas concentrações não foi possível realizar os experimentos à temperaturas maiores, pois a consistência do suco aumentava impedindo a medida no reômetro. O equipamento utilizado para obter os dados de tensão de cisalhamento e da taxa de deformação foi o mesmo mencionado no Capítulo 4. A tabela 6.5 apresenta as concentrações e as temperaturas utilizadas na construção dos reogramas.

As leituras do reômetro foram obtidas em forma contínua desde baixa taxa de deformação até a maior (200 s^{-1}) em forma ascendente e posteriormente em ordem decrescente até uma tensão mínima a uma taxa de deformação de $0,270 \text{ s}^{-1}$.

Tabela 6.5 - Concentrações e temperaturas usadas para a construção dos reogramas.

Concentração (°Brix)	Temperatura (°C)
10	10
	20
	30
	40
	50
15	10
	20
	30
	40
	50
20	10
	20
	30
	40
	50
25	10
	20
	30
	40
	50
30	10
	20
	30
40	10
	20
	30

6.2.2.1. - Análise dos Reogramas

Para a discussão e correlação dos dados, também foram utilizados apenas os pontos descendentes conforme descrito no Capítulo 4 (item 4.2.2.1). Para algumas concentrações e temperaturas houve o aparecimento de uma tensão máxima para a faixa de deformação abaixo de 50 s^{-1} , como pode ser observado na figura 6.2, que se acentua em função da concentração.

Na análise de todos os reogramas, verifica-se novamente que as curvas ascendentes e descendentes não coincidem aparecendo um "loop" de histerese que apresenta uma certa tendência em função da temperatura e concentração. A baixas temperaturas e independente da concentração, o suco apresenta um comportamento levemente reopético. Esse tipo de comportamento merece um estudo mais detalhado. A tabela 6.6 apresenta os tipos de comportamentos verificados.

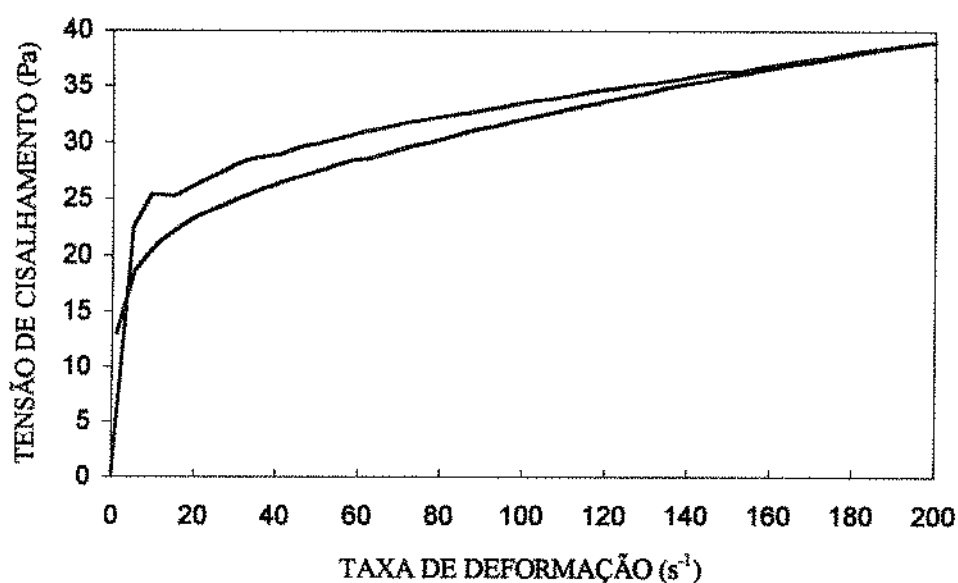


Figura 6.2 - Reograma do suco de mamão a temperatura de 50°C e 25°Brix .

Tabela 6.6 - Análise do comportamento apresentado pelo suco de mamão a várias concentrações e temperatura variando de 10 a 50°C.

Concentração (°Brix)	Temperatura (°C)	Comportamento
10	10	Reopético
	20	Tixotrópico
	30	Tixotrópico
	40	Tixotrópico
	50	Tixotrópico
15	10	Reopético
	20	Reopético
	30	Tixotrópico
	40	Tixotrópico
	50	Tixotrópico
20	10	Reopético
	20	Reopético
	30	Tixotrópico
	40	Tixotrópico
	50	Tixotrópico
25	10	Reopético
	20	Reopético
	30	Tixotrópico
	40	Tixotrópico
	50	Tixotrópico
30	10	Reopético
	20	Reopético
	30	Reopético
40	10	Reopético
	20	Reopético
	30	Tixotrópico

6.2.2.2. - Obtenção dos Parâmetros Reológicos

A figura 6.3 apresenta os resultados obtidos experimentalmente (curva descendente) da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de mamão a 25°Brix e temperaturas entre 10 e 50°C. O Apêndice D apresenta as figuras para as concentrações de 10, 15, 20, 30 e 40°Brix respectivamente. Para todas as concentrações analisadas observa-se o aparecimento de uma tensão de cisalhamento inicial. Para taxa de deformação constante, verifica-se um aumento da tensão à medida que a temperatura decresce.

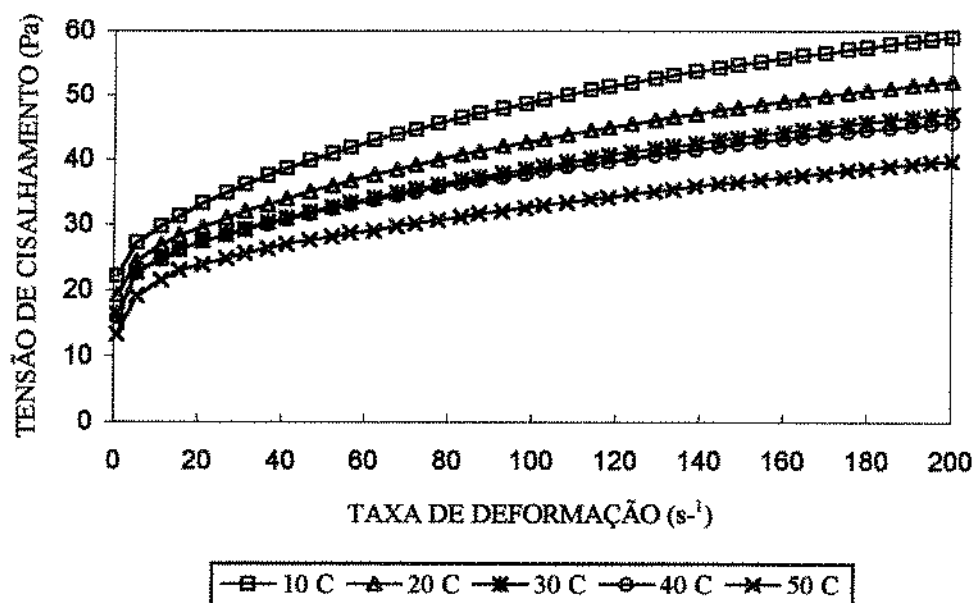


Figura 6.3 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de mamão a 25°Brix e a várias temperaturas.

Foram utilizados três modelos matemáticos para correlacionar os dados obtidos para cada concentração e temperatura: modelo da Lei de Potência, o modelo de Herschel-Bulkley e o modelo de Casson (eq.2.2, 2.3 e 2.4 respectivamente).

Como foi mencionado no Capítulo 4, os parâmetros de cada modelo foram também determinados, utilizando o software **ORIGIN** versão 3.0.

A figura 6.4 apresenta os resultados experimentais da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a concentração de 25°Brix e 40°C. Observa-se também que o

modelo de Herschel-Bulkley se ajusta bem aos dados experimentais como foi verificado para os sucos de manga e maracujá.

Os gráficos para as outras concentrações e temperaturas estão apresentados no Apêndice D.

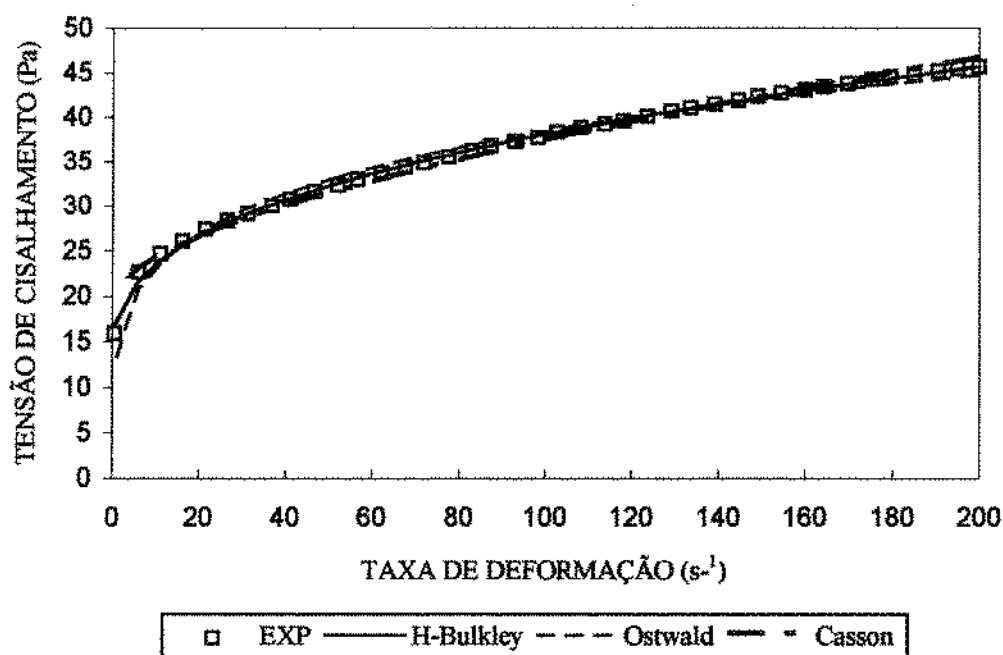


Figura 6.4 - Comparação dos ajustes dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de mamão a 25°Brix e $T = 40^{\circ}\text{C}$.

Para a escolha do modelo que melhor se ajusta aos dados experimentais, foi utilizado o mesmo critério apresentado para o suco de manga (item 4.2.2.2), onde foram analisados os valores de R^2 e o teste do Qui-quadrado (χ^2). Portanto, o modelo mais adequado é aquele com altos valores de R^2 e baixos valores de χ^2 . A tabela 6.7 apresenta os parâmetros τ_0 , K e n , seus respectivos erros e os valores de R^2 e χ^2 . Para os modelos de Ostwald e Casson, as tabelas contendo os parâmetros estão apresentadas no Apêndice D.

Tabela 6.7 - Resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Herschel-Bulkley para o suco de mamão a várias temperaturas e concentrações.

°Brix	T (°C)	τ_0 (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	Er(τ_0)	Er(K)	Er(n)	χ^2	R ²
10	10	0.91	0.30	0.48	0.026	0.011	0.006	0.001	0.999
	20	0.73	0.21	0.51	0.032	0.013	0.010	0.001	0.999
	30	0.69	0.19	0.51	0.027	0.011	0.009	0.001	0.999
	40	0.63	0.14	0.53	0.049	0.019	0.023	0.002	0.994
	50	0.44	0.09	0.55	0.039	0.013	0.024	0.001	0.993
15	10	3.17	1.19	0.42	0.10	0.052	0.006	0.005	0.999
	20	3.09	1.12	0.41	0.07	0.038	0.005	0.002	0.999
	30	2.30	0.87	0.42	0.06	0.032	0.005	0.002	0.999
	40	1.94	0.62	0.45	0.10	0.051	0.013	0.007	0.997
	50	1.47	0.40	0.49	0.11	0.049	0.020	0.011	0.994
20	10	6.77	2.87	0.38	0.22	0.132	0.007	0.020	0.999
	20	7.70	2.99	0.37	0.26	0.158	0.008	0.025	0.999
	30	6.141	2.20	0.39	0.09	0.052	0.004	0.004	0.999
	40	4.65	1.99	0.38	0.23	0.133	0.010	0.025	0.998
	50	3.54	2.08	0.37	0.37	0.221	0.016	0.061	0.995
25	10	17.85	4.15	0.43	0.41	0.209	0.008	0.079	0.999
	20	16.90	3.14	0.45	0.25	0.119	0.006	0.036	0.999
	30	14.97	3.19	0.43	0.36	0.179	0.008	0.072	0.999
	40	13.23	4.24	0.38	0.50	0.292	0.010	0.094	0.998
	50	9.80	4.66	0.35	0.92	0.575	0.018	0.188	0.995
30	10	30.65	7.14	0.45	0.75	0.368	0.008	0.373	0.999
	20	29.60	6.16	0.44	0.80	0.396	0.010	0.447	0.998
	30	23.97	7.03	0.40	1.10	0.617	0.013	0.703	0.996
40	10	67.07	19.71	0.43	3.80	1.925	0.015	6.757	0.997
	20	73.39	10.31	0.51	2.40	0.959	0.015	3.659	0.998
	30	66.91	8.24	0.52	1.96	0.760	0.015	3.007	0.997

Para todas as concentrações estudadas, comparando-se os valores de R² e χ^2 , observa-se que o modelo de Herschel-Bulkley é o que apresenta os maiores valores de R² e os menores valores para χ^2 .

Analisando-se os resultados da tabela 6.7, verifica-se que para uma dada concentração, o aumento da temperatura provoca um decréscimo da tensão inicial (τ_0). Observa-se também que os valores obtidos para τ_0 , aumentam com o aumento da concentração do suco.

Para o índice de consistência (**K**), verifica-se a diminuição dos valores com o aumento da temperatura para as concentrações de 10 a 15°Brix. Para as concentrações de 20 e 25°Brix os valores oscilam. No índice de comportamento do fluido (**n**), os valores tiveram pequena variação com o aumento da temperatura.

À temperatura constante, verifica-se que os valores da tensão inicial (τ_0), aumentam com o aumento do conteúdo de sólidos solúveis. O mesmo tipo de comportamento é verificado para os valores do índice de consistência (**K**). Os valores do índice de comportamento de fluxo (**n**) apresentam pequenas variações com o aumento do conteúdo de sólidos solúveis. Todos os valores de **n** são menores que a unidade, indicando ser o fluido pseudoplástico.

As figuras 6.5 a 6.9 apresentam os valores de τ_0 , **K** e **n** em função da concentração para as diversas temperaturas estudadas.

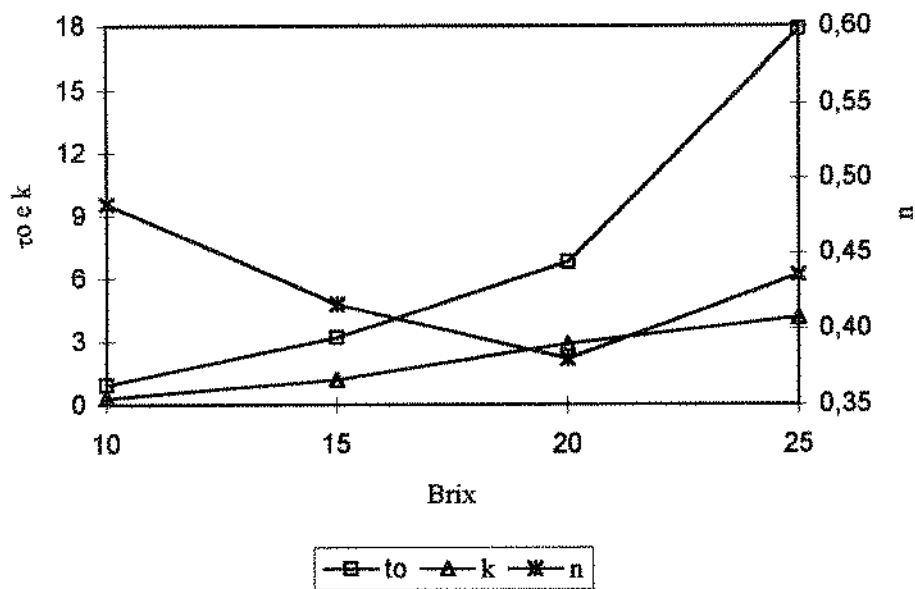


Figura 6.5 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) a temperatura de 10°C.

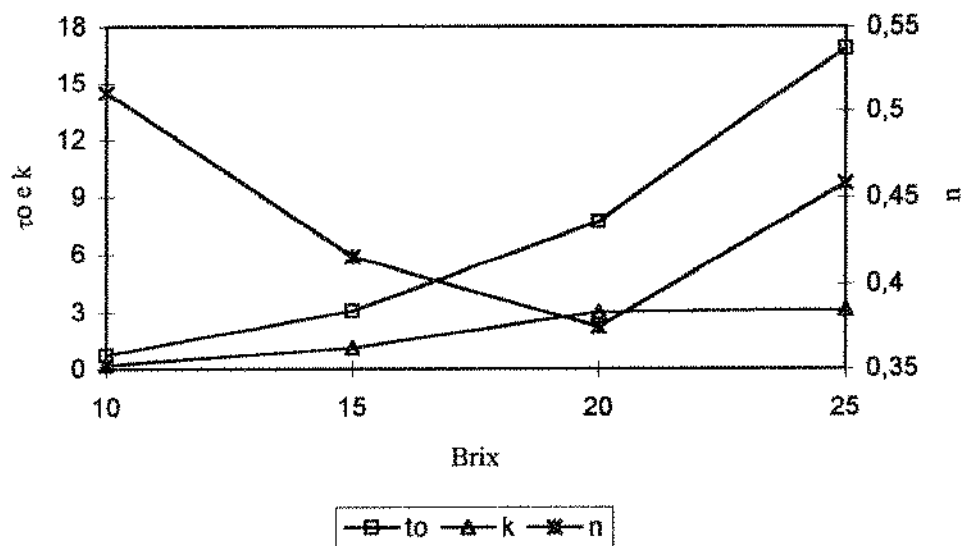


Figura 6.6 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 20°C.

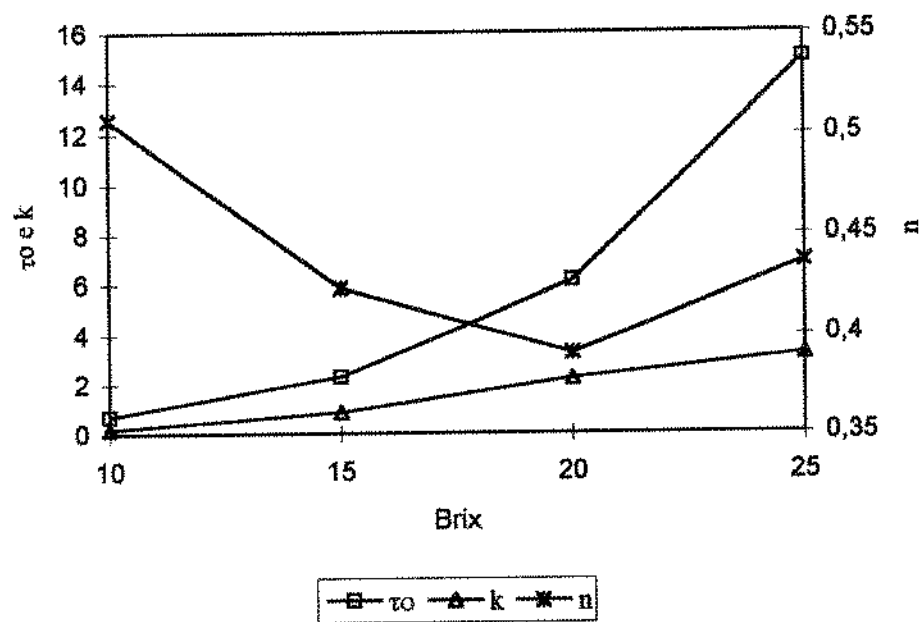


Figura 6.7 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 30°C.

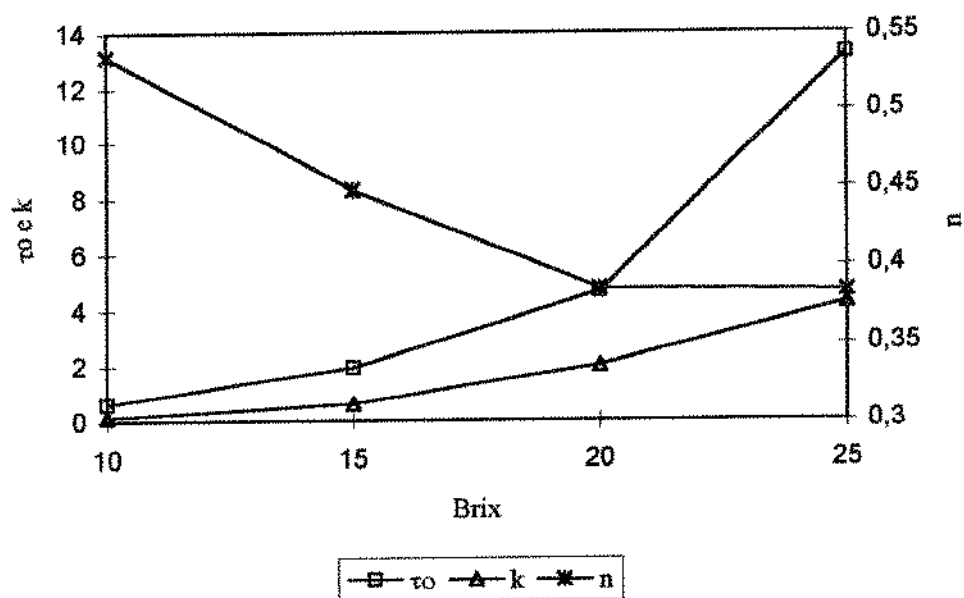


Figura 6.8 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 40°C.

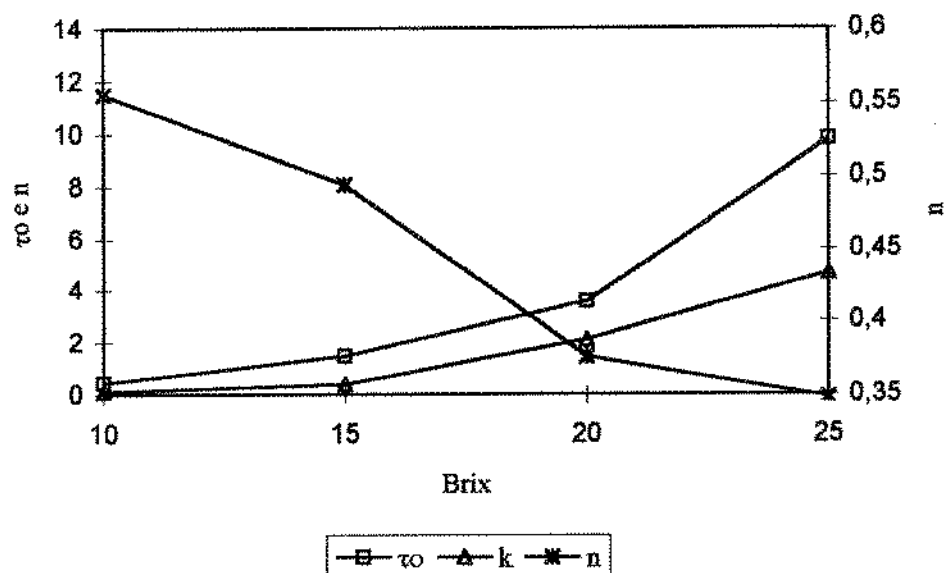


Figura 6.9 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 50°C.

Os dados obtidos podem ser comparados com algumas referências existentes na bibliografia.

RAO & PALOMINO (1974), estudaram o suco de mamão à concentração de 7,3°Brix e temperatura de 26°C. Utilizaram um viscosímetro de tubo capilar e os dados foram correlacionados pelo modelo da Lei de Potência, encontrando para o suco comportamento pseudoplástico (tabela 6.8).

GARCIA et alli (1974) citado por JIMÉNEZ & DURÁN (1979), estudaram o suco de mamão à concentração de 12,6°Brix e temperatura de 40°C, utilizando um viscosímetro de Brookfield LFV, encontrando também para o suco comportamento pseudoplástico (tabela 6.8).

Tabela 6.8 - Parâmetros reológicos citados na literatura para o suco de mamão.

Concentração (°Brix)	Temperatura (°C)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	Referência
7,3	26	1,01	0,53	Rao & Palomino (1974)
12,6	40	5,33	0,23	Garcia et alli (1974)

Fica difícil a comparação dos dados da literatura com este trabalho, já que os equipamentos para a obtenção dos resultados são bastante distintos e os autores estudaram apenas uma condição de Brix e temperatura. No entanto, pode-se verificar que a ordem de grandeza de **K** e **n** obtidas neste trabalho (Apêndice D) estão bem razoáveis para a mesma faixa de Brix e temperatura.

6.2.2.3. - Correlação dos Parâmetros em Função da Temperatura e Concentração

Para verificar o modelo que melhor se ajusta aos dados experimentais em função da temperatura e concentração nos parâmetros τ_0 , **K** e **n**, foram utilizadas as mesmas equações apresentadas no Capítulo 4 (eq. 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 respectivamente).

As constantes da equação também foram obtidas utilizando o software **STATISTICA** versão 5.0. A tabela 6.9 apresenta os valores dos parâmetros a_1 , a_2 e a_3 referentes as variáveis τ_0 , **K** e **n** para as quatro equações utilizadas, bem como os coeficientes de correlação(R), porcentagem de variância explicada (R^2) e o teste do Qui-quadrado (χ^2).

Tabela 6.9 - Resultados dos parâmetros obtidos para τ_0 , K e n em função da temperatura (Kelvin) e concentração (°Brix) para as quatro equações propostas.

