

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

TESE DE MESTRADO

**COMPORTAMENTO REOLÓGICO DAS POLPAS DE
MANGA E ABACAXI**

Aluna: Daniela Helena Pelegrine

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto

Tese submetida ao programa de Pós-Graduação da
Faculdade de Engenharia de Alimentos – UNICAMP para a
obtenção do Título de Mestre em Engenharia de Alimentos.

PARECER

Este exemplar corresponde à
redação final da tese defendida
por Daniela Helena Pelegrine
aprovada pela Comissão
Julgadora em 10 de fevereiro de
1999.

Campinas, fevereiro de 1999

Campinas, 10 de fevereiro de
1998


Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto

990.5518

UNIDADE	BC
N.º CHAMADA:	
V. Ex.	
TOMF	137370
PRO	229/99
C	
PREÇO	R\$ 11,00
DATA	24/04/99
N.º CPD	

CM-00122593-4

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

P362c

Pelegrine, Daniela Helena

Comportamento reológico das polpas de manga e abacaxi. / Daniela Helena Pelegrine. -- Campinas, SP: [s.n.], 1999.

Orientador: Carlos Alberto Gasparetto.

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

1.Manga. 2.Abacaxi. 3.Reologia. 4.Reometros.

I.Gasparetto, Carlos Alberto. II.Universidade Estadual de Campinas.Faculdade de Engenharia de Alimentos.

III.Título.

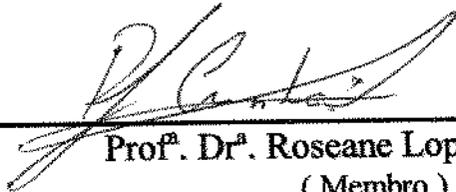
BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto
(Orientador)



Prof. Dr. Sérgio Rodrigues Fontes
(Membro)



Prof.^a Dr.^a Roseane Lopes da Cunha
(Membro)

Prof.^a Dr.^a Fernanda E. X. Murr
(Suplente)

Aos meus pais Rino e Dalva,
Aos meus irmãos Rina e André,
e ao Valdir, com carinho.

AGRADECIMENTOS

Ao Professor Dr. Carlos Alberto Gasparetto, pela orientação da tese, dedicação e incentivo em todos os momentos.

Às Professoras Dra. Roseane Lopes da Cunha e Dra. Fernanda E. X. Murr (DEA – UNICAMP) e ao Professor Dr. Sérgio Rodrigues Fontes (UNESP – Jaboticabal), pela correção da tese e pelas importantes sugestões, contribuindo para o aperfeiçoamento deste trabalho.

À CAPES, pelo suporte financeiro durante todo o curso de Mestrado.

Ao Pompeo, do Laboratório de Engenharia de Petróleo, pelo auxílio e permissão na utilização do reômetro.

À técnica do Laboratório de Medidas Físicas Ângela Grandim, pela prestabilidade, eficiência e amizade.

Aos colegas do Laboratório de Medidas Físicas Enny, Denise, Raniere, Antônio, Luiza, Ivanise (Katita) e Daniella Mara, por constituírem um ambiente de trabalho amigo e agradável.

Aos meus amigos do Mestrado Mariana, Patrícia, Luciana, Isabel, Fernanda, Suzy, Éder, Guilherme e Daniel, pelo companheirismo, apoio e pelos agradáveis momentos de descontração.

A todos que, de uma forma ou de outra, contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho.

Ao Valdir, pelo afeto, compreensão, incentivo e apoio em todos os momentos.

Aos meus pais, sem limites de gratidão.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	i
LISTA DE FIGURAS.....	iv
NOMENCLATURA.....	vi
RESUMO.....	viii
SUMMARY.....	ix
1 - INTRODUÇÃO.....	1
1.1 - OBJETIVO.....	3
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1 - GENERALIDADES.....	4
2.1.1 - Manga.....	4
2.1.2 - Abacaxi.....	10
2.1.3 - Distinção entre polpas, sucos e néctares.....	13
2.1.4 - Reologia.....	14
2.1.5 - Fatores que influenciam na reologia dos produtos derivados de frutas.....	16
2.1.5.1 - Reologia da polpa com relação ao tipo de fruta.....	17
2.1.5.2 - Influência da temperatura.....	19
2.1.5.3 - Influência das partículas.....	21
2.1.5.4 - Influência das pectinas.....	24
2.1.5.5 - Influência dos sistemas de medidas.....	26
2.2 - ESTUDOS REOLÓGICOS.....	28
2.2.1 - Lei da Viscosidade de Newton.....	28
2.2.2 - Fluidos Newtonianos.....	30
2.2.3 - Fluidos Não Newtonianos.....	31
2.2.4 - Modelos Reológicos.....	36
a) Modelo de Ostwald-de-Waele.....	37
b) Modelos Reológicos com Tensão Inicial de Escoamento.....	39
b.1) Modelo de Casson.....	40
b.2) Modelo de Herschel-Bulkley.....	41
b.3) Modelo de Mizrahi-Berk.....	42
2.3 - MEDIDAS REOLÓGICAS.....	43
2.3.1 - Sistema Capilar.....	43
2.3.2 - Sistemas Rotacionais.....	47

2.3.2.1 - Reômetros Rotacionais de cilindros concêntricos.....	47
2.3.2.2 - Reômetros Rotacionais de placas paralelas.....	48
2.3.2.3 - Reômetro Rotacional de cone e placa.....	49
3 - MATERIAIS E MÉTODOS.....	51
3.1 - PROCESSAMENTO DA POLPA.....	51
3.2 - ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS POLPAS.....	54
3.2.1 - pH.....	54
3.2.2 - Teor de sólidos solúveis.....	54
3.2.3 - Teor de pectinas.....	55
3.2.4 - Teor de sólidos insolúveis.....	55
3.3 - CENTRIFUGAÇÃO.....	56
3.4 - DESPECTINIZAÇÃO.....	56
3.5 - REOMETRIA.....	57
3.5.1 - Reômetro de placas paralelas.....	58
3.5.2 - Reômetro de cilindros concêntricos.....	59
3.6 - PROCESSAMENTO DOS RESULTADOS.....	61
4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	62
4.1 - CARACTERIZAÇÃO DAS POLPAS.....	62
4.2 - COMPORTAMENTO REOLÓGICO.....	62
4.2.1 - Efeito do Sistema de Medidas.....	62
4.2.2 - Determinação dos Parâmetros Reológicos.....	70
4.2.3 - Viscosidade Aparente das polpas.....	78
5 - CONCLUSÕES.....	83
6 - SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	85
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	86
APÊNDICE	97

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 -	Dados sobre determinações físicas e químicas de vinte variedades de mangueiras cultivadas no triângulo mineiro.....	7
Tabela 2.2 -	Composição química da manga madura variedade Keitt.....	9
Tabela 2.3 -	Composição da polpa de abacaxi por 100 gramas de produto fresco.....	12
Tabela 2.4 -	pH, conteúdo de pectina e atividade de pectinesterase nas polpas diluídas em 1:1.....	25
Tabela 4.1 -	Valores de pH, °Brix, teor de pectina e de sólidos insolúveis, determinados para as polpas de manga e abacaxi.....	62
Tabela 4.2 -	Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para a manga integral.....	70
Tabela 4.3 -	Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para a manga centrifugada.....	71
Tabela 4.4 -	Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para a manga despectinizada.....	73
Tabela 4.5 -	Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para o abacaxi integral.....	74
Tabela 4.6 -	Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para o abacaxi centrifugado.....	76
Tabela A.1 -	Parâmetros do modelo de Casson para o abacaxi integral.....	98
Tabela A.2 -	Parâmetros do modelo de Casson para o abacaxi centrifugado.....	98
Tabela A.3 -	Parâmetros do modelo de Casson para a manga integral.....	98
Tabela A. 4 -	Parâmetros do modelo de Casson para a manga centrifugada.....	99
Tabela A. 5 -	Parâmetros do modelo de Casson para a manga despectinizada.....	99
Tabela A. 6 -	Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waelle para o abacaxi integral.....	99

Tabela A. 7 -	Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waelle para o abacaxi centrifugado.....	100
Tabela A. 8 -	Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waelle para a manga integral.....	100
Tabela A. 9 -	Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waelle para a manga centrifugada.....	100
Tabela A. 10 -	Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waelle para a manga despectinizada.....	101
Tabela A. 11 -	Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para o abacaxi integral.....	101
Tabela A. 12 -	Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para o abacaxi centrifugado.....	101
Tabela A. 13 -	Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para a manga integral.....	102
Tabela A. 14 -	Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para a manga centrifugada.....	102
Tabela A. 15 -	Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para a manga despectinizada.....	102
Tabela A. 16 -	Viscosidade Aparente do abacaxi integral (PQ30,gap = 0,5 mm).....	103
Tabela A. 17 -	Viscosidade Aparente do abacaxi centrifugado (PQ30, gap = 0,5 mm).....	103
Tabela A. 18 -	Viscosidade Aparente da manga integral (PQ30, gap = 0,5 mm).....	104
Tabela A. 19 -	Viscosidade Aparente da manga centrifugada (PQ30, gap = 0,5 mm).....	104
Tabela A. 20 -	Viscosidade Aparente da manga despectinizada (PQ30, gap = 0,5 mm).....	105
Tabela A. 21 -	Viscosidade Aparente do abacaxi integral (PQ45, gap = 0,5 mm).....	105
Tabela A. 22 -	Viscosidade Aparente do abacaxi centrifugado (PQ45, gap = 0,5 mm).....	106