Equação	Parâmetros obtidos para equações de τ_0			R	R ² (%)	χ^2
	a ₁	a ₂	a ₃			
4.2	-2,38.10 ⁻²	3,07	-	0,995	99,0	71,4
4.3	1,43.10 ⁻²	-1,25.10 ⁻²	3,32	0,999	99,8	14,6
4.4	-2515,4	3,42	-	0,94	88,5	850,1
4.5	8,0.10 ⁻⁶	1118,8	3,32	0,999	99,8	15,6
Equação	Parâmetros obtidos para equações de K			R	R ² (%)	χ^2
	a ₁	a ₂	a ₃			
4.2	-1,45.10 ⁻²	1,78	-	0,95	90,8	11,7
4.3	1,82.10 ⁻²	-3,32.10 ⁻³	1,97	0,96	92,5	9,5
4.4	-1639,9	2,09	-	0,92	85,1	18,9
4.5	2,25.10 ⁻³	331,8	1,97	0,96	92,5	9,5
Equação	Parâmetros obtidos para equações de n			R	R ² (%)	χ^2
	a ₁	a ₂	a ₃			
4.2	-3,71.10 ⁻³	8,9.10 ⁻²	-	0,39	15,5	0,034
4.3	0,603	-0,0023	0,116	0,41	17,0	0,033
4.4	-	-	-	-	-	-
4.5	0,144	220,8	0,116	0,41	17,0	0,033

Analisando-se os resultados obtidos para τ_0 e K, verifica-se que tanto para as eq.4.3 como para a eq.4.5, os coeficientes estatísticos estão em boa concordância com altos valores do coeficiente de correlação (0,999 e 0,96 respectivamente) e os mais baixos valores para χ^2 . Para o índice de comportamento do fluxo (n), nenhuma das quatro equações apresentaram um bom ajuste em função da temperatura e concentração. As figuras 6.10 e 6.11 apresentam os valores de τ_0 e K obtidos pelo modelo de Herschel-Bulkley e as superfícies geradas pelo modelo da equação 4.3 que apresentou melhor correlação destes parâmetros com a temperatura e concentração.

Analisando-se a superfície gerada na figura 6.10, verifica-se que a concentração apresenta um efeito muito mais acentuado no τ_0 do que a temperatura.

A influência da temperatura é mais observada para altas concentrações de Brix. O máximo de τ_0 é verificado justamente no valor mais alto de Brix e mais baixo da temperatura.

Através da figura 6.11 verifica-se que a concentração é sem dúvida a variável responsável pelo aumento do índice de consistência (**K**). No entanto, para uma dada concentração, variando-se a temperatura o parâmetro **K** permanece praticamente inalterado.

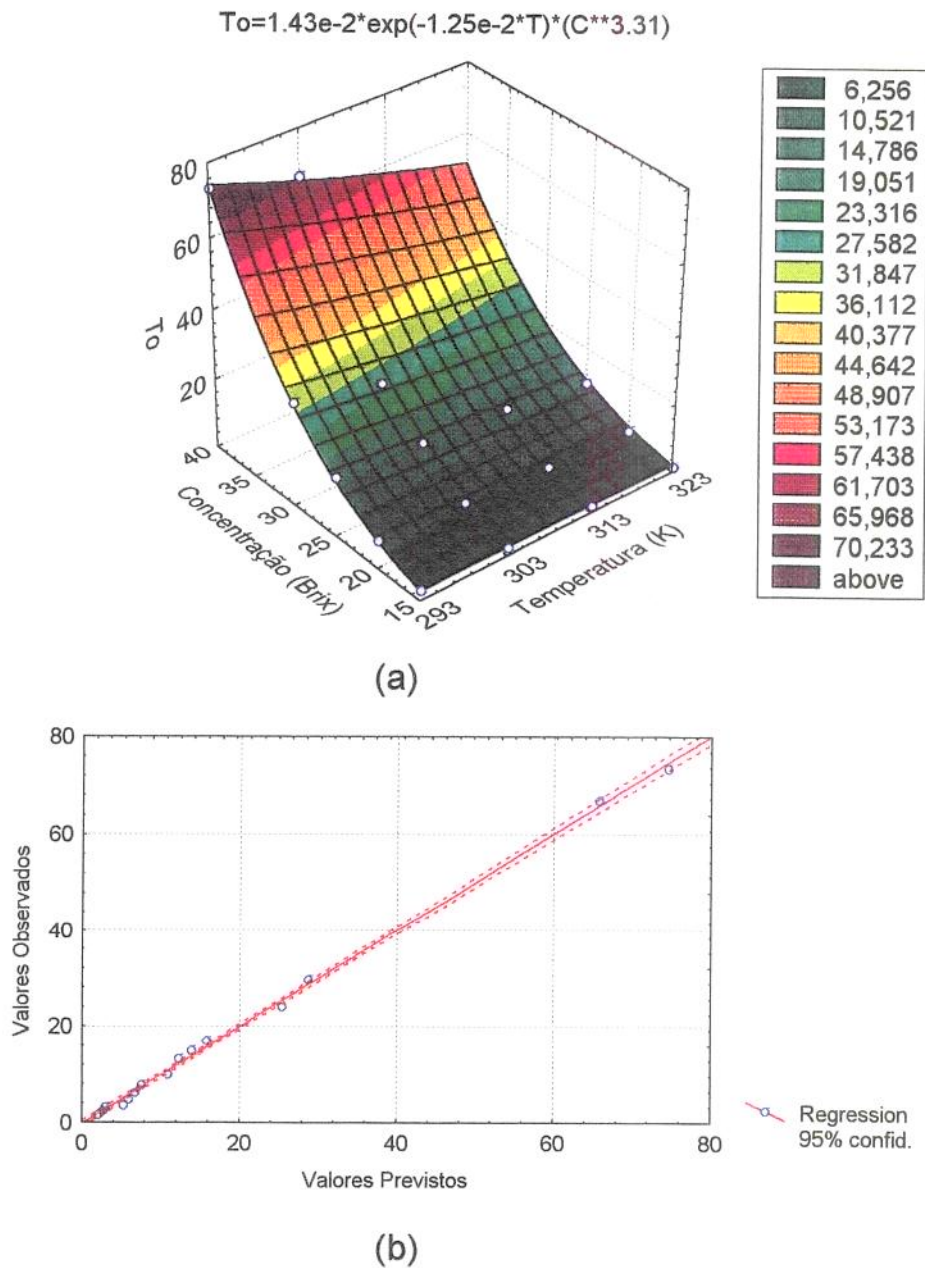


Figura 6.10 - (a) - Efeito da temperatura e concentração na tensão de cisalhamento inicial, (b) - Valores observados de τ_0 (em função do ajuste pelo método de H-B) em relação aos valores previstos pelo modelo proposto de τ_0 em função da temperatura e concentração (eq.4.3).

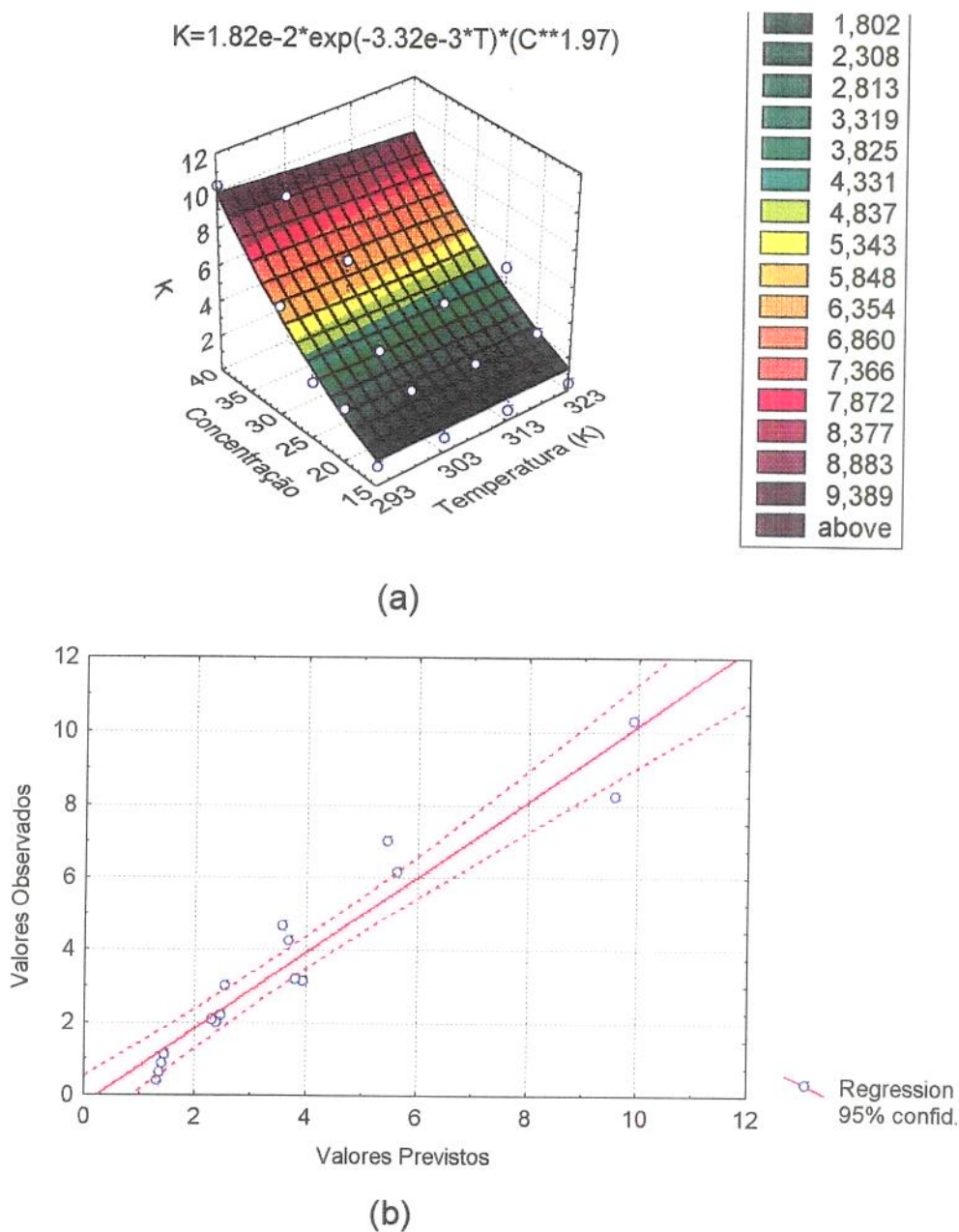


Figura 6.11 - (a) - Efeito da temperatura e concentração no índice de consistência, (b) - Valores observados de K (em função do ajuste pelo modelo de H-B) em relação aos valores previstos pelo modelo proposto de K em função da temperatura e concentração (eq. 4.3).

CAPÍTULO 7

GOIABA

7.1. Introdução

A goiabeira, natural da América tropical e subtropical, pertence ao gênero *Psidium* * *L* (o fruto do romã) da família *Myrtaceae*, compreende mais de 100 espécies de árvores e arbustos que produzem frutos comestíveis.

A fruta é rica em vitamina C (ácido ascórbico) superando de longe o conteúdo desta nos sucos cítricos (MEDINA et alli, 1978). A cor da polpa varia do vermelho até o branco, passando pelo rosado, salmão, amarelo e creme.

Quanto às variedades de consumo ao natural, as preferidas são as de cores brancas, firmes, aromáticas, polpas grossas e sabor doce.

A goiaba da variedade branca comum possui um teor de vitamina C um pouco mais elevado que a vermelha comum. Os teores de vitamina A e fibras também são altos, sendo a goiaba a fruta que apresenta o mais alto teor de fibras. A fruta mesmo quando ainda verde não possui amido, sendo rica portanto em pectina.

A goiaba além de ser consumida ao natural, tem grande importância na indústria de doces, onde seus produtos se enquadram no grupo dos produtos denominados exóticos, juntamente com alguns produtos de manga, maracujá, tamarindo etc.

O principal produto industrializado de goiaba é a goiabada. Além desta encontramos a geléia, frutas em calda, sucos, refrescos etc.

No Brasil os principais Estados produtores de goiabas são: Pernambuco, Rio de Janeiro e São Paulo. No ano de 1992 o Brasil exportou 180 toneladas dessa fruta CHITARRA & CHITARRA, 1994).

A composição química das frutas frescas pode variar em função da variedade, fertilidade do solo, grau de maturação, porção do fruto etc. A tabela 7.1 apresenta a composição química das variedades branca e vermelha.

Tabela 7.1 - Composição química das variedades branca e vermelha (MEDINA el alli, 1978).

Análises químicas	Branca	Vermelha
Sólidos totais (%)	12,37	15,73
Açúcares totais (%)	4,83	6,21
Açúcares redutores (%)	3,25	4,50
Fibras (%)	5,73	5,06
Cinzas (%)	0,32	0,53
pH	5,50	5,90

VITALI & RAO (1982) estudaram o purê de goiaba da cor vermelha e variedade indeterminada, e determinaram algumas características físicas e químicas que estão apresentadas na tabela 7.2.

Tabela 7.2 - Composição química do purê de goiaba de variedade desconhecida.

Análises	Resultados
°Brix	9,8
Sólidos Totais (%)	10,4
Pectina (%AGA)	0,50

7.2. - Resultados

7.2.1. - Características Físicas e Químicas do Suco de Goiaba

O suco de goiaba congelado e concentrado a 25°Brix, também foi cedido pela empresa UTIARA S/A. O fluxograma básico do processamento da produção do suco concentrado de goiaba por esta empresa está apresentado no Apêndice A.

As concentrações de 30 e 40°Brix foram obtidas no laboratório por concentração em rotavapor a vácuo à temperatura de 50°C.

Os resultados das análises para a determinação das características física e químicas estão na tabela 7.3. A metodologia utilizada está detalhadamente descrita no Capítulo 3.

Tabela 7.3 - Composição química média do suco de goiaba

Análises químicas	Resultados *
pH	4,03
°Brix	25
Cinzas (%)	1,44
Sólidos Totais (%)	24,38 ± 0,04
Acidez Titulável (% ác.cítrico)	1,192 ± 0,006
Açúcares Redutores (%)	14,53 **
Açúcares Totais (%)	22,47 **

* média de 3 amostras

** as três amostras tiveram o mesmo resultado

Os teores de pectina foram determinados pelo método apresentado no Capítulo 3. A tabela 7.4 apresenta os valores das frações pécticas extraídas com água, oxalato de amônio e solução de hidróxido de sódio 1 N.

Tabela 7.4 - Teor de pectina na forma de ácido galacturônico (AGA).

Fase solúvel em	% AGA *
Água	1,20 ± 0,11
Oxalato de amônio	0,035 ± 0,006
Hidróxido de sódio 1 N	0,055 ± 0,051

* média de 2 amostras

A tabela 7.5 e a figura 7.1 apresentam os valores obtidos para as densidades do suco de goiaba a várias concentrações de sólidos solúveis realizados à 25°C.

A densidade (g/cm³) obtida foi correlacionada em função da concentração de sólidos solúveis (°Brix) na faixa de 10 a 20°Brix, expressa por:

$$\rho = 1,026 + 0,003 \text{ }^{\circ}\text{Brix}$$

$$R = 0,997$$

Tabela 7.5 - Densidade do suco de goiaba a várias concentrações.

Concentração (°Brix)	Densidade * (g/cm ³)
10	1,057 ± 0,003
15	1,076 ± 0,001
20	1,089 ± 0,006
22	1,096 ± 0,001

* média de 2 amostras

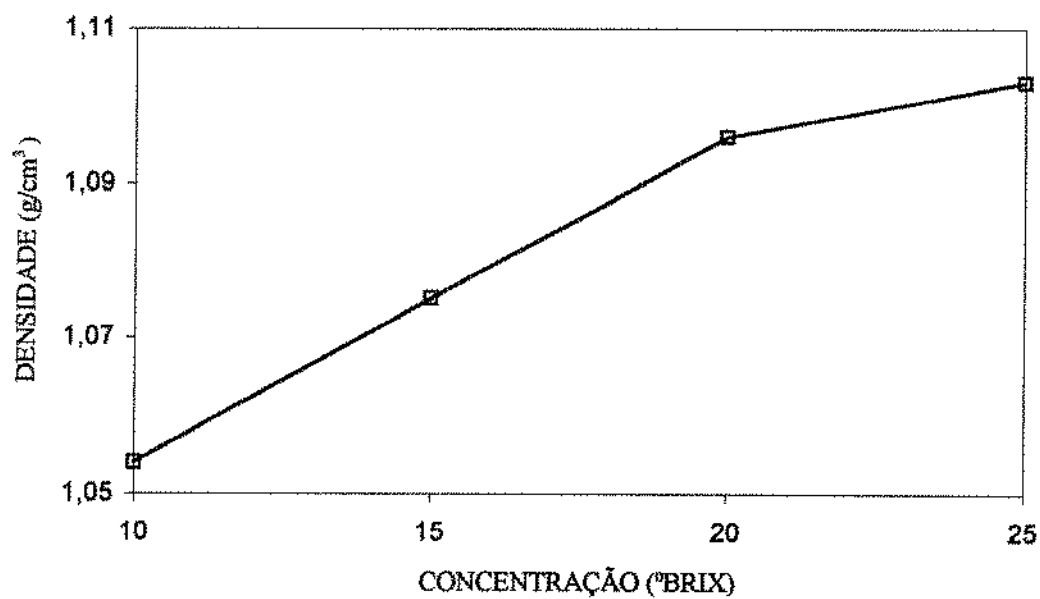


Figura 7.1 - Gráfico da densidade em função da concentração (°Brix) para o suco de goiaba.

7.2.2 - Caracterização Reológica

Para o estudo do comportamento reológico do suco de goiaba, foram feitos experimentos em duplicata realizados numa faixa de concentração de 10 a 25 °Brix e temperatura entre 10 a 60°C e temperatura de 10 a 30°C, para as concentrações de 30 e 40 °Brix. Nestas concentrações não foi possível a determinação à temperaturas maiores, já que a consistência do suco aumentava em tal grau que impedia a medida no reômetro em questão. A tabela 7.6 apresenta as concentrações e as temperaturas utilizadas para a construção dos reogramas.

O equipamento utilizado para coletar os dados foi o mesmo apresentado no Capítulo 4 (item 4.2.2). As leituras no reômetro foram obtidas em forma contínua desde baixa taxa de deformação até a maior (200 s^{-1}) em forma ascendente e posteriormente em ordem decrescente até uma tensão mínima a uma taxa de deformação de $0,275 \text{ s}^{-1}$. Com os resultados obtidos foram construídos os reogramas de tensão de cisalhamento versus taxa de deformação para todas as concentrações e temperaturas estudadas.

Tabela 7.6 - Concentrações e temperaturas usadas para a construção dos reogramas.

Concentração (°Brix)	Temperatura (°C)
10	10
	20
	30
	40
	50
	60
15	10
	20
	30
	40
	50
	60

Continuação da tabela 7.6

Concentração (°Brix)	Temperatura (°C)
20	10
	20
	30
	40
	50
	60
25	10
	20
	30
	40
	50
	60
30	10
	20
	30
40	10
	20
	30

7.2.2.1 - Análise dos Reogramas

Para a discussão e correlação dos dados, foram utilizados apenas os pontos das curvas descendentes como foi mencionado no Capítulo 4.

Para algumas concentrações e temperaturas, houve o aparecimento de uma tensão máxima para a faixa de deformação abaixo de 50 s^{-1} , como pode ser observado na figura 7.2.

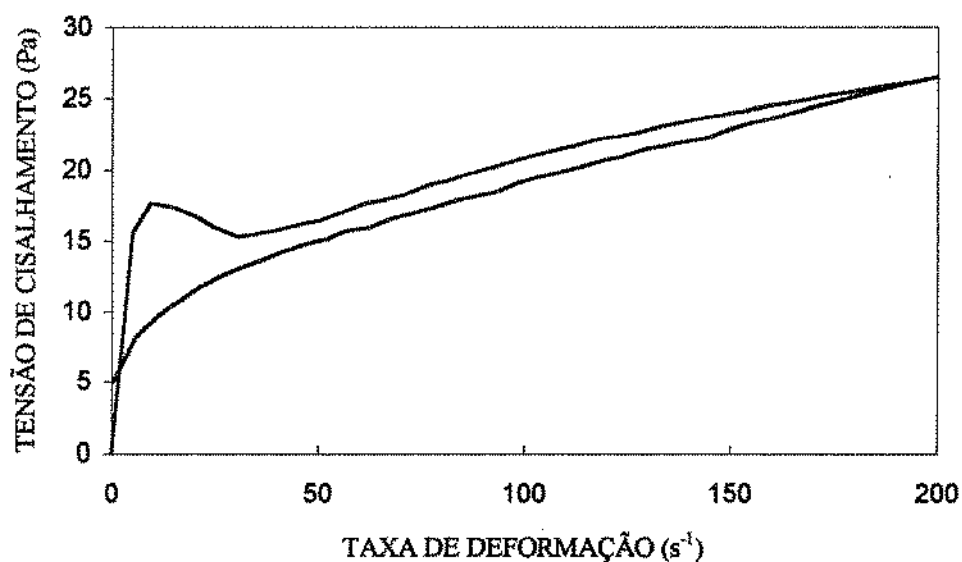


Figura 7.2 - Reograma do suco de goiaba à temperatura de 40°C e concentração de 25°Brix.

Na análise de todos os reogramas, verifica-se novamente que as curvas ascendentes e descendentes não coincidem, havendo o aparecimento de um "loop" de histerese. A tabela 7.7 apresenta os tipos de comportamentos verificados. Para as concentrações de 10,15 e 20°Brix a baixas temperaturas, o suco apresentou um comportamento levemente reopético. Esse tipo de comportamento merece um estudo mais detalhado. Para concentrações e temperaturas maiores o comportamento é ligeiramente tixotrópico.

Tabela 7.7 - Análise do comportamento apresentado pelo suco de goiaba a várias concentrações e temperaturas variando de 10 a 60°C.

Concentração (°Brix)	Temperatura (°C)	Comportamento
10	10	Reopético
	20	Reopético
	30	Reopético
	40	Tixotrópico
	50	Tixotrópico
	60	Tixotrópico
15	10	Reopético
	20	Reopético
	30	Tixotrópico
	40	Tixotrópico
	50	Tixotrópico
	60	Tixotrópico
20	10	Reopético
	20	Coincidentes
	30	Tixotrópico
	40	Tixotrópico
	50	Tixotrópico
	60	Tixotrópico
25	10	Tixotrópico
	20	Tixotrópico
	30	Tixotrópico
	40	Tixotrópico
	50	Tixotrópico
	60	Tixotrópico

Continuação da tabela 7.7

Concentração (°Brix)	Temperatura (°C)	Comportamento
30	10	Reopético
	20	Tixotrópico
	30	Tixotrópico
40	10	Tixotrópico
	20	Tixotrópico
	30	Tixotrópico

7.2.2.2. - Obtenção dos Parâmetros Reológicos

A figura 7.3 apresenta os resultados obtidos experimentalmente (curva descendente) da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de goiaba à 25°Brix e temperatura de 10 a 60°C. O Apêndice E apresenta as figuras para as concentrações de 10, 15, 20 e 25, 30 e 40°Brix respectivamente.

Para todas as concentrações analisadas, observa-se o aparecimento de uma tensão de cisalhamento inicial (τ_0) e um comportamento suave em função da temperatura. Para taxa de deformação constante ($\dot{\gamma}$), há o aumento da tensão de cisalhamento à medida que a temperatura decresce.

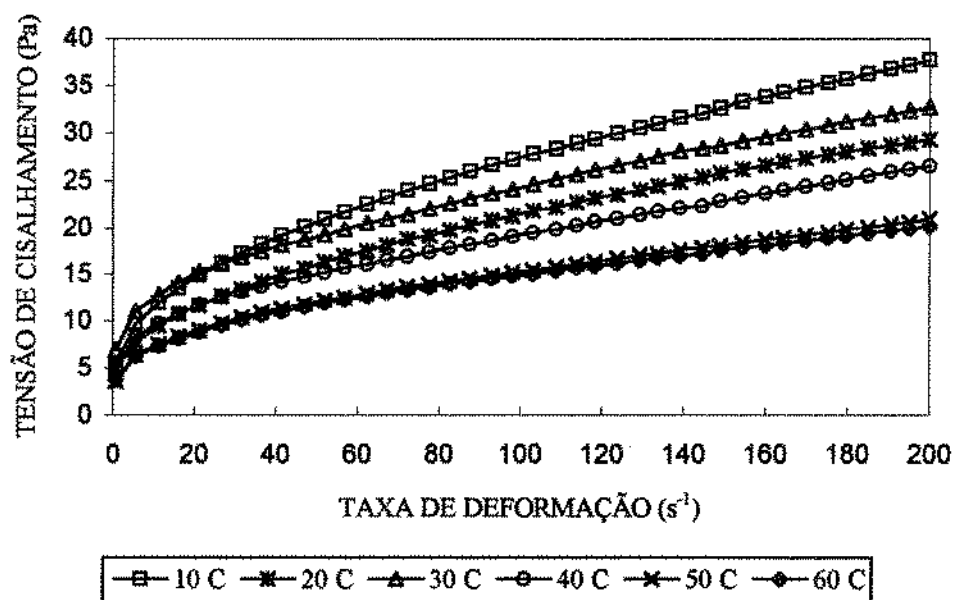


Figura 7.3 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de goiaba a 25°Brix à várias temperaturas.

Foram utilizados três modelos para correlacionar os dados obtidos para cada concentração e temperatura: o Modelo da Lei de Potência, o Modelo de Herschel-Bulkley e o Modelo de Casson (eq.2.2, 2.3, 2.4 respectivamente).

Os parâmetros de cada modelo foram determinados utilizando-se o software **ORIGIN** versão 3.0.

A figura 7.4 apresenta os resultados experimentais da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de goiaba na concentração de 25°Brix e 40°C. Observa-se que o modelo de Herschel-Bulkley também se ajusta muito bem aos dados experimentais. Os gráficos para as outras concentrações estão apresentados no Apêndice E.

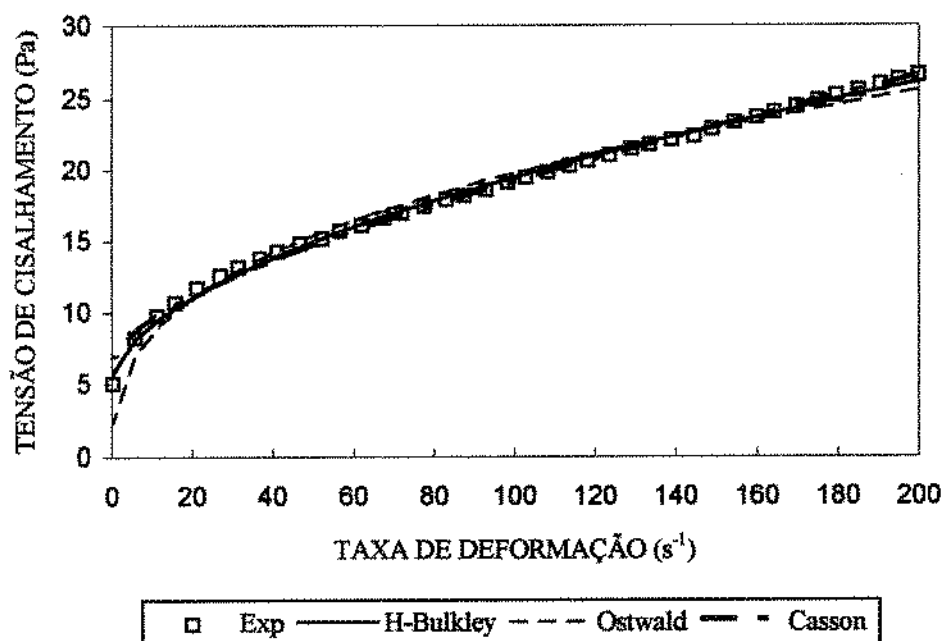


Figura 7.4 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de goiaba a 25°Brix e 40°C.