Tabela A. 23 -	Viscosidade Aparente da manga integral (PQ45, gap =0,5 mm).....	106
Tabela A. 24 -	Viscosidade Aparente da manga centrifugada (PQ45, gap = 0,5 mm).....	107
Tabela A. 25 -	Viscosidade Aparente da manga despectinizada (PQ45, gap = 0,5 mm).....	107
Tabela A. 26 -	Viscosidade Aparente do abacaxi integral (PQ30, gap = 1,0 mm).....	108
Tabela A. 27 -	Viscosidade Aparente do abacaxi centrifugado (PQ30, gap = 1,0 mm).....	108
Tabela A. 28 -	Viscosidade Aparente da manga integral (PQ30, gap = 1,0 mm).....	109
Tabela A. 29 -	Viscosidade Aparente da manga centrifugada (PQ30, gap = 1,0 mm).....	109
Tabela A. 30 -	Viscosidade Aparente da manga despectinizada (PQ30, gap = 1,0 mm).....	110
Tabela A. 31 -	Viscosidade Aparente do abacaxi integral (PQ45, gap = 1,0 mm).....	110
Tabela A. 32 -	Viscosidade Aparente do abacaxi centrifugado (PQ45, gap = 1,0 mm).....	111
Tabela A. 33 -	Viscosidade Aparente da manga integral (PQ45, gap = 1,0 mm).....	111
Tabela A. 34 -	Viscosidade Aparente da manga centrifugada (PQ45, gap = 1,0 mm).....	112
Tabela A. 35 -	Viscosidade Aparente da manga despectinizada (PQ45, gap = 1,0 mm).....	112
Tabela A. 36 -	Viscosidade Aparente do abacaxi integral (ZA30).....	113
Tabela A. 37 -	Viscosidade Aparente do abacaxi centrifugado (ZA30).....	113
Tabela A. 38 -	Viscosidade Aparente da manga integral (ZA30).....	114
Tabela A. 39 -	Viscosidade Aparente da manga centrifugada (ZA30).....	114
Tabela A. 40 -	Viscosidade Aparente da manga despectinizada (ZA30).....	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 -	Escoamento de um fluido entre duas placas paralelas.....	28
Figura 2.2 -	Curvas de escoamento para vários fluidos independentes do tempo.....	32
Figura 2.3 -	Curvas de escoamento para fluidos dependentes do tempo.....	34
Figura 2.4 -	Classificação geral dos fluidos.....	35
Figura 2.5 -	Arranjo experimental de um reômetro tipo capilar.....	44
Figura 2.6.-	Reômetros rotacionais de cilindros concêntricos.....	48
Figura 2.7 -	Reômetro de cone e placa.....	50
Figura 3.1 -	Fluxograma esquemático para a obtenção das polpas de manga e abacaxi.....	53
Figura 3.2 -	Sistema de placas paralelas PQ30 e PQ45 do Reômetro Haake Rotovisco.....	59
Figura 3.3 -	Sistema ZA 30 - Reômetro Haake Rotovisco.....	60
Figura 4.1 -	Reograma da polpa de manga integral para os diferentes sistemas de medidas.....	63
Figura 4.2 -	Reograma da polpa de manga centrifugada para os diferentes sistemas de medidas.....	65
Figura 4.3 -	Reograma da polpa de manga despectinizada para os diferentes sistemas de medidas.....	66
Figura 4.4 -	Reograma da polpa de abacaxi integral para os diferentes sistemas de medidas.....	67
Figura 4.5 -	Reograma da polpa de abacaxi centrifugada para os diferentes sistemas de medidas.....	69
Figura 4.6 -	Relação entre taxa de deformação e tensão de cisalhamento para a manga integral descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	71
Figura 4.7 -	Relação entre taxa de deformação e tensão de cisalhamento para a manga centrifugada descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	72
Figura 4.8 -	Relação entre taxa de deformação e tensão de cisalhamento para a manga despectinizada descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	74

Figura 4.9 - Relação entre taxa de deformação e tensão de cisalhamento para o abacaxi integral descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	75
Figura 4.10 - Relação entre taxa de deformação e tensão de cisalhamento para o abacaxi centrifugado descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	77
Figura 4.11 - Razão entre as viscosidades aparentes (ϵ) das polpas de manga integral e centrifugada, descritas pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	79
Figura 4.12 - Razão entre as viscosidades aparentes (ϵ) das polpas de abacaxi integral e centrifugada, descritas pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	80
Figura 4.13 - Razão entre as viscosidades aparentes (ϵ) das polpas de manga integral e despectinizada, descritas pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	81
Figura 4.14 - Razão entre as viscosidades aparentes (ϵ) das polpas de manga centrifugada e despectinizada, descritas pelo modelo de Mizrahi-Berk.....	82

NOMENCLATURA

A -	área das placas na Figura 2.1.....	m^2
C -	comprimento da mangueira na Figura 2.5.....	m
D -	diâmetro interno da mangueira na Figura 2.5.....	m
De -	diâmetro do cilindro externo na Figura 3.3.....	mm
Di -	diâmetro do cilindro interno na Figura 3.3.....	mm
F -	força aplicada sobre a placa superior na Figura 2.1.....	N
gap -	distância entre as placas no reômetro da placas paralelas.....	mm
K -	índice de consistência na equação 2.4.....	$Pa.s^n$
K_{0c} -	tensão inicial de Casson	$(Pa)^{1/2}$
K_{0M} -	raiz quadrada da tensão inicial de Mizrahi-Berk	$(Pa)^{1/2}$
K_c -	viscosidade plástica de Casson	$(Pa.s)^{1/2}$
K_H -	índice de consistência de Herschel-Bulkley	$Pa.s^{n_H}$
K_M -	índice de consistência de Mizrahi-Berk	$(Pa)^{1/2}(s)^{n_M}$
L -	altura do cilindro interno na Figura 3.3.....	mm
n -	índice de comportamento na equação 2.4.....	--
n_H -	índice de comportamento de Herschel-Bulkley	--
n_M -	índice de comportamento de Mizrahi-Berk	--
PQ30 -	sistema de medida de placas paralelas – Figura 3.2.....	--
PQ45 -	sistema de medida de placas paralelas – Figura 3.2.....	--
Q -	vazão volumétrica do reômetro capilar.....	m^3/s
R -	raio da placa na Figura 3.2.....	mm
R² -	coeficiente de determinação	--
SSR -	soma dos quadrados dos resíduos	--
v_x -	velocidade na Figura 2.1.....	m/s
x -	posição das abcissas na Figura 2.1.....	m

X^2	- qui-quadrado	--
y	- posição das ordenadas na Figura 2.1.....	m
ZA30	- sistema de medida de cilindros concêntricos – Figura 3.3.....	--
α	- ângulo cone-placa no reômetro de cone e placa.....	rad
$\dot{\gamma}$	- taxa de deformação.....	s^{-1}
$\dot{\gamma}_i$	- taxa de deformação na equação 2.2	s^{-1}
$\dot{\gamma}_N$	- taxa de deformação corrigida na equação 2.12.....	s^{-1}
Δp	- queda de pressão ao longo do tubo da Figura 2.5.....	Pa
ε	- razão entre viscosidades aparentes – equação 4.1.....	--
η_a	- viscosidade aparente	Pa.s
η_{api}	- viscosidade aparente da polpa na condição i.....	Pa.s
η_{apj}	- viscosidade aparente da polpa na condição j.....	Pa.s
μ	- viscosidade absoluta	Pa.s
τ	- tensão de cisalhamento	Pa
τ_0	- tensão inicial de cisalhamento	Pa
τ_{0H}	- tensão de cisalhamento inicial de Herschel-Bulkley	Pa

COMPORTAMENTO REOLÓGICO DAS POLPAS DE MANGA E ABACAXI

Autora: Daniela Helena Pelegrine

Orientador: Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto

Depto. de Engenharia de Alimentos - FEA - UNICAMP

RESUMO

Neste trabalho experimental foram analisados, em reômetro rotacional Haake Rotovisco RV-20, as polpas de manga Keitt integral, centrifugada e despectinizada e de abacaxi Pérola integral e centrifugado à temperatura de 30°C. Os ensaios foram conduzidos com dois sistemas de medida: cilindros concêntricos ZA-30 (sistema Couette) e placas paralelas com diâmetros de 45 mm (PQ45) e de 30 mm (PQ 30) com distância entre si de 0,5 e 1,0 mm. As polpas foram produzidas na planta piloto a partir de frutos cujo grau de maturação foi padronizado por ensaio de penetração em texturômetro. As amostras de polpa foram congeladas para armazenamento. O sistema de medida PQ45 com distância entre placas de 0,5 mm produziu taxas de deformação até 900 s^{-1} e foi o que melhor descreveu o comportamento de todas as amostras, menos a de manga despectinizada. Neste caso o melhor sistema foi o ZA-30 de cilindros concêntricos, porém a máxima taxa de deformação foi de 300 s^{-1} . Todas as amostras ensaiadas apresentaram comportamento pseudoplástico e o melhor ajuste foi conseguido com o modelo de Mizrahi-Berk. Os resultados também foram apresentados na forma de relação entre a viscosidade aparente, calculadas pelo modelo Mizrahi-Berk, em função da taxa de deformação. Para as polpas de manga apresentou-se as relações de viscosidade aparente (integral/centrifugada), (integral/despectinizada) e (centrifugada/despectinizada). Para as polpas de abacaxi apresentou-se a relação de viscosidade aparente (integral/centrifugada). Esses resultados mostram a variação relativa do comportamento reológico.

Palavras-chave: Manga, Abacaxi, Reologia, Reômetro.

RHEOLOGICAL BEHAVIOR of MANGO and PINEAPPLE PULP

Author: Daniela Helena Pelegrine

Supervisor: Prof. Dr. Carlos Alberto Gasparetto

Department of Food Engineering - FEA - UNICAMP

SUMMARY

This is an experimental research conducted with rotational rheometer Haake Rotovisco RV-20, for the analysis of whole, centrifuged and despectinezed mango (Keitt) pulp and whole and centrifuged, pineapple (Perola) pulp, all at 30°C. Two different measuring systems were used: concentric cylinders ZA-30 (Couette) and parallel plates with diameter of 45 mm (PQ45) and 30 mm (PQ30) with two different gap of 0.5 and 1.0 mm. Pulpes were produced in a pilot plant from fruits with similar degree of ripeness as standardized with a penetration texturometer. The material was plate frozen for storage. The measuring system PQ-45 with gap of 0.5 mm produced shear rates up to 900 s⁻¹ and showed better performance to describe all samples but despectinized mango pulp. For this case the best was the ZA-30 concentric cylinders giving a maximum shear rate of 300 s⁻¹. All samples showed pseudoplastic behavior with the best fit produced by the Mizrahi-Berk model. Rheometric results were also presented as apparent viscosity ratio, calculated from the Mizrahi-Berk fit, versus shear rate. For mango the ratio were presented as (whole/centrifuged), (whole/despectinized) and (centrifuged/despectinezed). For pineapple the ratio was for (whole/centrifuged). Those results show the relative effect of the main constituents on the rheological behavior.

Key-words: Mango, Pineapple, Rheology, Rheometer.

1. INTRODUÇÃO

A manga (*Mangifera indica* L.) e o abacaxi (*Ananas comusus* L. merr) ocupam posições de destaque no mercado mundial. Segundo dados da FAO, estão entre as cinco principais frutas tropicais de grande importância comercial (CUNHA *et alii*, 1994a).

Em relação à cultura do abacaxi, esta vem representando uma das principais fontes de renda de várias regiões brasileiras, destacando-se os estados da Paraíba, Bahia, São Paulo e Minas Gerais. A cultura de manga brasileira, apesar da modesta atuação no mercado internacional de frutas 'in natura', tem recebido incentivos empresariais com tecnologias de produção mais adequadas, devido à importância econômica que a fruta alcançou nos últimos anos, tanto no mercado interno quanto no externo.