Para a escolha do melhor modelo que se ajusta aos dados experimentais foi utilizado o mesmo critério apresentado para o suco de manga (item 4.2.2.2), onde foram analisados os valores de R^2 e o teste do Qui-Quadrado (χ^2).

A tabela 7.8 apresenta os parâmetros τ_0 , K e n , seus respectivos erros e os valores de R^2 e χ^2 . Para os modelos de Ostwald e Casson, as tabelas contendo os valores dos parâmetros estão no Apêndice E.

Comparando os valores de R^2 e χ^2 para todas as concentrações estudadas, verifica-se que o modelo de Herschel-Bulkley é o que apresenta os maiores valores para R^2 e os menores para χ^2 .

Analisando os valores da tabela 7.8, verifica-se que os valores da tensão inicial τ_0 mostram tendências diversas em função da temperatura. Para concentrações até 25°Brix, apresenta-se uma tendência decrescente com a temperatura, entretanto para temperatura de 30° C, a tensão crítica aumenta bruscamente para descer a "posteriori" à medida que a temperatura aumenta.

Para 30°Brix, o valor obtido de τ_0 é aproximadamente constante; passando a 40°Brix, a tendência se inverte, começando a verificar-se um aumento da tensão crítica com a temperatura.

Como foi dito anteriormente, à temperaturas maiores não foi possível realizar as medidas devido a um aumento excessivo da consistência.

Quanto ao conteúdo de sólidos solúveis (°Brix) à temperatura constante, verifica-se que os valores da tensão inicial (τ_0) aumentam com o aumento do conteúdo de sólidos solúveis.

Tabela 7.8 - Resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Herschel-Bulkley para o suco de goiaba a várias temperaturas e concentrações.

°Brix	T (°C)	τ_0 (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	Er(τ_0)	Er(K)	Er(n)	χ^2	R ²
10	10	0.37	0.19	0.55	0.050	0.015	0.012	0.001	0.998
	20	0.33	0.15	0.54	0.037	0.014	0.014	0.001	0.997
	30	0.44	0.17	0.52	0.035	0.014	0.013	0.001	0.998
	40	0.37	0.11	0.55	0.028	0.010	0.014	0.001	0.997
	50	0.47	0.03	0.71	0.021	0.004	0.021	0.001	0.997
	60	0.35	0.02	0.77	0.021	0.003	0.026	0.001	0.998
15	10	0.99	0.60	0.51	0.04	0.018	0.005	0.002	0.999
	20	0.98	0.42	0.53	0.02	0.011	0.004	0.001	0.999
	30	1.21	0.46	0.51	0.05	0.020	0.007	0.002	0.999
	40	0.99	0.27	0.56	0.04	0.017	0.010	0.002	0.999
	50	0.95	0.17	0.61	0.03	0.010	0.009	0.001	0.999
	60	0.71	0.10	0.64	0.03	0.009	0.015	0.001	0.999

Continuação da tabela 7.8

°Brix	T (°C)	τ_0 (Pa)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	Er(τ_0)	Er(K)	Er(n)	χ^2	R ²
20	10	2.07	1.14	0.51	0.05	0.021	0.003	0.002	0.999
	20	2.01	0.86	0.52	0.05	0.020	0.004	0.002	0.999
	30	3.08	0.78	0.54	0.10	0.037	0.008	0.010	0.999
	40	2.15	0.61	0.54	0.08	0.032	0.009	0.007	0.999
	50	1.80	0.45	0.56	0.06	0.023	0.008	0.005	0.999
	60	1.45	0.24	0.62	0.07	0.018	0.012	0.005	0.999
25	10	3.69	2.40	0.50	0.20	0.085	0.006	0.028	0.999
	20	3.69	1.57	0.52	0.11	0.045	0.004	0.010	0.999
	30	6.83	1.54	0.53	0.32	0.123	0.013	0.090	0.998
	40	5.16	1.12	0.55	0.29	0.103	0.015	0.085	0.997
	50	3.38	1.16	0.51	0.18	0.075	0.010	0.030	0.998
	60	3.33	1.19	0.49	0.15	0.064	0.008	0.019	0.999
30	10	16.45	3.81	0.56	0.68	0.234	0.010	0.405	0.999
	20	17.18	2.25	0.62	0.70	0.200	0.015	0.531	0.998
	30	16.20	1.68	0.63	0.90	0.246	0.025	0.979	0.995
40	10	6.23	14.00	0.45	0.45	0.21	0.002	0.099	0.999
	20	9.52	9.04	0.49	0.63	0.27	0.004	0.246	0.999
	30	21.18	9.36	0.53	1.60	0.610	0.010	2.579	0.998

Os valores do índice de consistência (K) aumentam com o aumento do conteúdo de sólidos solúveis à temperatura constante. Para os valores de K à concentração de sólidos solúveis constante, verifica-se tendências aproximadamente iguais à tensão inicial, com um valor máximo ao redor de 30°C, para concentrações de 25°Brix e para concentrações maiores, os valores de K, mostram o comportamento mais usual de decrescimento deste parâmetro em função da temperatura.

Os valores do índice de comportamento de fluxo (n), sofrem pequenas oscilações tanto à temperatura constante quanto à concentrações de sólidos solúveis constante. Todos os valores de n são menores que a unidade, indicando que o fluido apresenta comportamento pseudoplástico.

As figuras 7.5 a 7.10 apresentam os valores de τ_0 , K e n em função da concentração para as diversas temperaturas estudadas, onde pode verificar-se as tendências anteriormente discutidas.

Diferentemente dos produtos anteriores, a tendência da tensão crítica com a concentração, apresenta flutuações a partir de 30°Brix. Este efeito como os anteriores provavelmente possa ser explicado pelo alto conteúdo de pectina deste suco.

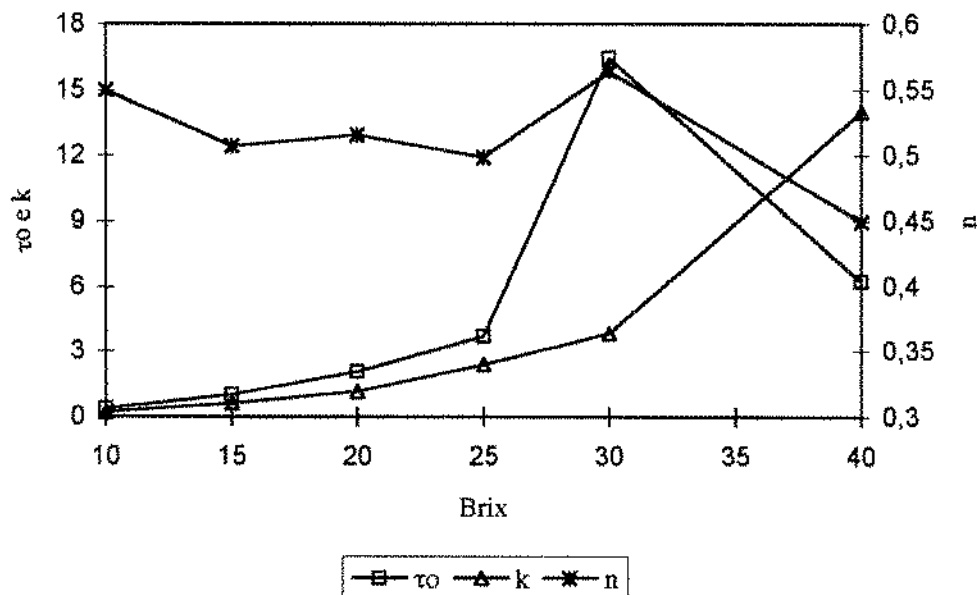


Figura 7.5 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 10°C.

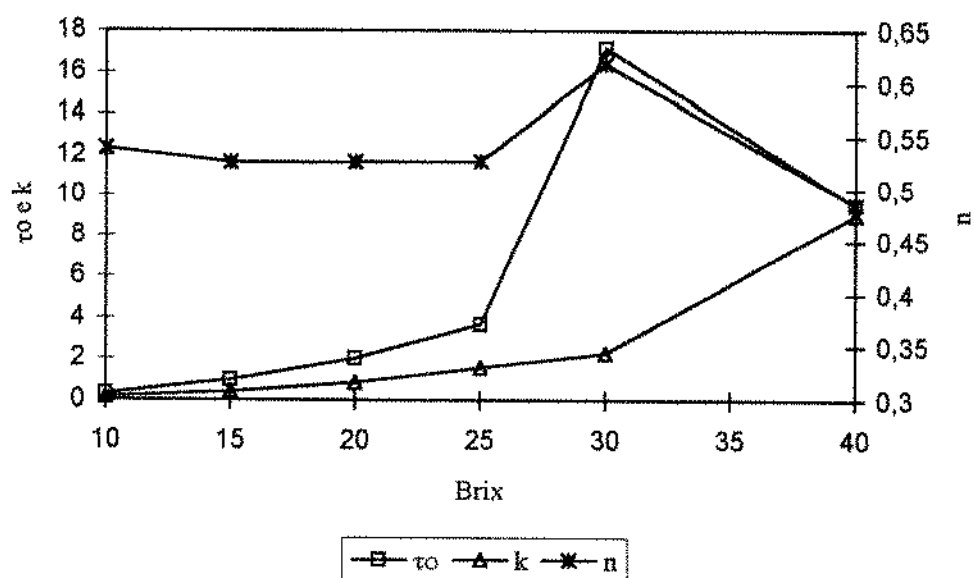


Figura 7.6 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 20°C.

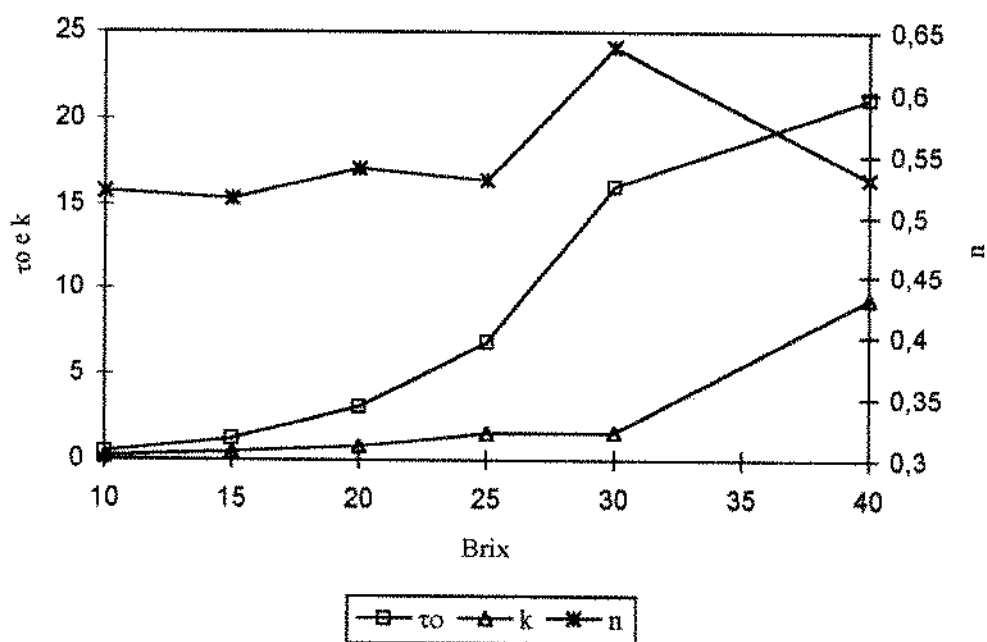


Figura 7.7 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 30°C.

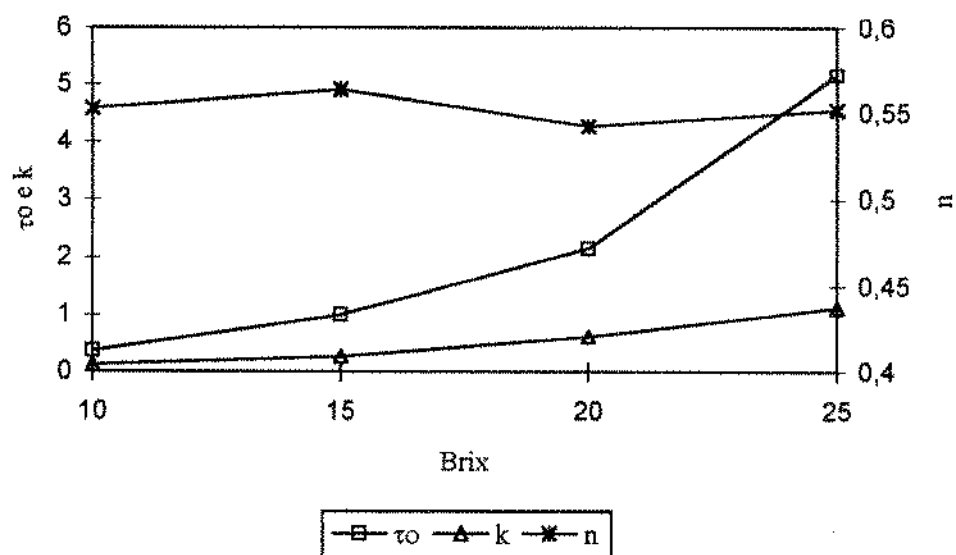


Figura 7.8 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 40°C.

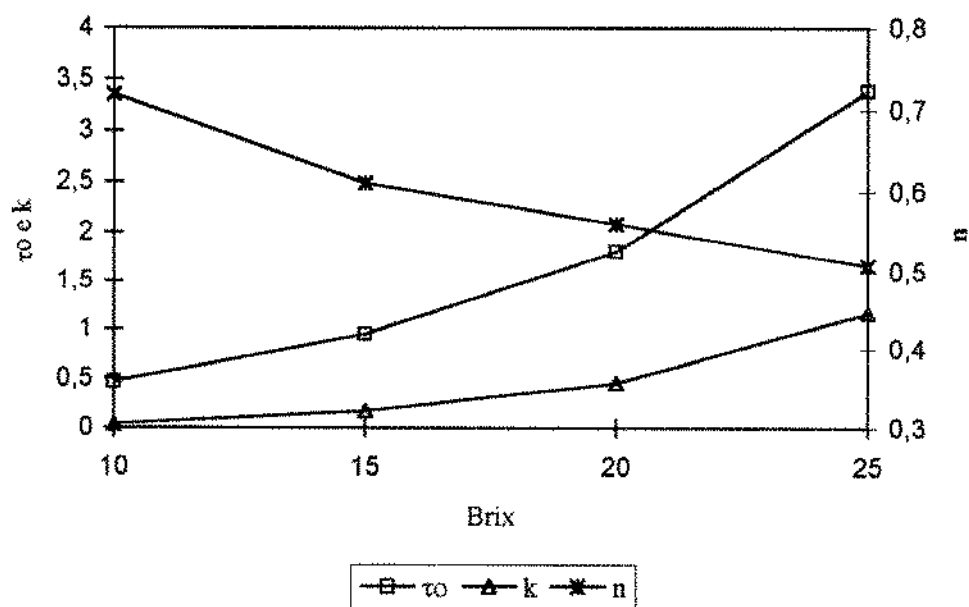


Figura 7.9 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 50°C.

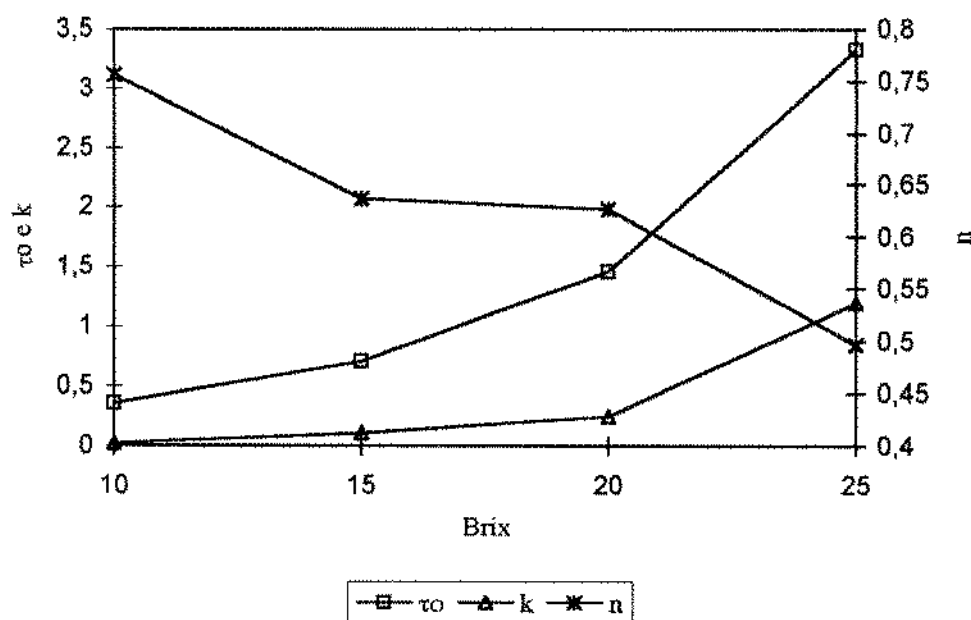


Figura 7.10 - Parâmetros τ_0 , K e n em função da concentração (°Brix) para temperatura de 60°C.

Para efeito de comparação é interessante a análise dos resultados que aparecem na bibliografia.

RAO & PALOMINO (1974) estudaram o purê de goiaba a concentração de 10,3 °Brix e temperatura de 23,4 °C, utilizando um viscosímetro de tubo capilar, e encontraram comportamento pseudoplástico. A tabela 7.9 apresenta os valores de K e n à temperatura de 23,4°C.

Tabela 7.9 - Valores de K e n para o purê de goiaba à concentração de 10,3°Brix e $T=23,4^\circ\text{C}$ (RAO & PALOMINO, 1974).

Concentração (°Brix)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)
10,3	0,4863	0,49

GARCIA et alli (1974) citado por JIMÉNEZ & DURÁN (1979), estudaram o purê de goiaba à 14,8°Brix e temperatura variando de 15 a 70°C. Utilizaram um viscosímetro Brookfield LVF e encontraram comportamento pseudoplástico para todas as temperaturas estudadas.

A tabela 7.10 apresenta os valores de **K** e **n** para a concentração de 14,8°Brix e para temperaturas variando de 15 a 70°C.

Tabela 7.10 - Valores de **K** e **n** para o purê de goiaba à concentração de 14,8°Brix e temperaturas variando de 15 a 70°C.

Concentração (°Brix)	Temperatura (°C)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)
14,8	15	2,826	0,16
	20	2,534	0,16
	30	2,149	0,21
	40	1,575	0,33
	50	1,073	0,43
	60	1,008	0,47
	70	1,083	0,44

Observa-se também que os valores de **K** sofrem uma diminuição com o aumento da temperatura e os valores de **n** apresentam um aumento com a temperatura.

Também pode-se mencionar os resultados obtidos por VITALI & RAO (1982), trabalhando com suco a 9,8 e 16°Brix, com goiaba de variedade vermelha em reômetro de dutos. Estes autores correlacionaram seus dados pelos modelos da Lei de Potência, Casson e Mizrahi-Berk. Os autores não discutem qual apresenta o melhor ajuste. Para o modelo da Lei de Potência, o valor do índice de comportamento de fluxo é aproximadamente constante e igual a 0,43 e os valores do índice de consistência variam para temperaturas de 10 a 50°C, de 8,38 até 3,73 Pa.sⁿ (valores calculados a partir da correlação fornecida pelos autores).

Comparando-se os dados destes autores com os da tabela 7.9 e com os calculados neste trabalho para este modelo (Apêndice E, tabela E.1), verificamos que os índices de comportamento são bastante coincidentes existindo divergências nos valores encontrados no índice de consistência. Em geral, os dados obtidos por VITALI & RAO (1982) são bem mais altos. Pode-se mencionar que as faixas de taxas de deformação utilizadas pelos mesmos é muito maior que as deste trabalho (10^2 - 3.10^3 s⁻¹).

7.2.2.3 - Correlação dos Parâmetros Reológicos em Função da Temperatura e Concentração

Para verificar o modelo que melhor se ajusta aos dados experimentais em função da temperatura e concentração nos parâmetros τ_0 , K e n , foram utilizadas as mesmas equações apresentadas no Capítulo 4 (eq. 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5 respectivamente). A faixa de temperatura considerada no estudo da correlação foi de 20 a 60°C. A temperatura de 10°C e concentração de 10°Brix foram descartadas, pois foram afetadas por erros de medida.

Para a concentração, o estudo foi dividido em duas etapas. Primeiramente usou-se a faixa de 15 a 40°Brix e posteriormente de 15 a 25°Brix. Esta conduta se deve ao fato do suco de goiaba apresentar provavelmente conteúdos de fibras e sementes, apresentando comportamentos diversos a altas concentrações como já foi discutido.

As constantes das equações também foram obtidas utilizando o software **STATISTICA** versão 5.0. A tabela 7.11 apresenta os resultados dos parâmetros a_1 , a_2 e a_3 para τ_0 , K e n , para as quatro equações testadas bem como o coeficiente de correlação (R), porcentagem de variância explicada (R^2) e o teste do Qui-Quadrado (χ^2).

Tabela 7.11 - Resultados dos parâmetros obtidos para τ_0 , K e n em função da temperatura (Kelvin) e concentração (°Brix) para as quatro equações propostas.

Equação	Parâmetros obtidos para equações de τ_0			R	R ² (%)	χ^2
	a ₁	a ₂	a ₃			
4.2	-1,44.10 ⁻²	1,93	-	0,81	65,6	236,1
4.3	1,55.10 ⁻²	-4,2.10 ⁻³	2,23	0,82	67,0	226,6
4.3*	2,26.10 ⁻³	-8,42.10 ⁻³	3,17	0,89	79,6	8,75
4.4	-2032,4	2,60	-	0,75	56,9	295,5
4.5	1,56.10 ⁻³	281,0	2,27	0,82	66,8	227,4
Equação	Parâmetros obtidos para equações de K			R	R ² (%)	χ^2
	a ₁	a ₂	a ₃			
4.2	-3,5.10 ⁻²	3,40	-	0,96	91,8	10,7
4.3	3,9.10 ⁻⁷	1,39.10 ⁻³	4,49	0,992	98,5	1,99
4.3*	2,95.10 ⁻³	-1,28.10 ⁻²	3,13	0,97	93,9	0,20
4.4	-4934,0	5,04	-	0,89	79,4	26,8
4.5	9,6.10 ⁻⁷	-146,4	4,49	0,992	98,5	1,99
Equação	Parâmetros obtidos para equações de n			R	R ² (%)	χ^2
	a ₁	a ₂	a ₃			
4.2	-7,49.10 ⁻⁴	-0,116	-	-	-	0,044
4.3	0,38	1,6.10 ⁻³	-0,042	0,35	12,1	0,037
4.4	-143,4	-0,041	-	0,34	11,9	0,037
4.5	1,045	-155,9	-0,042	0,35	11,9	0,037

*Parâmetros obtidos considerando-se a faixa de concentração de 15 a 25°Brix.

Analisando-se os resultados estatísticos das regressões, verifica-se que apenas o índice de consistência (K) apresenta um alto coeficiente de correlação (R=0,992 para a eq.4.3 considerando a faixa de 15 a 40°Brix). No entanto, a tensão de cisalhamento inicial (τ_0) apresenta um valor de R muito abaixo dos outros sucos analisados nos capítulos anteriores (0,98; 0,999 e 0,999 para os sucos de manga, maracujá e mamão respectivamente). Para este parâmetro o coeficiente de correlação foi de 0,89 quando considerou-se apenas a faixa de 15 a 25°Brix, caindo para 0,82 para a faixa de 15 a 40°Brix.

As figuras 7.11 e 7.12 apresentam as superfícies geradas pelo modelo de τ_0 em função da temperatura para faixas de 15 a 25°Brix e 15 a 40°Brix respectivamente. Observa-se a forte influência da concentração neste parâmetro e praticamente nenhuma da temperatura, devido a que as equações propostas não explicam a funcionalidade encontrada.

Pode-se verificar ainda pelas figuras 7.11a e 7.12a que expressam os valores observados versus os valores previstos pelo modelo que há uma boa concordância nos dados para tensão de cisalhamento inicial até 6,83 dispersando-se para os valores superiores.

Para o parâmetro **K** (figuras 7.13 e 7.14), as duas faixas de concentração estudadas deram bons resultados, podendo-se observar que além da forte influência da concentração neste parâmetro, verifica-se ainda uma suave influência da temperatura. A medida que aumenta-se a temperatura ocorre uma ligeira queda deste parâmetro.

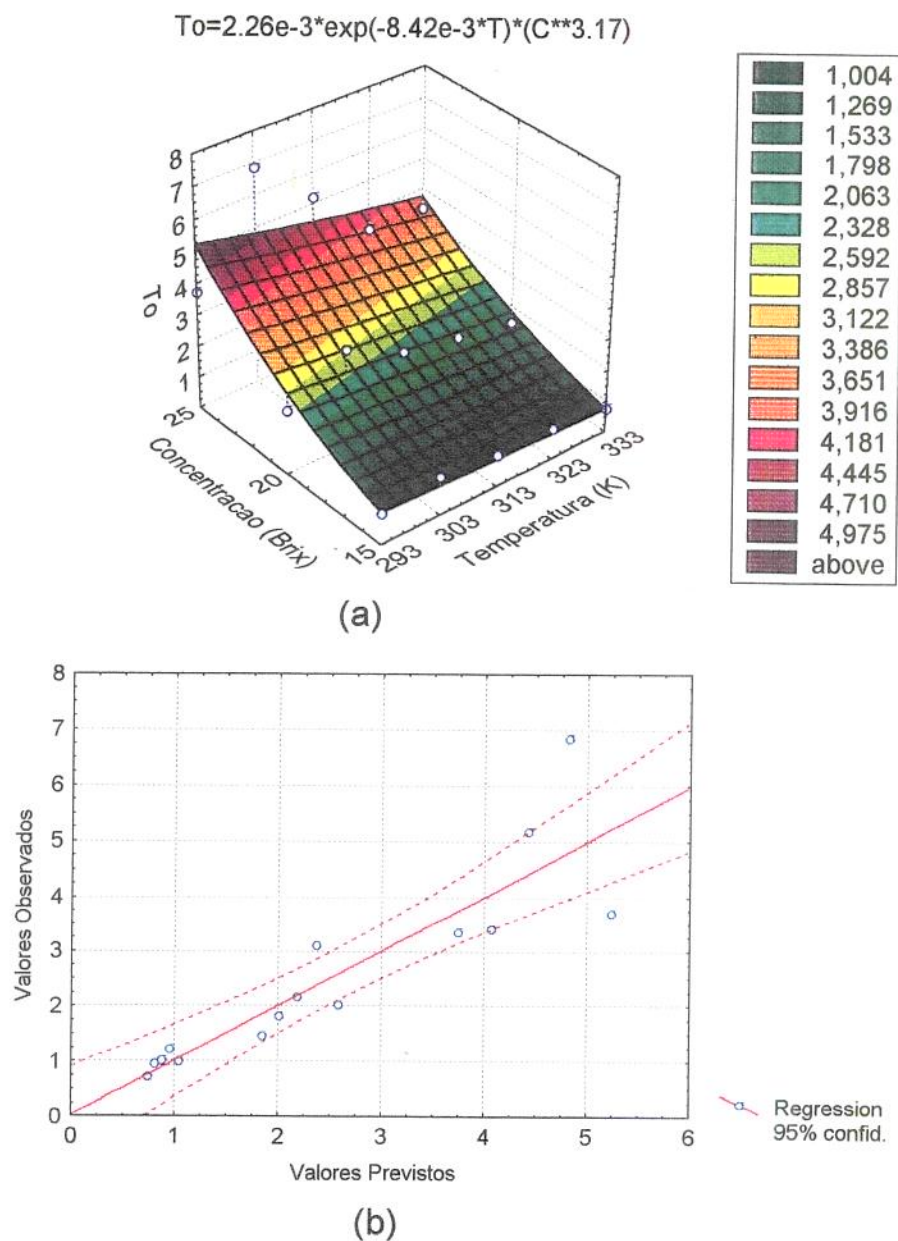


Figura 7.11 - (a) Efeito da temperatura e concentração na tensão de cisalhamento inicial, **(b)** Valores observados de τ_0 (em função do ajuste pelo modelo de H-B) em relação aos valores previstos pelo modelo de τ_0 em função da temperatura e para faixa de concentração de 15 a 25°Brix (eq.4.3*).

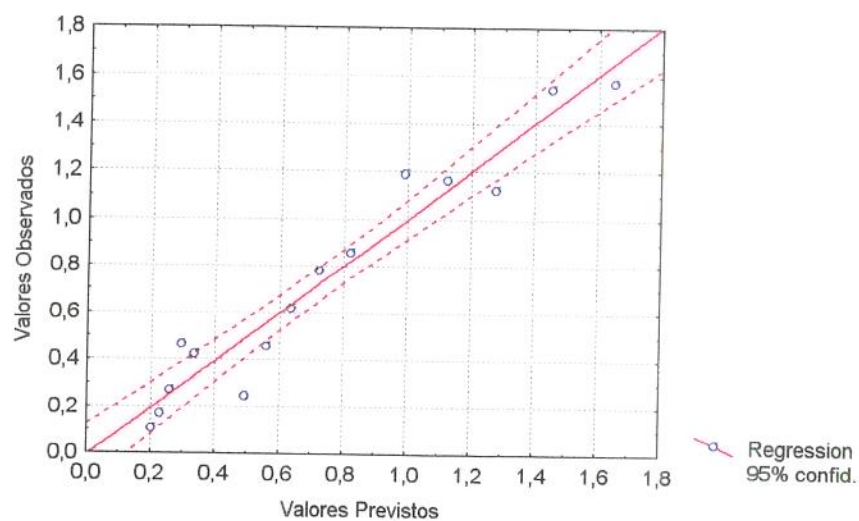
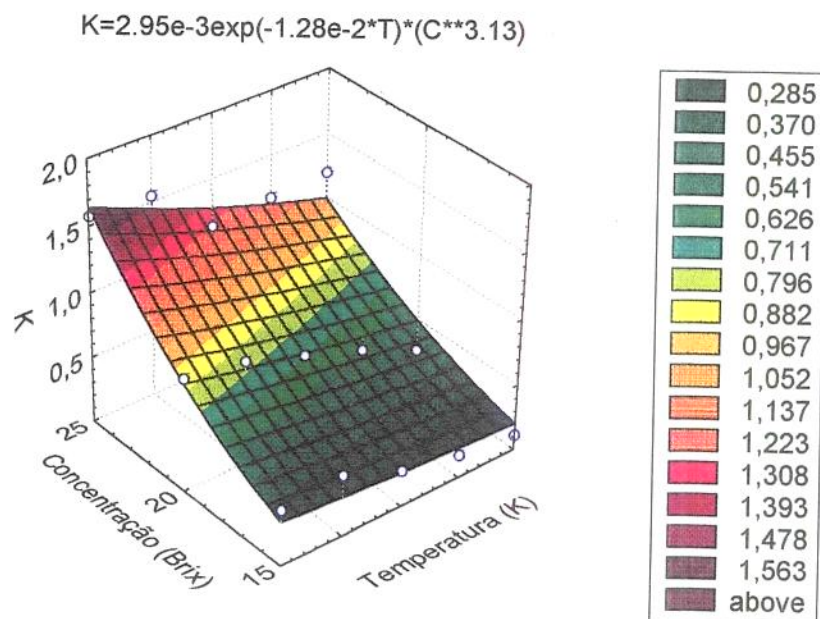


Figura 7.12 -**(a)** Efeito da temperatura e concentração na tensão de cisalhamento inicial, **(b)**- Valores observados de τ_0 (em função do ajuste do modelo de H-B) em relação aos valores previstos pelo modelo proposto de τ_0 em função da temperatura e faixa de concentração de 15 a 45°Brix eq.4.3).

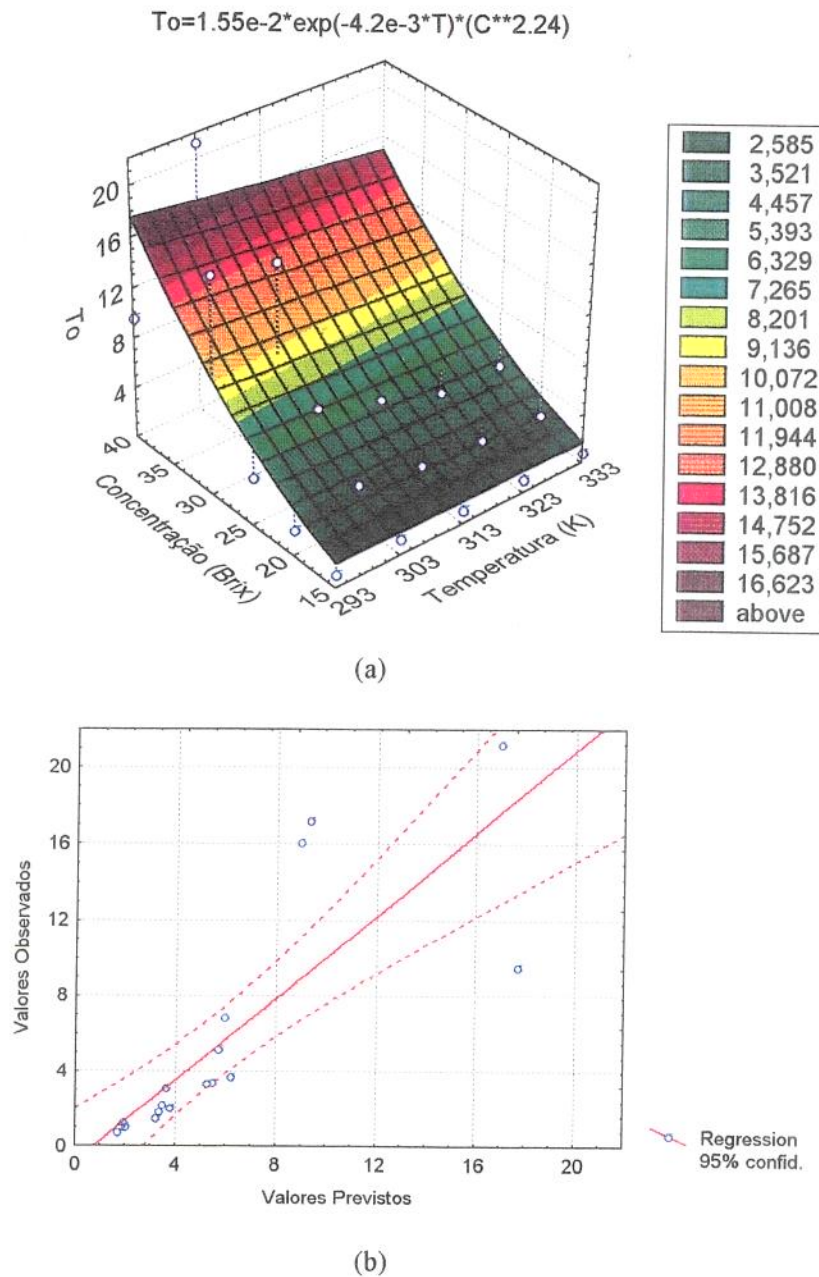


Figura 7.13- (a) Efeito da temperatura e concentração no índice de consistência, (b) - Valores observados de **K** (em função do ajuste do modelo de H-B) em relação aos valores previstos pelo modelo proposto de **K** em função da temperatura e da faixa de concentração de 15 a 25°Brix (eq.4.3*).

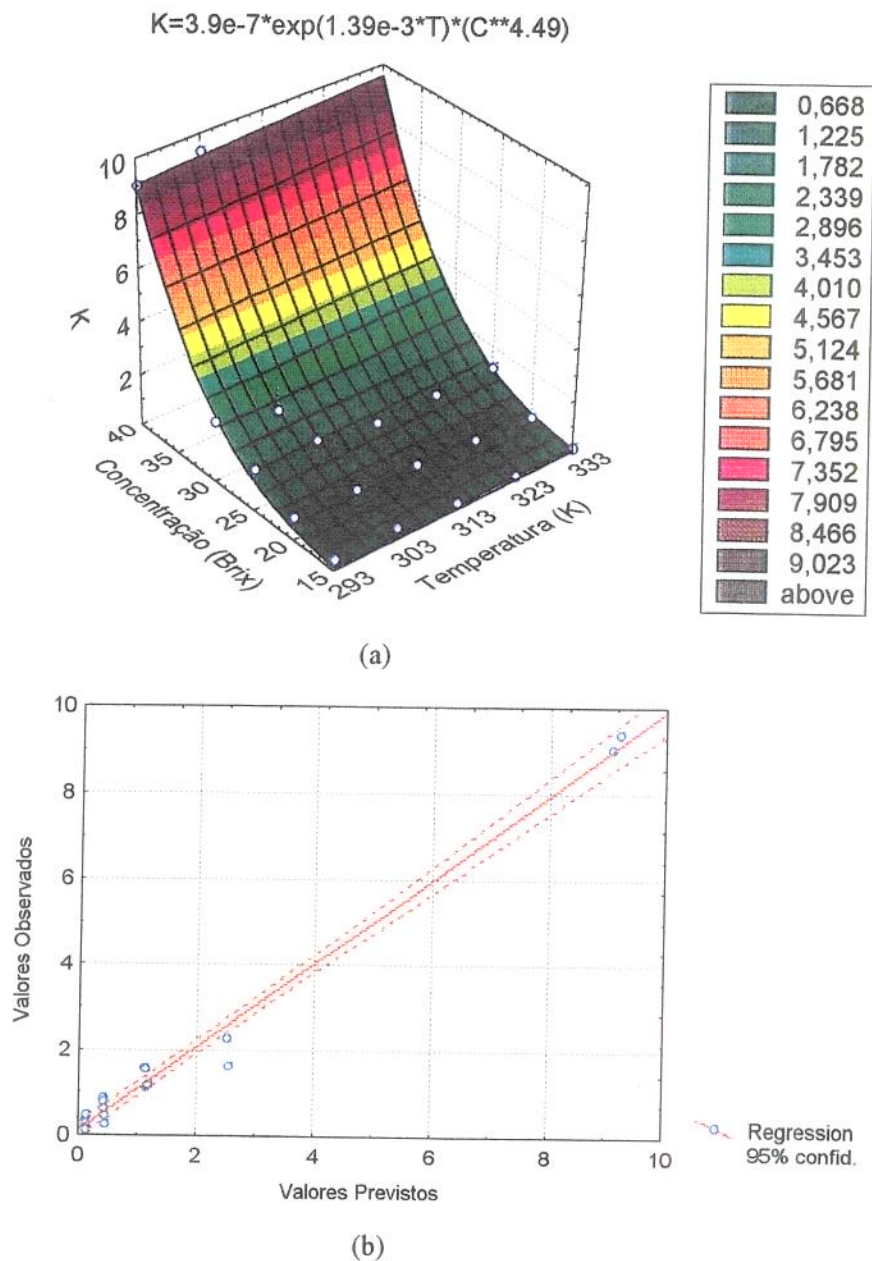


Figura 7.14 - (a) Efeito da temperatura e concentração no índice de consistência, **(b)**- Valores observados de **K** (em função do ajuste do modelo de H-B) em relação aos valores previstos pelo modelo proposto de **K** em função da temperatura e faixa de concentração de 15 a 40°Brix (eq.4.3).

CAPÍTULO 8

CONCLUSÕES

Os sucos estudados apresentam um comportamento não-Newtoniano, que podem ser representados pelo modelo Herschel-Bulkley. Neste trabalho os sucos são pseudoplásticos com tensão de cisalhamento inicial.

Em todos os casos os materiais mostraram um comportamento dependente do tempo justificando futuros trabalhos nesta área.

Ainda que a equação de Herschel-Bulkley apresente os melhores parâmetros estatísticos, pode verificar-se que o ajuste dos modelos de Ostwald e Casson são razoáveis em taxas de deformação maiores que $30s^{-1}$.

Observou-se uma grande influência da concentração sobre os parâmetros reológicos e uma influência menor em relação à temperatura.

Para todos os produtos, o ajuste dos parâmetros reológicos τ_0 e K em função da temperatura e concentração foram adequadamente expressos pela seguinte equação:

$$y = a_1 \exp(a_2 \cdot T) \cdot C^{a_3}$$

Para a maioria dos sucos não foi possível realizar os experimentos em altas concentrações e temperaturas superiores a $40^\circ C$. Isto pode ser verificado explicado pelo fato dos sucos não serem totalmente despectinizados.

Não se estabeleceu uma correlação dos parâmetros reológicos obtidos para os diferentes sucos em função da composição química, verificando-se a necessidade de dados adicionais em relação a proporção de polpa, fibras, e análise de sua granulometria.

BIBLIOGRAFIA

- Anuário Estatístico do Brasil, 1993.
- ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS, Inc. 14 ed., 1984.
- BIRD, R.B; STEWART, W.E; LIGHTFOOT, E.N. Transporte Phenomena- John Wiley & Sons, Inc, New York- London, 1960.
- BOBBIO, P. A.; BOBBIO, F. O. Química de Processamento de Alimentos. Faculdade de Engenharia de Alimentos - UNICAMP, 232p., 1984.
- BRANCO, I. Suco de Laranja Concentrado - Comportamento Reológico a Baixas Temperaturas - Tese de Mestrado, UNICAMP, 91p, 1995.
- CASTALDO, D.; PALMIERI, L.; LO VOI, A.; COSTABILE, P. Flow properties of babaco (*Carica pentagona*) purees and concentrates. J. Texture Studies, **21**: 253-264.
- CERVONE, N.W. & HARPER, J.M. Viscosity of an intermediate moisture dough. J. Food Process Eng., **2** (1): 83-95, 1978.
- CHARM, S.E. The direct determination of shear stress - shear rate behavior of food in the presence of a yield stress. J. Food Science, **28** (1): 107-113, 1963.
- CHITARRA, A.B.; CHITARRA, M.I.F. GT " Fisiologia Pós -Colheita de Frutos e Hortalças ". XIV Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos - Relatórios dos Grupos de Trabalho, 17 a 20 de junho de 1994 - São Paulo - S.P, S.B.C.T.A: 41-56, 1994.
- COSTELL, E. & DURÁN, L. Reología físico-química del puré de albaricoque. Parte I. Rev. Agroquím. Tecnol. Alimente., **22** (4): 381-394, 1982.
- DREYWOOD, R. Quantitative test for Carbohydrate Material. Ind. Eng. Chem. Anal., **18**: p.499, 1946.

- EZELL, G.H. Viscosity of concentrated orange and grapefruit juices. Food Technol., **13** (1): 9-13 (1959).
- GARCÍA, R.; RIVERA, J. & ROLZ, C. Rheological properties of some tropical fruit products and their enzymic clarification. Proc. IV Int. Congress Food Sci. and Tech., II : 18-26, 1974.
- GARRUTI, D. S. Contribuição ao estudo da esterilização física do suco de maracujá integral. Campinas: Tese de Mestrado - UNICAMP, 1989.
- GUNJAL, B. B. & WAGHMARE, N. J. Flow Characteristics of Pulp, Juice and Nectar of " Baneshan " and " Neelum " Mangoes. F.of Food Sci. Tech., **24**: 20-23, 1987.
- HAAKE. Haake Rotovisco RV20. Haake Mess-Technik GmbH u. Co., W. Germany, 1989.
- HAAKE. Haake viscometers - Instruction manual Rotovisco RV20 Sensor System CV20. Haake Mess-Technik GmbH u. Co.; W. Germany, 1990.
- HARPER, J.C. Viscometric behavior in relation to evaporation of fruit purees. Food Technology, **14**: 557-561, 1960.
- HARPER, J.C. & EL SAHRIGI, A.F. Viscometric behavior of tomato concentrates. J. Food Science, **30** (3): 470-476, 1965.
- HIU, D. N. & SCHEUER, P. J. The volatile constituents of passion fruit juice. J.Food Science, **26**: 557-563 , 1961.
- HODGE, V.E. & HOFREITES, B.T. Determination of Reducing Sugar and Carbohydrates. In: METHODS IN CARBOHYDRATES CHEMISTRY (ed.). Academic Press, v.1.; 1962, p.3.
- HOLDSWORTH, S.D . Aplicability of rheological models to the interpretation of flow and processing behavior of fluid food products. J. Texture Studies, **2** (4):

393-418, 1971.

IBARZ, A. Rheology of Clarified Fruit Juice. I: Peach Juices. J. of Food Engineering, **15**: 49-61, 1992.

IBARZ, A. & PAGÁN, J. Rheology of Raspberry Juices. J. of Food Engineering, **6**: 269-289, 1987.

IBARZ, A.; PAGÁN, J. & MIGUELSANZ, R. Rheology of Clarified Fruit Juice. II: Blackcurrant Juices. J. of Food Engineering, **15**: 63-73, 1992.

IBARZ, A.; VICENTE, M. & GRAELL, J. Rheological Behaviour of Apple Juice and Pear Juice and their Concentrates. J. of Food Engineering, **6**: 257-267, 1987.

INGRAM, M. The Viscosity of Concentrated Orange Juice. Board for Scientific and Industrial Research, Jerusalem, p.22, 1948.

JIMÉNEZ, G. & DURÁN, L. Propiedades reológicas de products derivados de frutas y de tomate. Revisión bibliográfica. Rev. Agroquím. Tecnol. Aliment., **19** (2): 203-217, 1979.

KHALIL, K.E.; RAMAKRISHNA, A.M.; NANJUNDASWAMY, A.M. & PATWARDHAN, M.V. Rheological Behavior of Clarified Banana Juice: Effect of Temperatura and Concentration. J. of Food Engeneering, **10**: 231-240, 1989.

LIRAFILHO, J. F. Utilização da casca do maracujá amarelo (*Passiflora edulis f. flavicarpa degener*) na produção de geléia. Campinas: Tese de Mestrado, 1995.

MANOHAR, B.; RAMAKRISHMA, P. & RAMTEKE, R. S. Effect of Pectin content on Flow Properties of Mango Pulp Concentrates. J. of Texture Studies, **21**: 179-190, 1990.

MANUAL DE EXPORTAÇÃO DE FRUTAS. Brasília. Frutep/II C.A da Sec Des. Rural do MAARA, p.20-21, 1994.

- MEDINA, J.C.; BLEINROTH, E. W.; DE MARTIN, Z. J.; QUAST, D. G.; HASHIZUME, T.; FIGUEIREDO, N. M. S.; CANTO, W. L., BICUDO NETO, L. C. Manga- da cultura ao processamento e comercialização, Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas (Série Frutas Tropicais, n.8), 1981.
- MEDINA, J.C.; GARCIA, J.L.M.; VIEIRA, L.F.; FIGUEIREDO, N.M.S.; CANTO, W.L. Mamão - da cultura ao processamento e comercialização, Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas (Série Frutas Tropicais, n. 7), 1980.
- MEDINA, J.C.; GARCIA, J. J. L. M.; LARA, J. C. C.; HASHIZUME, T.; MORETTI, V. A.; CANTO, W.L. Maracujá - da cultura ao processamento e comercialização, Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas (Série Frutas Tropicais, n.9), 1980.
- MEDINA, J.C.; GARCIA, J. L. M.; DE MARTIN, Z. J.; VIEIRA, L.F.; RENESTO, O. V. Goiaba - da cultura ao processamento e comercialização, Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas (Série Frutas Tropicais, n.6), 1978.
- MIZRAHI, S. & BERK, Z. Flow behavior of concentrated orange juice. J.Texture Studies, 1: 342-355, 1970.
- PEARSON, J.R.A. Flow curves with a maximum. J.Rheol., 38 (2): 309-331, 1994.
- RAO, M. A. Rheology of liquid foods - a review. J. Texture Studies, 8 (2): 135-168, 1977a.
- RAO, M.A. Measurement of flow properties of fluid foods - developments, limitation, and interpretation of phenomena. J. Texture Studies, 8 (3): 257- 282, 1977b.
- RAO, M.A. Rheological properties of fluid foods. In: RAO, M.A. & RIZVI, S.S.H. (eds). Engineering properties of foods, p. 1-47, Marcel Dekker, New York (Food Science and Techonology Series, n. 19), 1986.

- RAO, M.A. & ANANTHESWARAN, R.C. Rheology of fluids in food processing. Food Technol., **36** (2): 116-126, 1982.
- RAO, M.A.; COOLEY, H.J. & VITALI, A.A. Flow properties of concentrates juices at low temperatures. Food Technology , **38** (3): 113-119, 1984.
- RAO, M.A. & PALOMINO, N.O. Flow properties of tropical fruit purees. J.Food Science, **39** (1): 160-161, 1974.
- SARAVACOS, G.D. Tube viscometry of fruit purees and juices. Food Technology, **22** (12): 1585-1588, 1968.
- SARAVACOS, G.D. Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees. J. Food Science, **35** (2): 122-125, 1970.
- SARAVACOS, G.D. & MOYER, J.C. Heating rates of fruit products in an agitated kettle. Food Technology, **21** (3A): 54A-58A, 1967.
- SMITH, R.E. Effect of gap errors in rotational concentric cylinder viscometers. J. Rheol., **28** (2): 155-160, 1984.
- SPIEGEL, M . R. *Estatística*, 3^a ed. Schaum, McGraw- Hill, 643p., 1994.
- STEFFE, J.F. Simulation of food processing systems: rheology. Lecture notes of course ENA 289A. Dept. of Agricultural Engineering, University of California - Davis, 1990.
- VITALI, A. A & RAO, M.A. Flow properties of low-pulp concentrated orange juice: serum viscosity and effect of pulp content. J. Food Science, **49** (3): 876-881, 1984a.
- VITALI, A.A. & RAO, M.A. Flow properties of Low Pulp Concentrated Orange Juice: Effect of Temperature and Concentration. J.of Food Science, **49**: 882-888, 1984b.

VITALI, A.A.; ROIG, S.M. & RAO, M. A. Viscosity behavior of concentrated passion fruit juice. Confruta, 19 (5): 201-206, 1974.

VITALI, A.A. & RAO, M.A. Flow behavior of guava puree as a function of temperature and concentration. J. Texture Studies. 13 (3): 275-289, 1982.

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

APÊNDICE A

Fluxograma básico do processamento de sucos fornecido pela indústria **UTIARA S/A**.

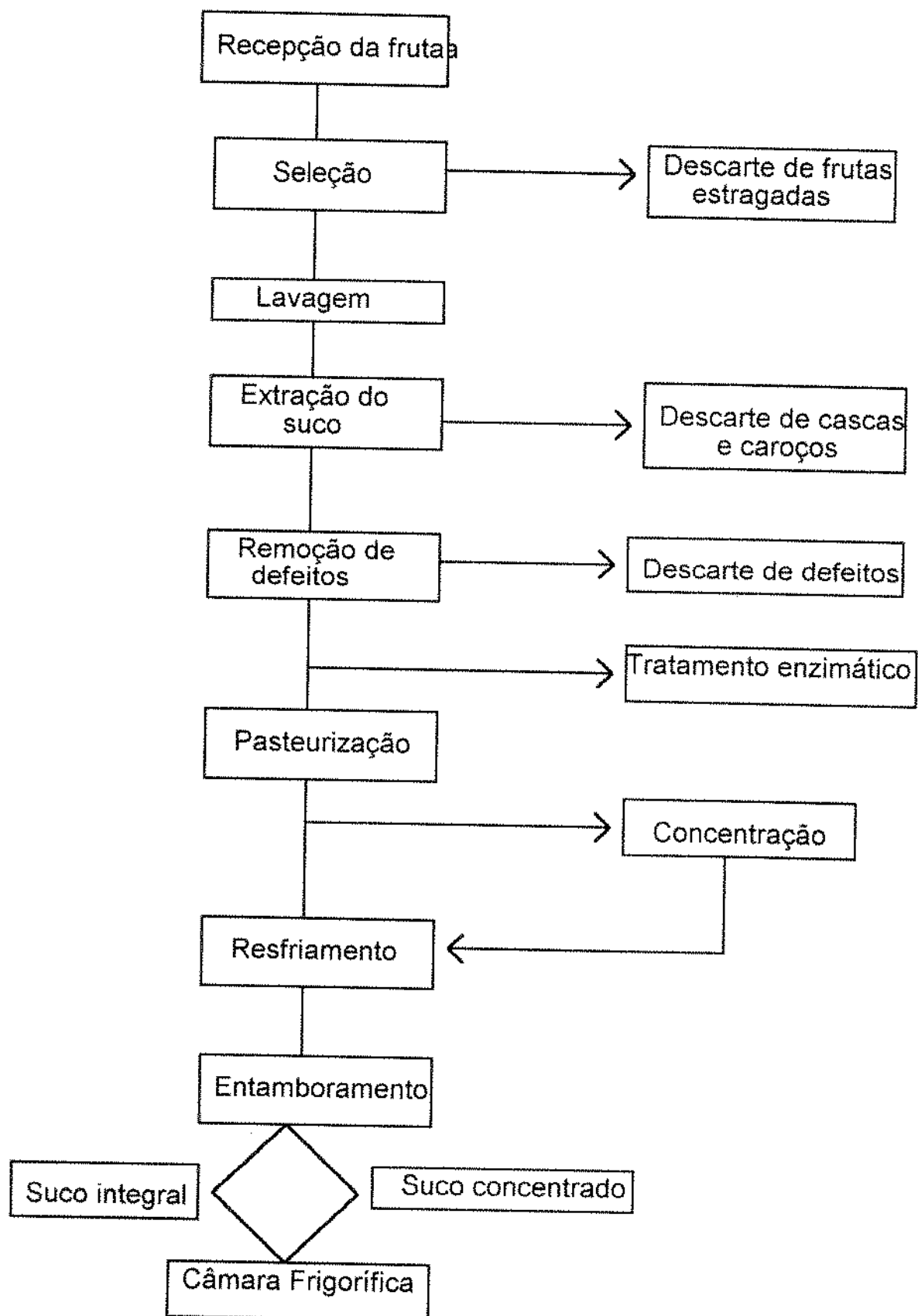
Dependendo do tipo de nível de concentração requerido pelos clientes, algumas etapas são modificadas.