Além das frutas 'in natura', por serem produtos perecíveis e com dificuldade para estender a vida útil do produto fresco, há também o interesse na produção dos derivados dessas frutas, tais como suco, néctar, sorvete e sobremesa gelificada, produtos esses que são muito apreciados no Brasil e no exterior, tendo portanto boas perspectivas de mercado.

Para a manipulação desses produtos na indústria de processamento, em geral utiliza-se a polpa da fruta, a qual será submetida aos processos de industrialização (bombeamento, agitação, transporte em tubulações, evaporação, ...). Para que cada uma dessas etapas seja economicamente viável, é fundamental o conhecimento das propriedades físicas e químicas da polpa submetida a tais processos.

Dentre essas propriedades, o comportamento reológico ocupa posição de destaque, sendo útil não só como medida de qualidade, mas também em projetos, avaliação e operação dos equipamentos processadores de alimentos tais como as bombas, sistemas de agitação, tubulações, etc... (IBARZ *et alii*, 1996).

No Brasil, devido à escassez de dados sobre propriedades reológicas dos sucos, polpas e outros concentrados das frutas nacionais, a maioria dos equipamentos processadores dessas frutas são projetados de acordo com os dados reológicos das frutas produzidas no exterior. Porém, a matéria-prima brasileira apresenta características diferentes daquelas produzidas em outras partes do mundo; além dos teores de sólidos (solúveis e insolúveis) que poderão afetar a reologia do fluido, há também que se considerar as variedades típicas das frutas brasileiras.

Dai a importância de criteriosa caracterização reológica dos produtos brasileiros, já que os dados de viscosidade usados nos projetos de equipamentos devem ser determinados com a máxima precisão possível, evitando-se um sub ou superdimensionamento.

Há também o interesse científico na caracterização reológica dos produtos tipicamente brasileiros. Outra área que tem grande interesse no conhecimento da reologia da polpa das frutas brasileiras é a da tecnologia de desenvolvimento de novos produtos. Aqui, muitas vezes, o conhecimento da reologia determina '*a priori*' as possibilidades mais favoráveis.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi estudar experimentalmente o comportamento reológico das polpas de manga e abacaxi visando evidenciar o efeito dos sólidos solúveis e insolúveis das respectivas polpas. Paralelamente, analisou-se a influência da geometria dos sistemas de medidas na determinação do comportamento reológico das duas polpas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GENERALIDADES

2.1.1 Manga

A manga (*Mangifera indica L.*) destaca-se como uma fruta de alto valor comercial em muitas regiões do mundo, principalmente as tropicais. Para estas equivale, ou até mesmo supera, o que a maçã representa para as zonas temperadas.

Universalmente considerada uma das mais delicadas frutas do mundo, além de ter o seu valor alimentar reconhecido a manga é, segundo a FAO, a quarta fruta dos trópicos a alcançar o mercado internacional, depois da banana, do abacaxi e do abacate. O Brasil é um dos cinco maiores produtores mundiais de manga, ainda que o país responda por apenas 2,73% da produção total de 15.022.000 toneladas, vindo depois da Índia (63,24%), México (5,26%), Paquistão (4,23%) e China (2,96%) (CUNHA *et alii*, 1994a).

Em Cuba, a manga é uma das principais frutas não cítricas, onde se processam anualmente ao redor de 25000 ton/ano, para a obtenção da polpa (LARRAURI *alii*, 1996).

Porém, pelo fato de ser um fruto sazonal, cuja safra se estende por um período relativamente curto onde a maturação de quase todas as variedades ocorre simultaneamente, há um momento em que grandes quantidades da fruta são ofertadas no mercado, aviltando seu preço. Ademais, a época da safra de manga coincide com a de outras frutas, ocasionando grandes competições no mercado, o que pode acarretar sérios prejuízos à sua comercialização, além de um desestímulo aos produtores em manterem os pomares dentro da técnica agrícola recomendada (BLEINROTH *et alii*, 1977). Hoje o mercado dispõe de muitas variedades de manga ao longo do ano, se bem que as melhores continuam sazonais de período curto.

Diante, porém, da importância econômica que a manga alcançou nos últimos anos nos mercados interno e externo, sua cultura passou a ser vista como uma alternativa frutícola com boas perspectivas para o Brasil (em especial para o Nordeste), onde cultivos empresariais vem sendo implantados, procurando-se empregar tecnologias mais adequadas de produção, com vistas inclusive à exportação e à agroindústria (CUNHA *et alii*, 1994a). Por sua vez, a ocorrência de excedentes da produção e de descartes inadequados à comercialização da fruta ao natural preocupa os produtores, os quais vêem na industrialização uma forma para resolver, pelo menos em parte, o problema (TRAVAGLINI *et alii*, 1994).

Dos produtos derivados do processamento da manga, os que mais se comercializam são: suco, bebidas preparadas, fatias em salmoura, polpa e compota. Além desses, geléias, néctares,

desidratados e xarope têm alguma importância. Com exceção da fruta em calda que exige matéria-prima de primeira qualidade, os descartes podem ser utilizados na fabricação de polpa, néctar e produtos desidratados.

Por outro lado, nem todos os cultivares de manga rendem frutos adequados para serem processados industrialmente, pois na elaboração de polpas necessita-se de frutas que proporcionem um produto de boa consistência, sabor e cor, que são os três atributos que mais influenciam na qualidade dos néctares e sucos (*CEREZAL et alii, 1995*). Para a utilização industrial é indispensável que os frutos tenham peso superior a 200g visando um bom rendimento em polpa, e um pH inferior a 4,3 devido ao melhor sabor. O teor de sólidos solúveis dos frutos também é importante, uma vez que quanto maior a quantidade de sólidos solúveis existentes, menor será a quantidade de açúcar a ser adicionado na indústria quando os frutos são processados, diminuindo o custo de produção e aumentando a qualidade do produto (*SIQUEIRA et alii, 1988*).

Devido à essas restrições, diversas avaliações foram feitas a respeito das variedades de manga cultivadas nos países exportadores da fruta, baseando-se nas suas avaliações físico-químicas e sensoriais como: sabor, cor, aspecto e consistência, estando esse último atributo diretamente relacionado com a textura da polpa.

Como exemplo dessas avaliações, pode-se citar as pesquisas em relação aos cultivares brasileiros localizados no triângulo mineiro, cujos resultados resumem-se na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Dados sobre determinações físicas e químicas de vinte variedades de mangueiras cultivadas no triângulo mineiro.

<i>Variedade</i>	<i>Peso dos frutos (g)</i>	<i>Polpa (%)</i>	<i>pH</i>	<i>Acidez Total (%)</i>	<i>Sólidos Solúveis Totais (°Brix)</i>
Brasil	254,8	73,3	4,40	0,24	14,7
Simmonds	436,0	77,4	4,16	0,23	15,6
Keitt	379,0	77,0	4,24	0,28	17,8
Extrema	431,7	78,1	3,98	0,29	14,8
Kent	378,0	75,6	4,22	0,33	18,2
Primor de Amoreira	421,0	75,9	4,06	0,42	14,8
Carlotão	446,2	79,3	4,04	0,32	15,8
Van Dyke	316,5	77,4	4,16	0,29	17,5
M - 20222	266,6	74,9	3,86	0,35	18,6
Eldon	499,5	77,9	4,20	0,25	14,4
Coração Magoado	256,9	74,2	4,68	0,16	14,7
Zill	359,5	73,6	4,64	0,21	18,6
Edward	579,8	81,3	4,38	0,27	19,2
Ruby	210,1	73,6	3,98	0,36	16,8
Espada de Itaparica	261,0	74,0	3,92	0,44	16,1
Surpresa	381,0	80,4	4,18	0,32	16,1
Tommy Atkins	412,5	76,7	4,24	0,21	13,9
Haden	436,9	80,7	4,14	0,23	16,1
Kensington	418,5	74,2	4,58	0,18	15,6
Florigon	264,9	74,5	3,68	0,37	15,7

Fonte: SIQUEIRA *et alii* (1988)

Da tabela anterior se destacam as variedades Keitt, Kent e M20222 como as mais propícias à industrialização, já que apresentam maiores teores de sólidos solúveis totais e pH favorável.

Nota-se que a Tabela 2.1 é uma citação de um trabalho de 1988. Não foi encontrada qualquer referência mais recente sobre propriedades de mangas cultivadas no Brasil.

O uso mais freqüente das cascas das frutas tem sido para a alimentação animal, ainda que também mencionem-se trabalhos sobre a elaboração de vinhos, vinagres, como matéria-prima para a

extração de pectina e de fibra dietética sendo necessário, neste último caso, inibir a ação da polifenoloxidase e realizar uma lavagem prévia para extrair a polpa remanescente e facilitar a secagem posterior (LARRAURI *et alii*, 1996) .

Quanto à exportação da fruta fresca, as variedades mais adequadas são aquelas com menor teor de fibras e maior suculência, tais como Haden, Keitt e Tommy Atkins. A variedade Haden foi, por muitos anos, a de maior aceitação no mercado e a mais difundida nos plantios comerciais do Brasil. Mas, no passado recente, devido à sua irregularidade de produção em plantações comerciais, a manga Haden foi substituída por outras variedades mais promissoras quanto à produtividade e qualidade das frutas, tais como Keitt e Tommy Atkins, conforme relatam os trabalhos de RADOMILLE *et alii* (1983), BLEINROTH *et alii* (1985), CUNHA *et alii* (1994a). Sobre as tendências mais recentes, não há literatura disponível, porém nota-se no mercado um retorno vigoroso da Haden e de uma nova variedade comercializada sob a denominação Palmer. Estas duas são tipicamente sazonais curtas e tem preço relativamente alto, porém suas qualidades garantem uma posição firme no mercado.

As vitaminas presentes nesse fruto são principalmente a C, pró-vitamina A (β -Caroteno) e pequenas quantidades de vitamina B, sendo que o teor varia de cultivar para cultivar, inclusive para uma mesma variedade, devido às distintas condições climáticas e de solo existentes nas diferentes regiões de cultivo (SIQUEIRA *et alii*, 1988). Além disso, o grau de maturação dos frutos também influencia no aroma e no teor de vitaminas A e C. Quando jovens, os frutos são adstringentes, ácidos e ricos em vitamina C, enquanto

que os maduros são doces, ricos em pró-vitamina A, moderados em vitamina C e altamente aromáticos. Dados mais detalhados da composição de polpa comestível de manga são apresentados na Tabela 2.2 a seguir.

Tabela 2.2 - Composição química da manga madura variedade Keitt.

Umidade (%)	85 - 90
Sólidos Solúveis Totais (° Brix)	19,9
pH	6,2
Vitamina C (mg/100g)	76,5
Açúcares Totais (°Brix)	17,7
Carotenóides Totais (µg / 100 g)	5187
β - Caroteno (µg / 100 g)	2758

Fonte: VASQUEZ - SALINAS & LAKSHMINARAYANA (1985)

Comparando as características da variedade Keitt nas Tabelas 2.1 e 2.2, verifica-se certa discordância entre os dados relacionados com pH e teor de sólidos solúveis. Tal fato evidencia diferenças em variações climáticas, condições de solo e tratamentos culturais empregados.

Um fato interessante da manga foi descrito por CARDELLO & MORAES (1997) que, visando ao seu aproveitamento em períodos de entressafra, analisaram os aspectos físico-químicos e sensoriais da fruta em pedaços, acondicionada em embalagens de nylon/poliestireno ou então enlatados (com posterior tratamento térmico e na forma de fruta em calda), sendo todas armazenadas a

-18°C por um período de 180 dias. Após esse período, os autores verificaram que todos os parâmetros avaliados (cor, sabor e textura) se mantiveram estáveis, sem diferenças significativas entre os produtos inicial e final, indicando a validade do congelamento como técnica de conservação para a manga.

2.1.2 Abacaxi

O abacaxi (*Ananas comosus*), originário do continente americano, provavelmente do Brasil e Paraguai, é conhecido como uma das frutas tropicais mais apreciadas, devido tanto ao seu sabor e aroma agradáveis, quanto ao seu valor nutricional, com elevados teores calórico, de vitaminas e de sais minerais (DONATO & CARRARO, 1995).

Sua casca é formada por escamas cuja tonalidade varia de amarelo a castanho esverdeado e a sua polpa dourada faz da fruta uma das mais deliciosas frutas tropicais.

O abacaxi apresenta uma variação muito grande na sua composição química, de acordo com a época em que é produzido. De um modo geral, a sua produção ocorre no verão, quando as frutas apresentam maior teor de açúcares e menos acidez. Já as frutas produzidas fora desse período têm como características a elevada acidez e baixo teor de açúcares. Além disso, a matéria-prima brasileira se diferencia daquelas produzidas nas outras partes

do mundo, principalmente no que diz respeito ao teor de polpa, sendo a fruta brasileira mais rica em polpa.

São muitas as variedades, das quais duas apresentam maior importância comercial seja no processamento das polpas ou na comercialização 'in natura': a variedade Smooth Cayenne e a variedade Pérola. A Smooth Cayenne é a mais utilizada em produtos enlatados em fatias ou em pedaços. Já a variedade Pérola é utilizada para exportação na forma de suco concentrado desde meados da década de 70 (**KORGO, 1996**).

Ao lado das qualidades organolépticas que o distinguem universalmente, há o seu valor dietético comparável ao das melhores frutas tropicais. O valor energético do suco de abacaxi natural é grande, sendo que um litro fornece da ordem de 600 calorias. O teor de açúcar do suco varia, em geral, em torno de 12 a 15%, dos quais aproximadamente 66% são de sacarose e 34% de açúcares redutores. As cinzas, que representam 0,4 - 0,6 % do peso total, são ricas principalmente em potássio ao qual seguem-se o magnésio e o cálcio, geralmente em partes iguais. As vitaminas presentes são muito numerosas; considera-se que o suco de abacaxi é uma boa fonte de vitaminas A e B₁ e uma fonte aceitável de vitamina C (**MEDINA et alii, 1978; OOGHE & DRESSELAERTS, 1995**).

Segundo dados da FAO, o abacaxi é a segunda fruta dos trópicos a alcançar o mercado internacional, depois da banana (**CUNHA et alii, 1994b**). De acordo com as pesquisas de **DONATO & CARRARO (1995)**, a produção total do abacaxi

brasileiro vem aumentando, assim como a sua exportação, cujo valor praticamente duplicou nos anos de 1990 a 1991. Ainda segundo esses dois pesquisadores, até aquela data, do número total dos frutos destinados à exportação, 97% destinavam-se aos países do Mercosul, enquanto que apenas 3% destinavam-se à União Européia.

Os dados disponíveis mais recentes classificam o Brasil como o quarto produtor mundial de abacaxi, com 759 mil toneladas produzidas em 1991, equivalentes a 7% da produção total, vindo após a Tailândia (18%), Filipinas (12%) e China (8%) (CUNHA *et alii*, 1994b). A Tabela 2.3 apresenta alguns dados da polpa do abacaxi.

Tabela 2.3 - Composição da polpa de abacaxi por 100 gramas de produto fresco.

Umidade (%)	80 - 86,2
Açúcares	10 - 18,0
Acidez Titulável	0,5 - 1,6
Cinzas	0,3 - 0,6
Pigmentos	0,16 - 0,32
Nitrogênio Total	45 - 120
Proteínas	0,18

Fonte: **PY *et alii*** (citado por **QUEIROZ, 1998**).

2.1.3 Distinção entre polpas, sucos, néctares

Apesar de a legislação sobre terminologia variar um pouco de acordo com o país, entende-se que o termo polpa significa o produto obtido pelo esmagamento das partes comestíveis das frutas carnosas, após a remoção de suas partes normalmente não consumidas, tais como as cascas e sementes. É um produto que atende às necessidades de vários segmentos da indústria alimentícia, tais como as indústrias de sucos naturais, sorvetes, laticínios, balas, doces e geléias. Segundo a Associação das Indústrias de Sucos Tropicais (ASTN), a procura pelas polpas de frutas tropicais é grande e tem-se observado um aumento de empresas elaborando este produto (FEITOSA *et alii*, 1996).

Por suco, entende-se o produto resultante após a fruta ser espremida e filtrada para a separação grosseira de fibras. Com a finalidade de processamento comercial, NAGY *et alii* (1993) afirmam que sucos de frutas podem ser considerados como uma solução aquosa de açúcar, ácidos, essências, pigmentos, minerais, vitaminas, gorduras, proteínas e substâncias pécticas. Sob o ponto de vista de IBARZ *et alii* (1996), a maior parte dos fluidos alimentícios derivados das frutas são denominados sucos que, dependendo do processamento industrial, podem ser de diversos tipos para a mesma fruta. Segundo o autor, os sucos podem ser classificados em três grandes grupos: a) sucos concentrados, clarificados e despectinizados; b) sucos concentrados, clarificados e não despectinizados; c) sucos concentrados, com sólidos suspensos.

O termo 'néctar de fruta' é usado na indústria para designar a mistura de suco e polpa de frutas adicionada de açúcar, podendo conter corante artificial, aromatizante e ácido cítrico, para produzir um produto pronto para consumo. Indica também que essas bebidas, embora contendo um ou mais sucos, não podem ser designadas como sucos de frutas, porque possuem água e açúcar adicionados.

Quanto à importância nutricional que esses produtos derivados de frutas apresentam, as que merecem destaque são, no caso dos sucos e polpas, o fornecimento de vitaminas e sais minerais e, em relação ao néctar, esses se destacam pelo grande valor calórico.

Segundo STACK (1995), o mercado de bebidas derivadas das frutas, tais como suco e néctar estão, a nível mundial, em uma fase de expansão dinâmica e com expectativas de crescimento contínuo ao longo do século 21. As estatísticas mostram que tais produtos são considerados dos que crescem mais rapidamente no setor inteiro do mercado de bebidas.

2.1.4 Reologia

Reologia, de modo amplo, é a ciência que descreve a deformação de um corpo, sob a influência de forças externas. Os corpos, nesse contexto, podem ser sólidos, líquidos ou gases (SCHRAMM, 1981).

Fluidos reais deformam-se irreversivelmente, ou seja, quando tensões são aplicadas sobre esses materiais, eles escoam. A energia de deformação é dissipada dentro dos fluidos em forma de calor e não pode ser recuperada se a tensão aplicada for cessada. Aqui é importante ressaltar que, devido ao escoamento, esses materiais são estudados na reologia pela relação entre sua taxa de deformação e tensão de cisalhamento.

O comportamento reológico de sucos é influenciado pela sua composição, e conseqüentemente, dependerá do tipo de fruta e do processamento de elaboração. Os sucos clarificados e despectinizados geralmente apresentam comportamento newtoniano. As polpas e néctares apresentam, geralmente, comportamento não newtoniano.

HOLDSWORTH (1971) afirma que a maioria dos alimentos fluidos apresenta comportamento pseudoplástico, onde a viscosidade aparente decresce com o aumento da taxa de deformação. Segundo o autor, essa pseudoplasticidade se deve ao fato de que, aumentando progressivamente o valor da taxa de deformação as moléculas de cadeia longa presentes tendem a se desembaraçar, o que ajuda a vencer a resistência intermolecular ao escoamento.

Segundo **IBARZ et alii (1996)**, a importância do conhecimento do comportamento reológico dos derivados de frutas está na sua utilização como medida de qualidade, além de ser indispensável em projetos, avaliação e operação dos equipamentos processadores de alimentos. No projeto de equipamentos destinados

ao processamento de derivados de frutas, como sucos e purês, o conhecimento das propriedades ligadas aos seus padrões de escoamento determina a concepção e o dimensionamento dos equipamentos como bombas, tubulações, filtros, etc... (QUEIROZ *et alii*, 1996).

Ademais, segundo TRINDADE *et alii* (1996), esses dados reológicos são de fundamental importância na economia de energia, o que atualmente se tornou extremamente importante a ponto de cada vez mais as operações de troca de calor e massa serem encaradas de forma mais minuciosa.

Muitos textos abordando reologia tem surgido nas últimas décadas, porém, um dos que mais se destaca pela abordagem do tema, foi apresentado por VAN WAZER *et alii* (1963), com o título de "Viscosity and flow measurement: a laboratory handbook of rheology". Nesse livro, os autores analisam o princípio de operação de diversos tipos de reômetros. Por isso é uma referência de grande importância prática.

2.1.5 Fatores que influenciam na reologia dos produtos derivados de frutas

As referências mais recentes relatam como principais fatores responsáveis pelo comportamento reológico dos produtos derivados das frutas, o tipo de fruta , a temperatura e o teor de sólidos tais como açúcares, pectinas e fibras. Como todos os produtos líquidos

derivados de frutas são sistemas bifásicos compostos por partículas sólidas dispersas em um meio aquoso, o comportamento reológico destes também será influenciado pela concentração, composição química, tamanho, forma e distribuição das partículas que compõem a fase dispersa (**COSTELL & DURÁN, 1982**).