Antes de ir para a pasteurização, se o suco for muito viscoso e se for para concentrar, é feito o tratamento enzimático para hidrolisar a pectina.

Na etapa de pasteurização são usados trocadores de calor dos tipos: placas ou tubulares com temperatura variando de 95 a 105°C com $t_r = 30$ s.

Na etapa da concentração são usados evaporadores de simples efeito ou múltiplos em função do nível de concentração requerido. A evaporação é a vácuo com temperatura aproximadamente de 55°C, num tempo de 4 a 9 minutos.

Todos os sucos não são clarificados e nem despectinizados.



APÊNDICE B

Resultados complementares na caracterização do Suco de Manga.

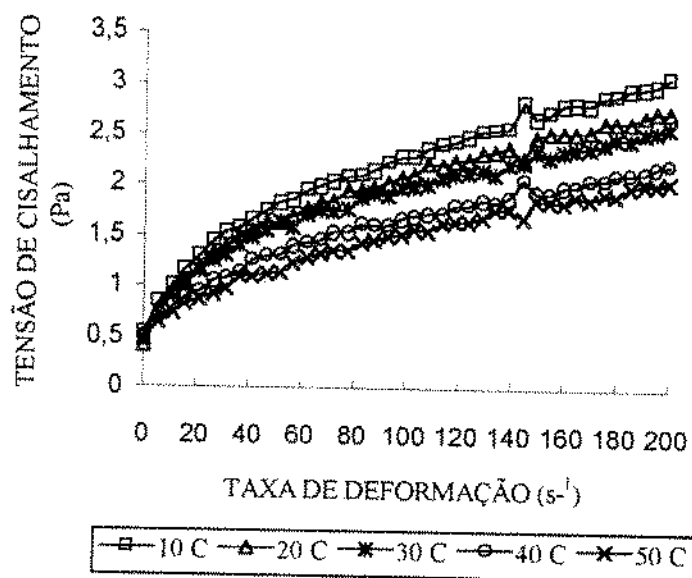


Figura B.1 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de manga a 10°Brix à várias temperaturas.

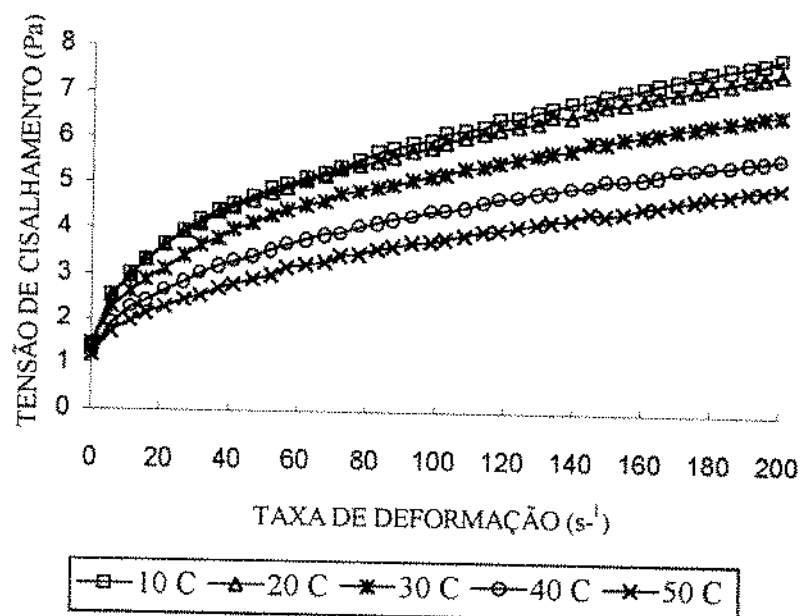


Figura B.2 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de manga a 15°Brix à várias temperaturas.

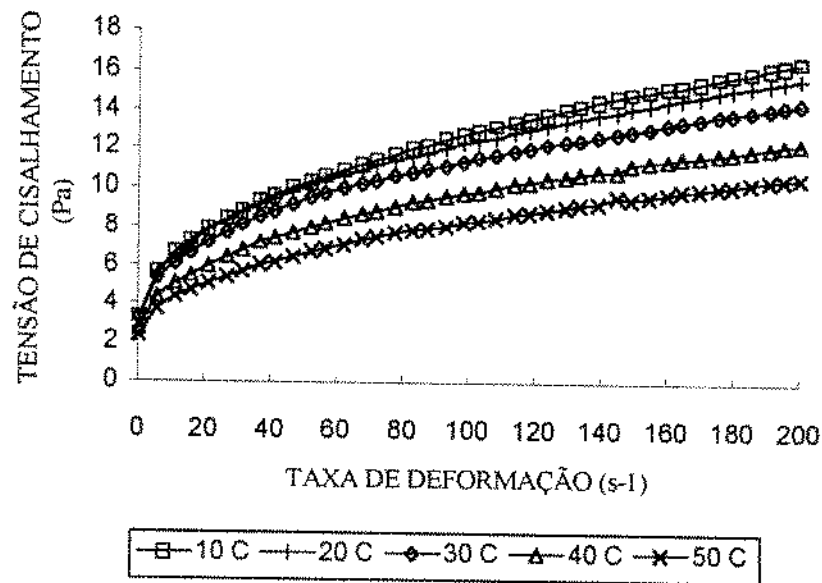


Figura B.3 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de manga a 20°Brix à várias temperaturas.

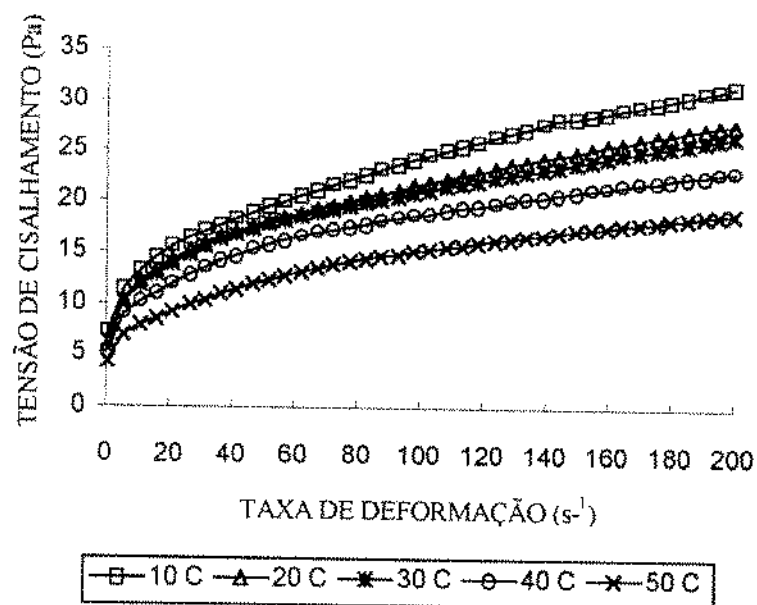


Figura B.4 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de manga a 25°Brix à várias temperaturas.

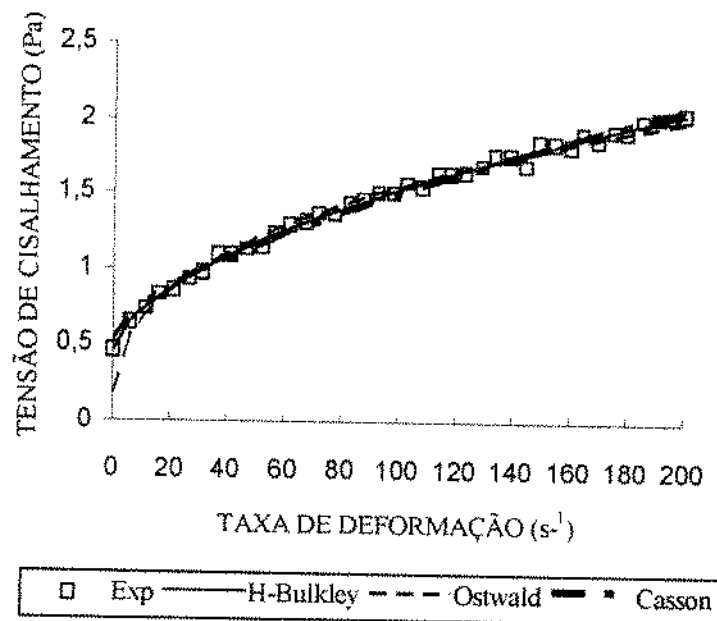


Figura B.5 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de manga a 10 °Brix e 50°C.

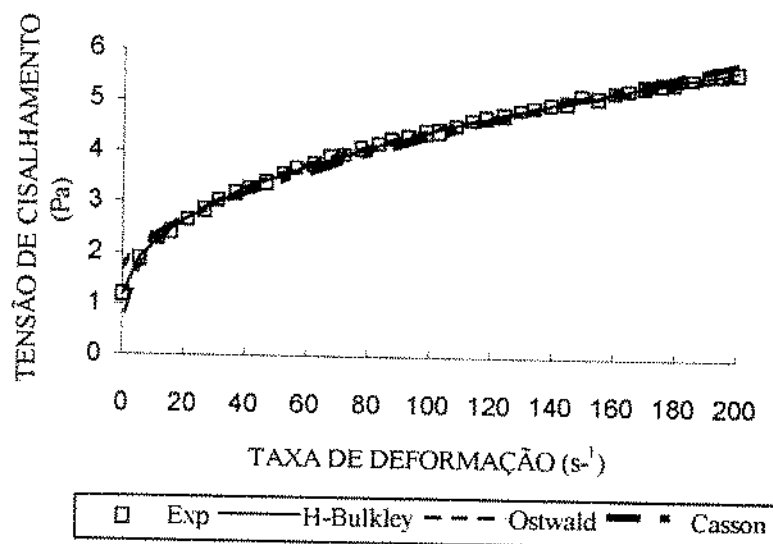


Figura B.6 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de manga a 15 °Brix e 40°C.

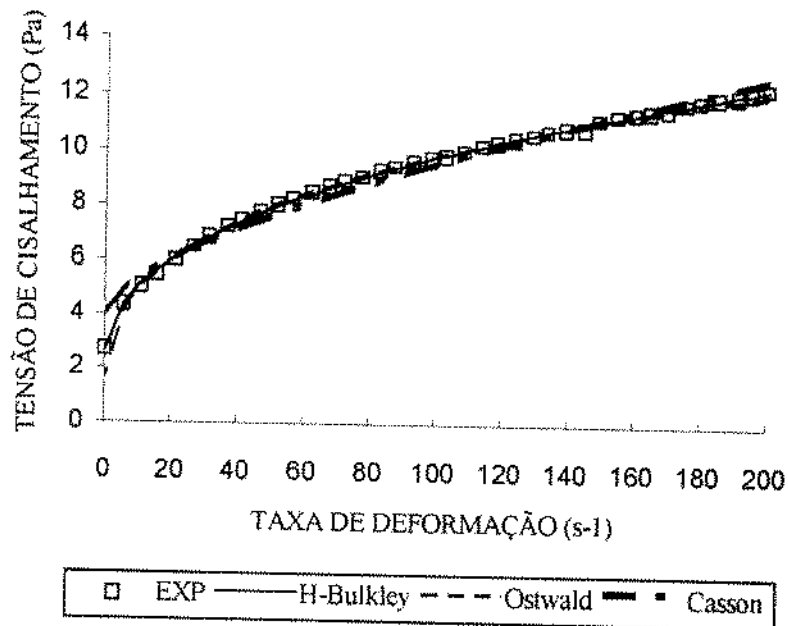


Figura B.7 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de manga a 20 °Brix e 40°C.

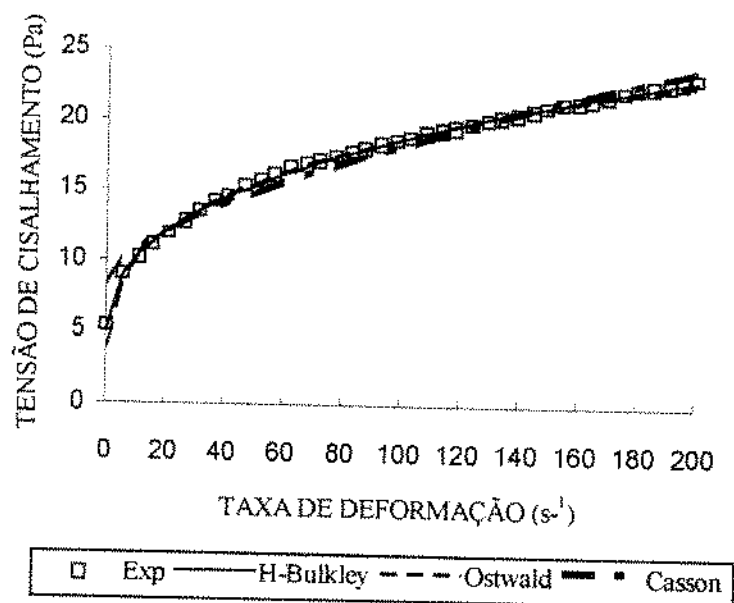


Figura B.8 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de manga a 25 °Brix e 40°C.

Tabela B.1 - Resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Ostwald para o suco de manga a várias temperaturas e concentrações.

°Brix	T (°C)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	Er(K)	Er(n)	χ^2	R ²
10	10	0.41	0.37	0.014	0.007	0.003	0.991
	20	0.39	0.36	0.010	0.005	0.001	0.995
	30	0.40	0.34	0.012	0.007	0.002	0.991
	40	0.33	0.34	0.015	0.009	0.003	0.984
	50	0.28	0.36	0.016	0.011	0.004	0.978
15	10	1.31	0.33	0.031	0.005	0.013	0.995
	20	1.37	0.31	0.031	0.004	0.011	0.995
	30	1.23	0.31	0.032	0.005	0.012	0.993
	40	0.99	0.32	0.029	0.006	0.010	0.992
	50	0.82	0.33	0.036	0.009	0.016	0.983
20	10	2.94	0.32	0.080	0.005	0.078	0.993
	20	3.08	0.30	0.068	0.004	0.049	0.994
	30	3.01	0.29	0.073	0.005	0.053	0.993
	40	2.41	0.30	0.061	0.005	0.041	0.993
	50	1.98	0.31	0.062	0.006	0.044	0.990
25	10	5.72	0.32	0.179	0.006	0.389	0.989
	20	5.71	0.29	0.157	0.005	0.252	0.991
	30	5.97	0.27	0.153	0.005	0.216	0.991
	40	5.30	0.27	0.103	0.004	0.096	0.99
	50	3.78	0.30	0.095	0.005	0.097	0.993
28	10	7.95	0.32	0.323	0.008	1.312	0.984
	20	7.38	0.30	0.271	0.007	0.781	0.986
	30	7.98	0.27	0.187	0.005	0.319	0.991
	40	7.30	0.26	0.121	0.003	0.130	0.995
	50	6.44	0.27	0.119	0.003	0.133	0.995

Tabela B.2 - Resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Casson para o suco de manga a várias temperaturas e concentrações.

°Brix	T (°C)	τ_0 (Pa) ^{0,5}	K (Pa.s) ^{0,5}	Er(τ_0)	Er(K)	χ^2	R ²
10	10	0.72	0.06	0.026	0.001	0.006	0.986
	20	0.68	0.061	0.028	0.005	0.007	0.979
	30	0.67	0.05	0.025	0.001	0.005	0.980
	40	0.57	0.05	0.018	0.001	0.003	0.985
	50	0.49	0.05	0.012	0.001	0.001	0.992
15	10	2.15	0.09	0.069	0.002	0.041	0.983
	20	2.19	0.09	0.071	0.002	0.043	0.981
	30	1.97	0.08	0.062	0.002	0.033	0.981
	40	1.61	0.08	0.045	0.001	0.017	0.986
	50	1.37	0.07	0.026	0.001	0.006	0.993
20	10	4.74	0.13	0.132	0.002	0.149	0.986
	20	4.83	0.12	0.148	0.003	0.170	0.980
	30	4.64	0.11	0.136	0.003	0.149	0.980
	40	3.81	0.11	0.115	0.002	0.109	0.981
	50	3.16	0.10	0.082	0.002	0.056	0.987
25	10	9.22	0.13	0.132	0.002	0.149	0.990
	20	8.81	0.12	0.148	0.003	0.178	0.983
	30	8.97	0.11	0.136	0.002	0.149	0.980
	40	7.96	0.11	0.115	0.002	0.109	0.970
	50	5.94	0.10	0.082	0.002	0.056	0.979
28	10	12.93	0.22	0.260	0.003	0.576	0.993
	20	12.03	0.19	0.299	0.004	0.723	0.987
	30	12.06	0.17	0.278	0.003	0.583	0.984
	40	10.96	0.16	0.321	0.004	0.783	0.974
	50	9.79	0.16	0.304	0.004	0.718	0.973

APÊNDICE C

Resultados complementares na caracterização do Suco de Maracujá.

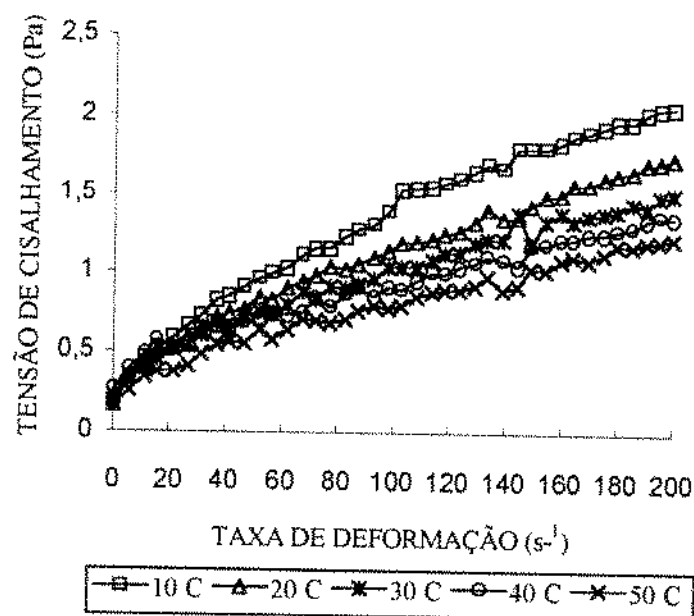


Figura C.1 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de maracujá a 10°Brix à várias temperaturas.

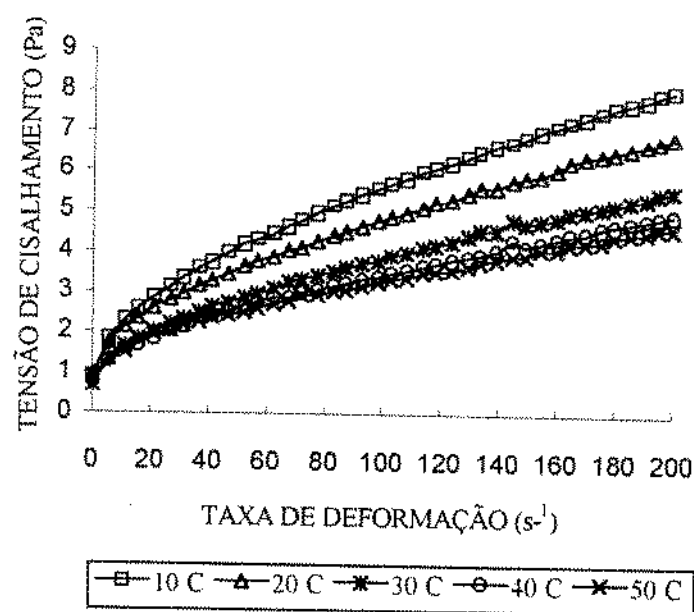


Figura C.2 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de maracujá a 20°Brix à várias temperaturas.

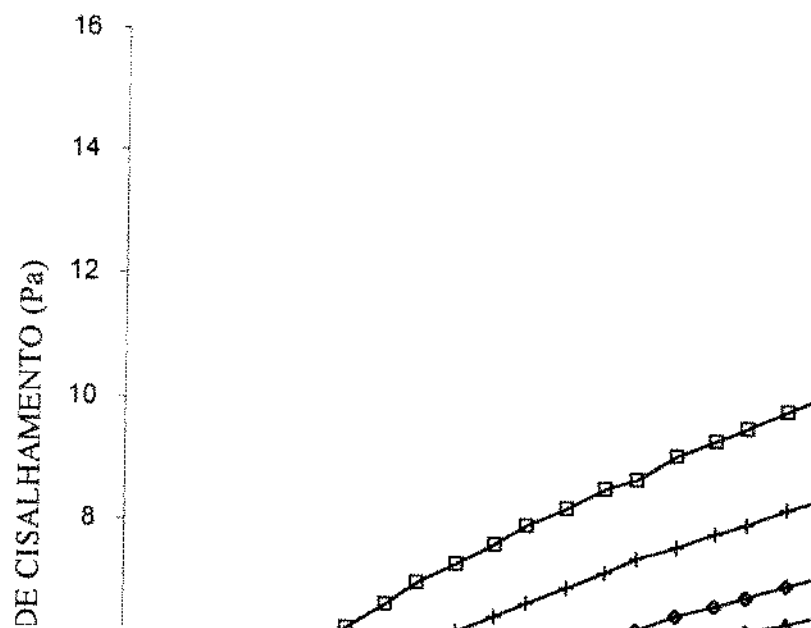


Figura C.3 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de maracujá a 25°Brix à várias temperaturas.

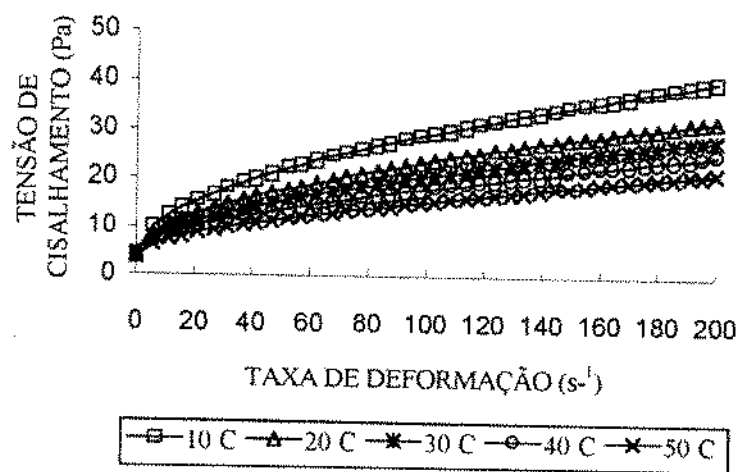


Figura C.4 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de maracujá a 35°Brix à várias temperaturas.

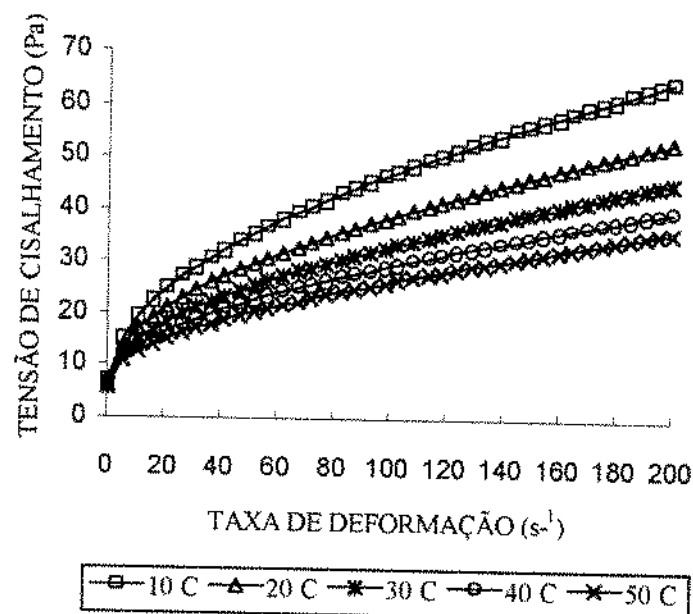


Figura C.5 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de maracujá a 40°Brix a várias temperaturas.

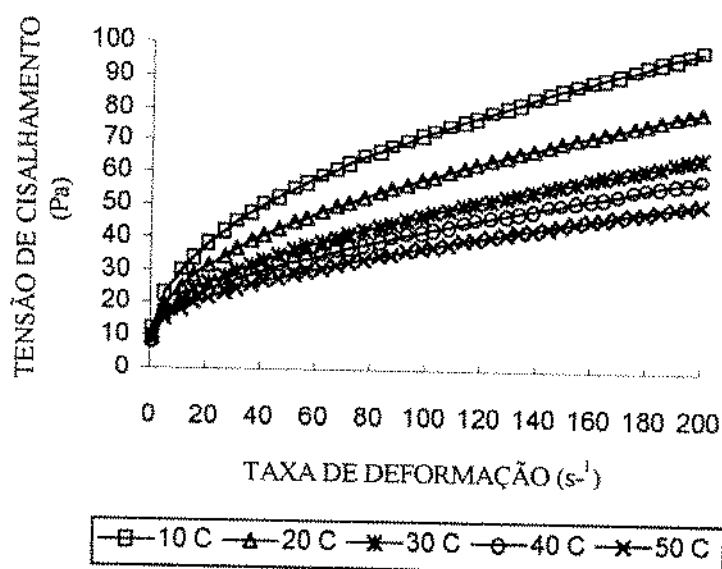


Figura C.6 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de maracujá a 45°Brix a várias temperaturas.