Além disso, a geometria dos sistemas de medidas também influencia bastante na definição dos parâmetros reológicos que descrevem as polpas das frutas, uma vez que esses materiais são não newtonianos. Por isso é de importância fundamental a indicação do sistema de medidas utilizado para determinada análise reológica.

2.1.5.1 Reologia da polpa com relação ao tipo de fruta

O estudo da viscosidade dos sucos e purês de frutas tem recebido crescente atenção nos últimos anos e, segundo a maioria das investigações, os resultados apontam a natureza não newtoniana para a maioria destes mostrando, ocasionalmente, uma resistência inicial ao fluxo e/ou uma dependência com o tempo.

RAO & PALOMINO (1974) estudaram as propriedades reológicas dos purês de banana, manga, goiaba e mamão, por meio de um viscosímetro capilar, e evidenciaram um comportamento não newtoniano pseudoplástico para todos estes, sendo a pseudoplasticidade crescente na ordem: mamão, goiaba, manga e banana. **COSTELL & DURÁN (1982)** afirmam que quanto maior o tamanho médio das partículas suspensas, menor será o valor do índice de comportamento e, portanto o fluxo do purê será mais

pseudoplástico; talvez essa seja a justificativa da ordem de pseudoplasticidade dos produtos analisados por RAO & PALOMINO (1974).

IBARZ *et alii* (1987) analisaram o comportamento reológico dos sucos de maçã e pêra, ambos com um teor de sólidos solúveis ao redor de 70° Brix, e a temperaturas no intervalo de 5 - 60°C, resultando em um comportamento newtoniano para todos os casos.

JIMÉNEZ *et alii* (1989), analisando a reologia das polpas de tomate fresca e esterilizadas de diferentes maneiras, chegaram à conclusão de que todas apresentaram comportamento pseudoplástico e tixotrópico, e uma tensão inicial de cisalhamento necessária para que o produto comece a escoar.

Nos estudos de LOZANO & IBARZ (1994), a reologia das polpas de pêsego e ameixa foi avaliada em um reômetro do tipo cone-placa, onde mostrou-se que ambas as frutas apresentam comportamento tixotrópico. Por outro lado, os autores afirmam que, embora as duas frutas tenham sido avaliadas com praticamente os mesmos teores de sólidos solúveis, pectina e fibras, existem diferenças entre os parâmetros tixotrópicos de ambas, e que tal diferença deve-se às diferentes estruturas microscópicas das duas frutas.

RAO (citado por GRANDALL *et alii*, 1988) afirma que o comportamento pseudoplástico dos sucos cítricos concentrados é resultado de uma interação complexa entre as partes que compõe a sua polpa, sólidos solúveis, ácidos orgânicos e pectinas solúveis.

Verifica-se portanto que a estrutura microscópica própria de cada fruta é, em grande parte, responsável pelo comportamento reológico das diferentes polpas de frutas.

2.1.5.2 Influência da temperatura

A temperatura é um dos fatores que mais afetam a viscosidade das polpas de frutas, já que a maioria destas apresentam-se na forma de sólidos dispersos em meios líquidos. Um aumento de temperatura neste caso faz com que a viscosidade da fase líquida diminua, aumentando o movimento das partículas em suspensão, diminuindo, conseqüentemente, a viscosidade da polpa.

VARSHNEY & KUMBHAR (1978) investigaram as propriedades reológicas dos sucos de abacaxi e laranja, a 30 e 45°C, nas concentrações de (7; 22 ;36) e (13; 22; 33) °Brix para o abacaxi e a laranja, respectivamente. Exceto nos casos do abacaxi a 7°Brix e da laranja a 13°Brix e 45°C, onde praticamente comportaram-se como fluidos newtonianos, ambos os sucos apresentaram comportamento pseudoplástico. O coeficiente de consistência dos sucos aumentou e diminuiu, respectivamente, com o aumento na concentração e temperatura dos mesmos, enquanto que o coeficiente de comportamento decresceu com o aumento na concentração, em ambos os casos.

IBARZ *et alii* (1987) analisaram o comportamento reológico dos sucos de maçã e pêra, com teor de sólidos solúveis ao redor de 70°Brix e à diferentes temperaturas, no intervalo de 5 a 60°C, observando um comportamento newtoniano para todos os casos,

além de um considerável decréscimo na viscosidade a temperaturas mais elevadas. Efeito similar foi observado pelo mesmo autor em 1992, quando foi analisado o comportamento reológico do suco clarificado de pêsego, na mesma faixa de temperatura.

Posteriormente, IBARZ (1994) constatou comportamento newtoniano no suco de laranja clarificado e despectinizado, quando este foi reologicamente testado em um viscosímetro de cilindros concêntricos, a temperaturas e concentrações nas faixas de 5 - 70°C e 30,7 - 63,5°Brix, respectivamente. Os maiores valores de viscosidade foram obtidos para os sucos mais concentrados (quando a temperatura permaneceu fixa) e a temperaturas menores (para os sucos de mesma concentração). Os autores também puderam observar que o efeito da concentração na viscosidade é mais pronunciado a temperaturas mais baixas.

GINER *et alii* (1996), ao analisar a influência da temperatura e concentração na reologia do suco clarificado de cereja também notaram que um aumento na temperatura resultou no decréscimo da sua viscosidade; efeitos opostos na viscosidade do mesmo suco foram observados conforme o teor de sólidos solúveis aumentou.

Concluindo, o aumento na temperatura dos sucos e purês de frutas faz com que a viscosidade destes diminua. Por outro lado, quanto mais concentrados os sucos de frutas, maior será a viscosidade dos mesmos.

2.1.5.3 Influência das partículas

Segundo vários autores (**HAND *et alii*, 1955; SARAVACOS, 1968; COSTELL *et alii*, 1982; TANGLERTPAIBUL & RAO, 1987; GRANDALL *et alii*, 1988; ROY *et alii*, 1997**), os parâmetros reológicos, tais como a tensão inicial de cisalhamento (τ_0), o índice de consistência (K) e o índice de comportamento (n) são afetados pelas propriedades físicas das partículas em suspensão que os derivados de frutas apresentam.

HAND *et alii* (1955) comprovaram grande influência do 'finisher' utilizado no controle da viscosidade do suco de tomate, verificando que larga faixa de viscosidade pode ser alcançada com o ajuste no 'finisher'. Através de análises microscópicas, os autores também concluíram que parte da viscosidade é devido ao número e forma das partículas suspensas, sendo as partículas mais alongadas mais influentes do que as esféricas. Dessa maneira, uma homogeneização parcial em um suco de partículas predominantemente esféricas causaria a fragmentação destas e, conseqüentemente, aumentaria a viscosidade do suco integral.

COSTELL *et alii* (1982) analisaram a reologia do purê de damasco e verificaram que o tamanho das partículas influencia bastante no seu índice de comportamento (n), sendo a pseudoplasticidade maior para sistemas de partículas suspensas de maior tamanho. Isso porque a pseudoplasticidade dos sistemas dispersos é reflexo de uma ruptura estrutural provocada pelo cisalhamento. Logicamente, quanto menor for o tamanho médio das partículas suspensas mais facilmente se produz essa ruptura e menor

será a pseudoplasticidade do produto. Ainda segundo esses autores, o índice de consistência (K) de uma suspensão é função da porcentagem de polpa e do tamanho médio das partículas suspensas, sendo que a eliminação da polpa por centrifugação resulta em um fluido newtoniano ou plástico de Bingham. A tensão inicial de escoamento (τ_0) por sua vez, depende da porcentagem de polpa, do tamanho médio das partículas, da porcentagem de células rompidas, da acidez e do conteúdo de substâncias pécnicas.

Segundo **ROBINSON & RHA** (citados por **COSTELL *et alii*, 1982**), nas dispersões de hidrocolóides o valor de τ_0 parece estar relacionado com a quantidade das ligações de Hidrogênio entre as moléculas, mas quando se trata de dispersões com grande quantidade de partículas suspensas, não se pode esquecer a possível incidência das interações entre elas. Dessa maneira, os teores de polpa e de células rompidas, juntamente com o tamanho médio das partículas influenciam no grau de interação interparticular, enquanto que a acidez e o teor de pectina incidem na formação das ligações intermoleculares.

TANGLERTPAIBUL & RAO (1987) obtiveram dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação em concentrados preparados a partir do suco de tomate, o qual foi produzido utilizando-se 'finishers' com diferentes aberturas. Similarmente a **HAND *et alii* (1955)**, os autores concluíram que o diâmetro na abertura do 'finisher' afeta o tamanho das partículas e, conseqüentemente, a viscosidade do suco. Porém, observou-se que não necessariamente o 'finisher' de maior diâmetro foi o que resultou no concentrado mais consistente. Isso pode ser explicado

pelo fato de que as peneiras de menor diâmetro reduzem o tamanho das partículas do suco; entretanto, essas partículas menores podem aumentar a viscosidade do suco, devido à maior área superficial por elas ocupada. Neste trabalho, o suco de tomate foi processado utilizando-se 'finishers' de aberturas de 0,51, 0,68, 0,83 e 1,14 mm; no geral a viscosidade aparente dos concentrados, à uma taxa de deformação de 100 s^{-1} foi maior quando foram utilizados os 'finishers' de maior abertura. Entretanto, os concentrados feitos a partir do suco processado com o 'finisher' de 0,68 mm de abertura apresentaram os maiores valores na viscosidade aparente. Os autores afirmam que isso ocorreu porque o uso de um 'finisher' de menor abertura pode afetar a viscosidade dos concentrados de duas maneiras opostas: de um lado, aumenta a viscosidade do produto devido à maior área superficial das partículas menores mas, por outro lado, diminui tal viscosidade devido à exclusão das partículas maiores. No caso do suco de tomate, o 'finisher' de abertura de 0,51 mm resultou em um concentrado com pouca distribuição das partículas de pequeno tamanho, além da pouca quantidade das partículas maiores, resultando na baixa viscosidade desses produtos, enquanto que o 'finisher' de abertura de 0,68 mm resultou nos produtos com pequenas partículas, assim como permitiu a presença das partículas maiores em tais concentrados.

GRANDALL *et alii* (1988), analisando a influência da homogeneização na reologia do suco de laranja concentrado, detectaram um decréscimo de 13% na viscosidade dos sucos homogeneizados; tal decréscimo na viscosidade também reduziu o consumo de energia em 3-4%, porém a homogeneização não afetou a cor, acidez e os teores de polpa e vitamina C do suco.

2.1.5.4 Influência das pectinas

Pectinas são derivados das 'substâncias pécticas', que são os maiores componentes estruturais das paredes celulares das plantas, funcionando como substâncias de ligação e revestimento dos espaços intercelulares. Assim como todos os polissacarídeos, as pectinas apresentam a propriedade de reter moléculas de água, formando sistemas coloidais e controlando a atividade de água de um sistema; ou seja, tem a função de agentes espessantes ou gelificantes, estabilizantes de emulsões (**BOBBIO & BOBBIO, 1989**).

Segundo **HOLDSWORTH (1971)**, o teor de pectina é o principal responsável pelas características não newtonianas nos sucos e purês de frutas. No suco de tomate, por exemplo, onde as pectinas apresentam-se na forma de pectinas solúveis (que constitui parte do soro) e na forma de sólidos suspensos, a viscosidade do soro é afetada pela presença de pectina, assim como as substâncias pécticas na forma de partículas suspensas afetam a viscosidade do suco. No caso dos sucos cítricos, o comportamento não newtoniano foi observado tanto para o suco integral (60 - 65° Brix) quanto para o centrifugado (soro); no entanto, o soro despectinizado apresentou comportamento newtoniano. De maneira similar, o suco de maçã despectinizado apresentou comportamento newtoniano enquanto que o suco de maçã turvo comportou-se como fluido não newtoniano em concentrações acima de 50° Brix.

A Tabela 2.4 a seguir mostra o teor de pectina de algumas frutas tropicais, determinados ao pH normal de cada uma destas.

Nesta tabela, o teor de pectina está expresso em porcentagem de ácido péctico, e a atividade da pectinesterase em unidades de pectinas metoxiladas por ml de polpa diluída na proporção 1:1.

Tabela 2.4 - pH, conteúdo de pectina e atividade da pectinesterase nas polpas diluídas em 1:1.

Nome da Fruta	pH	% Pectina (% ácido péctico)	Atividade da pectinesterase
Banana Prata	5,19 (5,35 - 5,00)	0,62 (0,72 - 0,50)	1,92 (2,26 - 1,09)
Graviola	4,06 (4,20 - 4,15)	0,36 (0,38 - 0,36)	1,75 (1,98 - 0,68)
Goiaba	4,18 (4,20 - 4,15)	0,71 (0,75 - 0,69)	0,16 (0,18 - 0,5)
Mamão	5,03 (5,10 - 4,90)	0,66 (0,82 - 0,50)	1,14 (1,41 - 0,73)
Manga	4,40 (4,50 - 4,30)	0,38 (0,41 - 0,35)	0,39 (0,40 - 0,37)
Romã	5,41 (5,65 - 5,30)	0,40 (0,44 - 0,37)	0,48 (0,56 - 0,36)
Maracujá	3,20 (3,30 - 3,15)	0,05 (0,06 - 0,04)	0,05 (0,08 - 0,02)
Abacaxi	3,88 (3,95 - 3,75)	0,04 (0,06 - 0,01)	0,01 (0,02 - 0,01)
Banana Comum	4,78 (4,90 - 4,75)	0,60 (0,62 - 0,59)	2,44 (2,56 - 1,09)

Fonte: MEDINA (1968)

Segundo os resultados de MIZRAHI & BERK (citados por RAO, 1977), os sucos de laranja a 60 - 65° Brix apresentam comportamento pseudoplástico, assim como o soro resultante após o suco ser centrifugado. Por outro lado, quando foi feita a despectinização do soro, este apresentou comportamento newtoniano.

MANOHAR *et alii* (1990) estudaram as propriedades de escoamento da polpa de manga concentrada, com teor de pectina

variando na faixa de 0,0323 – 0,0349 (em fração de peso seco), taxa de deformação na faixa de 9 - 250 s⁻¹ e concentrações de sólidos solúveis entre 16 e 30° Brix. O produto comportou-se com características pseudoplásticas para todos os teores de pectina, e o índice de comportamento não variou muito com o conteúdo de pectina. A viscosidade, por sua vez, decresceu em aproximadamente 50% quando o teor de pectina foi reduzido em apenas 5,7%.

IBARZ *et alii* (1996) constatou comportamento newtoniano no suco comercial de maracujá, a várias temperaturas. Segundo os autores, o teor de pectina insignificante no suco foi o responsável por tal comportamento.

OLLÉ *et alii* (1996) isolaram e caracterizaram os polissacarídeos solúveis e os materiais insolúveis das paredes das células de quatro cultivares de manga, e concluíram que as substâncias pécticas estão presentes nas duas frações isoladas, sendo o seu conteúdo mais significativo na primeira.

Das observações acima, conclui-se que as pectinas são os principais componentes responsáveis pelo caráter não newtoniano da maioria dos derivados de frutas.

2.1.5.5 Influência dos sistemas de medidas

Provavelmente, a dificuldade freqüentemente encontrada na reprodução de muitos dados experimentais encontrados na literatura pode ser explicada através do uso dos diferentes sistemas de medidas.

GEHRKE (1996) mediu a viscosidade dos sucos concentrados de caju, laranja, limão e maracujá, com o objetivo de comparar os resultados obtidos nos sistemas de medidas de placas paralelas e cilindros concêntricos, e observou diferenças no valor da viscosidade aparente para os dois reogramas, para uma mesma temperatura e concentração.

SMITH & PARK (1984) afirmam que quando um fluido não newtoniano é reologicamente testado através de viscosímetros de cilindros concêntricos, existe um erro de medida, relacionado com a magnitude do espaço vazio existente entre os cilindros externo e interno. Segundo o autor, o valor desse erro se aproxima de zero, conforme a razão entre os raios dos dois cilindros se aproxima de 1.

Das observações acima, pode-se concluir a importância em indicar o sistema de medidas utilizado em qualquer teste reológico, possibilitando assim futuras comparações e reproduções dos dados.

2.2 ESTUDOS REOLÓGICOS

2.2.1 Lei da Viscosidade de Newton

Isaac Newton introduziu o conceito de viscosidade em 1687, considerando a situação ilustrada abaixo, onde um fluido está localizado entre duas placas paralelas separadas entre si por uma distância dy .

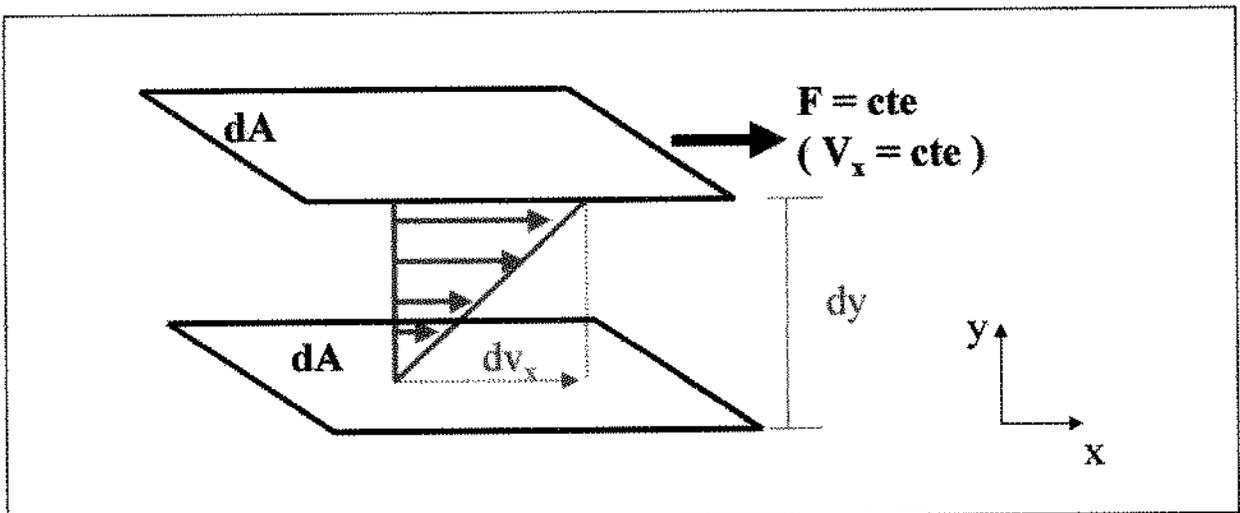


Figura 2.1 – Escoamento de um fluido entre duas placas paralelas.

Quando uma força F é aplicada sobre a placa superior, o fluido se moverá com velocidade maior na região mais próxima à placa que se movimenta. A lei de Newton afirma que a força por unidade de área necessária para manter o movimento do fluido (mais conhecida por tensão de cisalhamento) é proporcional ao gradiente de velocidade na direção perpendicular ao fluxo. A

viscosidade é sinônimo de atrito interno e é a medida da resistência ao escoamento (BARNES *et alii*, 1989).

A equação matemática que descreve o comportamento desses fluidos é dada por:

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

Onde:

$$\tau = \text{tensão de cisalhamento} = \frac{\text{Força}}{\text{Área}} = \text{N/ m}^2 \equiv \text{Pa}$$

$$\dot{\gamma} = \text{taxa de deformação} = \frac{dv_x}{dy} = \frac{\text{m/s}}{\text{m}} \equiv \text{s}^{-1}$$

μ = viscosidade Absoluta (Pa.s)

A dimensão física da viscosidade é dada por [ML⁻¹T⁻¹] e a unidade no SI (Sistema Internacional) é o Pascal Segundo, abreviada como Pa.s. Outra unidade tradicionalmente usada é o Poise (P) do sistema cgs. Como exemplo a viscosidade da água a 20,2°C é 1 mPa.s ou 1 cP. Portanto 1 cP corresponde a 1* 10⁻³ Pa.s. Dessa forma, a viscosidade da água é representada pela quantidade unitária e daí o apelo e a popularidade do fracionário cP.

A seguir, será apresentado o comportamento reológico independente e dependente do tempo, descrito pelos modelos mais simples e usuais.

2.2.2 Fluidos Newtonianos

Os fluidos que obedecem ao postulado de Newton descrito pela equação (2.1) são chamados de fluidos newtonianos (*BIRD et alii, 1960*). Para estes fluidos, o escoamento acontece logo que a tensão é aplicada e a viscosidade é independente da taxa de deformação e da tensão de cisalhamento, dependendo somente da composição e da temperatura. Portanto esses fluidos não resistem sequer à uma força infinitesimal, por isso escoam e se moldam ao recipiente que os contém.

A viscosidade, para fluidos que apresentam esse tipo de comportamento, é obtida da relação linear entre a tensão de cisalhamento aplicada (no eixo das ordenadas) e a taxa de deformação resultante (no eixo das abcissas).