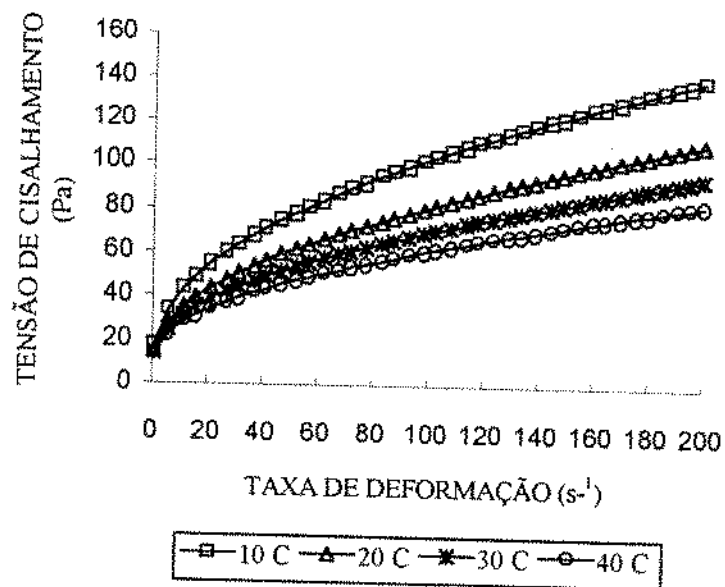


Figura C.7 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de maracujá a 50°Brix a várias temperaturas.

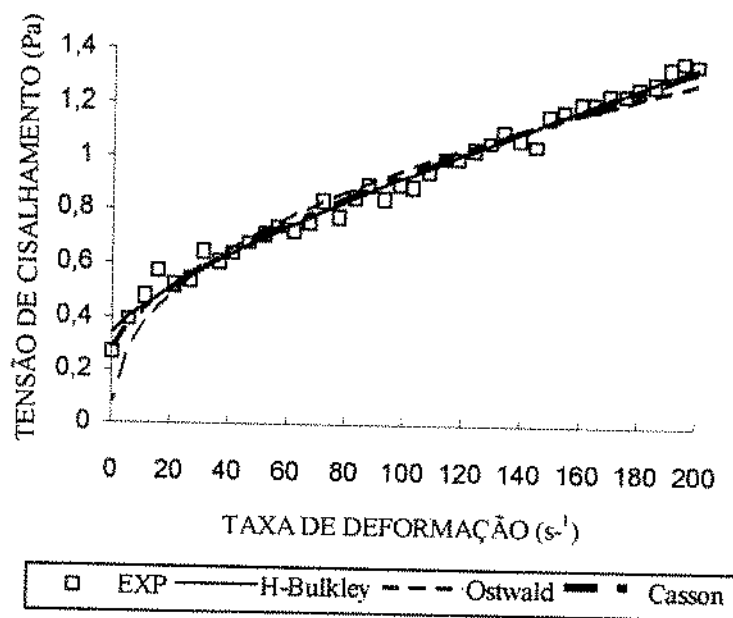


Figura C.8 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de maracujá a 10 °Brix e 40°C.

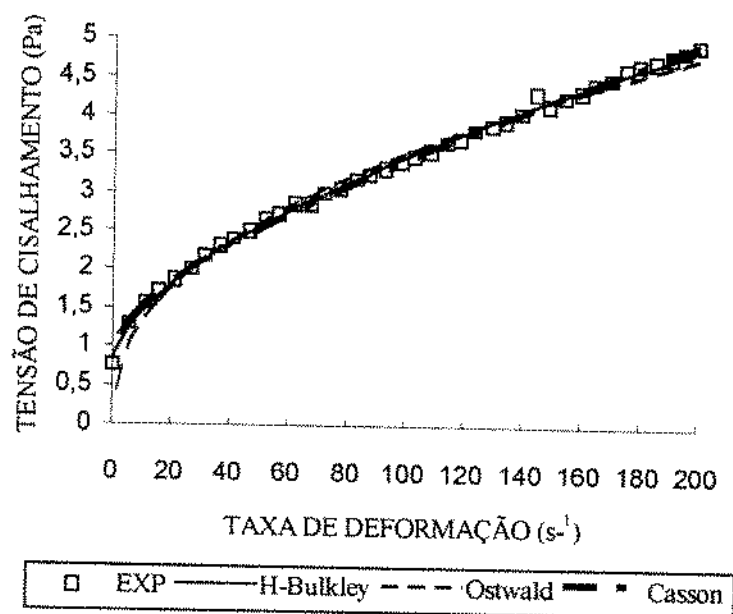


Figura C.9 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de maracujá a 20 °Brix e 40°C.

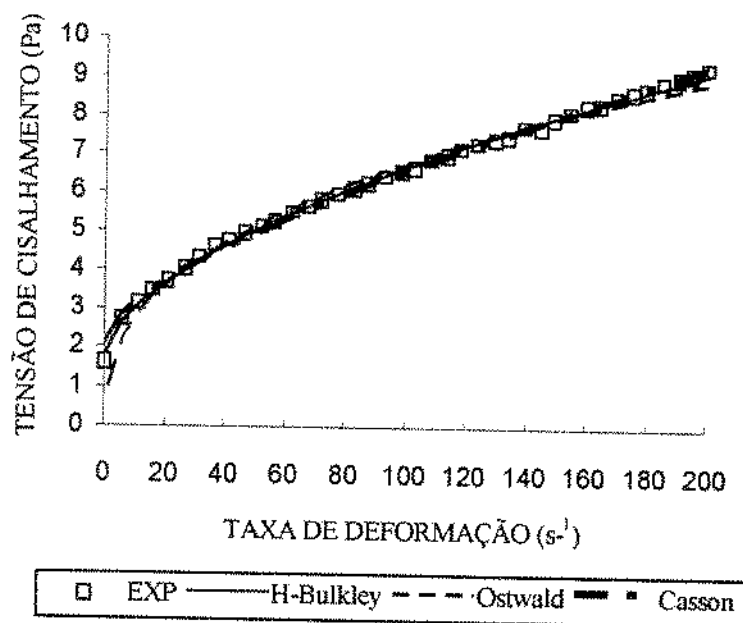


Figura C.10 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de maracujá a 25 °Brix e 40°C.

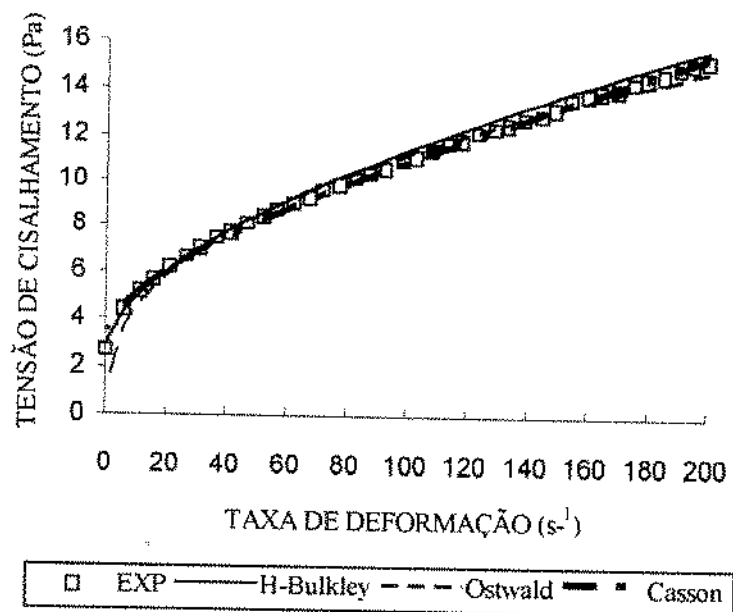


Figura C.11 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de maracujá a 30 °Brix e 40°C.

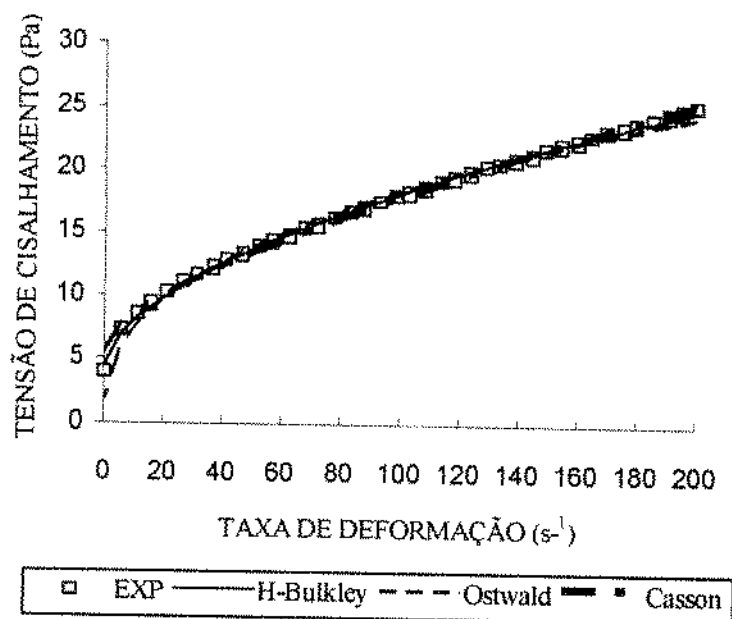


Figura C.12 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de maracujá a 35°Brix e 40°C.

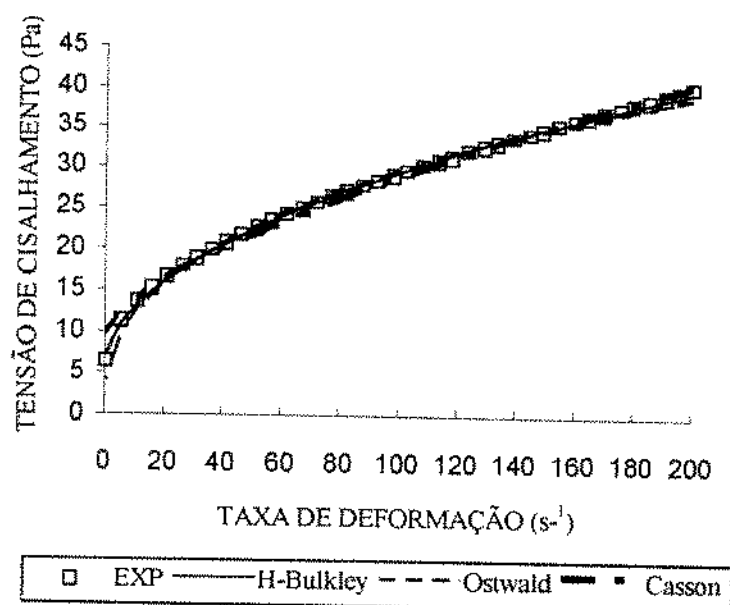


Figura C.13 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkely, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de maracujá a 40°Brix e 40°C.

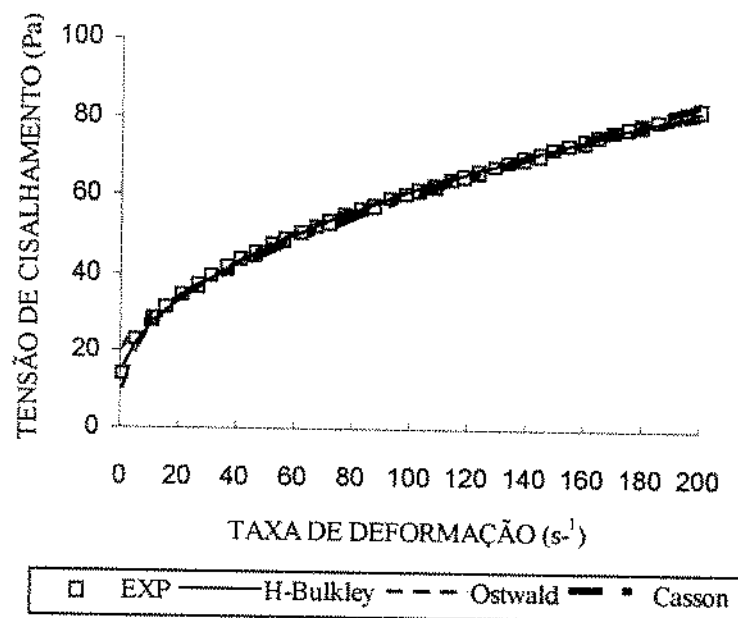


Figura C.14 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de maracujá a 50°C e 40°C.

Tabela C.1 - Resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Ostwald para o suco de maracujá a várias temperaturas e concentrações.

°Brix	T (°C)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	Er(K)	Er(n)	χ^2	R ²
10	10	0.10	0.56	0.004	0.009	0.001	0.994
	20	0.09	0.53	0.005	0.011	0.001	0.991
	30	0.10	0.50	0.007	0.015	0.002	0.980
	40	0.13	0.43	0.012	0.019	0.003	0.955
	50	0.08	0.50	0.007	0.017	0.002	0.975
20	10	0.66	0.47	0.023	0.007	0.018	0.994
	20	0.64	0.44	0.029	0.009	0.024	0.989
	30	0.48	0.45	0.021	0.009	0.013	0.991
	40	0.47	0.43	0.024	0.010	0.016	0.987
	50	0.53	0.40	0.030	0.019	0.019	0.980
25	10	1.35	0.44	0.041	0.006	0.047	0.997
	20	1.24	0.42	0.049	0.008	0.059	0.994
	30	1.07	0.41	0.049	0.009	0.058	0.990
	40	1.08	0.39	0.052	0.010	0.057	0.987
	50	0.91	0.40	0.053	0.011	0.059	0.983
30	10	2.33	0.43	0.056	0.005	0.084	0.997
	20	2.15	0.41	0.071	0.006	0.118	0.994
	30	1.95	0.41	0.082	0.008	0.151	0.989
	40	1.73	0.40	0.081	0.009	0.142	0.987
	50	1.65	0.39	0.087	0.010	0.150	0.982
35	10	4.09	0.43	0.090	0.004	0.208	0.996
	20	3.55	0.41	0.082	0.004	0.156	0.997
	30	3.10	0.41	0.103	0.007	0.247	0.994
	40	2.87	0.40	0.124	0.008	0.327	0.989
	50	2.42	0.40	0.126	0.010	0.345	0.984

Continuação da tabela C.1

°Brix	T (°C)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	Er(K)	Er(n)	χ^2	R ²
40	10	6.51	0.43	0.110	0.003	0.316	0.998
	20	5.83	0.41	0.140	0.005	0.469	0.997
	30	5.13	0.40	0.154	0.006	0.526	0.995
	40	4.92	0.39	0.157	0.006	0.486	0.993
	50	4.61	0.28	0.180	0.008	0.602	0.985
45	10	10.38	0.42	0.133	0.002	0.444	0.999
	20	8.77	0.41	0.175	0.004	0.716	0.998
	30	7.23	0.41	0.197	0.005	0.893	0.995
	40	6.80	0.40	0.231	0.007	1.125	0.993
	50	6.54	0.38	0.237	0.007	1.046	0.991
50	10	14.69	0.43	0.217	0.003	1.175	0.999
	20	11.97	0.41	0.226	0.003	1.220	0.998
	30	11.09	0.40	0.245	0.004	1.282	0.997
	40	10.17	0.39	0.281	0.005	1.571	0.995

Tabela C.2 - Resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Casson para o suco de manga a várias temperaturas e concentrações.

°Brix	T (°C)	τ_0 (Pa) ^{0,5}	K (Pa.s) ^{0,5}	Er(τ_0)	Er(K)	χ^2	R ²
10	10	0.21	0.07	0.012	0.001	0.002	0.992
	20	0.20	0.06	0.006	0.001	0.001	0.996
	30	0.21	0.05	0.009	0.001	0.001	0.990
	40	0.25	0.05	0.010	0.001	0.001	0.987
	50	0.16	0.04	0.008	0.001	0.001	0.988
20	10	1.29	0.12	0.034	0.001	0.014	0.996
	20	1.222	0.10	0.025	0.001	0.007	0.997
	30	0.94	0.09	0.023	0.001	0.006	0.996
	40	0.90	0.09	0.018	0.001	0.004	0.996
	50	0.97	0.08	0.017	0.001	0.002	0.997
25	10	2.57	0.15	0.077	0.002	0.068	0.994
	20	2.30	0.13	0.052	0.001	0.029	0.996
	30	2.00	0.12	0.037	0.001	0.014	0.997
	40	1.96	0.11	0.035	0.001	0.012	0.997
	50	1.68	0.10	0.026	0.001	0.007	0.998
30	10	4.34	0.199	0.152	0.003	0.025	0.991
	20	3.96	0.18	0.109	0.002	0.126	0.994
	30	3.59	0.16	0.075	0.001	0.058	0.996
	40	3.16	0.15	0.054	0.001	0.029	0.997
	50	2.97	0.14	0.041	0.001	0.017	0.998
35	10	7.58	0.25	0.277	0.004	0.830	0.989
	20	6.50	0.22	0.211	0.003	0.462	0.990
	30	5.70	0.21	0.142	0.002	0.209	0.991
	40	5.21	0.11	0.106	0.002	0.115	0.993
	50	4.43	0.07	0.068	0.001	0.047	0.995

Continuação da tabela C.2

°Brix	T (°C)	τ_0 (Pa) ^{0.5}	K (Pa s ⁿ) ^{0.5}	Er(τ_0)	Er(K)	χ^2	R ²
40	10	12.07	0.33	0.47	0.006	2.400	0.989
	20	10.62	0.29	0.364	0.005	1.376	0.990
	30	9.30	0.26	0.284	0.004	0.823	0.991
	40	8.77	0.24	0.227	0.003	0.507	0.994
	50	8.14	0.22	0.170	0.002	0.280	0.995
45	10	19.11	0.40	0.765	0.008	6.238	0.987
	20	16.02	0.35	0.551	0.006	6.160	0.990
	30	13.20	0.31	0.379	0.004	1.483	0.993
	40	12.26	0.29	0.335	0.004	1.131	0.993
	50	11.56	0.26	0.253	0.003	0.618	0.994
50	10	27.14	0.48	1.040	0.009	44.508	0.988
	20	21.98	0.42	0.760	0.007	6.033	0.990
	30	19.99	0.38	0.638	0.006	4.110	0.990
	40	18.15	0.34	0.497	0.005	2.435	0.992

APÊNDICE D

Resultados complementares na caracterização do Suco de Mamão.

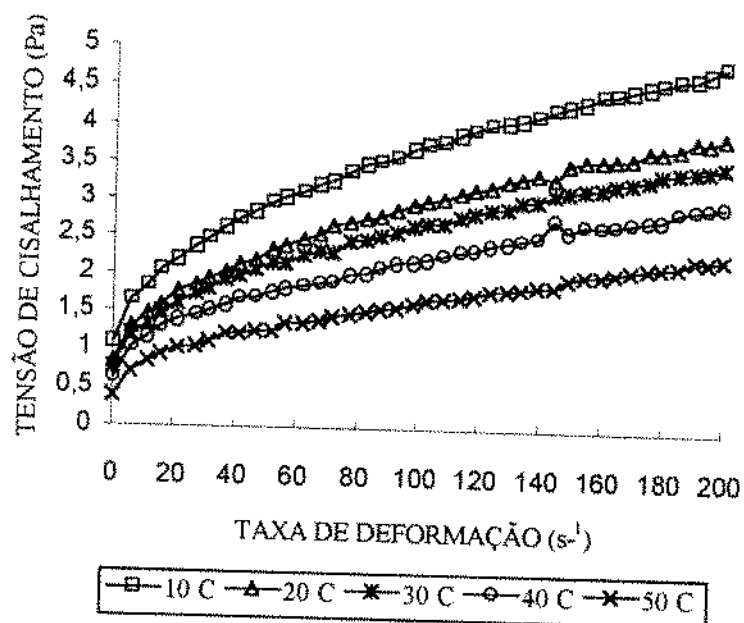


Figura D.1 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de mamão a 10 °Brix a várias temperaturas.

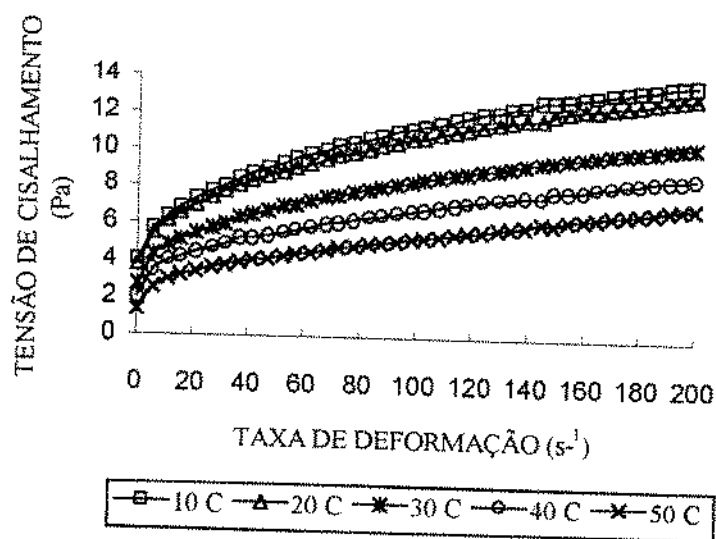


Figura D.2 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de mamão a 15 °Brix a várias temperaturas.

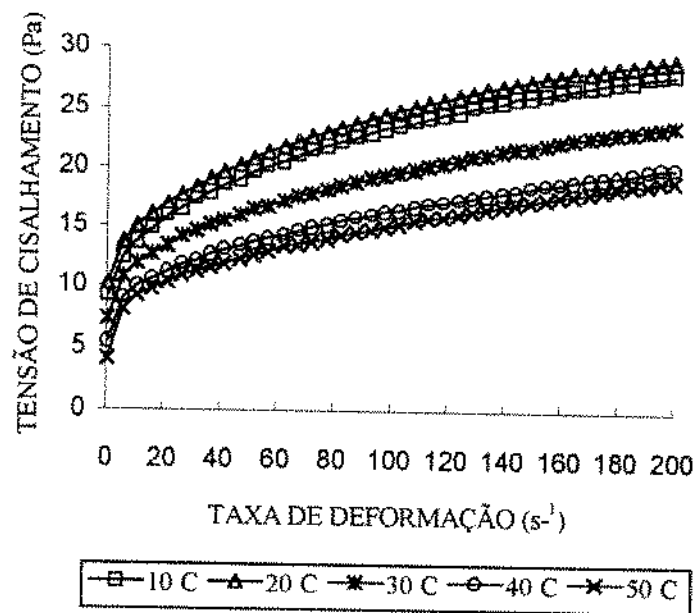


Figura D.3 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de mamão a 20 °Brix a várias temperaturas.

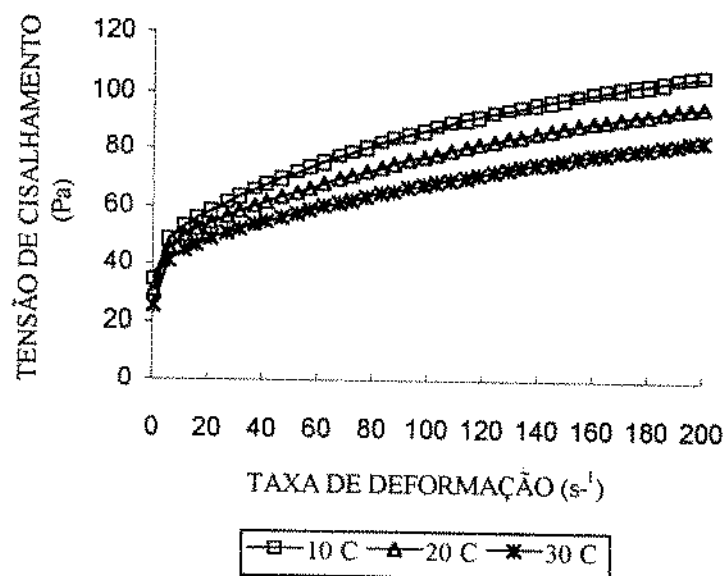


Figura D.4 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de mamão a 30 °Brix a várias temperaturas.

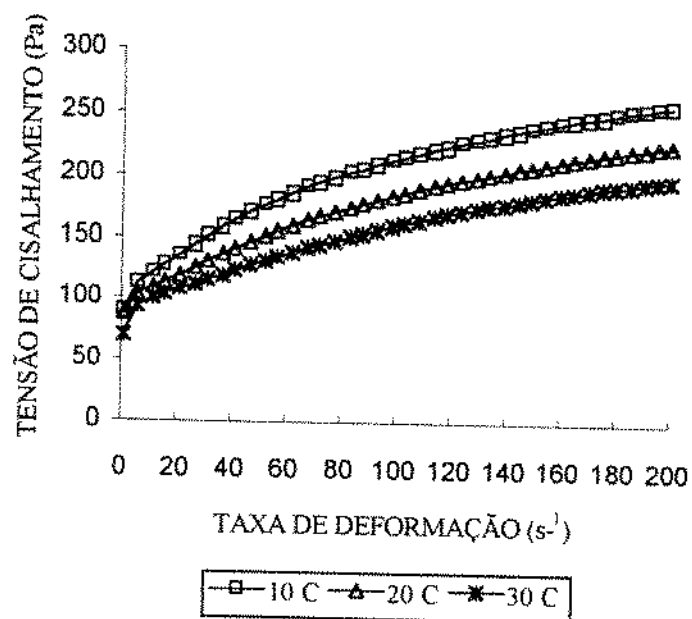


Figura D.5 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de mamão a 40 °Brix a várias temperaturas.

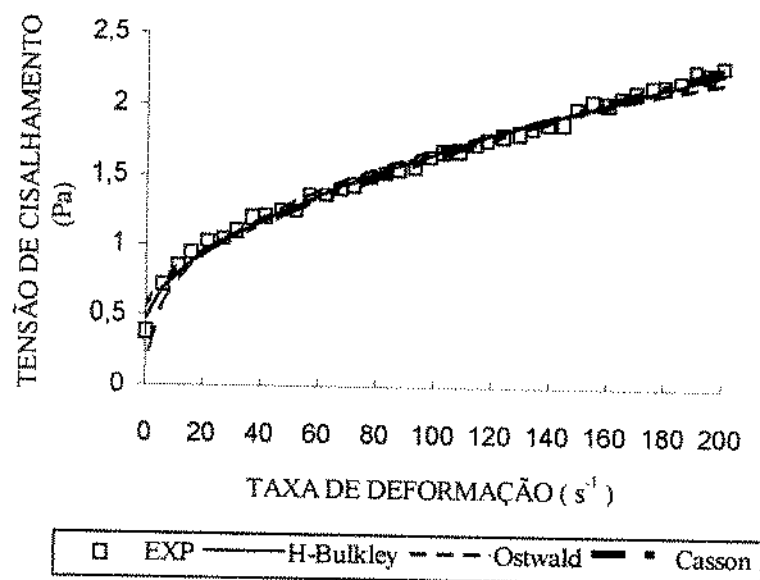


Figura D.6 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de mamão a 10°Brix e 50°C.