Exemplos de alimentos que apresentam comportamento newtoniano são sucos clarificados de maçã e uva, leite natural, óleos refinados, refrigerantes, cervejas e vinhos, e mesmo materiais muito viscosos como o mel e a glicose de milho, também são newtonianos.

É importante salientar que esse comportamento pode mudar para taxas de deformação muito altas, maiores que 10^6 s^{-1} , quando então outras forças se tornam importantes.

2.2.3 Fluidos Não Newtonianos

Soluções, de macromoléculas, e suspensões geralmente não obedecem à Lei de Newton descrita anteriormente (HARPER, 1960).

Todos os fluidos que não apresentam comportamento newtoniano são designados genericamente de não newtonianos. Para caracterizar os fluidos não newtonianos pode ser usada a viscosidade aparente (η_a) a uma taxa de deformação específica:

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

onde τ é a tensão de cisalhamento e $\dot{\gamma}_i$ é a taxa de deformação na qual se calculou η_a (BARNES *et alii*, 1989).

A uma temperatura constante, a viscosidade aparente para fluidos independentes do tempo depende somente da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento. O comportamento desses tipos de fluidos pode ser dividido nas categorias: pseudoplásticos e dilatantes, dependendo se a viscosidade aparente decresce ou aumenta com a taxa de deformação.

Os reogramas relativos aos fluidos independentes do tempo podem ser visualizados na Figura 2.2.

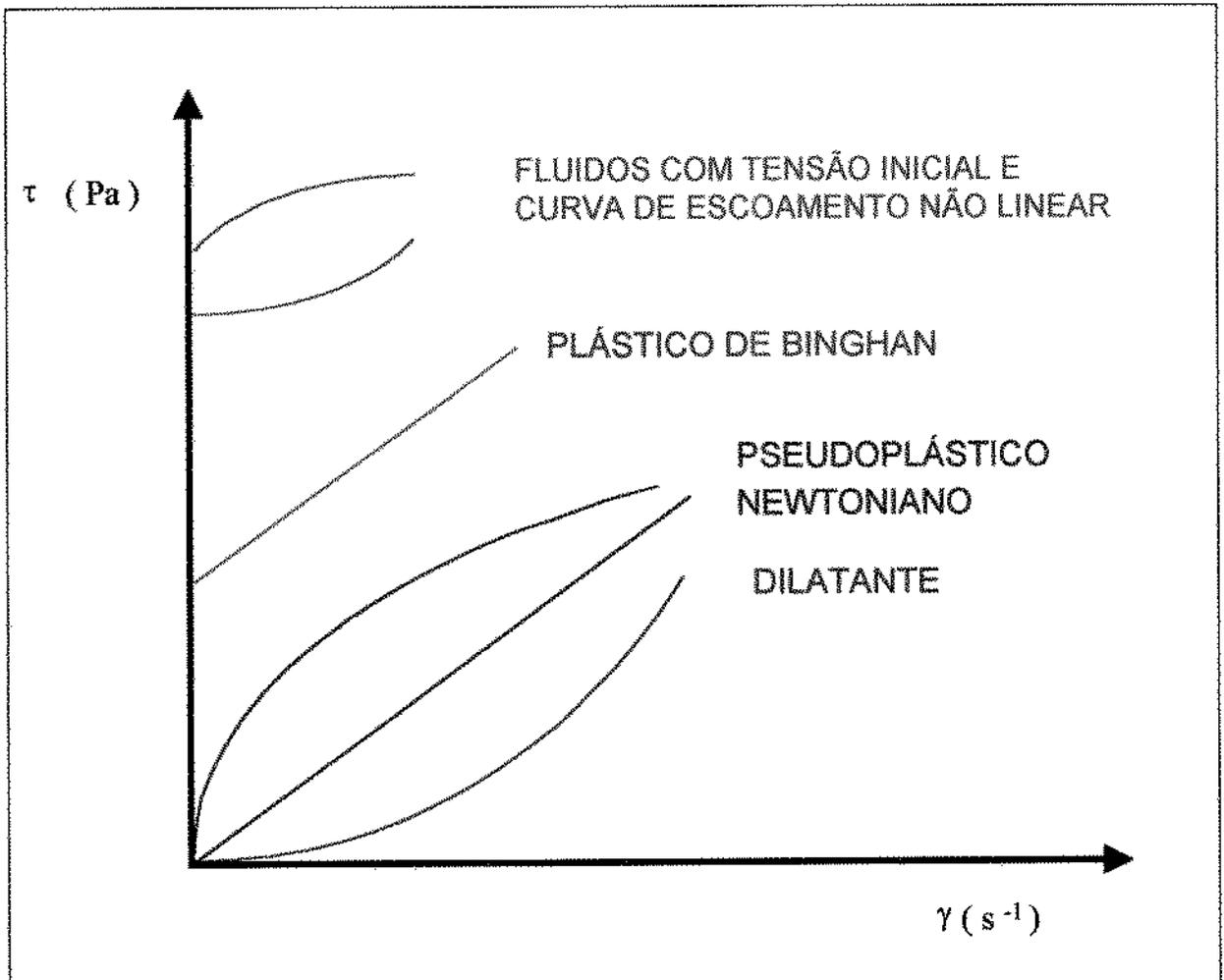


Figura 2.2 - Curvas de escoamento para vários fluidos independentes do tempo.

Os materiais também podem apresentar ou não uma tensão inicial a ser vencida antes deles escoarem como fluidos. O comportamento físico de fluidos com tensão inicial é usualmente explicado em termos da sua estrutura interna, a qual é capaz de impedir o movimento para valores de tensão de cisalhamento

menores do que um valor limite τ_0 . Para τ maior que τ_0 a estrutura interna colapsa, permitindo que haja escoamento. A estrutura interna pode recuperar-se quando τ passa a ser menor do que τ_0 (SKELLAND, 1967) .

Para os fluidos dependentes do tempo, a viscosidade aparente depende também da duração da taxa de deformação. Esses fluidos são subdivididos em tixotrópicos e reopéticos. No caso do primeiro, a uma taxa de deformação fixa, a viscosidade decresce com o tempo, enquanto que para o último a viscosidade aumenta, conforme descrito por SKELLAND (1967). Os reogramas dos fluidos dependentes do tempo podem ser visualizados na Figura 2.3.

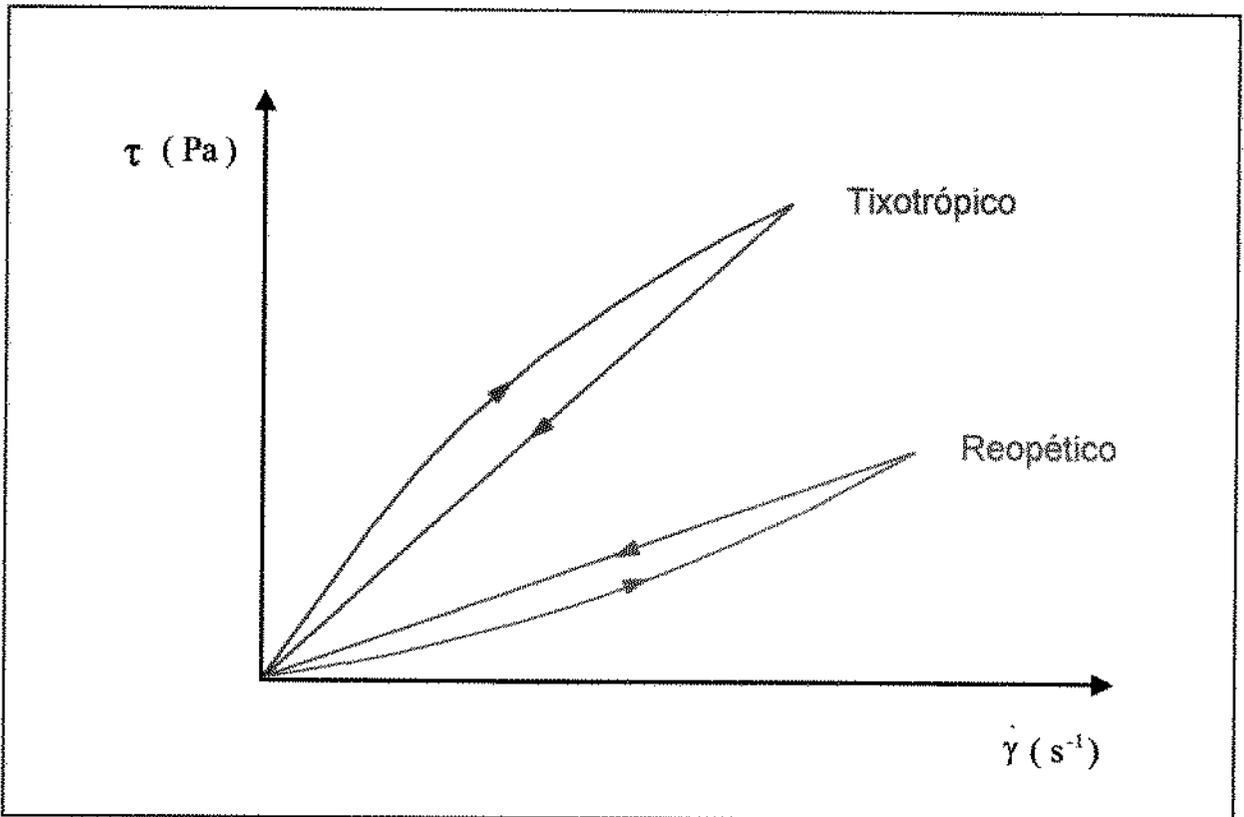


Figura 2.3 - Curvas de escoamento para fluidos dependentes do tempo.

A deformação de um corpo pode ser dividida em dois tipos gerais:

- (1) deformação reversível após a remoção da tensão de cisalhamento, caracterizando a elasticidade;
- (2) deformação irreversível, caracterizando o escoamento.

O trabalho usado na deformação de um corpo perfeitamente elástico é recuperado quando o corpo retorna para a sua forma original (VAN WAZER *et alii*, 1963). Nos fluidos viscoelásticos tal recuperação é apenas parcial quando o trabalho for removido do

material, devido ao fato desses fluidos apresentarem propriedades viscosas, além das elásticas.

Um fluido viscoelástico pode ser dependente ou independente do tempo. Se as suas propriedades viscosas sobressaírem perante às elásticas, este será um fluido viscoelástico independente do tempo, como é o caso das soluções poliméricas diluídas, onde a viscoelasticidade induz fatores de atrito menores. Caso contrário, os seus parâmetros reológicos poderão depender da duração do cisalhamento e conseqüentemente apresentar dependência do tempo, como é o caso de sistemas complexos como a clara de ovo natural.