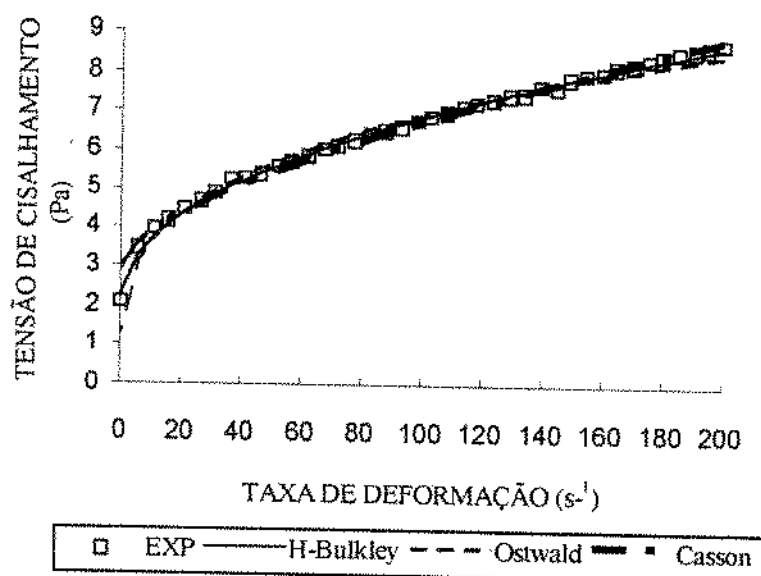


Figura D.7 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de mamão a 15°Brix e 40°C.

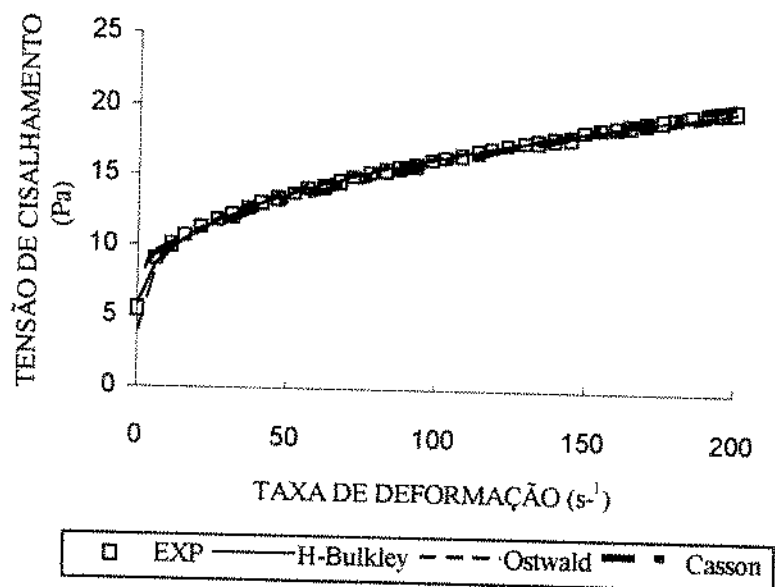


Figura D.8 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de mamão a 20 °Brix e 40°C.

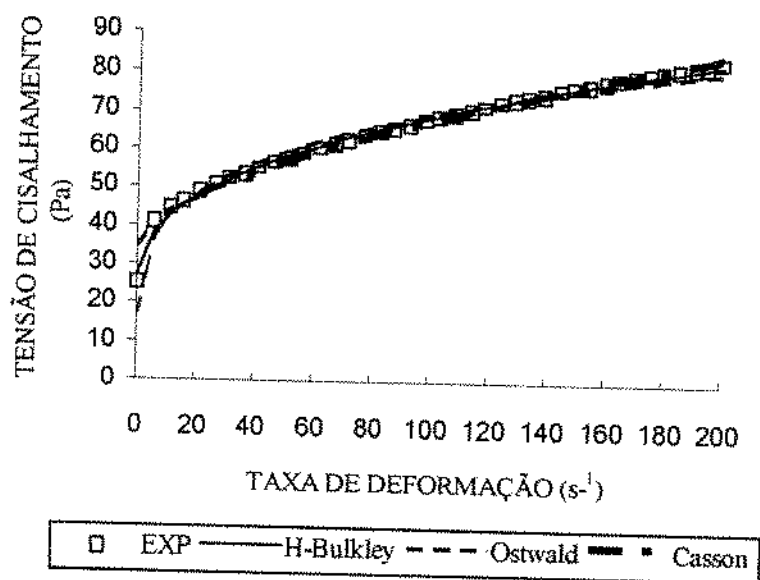


Figura D.9 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de mamão a 30°Brix e 30°C.

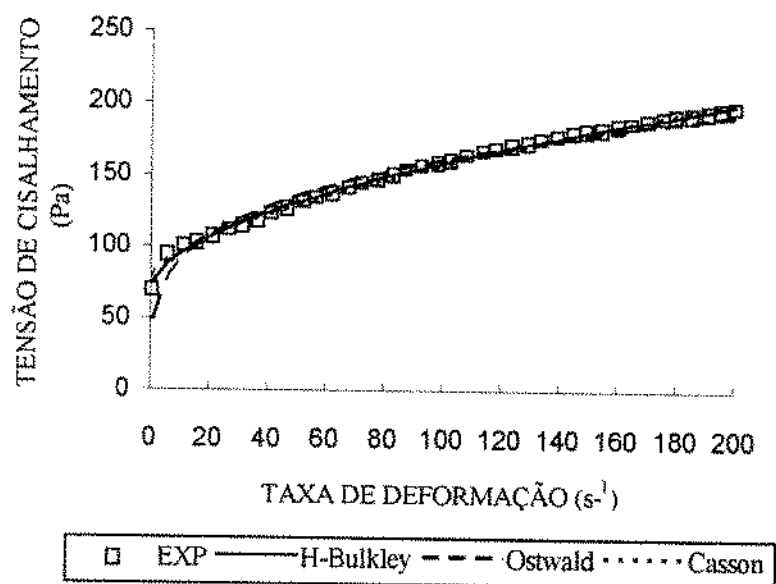


Figura D.10 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de mamão a 40°Brix e 30°C.

Tabela D.1 - Resultados dos parâmetros ajustado para o modelo de Ostwald para o suco de mamão a várias temperaturas e concentrações.

°Brix	T (°C)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	Er(K)	Er(n)	χ^2	R ²
10	10	0.81	0.33	0.030	0.007	0.012	0.987
	20	0.59	0.35	0.024	0.008	0.009	0.986
	30	0.56	0.34	0.022	0.008	0.007	0.986
	40	0.47	0.34	0.024	0.010	0.008	0.978
	50	0.31	0.37	0.017	0.011	0.004	0.979
15	10	3.29	0.27	0.103	0.007	0.094	0.985
	20	3.18	0.26	0.098	0.006	0.082	0.985
	30	2.36	0.28	0.074	0.006	0.050	0.986
	40	1.84	0.29	0.066	0.007	0.043	0.983
	50	1.24	0.32	0.055	0.009	0.037	0.979
20	10	7.68	0.24	0.195	0.005	0.289	0.987
	20	8.57	0.23	0.208	0.005	0.307	0.986
	30	6.60	0.23	0.187	0.006	0.253	0.984
	40	5.28	0.24	0.148	0.005	0.168	0.986
	50	4.53	0.26	0.130	0.006	0.145	0.988
25	10	16.27	0.24	0.478	0.006	1.723	0.982
	20	14.61	0.23	0.486	0.007	1.733	0.976
	30	13.69	0.22	0.453	0.007	1.425	0.975
	40	13.92	0.22	0.346	0.005	0.800	0.985
	50	11.92	0.22	0.252	0.004	0.431	0.989
30	10	27.73	0.25	1.029	0.007	8.408	0.975
	20	26.67	0.23	1.010	0.008	7.438	0.970
	30	24.56	0.22	0.830	0.007	4.695	0.974
40	10	63.56	0.26	2.040	0.006	35.815	0.982
	20	55.53	0.26	2.134	0.008	39.140	0.974
	30	50.24	0.25	2.144	0.009	37.418	0.967

Tabela D.2 - Resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Casson para o suco de mamão a várias concentrações e temperaturas.

°Brix	T (°C)	τ_0 (Pa) ^{0,5}	K (Pa.s) ^{0,5}	Er(τ_0)	Er(K)	χ^2	R ²
10	10	1.33	0.07	0.031	0.001	0.008	0.991
	20	1.00	0.07	0.023	0.001	0.004	0.992
	30	0.93	0.06	0.019	0.001	0.003	0.993
	40	0.78	0.06	0.019	0.001	0.003	0.991
	50	0.53	0.05	0.013	0.001	0.001	0.992
15	10	4.90	0.11	0.115	0.002	0.100	0.984
	20	4.71	0.10	0.104	0.022	0.083	0.985
	30	3.56	0.09	0.079	0.001	0.049	0.987
	40	2.81	0.09	0.061	0.001	0.029	0.988
	50	1.98	0.089	0.046	0.001	0.018	0.988
20	10	11.02	0.14	0.251	0.003	0.460	0.980
	20	12.10	0.14	0.253	0.003	0.454	0.980
	30	9.32	0.13	0.191	0.002	0.264	0.983
	40	7.57	0.12	0.172	0.002	0.219	0.981
	50	6.67	0.13	0.184	0.003	0.260	0.978
25	10	23.46	0.20	0.369	0.003	0.980	0.990
	20	20.78	0.19	0.270	0.002	0.523	0.980
	30	19.12	0.18	0.277	0.003	0.545	0.991
	40	19.32	0.17	0.342	0.003	0.810	0.985
	50	16.74	0.16	0.343	0.004	0.812	0.979
30	10	40.01	0.29	0.680	0.005	3.445	0.990
	20	37.41	0.26	0.571	0.004	2.360	0.990
	30	33.69	0.24	0.653	0.005	3.016	0.984
40	10	95.151	0.47	2.052	0.009	31.475	0.985
	20	83.263	0.43	1.120	0.005	9.303	0.994
	30	73.56	0.39	0.860	0.004	5.472	0.995

APÊNDICE E

Resultados complementares na caracterização do Suco de Goiaba.

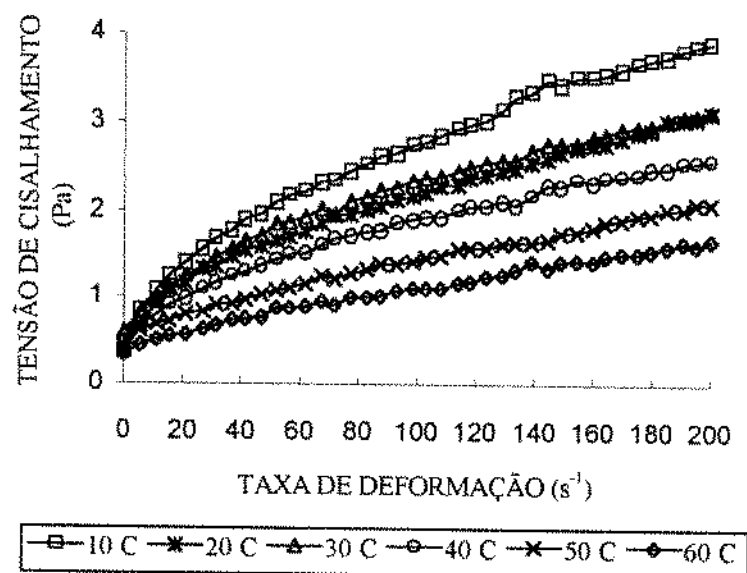


Figura E.1 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de goiaba a 10 °Brix a várias temperaturas.

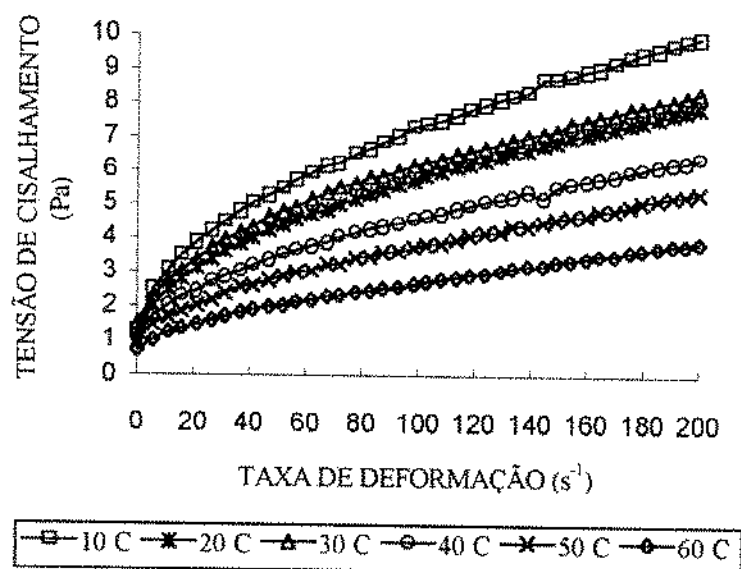


Figura E.2 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de goiaba a 15 °Brix a várias temperaturas.

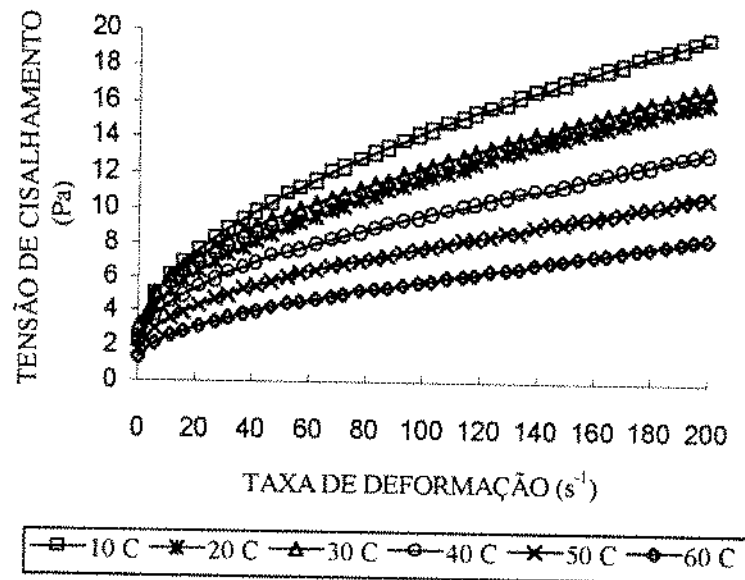


Figura E.3 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de goiaba a 20 °Brix a várias temperaturas.

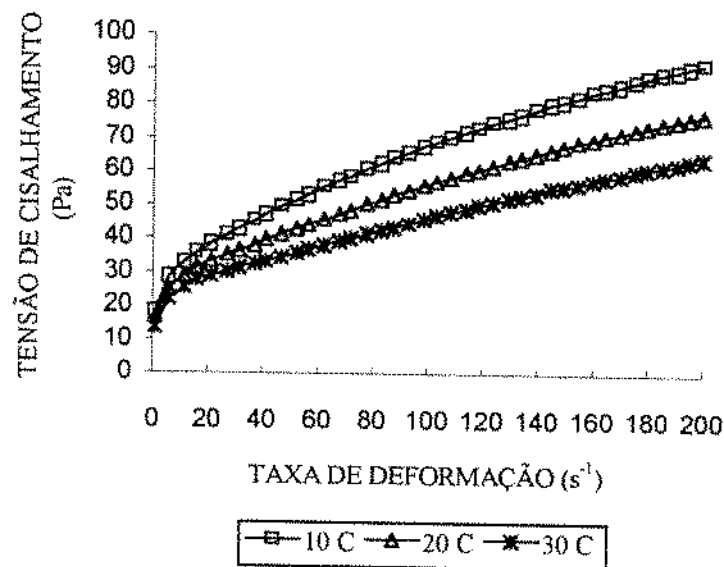


Figura E.4 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de goiaba a 30 °Brix a várias temperaturas.

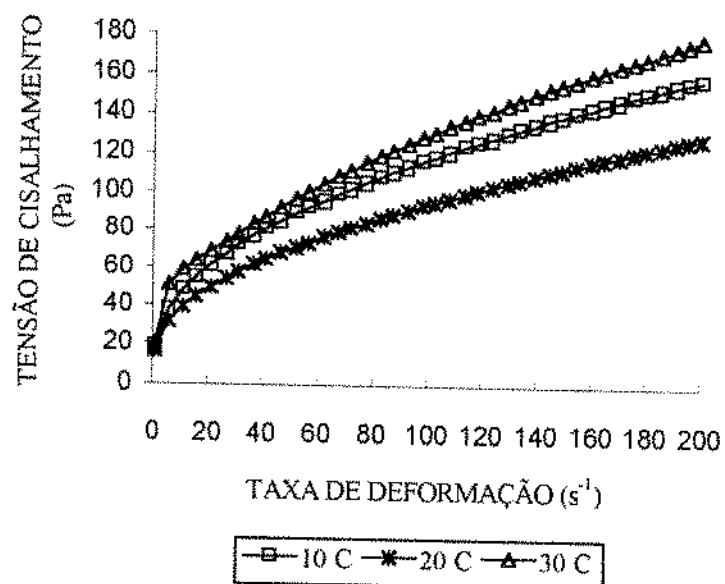


Figura E.5 - Resultados da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para o suco de goiaba a 40 °Brix a várias temperaturas.

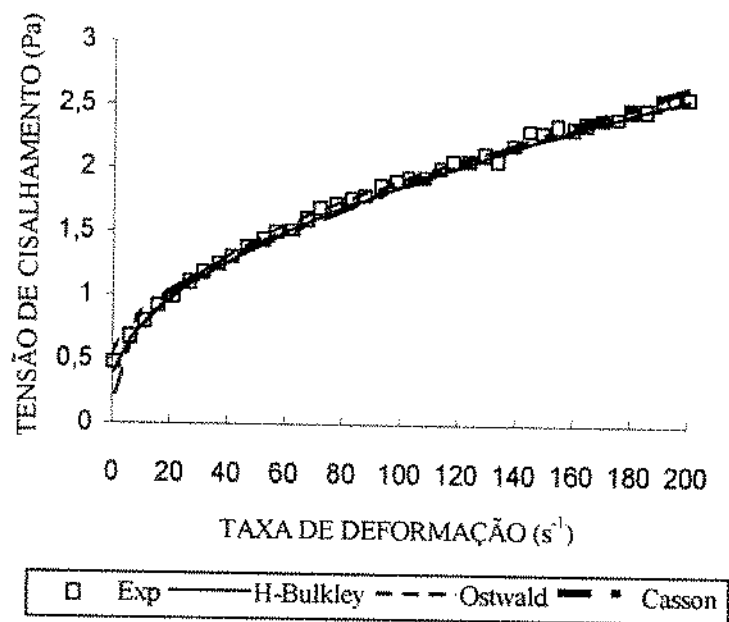


Figura E.6 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de goiaba a 10 °Brix e 40°C.

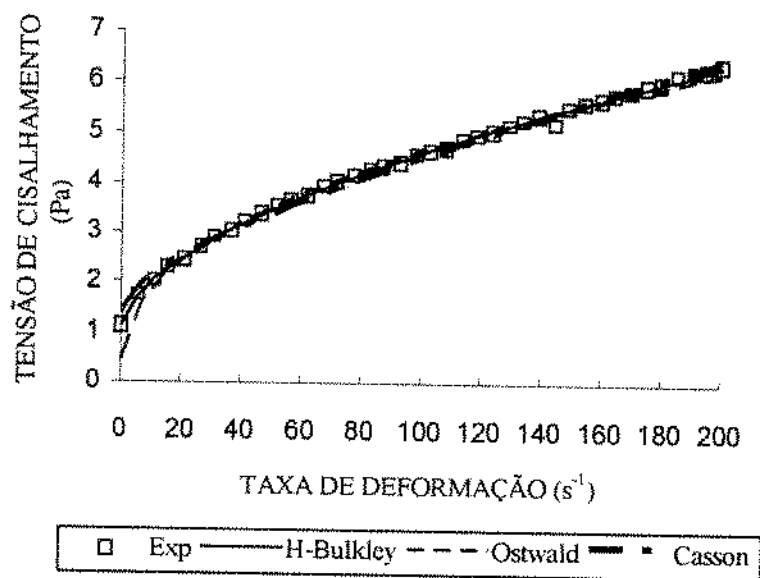


Figura E.7 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de goiaba a 15 °Brix e 40°C.

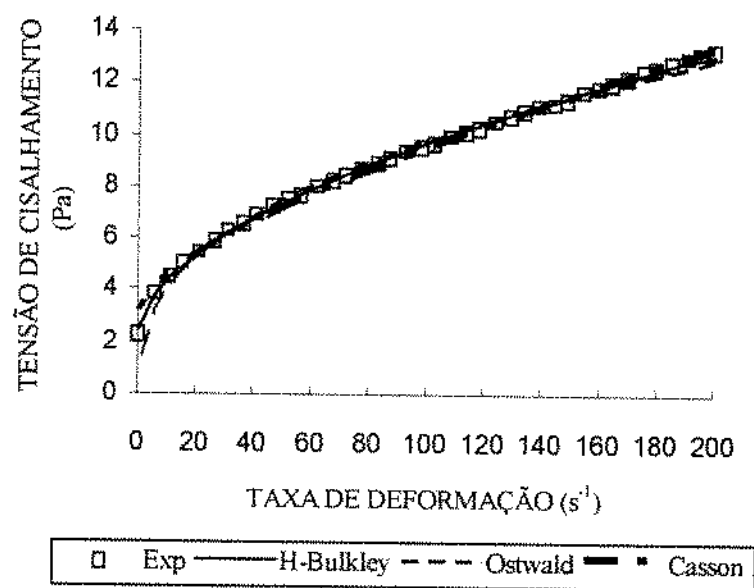


Figura E.8 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de goiaba a 20°Brix e 40°C.

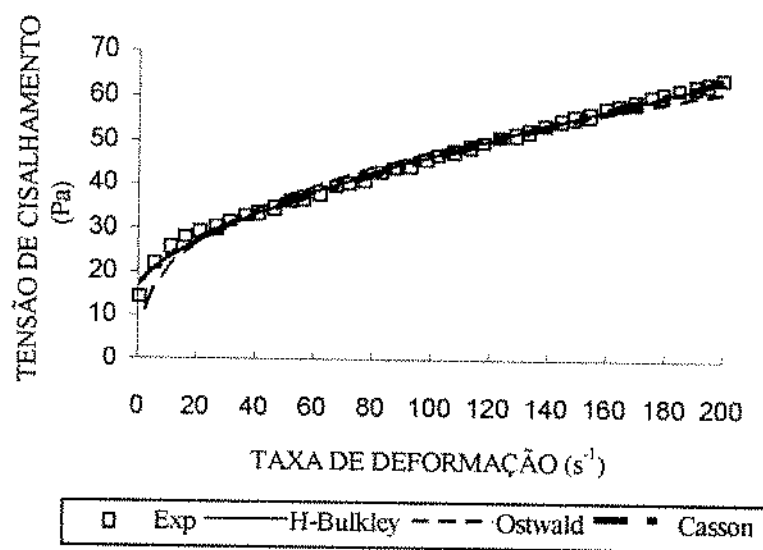


Figura E.9 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de goiaba a 30°Brix e 30°C.

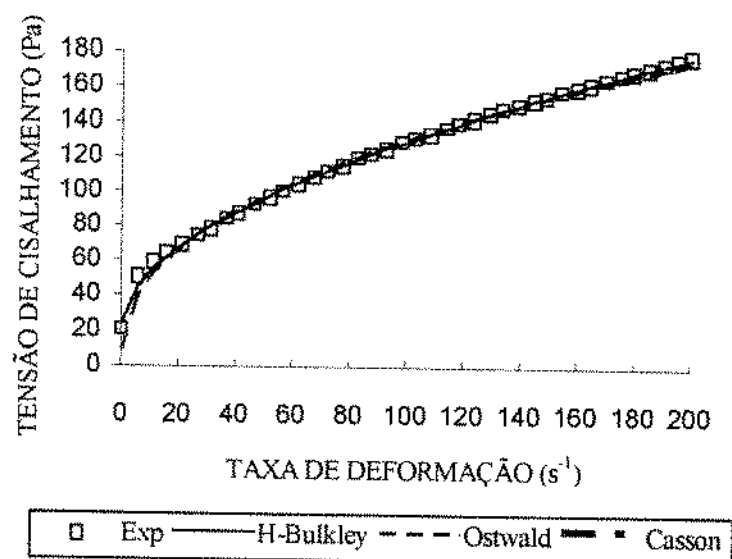


Figura E.10 - Comparação do ajuste dos modelos de Herschel-Bulkley, Ostwald e Casson aos dados experimentais para o suco de goiaba a 40°Brix e 30°C.

Tabela E.1 - Resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Ostwald para o suco de goiaba a várias temperaturas e concentrações.

°Brix	T (°C)	K (Pa.s ⁿ)	n (-)	Er(K)	Er(n)	χ^2	R ²
10	10	0.34	0.46	0.012	0.007	0.004	0.995
	20	0.29	0.44	0.011	0.007	0.003	0.993
	30	0.38	0.39	0.015	0.008	0.004	0.990
	40	0.28	0.41	0.012	0.009	0.003	0.989
	50	0.20	0.43	0.015	0.015	0.006	0.969
	60	0.13	0.46	0.011	0.017	0.004	0.965
15	10	1.06	0.42	0.028	0.005	0.019	0.996
	20	0.87	0.41	0.028	0.006	0.018	0.993
	30	1.04	0.39	0.039	0.007	0.028	0.991
	40	0.70	0.41	0.031	0.009	0.022	0.988
	50	0.55	0.42	0.030	0.011	0.021	0.984
	60	0.38	0.43	0.022	0.012	0.012	0.985
20	10	2.07	0.42	0.059	0.006	0.083	0.996
	20	1.77	0.41	0.058	0.006	0.078	0.994
	30	2.28	0.37	0.099	0.009	0.170	0.987
	40	1.62	0.39	0.067	0.008	0.089	0.989
	50	1.26	0.39	0.058	0.009	0.068	0.988
	60	0.81	0.41	0.045	0.011	0.052	0.987
25	10	4.12	0.41	0.096	0.004	0.214	0.997
	20	3.24	0.41	0.090	0.005	0.191	0.995
	30	5.10	0.34	0.218	0.008	0.683	0.984
	40	3.64	0.36	0.175	0.010	0.512	0.983
	50	2.88	0.36	0.114	0.008	0.215	0.989
	60	2.93	0.35	0.107	0.007	0.180	0.968
30	10	11.30	0.39	0.453	0.008	4.118	0.989
	20	9.85	0.38	0.51	0.010	4.849	0.981
	30	8.96	0.36	0.52	0.012	4.493	0.973
40	10	17.06	0.42	0.151	0.001	0.552	0.999
	20	13.47	0.42	0.236	0.004	1.418	0.998
	30	18.75	0.42	0.693	0.008	11.594	0.993

Tabela E.2 - Resultados dos parâmetros ajustados para o modelo de Casson para o suco de goiaba a várias temperaturas e concentrações.

°Brix	T (°C)	τ_0 (Pa) ^{0,5}	K (Pa.s) ^{0,5}	Er(τ_0)	Er(K)	χ^2	R ²
10	10	0.65	0.08	0.023	0.001	0.006	0.992
	20	0.56	0.07	0.018	0.001	0.003	0.992
	30	0.68	0.06	0.021	0.001	0.004	0.990
	40	0.52	0.06	0.016	0.001	0.002	0.997
	50	0.39	0.05	0.008	0.001	0.001	0.992
	60	0.27	0.05	0.008	0.001	0.001	0.993
15	10	1.95	0.13	0.065	0.002	0.046	0.991
	20	1.59	0.11	0.044	0.001	0.020	0.994
	30	1.87	0.11	0.051	0.001	0.025	0.992
	40	1.29	0.10	0.030	0.001	0.009	0.995
	50	1.041	0.09	0.016	0.001	0.002	0.998
	60	0.72	0.08	0.011	0.001	0.001	0.997
20	10	3.83	0.17	0.120	0.002	0.152	0.992
	20	3.24	0.16	0.088	0.002	0.080	0.994
	30	3.97	0.159	0.074	0.001	0.052	0.996
	40	2.91	0.13	0.061	0.001	0.037	0.995
	50	2.29	0.12	0.044	0.001	0.019	0.994
	60	1.54	0.11	0.023	0.001	0.005	0.995
25	10	7.56	0.24	0.242	0.004	0.606	0.991
	20	5.97	0.21	0.157	0.002	0.252	0.994
	30	8.55	0.20	0.155	0.002	0.212	0.995
	40	6.30	0.18	0.120	0.002	0.135	0.996
	50	4.98	0.167	0.120	0.002	0.134	0.993
	60	4.99	0.16	0.119	0.002	0.129	0.992
30	10	20.36	0.36	0.385	0.003	1.450	0.997
	20	17.55	0.23	0.237	0.002	0.54	0.998
	30	15.48	0.286	0.270	0.003	0.671	0.996
40	10	31.31	0.50	1.34	0.011	18.952	0.986
	20	24.92	0.46	0.898	0.008	8.585	0.990
	30	34.65	0.53	1.042	0.008	2.579	0.993

APÊNDICE F

Equações Fundamentais para Viscosímetro de Cilindros Concêntricos

Equações Fundamentais

Quando se utiliza um viscosímetro de cilindros concêntricos, a tensão de cisalhamento é facilmente determinada, mas para se calcular a taxa de deformação são necessárias algumas condições (VAN WAZER et alli, 1963; RAO, 1986) :

- 1) escoamento laminar do fluido,
- 2) operação isotérmica,
- 3) ausência de deslizamento ("slip") nas interfaces fluido-instrumento,
- 4) fluido deve ser incompressível,
- 5) os componentes axial e radial de velocidade devem ser nulos e
- 6) as extremidades dos cilindros não podem causar distorções no perfil de velocidade.

Considere a situação em que o cilindro gira a uma velocidade constante e o copo é estacionário (Figura 2.1). O instrumento mede o torque (T) exigido para a manutenção desta velocidade angular (Ω) constante; o torque se origina da tensão de cisalhamento exercida pelo fluido no cilindro.

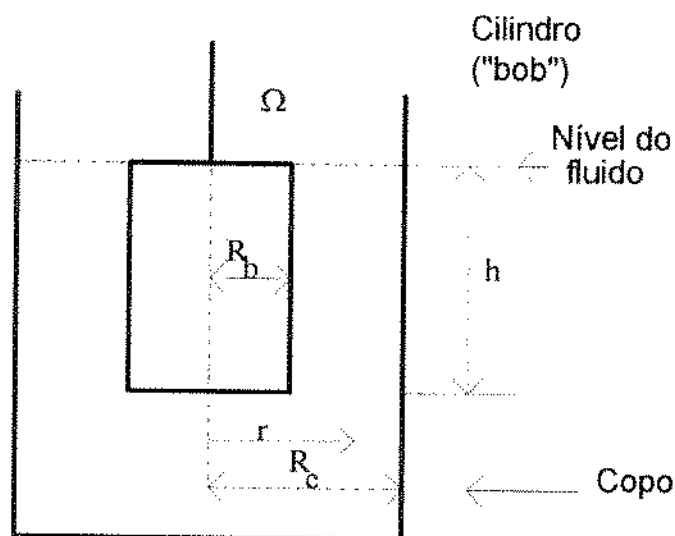


Figura 2.1 - Descrição esquemática do viscosímetro

Um balanço de forças resulta em que o torque (T) é igual ao torque exercido pelo fluido, ou seja :

$$T = F \cdot r \quad [\text{F.1}]$$

onde:

- T = torque medido para manter a rotação [N.m]
- F = força de cisalhamento no fluido [N]
- r = raio a partir do eixo de rotação, na região anular
($R_b \leq r \leq R_c$) entre o cilindro e o copo [m]
- R_b = raio do cilindro [m]
- R_c = raio do copo [m]
- Ω = velocidade angular de rotação do cilindro [rad.s^{-1}]
- h = altura do cilindro em contato com o fluido [m]

A força de cisalhamento no fluido é dada por:

$$F = \tau \cdot A = \tau \cdot 2\pi r h \quad [\text{F.2}]$$

onde:

- τ = tensão de cisalhamento no fluido [$\text{Pa} = \text{N.m}^{-2}$]
- A = área de cisalhamento [m^2]
- h = altura do cilindro em contato com o fluido [m]

Combinando as eq.[F.1] e [F.2], temos:

$$\tau = \frac{T}{2\pi h r^2} \quad [\text{F.3}]$$

que indica que a tensão de cisalhamento varia na direção radial, diminuindo à medida em que se afasta do cilindro em direção ao copo.

Da eq.[F.3] temos que as tensões de cisalhamento no cilindro (τ_b) é dada pela expressão:

$$\tau_b = \frac{T}{2\pi h R_b^2} \quad [\text{F.4}]$$

Para determinação da equação constitutiva é necessário uma avaliação simultânea da tensão de cisalhamento e da taxa de deformação ($\dot{\gamma}$). Para esta geometria e padrão de

coamento, a taxa de deformação é uma função do tipo de comportamento reológico do fluido e pode ser expressa pela seguinte equação (BIRD, 1960):

$$\dot{\gamma}_{\theta r} = r \frac{d}{dr} \left(\frac{v_{\theta}}{r} \right) \quad [\text{F.5}]$$

como:

$$v_{\theta} = \omega \cdot r \quad [\text{F.6}]$$

e ω = velocidade angular do fluido [rad.s^{-1}] tem-se:

$$\dot{\gamma}_{\theta r} = r \frac{d\omega}{dr} \quad [\text{F.7}]$$

O cálculo da taxa de deformação é facilmente realizado para fluidos que obedecem a relação tipo potência entre a velocidade angular e a tensão de cisalhamento, incluindo fluidos newtonianos. É necessário também que o espaço entre os dois cilindros ("gap") seja pequeno para determinar a taxa de deformação para fluidos sabidamente não-Newtonianos. Entretanto, não é recomendado o estudo em viscosímetros de cilindros concêntricos para fluidos que contenham partículas sólidas grandes, tais como alguns purês e polpas de frutas (CHARM, 1960; RAO, 1975; RAO, 1977 a,b; RAO, 1986), assim como para baixas taxas de deformação.

SMITH (1984) citado por RAO (1986) estudou o efeito do espaçamento entre os cilindros ("gap") em viscosímetros de cilindros concêntricos e mostrou que erros significativos ocorrem em sistemas com espaçamentos grandes, particularmente no caso de fluidos com comportamento pseudoplástico muito intenso.

Existem vários métodos publicados para determinar a tensão de cisalhamento com a correspondente taxa de deformação para viscosímetros de cilindros concêntricos (VAN WAZER et alli, 1963). Duas aproximações usadas para o cálculo da taxa de deformação são a Newtoniana e a Lei de Potência, dadas respectivamente por:

$$\dot{\gamma}_b = 2\Omega \left[\frac{S^2}{S^2 - 1} \right] \quad [\text{F.8}]$$

$$\dot{\gamma}_b = \left(\frac{2\Omega}{n} \right) \left[\frac{R_c^{2/n}}{R_c^{2/n} - R_b^{2/n}} \right] \quad [\text{F.9}]$$

onde: $S = \frac{R_c}{R_b}$

Ω = velocidade angular de rotação do cilindro.

Um método particularmente interessante por ser geral, cuja aplicação independente de considerações acerca do modelo reológico do fluido em estudo, foi o proposto por Krieger & Elrod (1953), que expressa a taxa de deformação através da seguinte série convergente de Mc Laurin:

$$\dot{\gamma}_b = \frac{\Omega}{\ln S} \left[1 + \ln S \frac{d(\ln \Omega)}{d(\ln \tau_b)} + \frac{(\ln S)^2}{3\Omega} \frac{d^2 \Omega}{d(\ln \tau_b)^2} - \frac{(\ln S)^4}{45\Omega} \frac{d^4 \Omega}{d(\ln \tau_b)^4} + \dots \right] \quad [\text{F.10}]$$

quando

$$\ln S \cdot \frac{d(\ln \Omega)}{d(\ln \tau_b)} < 0,2 \quad [\text{F.11}]$$

os terceiro e quarto termos do balanço podem ser desprezados com um erro no valor de $\dot{\gamma}$ menor que 1%, e a taxa de deformação pode ser calculada como:

$$\tau_b = \frac{\Omega}{\ln S} \left[1 + \ln S \frac{d(\ln \Omega)}{d(\ln \tau_b)} \right] \quad [\text{F.12}]$$

Estudos mais recentes sugerem que os erros podem aumentar quando os fluidos possuem τ_0 .

APÊNDICE G

Reogramas em duplicata para os sucos de Manga, Maracujá, Mamão e Goiaba.

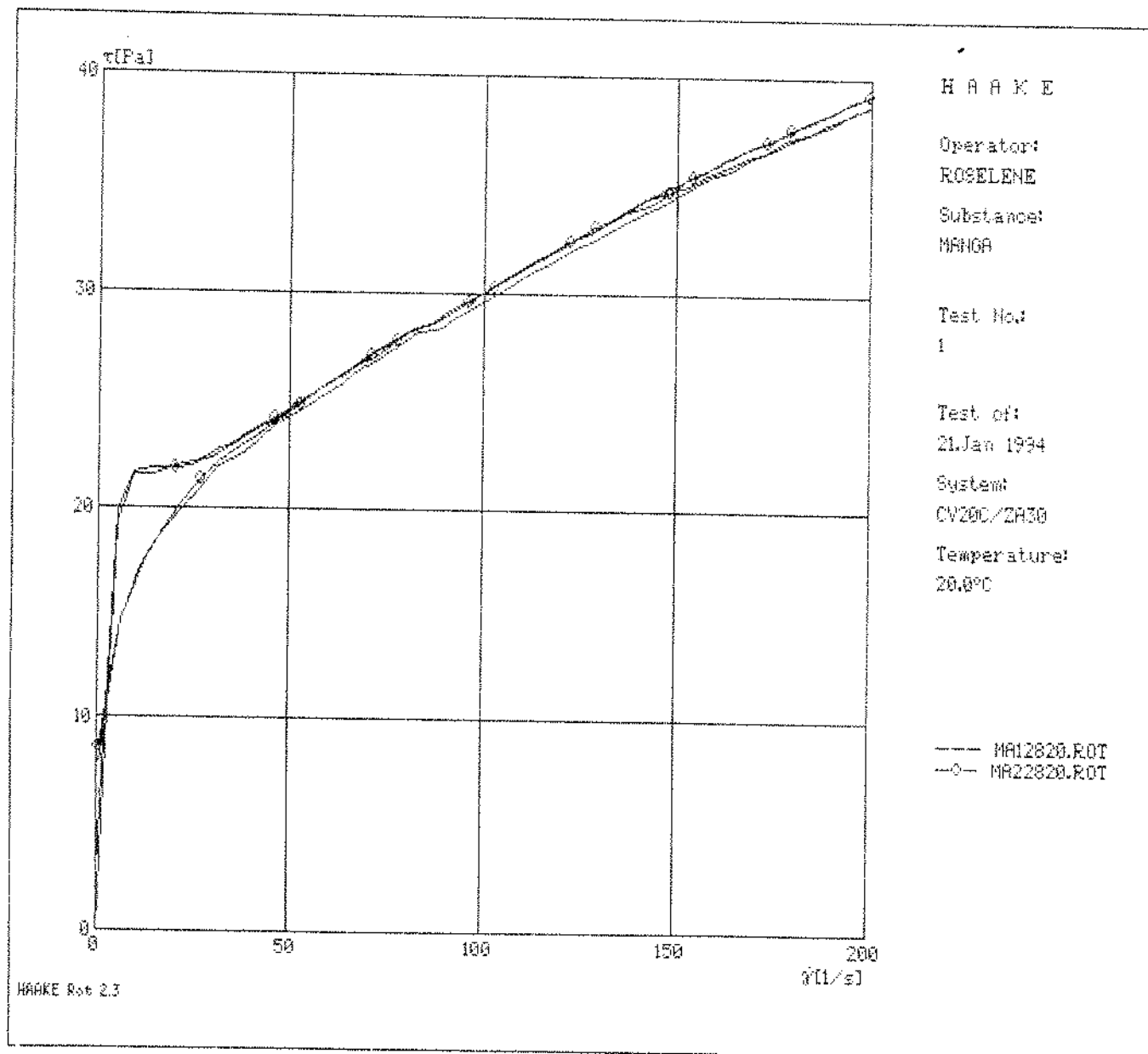


Figura G.1 - Reograma em duplicata para o suco de manga à concentração de 28°Brix e temperatura de 20°C.

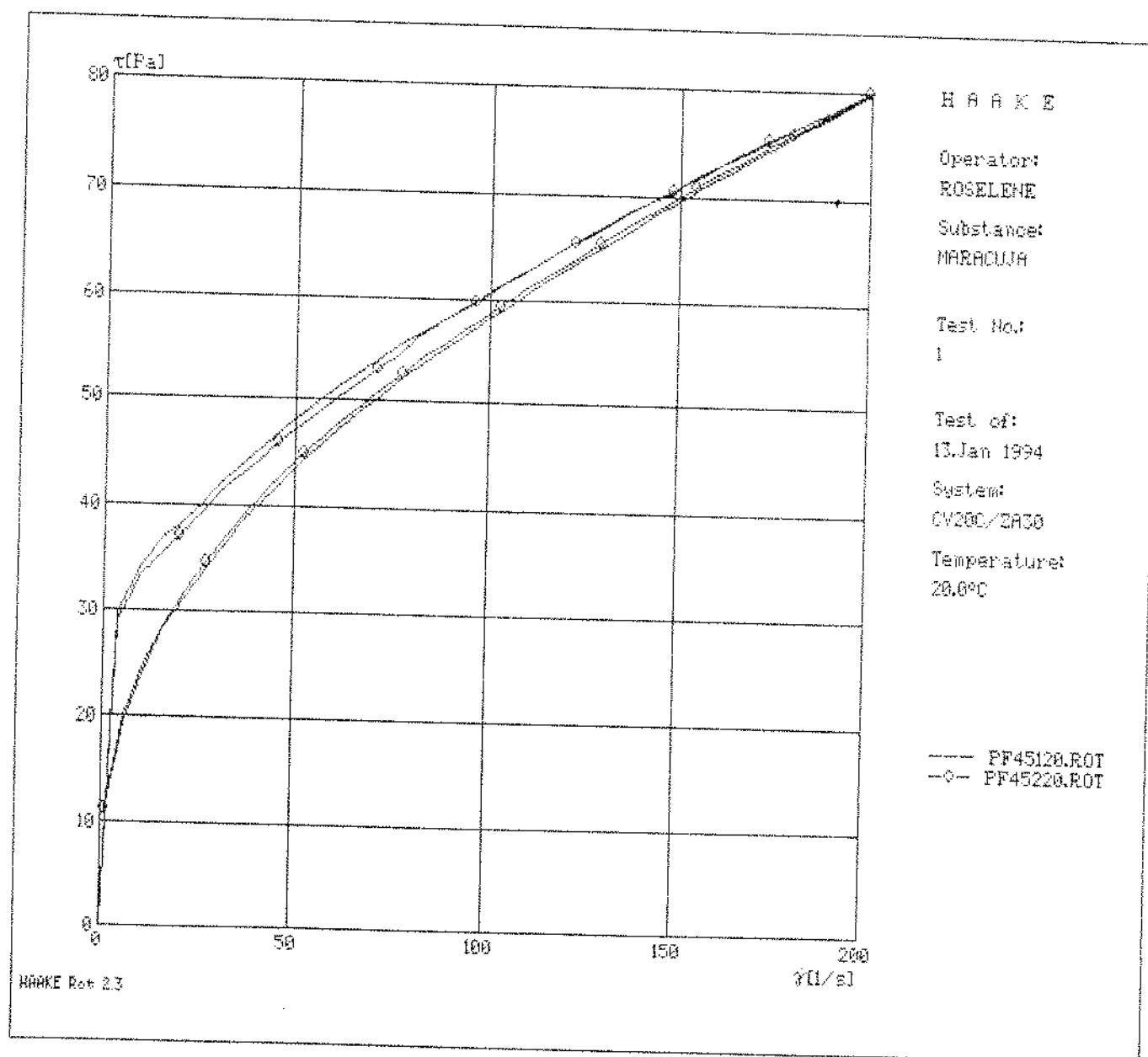


Figura G.2 - Reograma em duplicata para o suco de maracujá à concentração de 45°Brix e temperatura de 20°C.

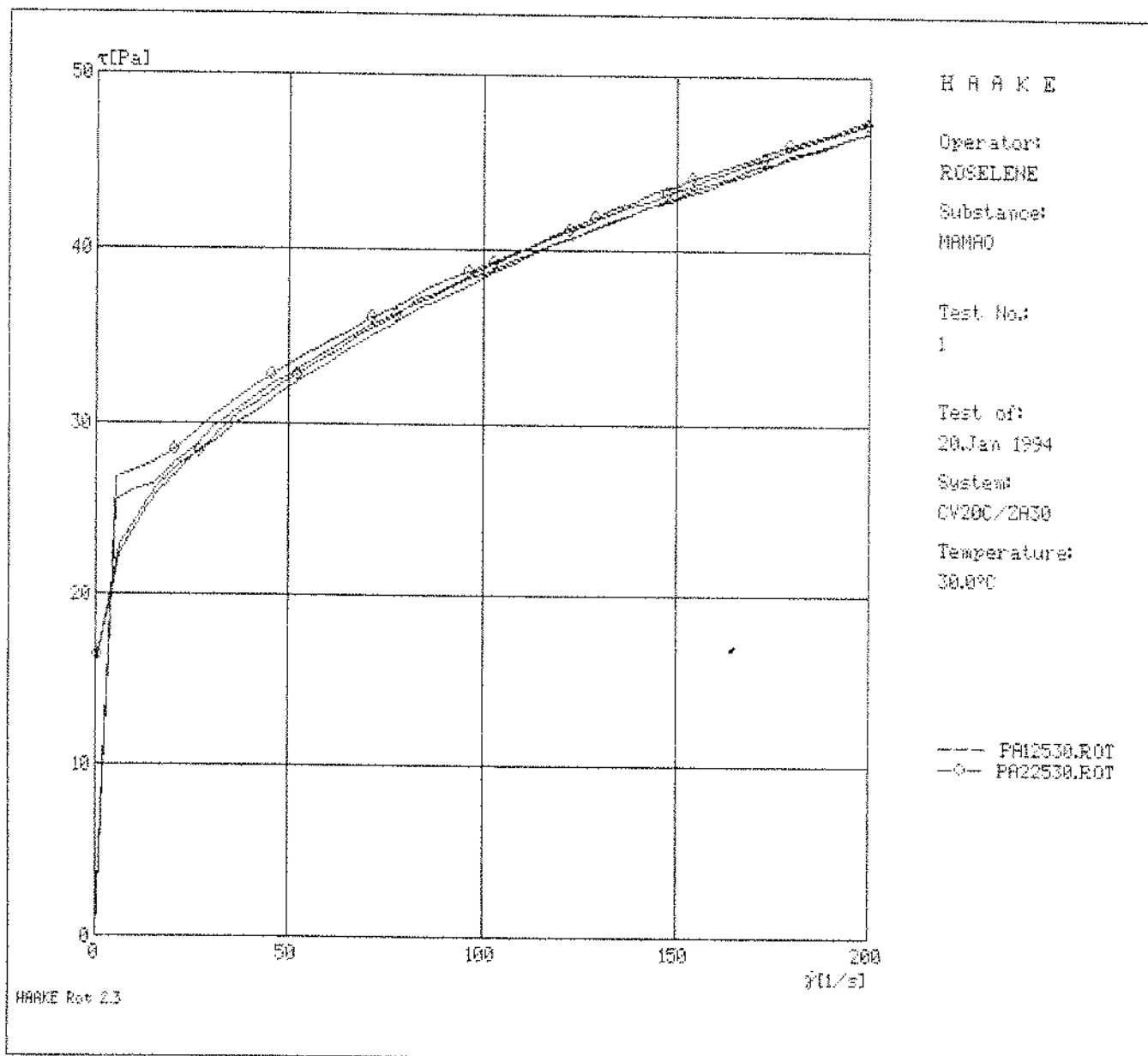


Figura G.3 - Reograma em duplicata para o suco de mamão à concentração de 25°Brix e temperatura de 30°C.

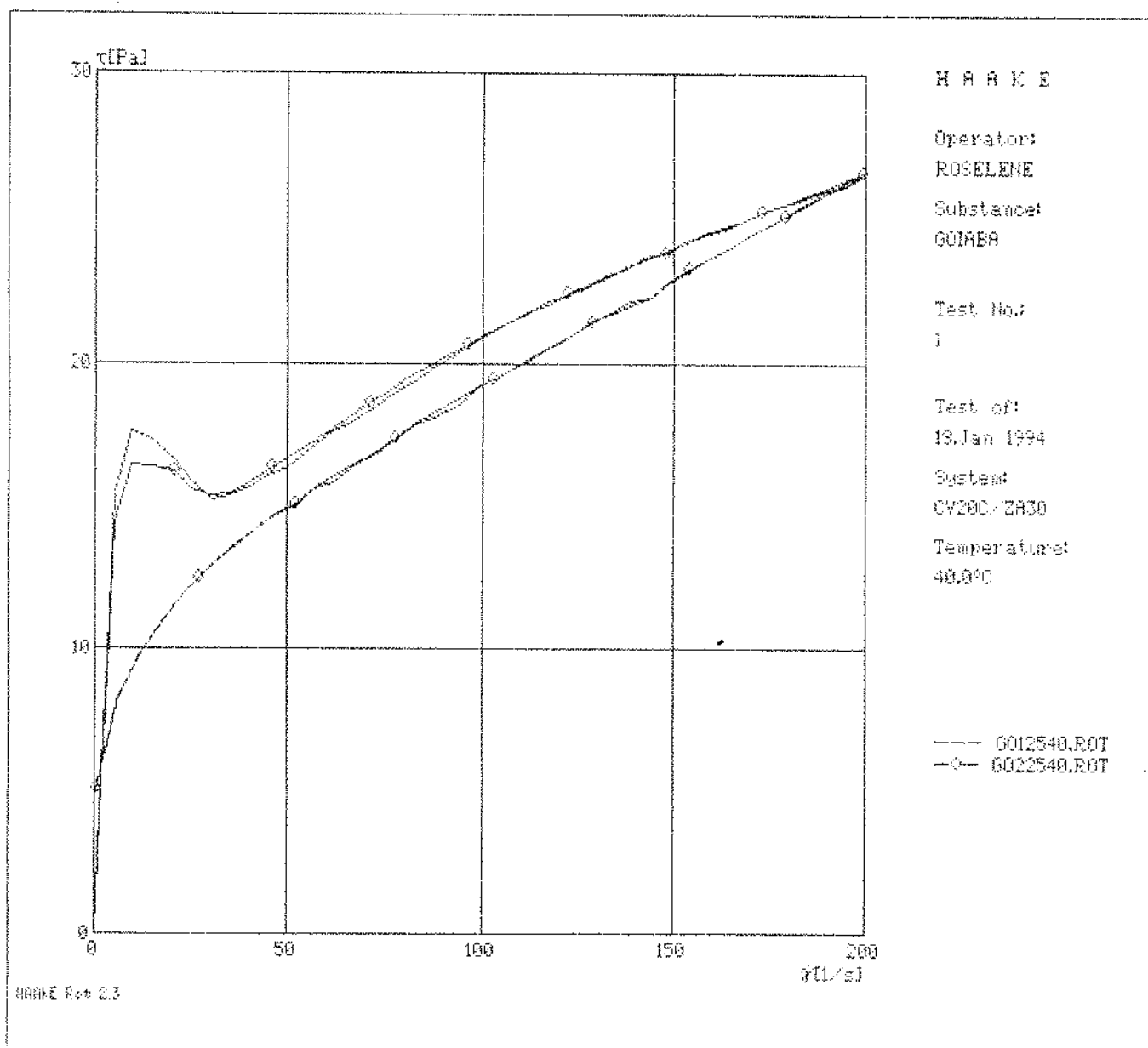


Figura G.4 - Reograma em duplicata para o suco de goiaba à concentração de 25°Brix e temperatura de 40°C.

ERRATA

A figura da página 119 deve ser substituída pela figura da página 120 e a figura da página 120 pela figura da página 119.