A Figura 2.4 apresenta um esquema simplificado de classificação do comportamento reológico dos fluidos não elásticos:

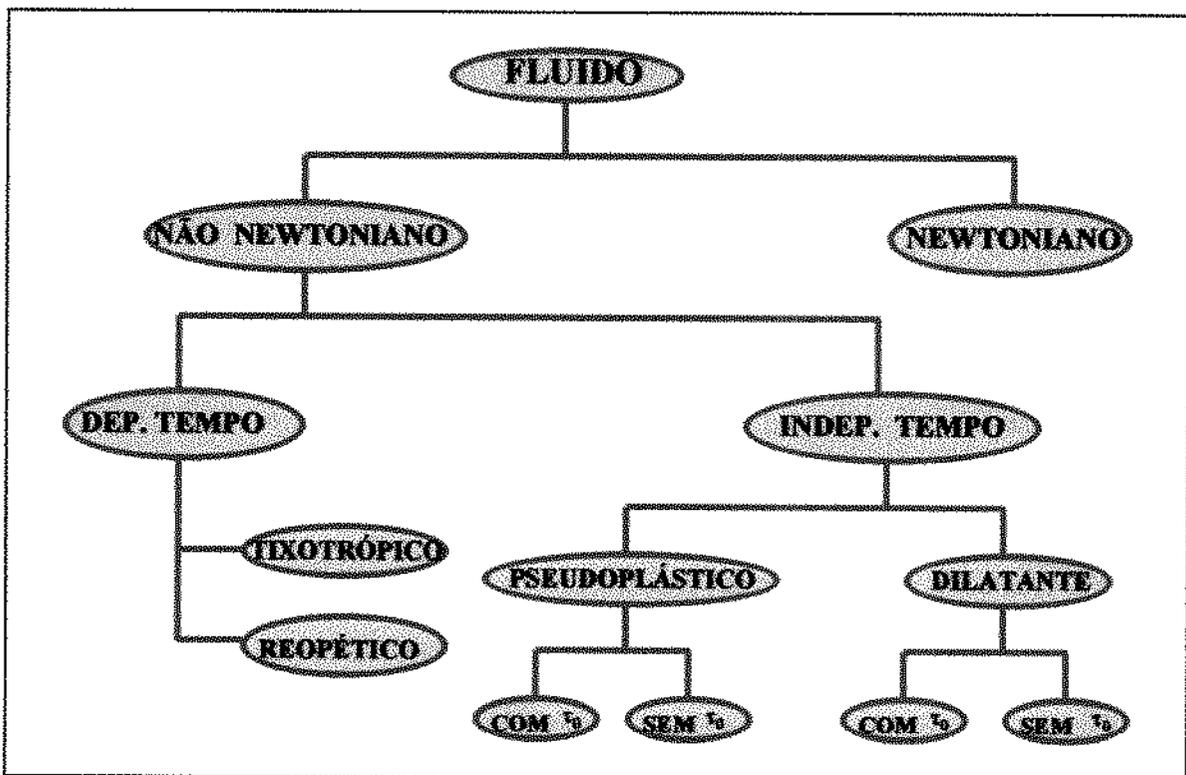


Figura 2.4 - Classificação geral dos fluidos.

2.2.4 Modelos Reológicos

A descrição do comportamento reológico é feita através de modelos empíricos, que são usados para relacionar tensão de cisalhamento com taxa de deformação, facilitando os cálculos de engenharia. Deve-se preferir sempre os modelos mais simples, uma vez que são empíricos e somente poderão ser aplicados às faixas de taxa de deformação de acordo com o experimento que gerou o ajuste do modelo.

A maioria dos alimentos fluidos não segue o simples modelo reológico newtoniano no qual uma relação linear entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento é observada (equação (2.1)). Geralmente tais fluidos apresentam natureza não newtoniana, e as suas propriedades reológicas dependem da tensão aplicada sobre estes, a uma temperatura constante, podendo depender também da duração do cisalhamento (**HOLDSWORTH, 1971**).

Em outras palavras, a maioria dos fluidos do gênero alimentício não são possíveis de serem caracterizados apenas pela viscosidade, já que esta não é constante, sendo necessário pelo menos dois parâmetros, portanto modelos mais complexos do que o de Newton.

Os modelos reológicos podem ser isotérmicos ou não e, dependendo do material, podem possuir tensão inicial (**BRANCO, 1995**). Dos modelos reológicos existentes, os mais comumente

utilizados são: Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), Herschel-Bulkley (H-B), Mizrahi-Berk (M-B) e Casson.

a) Modelo de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência)

Para vários fluidos alimentícios, quando os valores de τ e $\dot{\gamma}$ são plotados em escala logarítmica, observa-se uma relação linear entre esses dados ao longo de uma ampla faixa de $\dot{\gamma}$, o que justifica o uso freqüente de uma simples relação empírica, conhecida por Lei da Potência (**HOLDSWORTH, 1971**). Tal relação apresenta dois parâmetros, podendo ser representada pelas seguintes equações:

$$\log \tau = n. \log (\dot{\gamma}) + \log (K) \quad (2.3)$$

ou

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

onde:

K = índice de consistência;

n = índice de comportamento.

Para este modelo, a viscosidade aparente pode ser calculada pela seguinte equação:

$$\eta_a = \tau / \dot{\gamma} = K \cdot (\dot{\gamma})^{n-1} \quad (2.5)$$

No gráfico em escala log-log, o parâmetro K corresponde à interseção da curva reológica com o eixo das ordenadas, mas esse valor depende da temperatura e do teor de sólidos totais do fluido.

O índice de comportamento (n) corresponde à inclinação da curva no gráfico log-log. A partir da equação (2.3), observa-se que para valores de n menores do que 1, a viscosidade aparente do fluido (η_a) diminui com o aumento da taxa de deformação, o que define o modelo pseudoplástico para esses fluidos. Efeito oposto é observado para valores de n maiores que 1, definindo-se o comportamento dilatante. Quando o valor de n for igual a 1, a equação (2.4) torna-se equivalente à equação (2.1), onde o parâmetro K equivale à viscosidade dinâmica (μ); neste caso o fluido escoar com propriedades de um fluido newtoniano.

Vários pesquisadores utilizaram-se do modelo de Ostwald-de-Waele na caracterização do comportamento reológico das polpas, sucos e purês de frutas (SARAVACOS, 1968; VARSHNEY & KUMBHAR, 1978; GUARIGUATA, 1981; LOMBRAÑA & DÍAS, 1985; RAO *et alii*, 1985; XU *et alii*, 1986; RAO *et alii*, 1986; GUNJAL & WAGHMARE, 1987).

Entretanto, nem sempre os dados experimentais são ajustados ao modelo de Ostwald-de-Waele com grande precisão, pois em alguns alimentos a tensão inicial de escoamento também é uma propriedade importante, cuja determinação requer considerável cuidado. Também já foi observado que o modelo de Ostwald-de-Waele é mais adequado para situações em que o reograma não atinge altas taxas de deformação, uma vez que as regiões da curva de comportamento próximas à $\dot{\gamma} = 0$ e para $\dot{\gamma} \gg 1$, dificilmente são bem descritas por um modelo com apenas duas constantes, no caso K e n.

Segundo **HOLDSWORTH (1971)**, uma das falhas do modelo é que este prediz viscosidade com valores infinitos e próximos a zero para taxas de deformação tendendo a zero e infinito, respectivamente. Na tentativa de superar tais problemas, diversos modelos reológicos foram propostos, dos quais os mais importantes serão citados a seguir.

b) Modelos Reológicos com Tensão Inicial de Escoamento

Certos alimentos, tais como 'ketchup', mostarda e alguns purês de frutas só escoam quando superada a tensão inicial de escoamento (τ_0), própria de cada um desses fluidos.

Para muitos alimentos é difícil determinar experimentalmente o valor de τ_0 , devido à pequena magnitude desta. Também, a maioria dos reômetros não registra com precisão para as taxa de deformação menores do que 1. Por isso tal valor é freqüentemente

determinado por extrapolação dos dados de τ e $\dot{\gamma}$, de acordo com vários modelos de escoamento, tais como os propostos por Herschel e Bulkley (1926), Casson (1959) e Mizrahi e Berk (1972) (TANGLERTPAIBUL & RAO, 1987; QIU & RAO, 1988). Dessa maneira, o valor de τ_0 é geralmente um parâmetro de ajuste e não da característica real dos materiais.

b.1) Modelo de Casson

Com a intenção de desenvolver um modelo reológico para uma suspensão de partículas interagindo em um meio newtoniano, Casson propôs a seguinte expressão matemática:

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

Onde:

τ = tensão de cisalhamento;

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação;

K_{OC} = tensão inicial de Casson;

K_C = viscosidade plástica de Casson.

Entretanto, em 1971, Mizrahi e Berk mostraram que este modelo não se adapta a baixos valores de taxa de deformação quando aplicado a sucos de laranja e tomate concentrados (RAO & COOLEY, 1982).

b.2) Modelo de Herschel-Bulkey

Esse modelo é uma modificação do modelo da Lei da Potência, sendo que a presença da tensão de cisalhamento inicial no modelo de Herschel-Bulkley é o único aspecto que diferencia esses dois modelos matemáticos.

O modelo de Herschel-Bulkley pode ser representado pela seguinte equação:

$$\tau - \tau_{0H} = K_H \cdot \dot{\gamma}^{n_H} \quad (2.7)$$

Onde:

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação;

τ = tensão de cisalhamento ;

τ_{0H} = tensão de cisalhamento inicial de Herschel-Bulkley;

K_H = índice de consistência de Herschel-Bulkley;

n_H = índice de comportamento de Herschel-Bulkley.

b.3) Modelo de Mizrahi-Berk

Também com a intenção de descrever o comportamento reológico do suco de laranja concentrado, MIZRAHI & BERK (1971) desenvolveram um modelo reológico baseado no modelo de uma suspensão de partículas interagindo em um solvente pseudoplástico, que resume-se na equação a seguir:

$$\tau^{1/2} - K_{OM} = K_M \cdot \dot{\gamma}^{n_M} \quad (2.8)$$

Onde:

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação;

τ = tensão de cisalhamento;

K_M = índice de consistência de Mizrahi-Berk;

n_M = índice de comportamento de Mizrahi-Berk;

K_{OM} = raiz quadrada da tensão inicial de Mizrahi-Berk.

Após serem apresentados todos esses modelos é importante comentar que a praticidade do uso é, na verdade, determinante do

modelo a ser adotado, principalmente quando todos eles se ajustam com igual qualidade aos reogramas.

2.3 MEDIDAS REOLÓGICAS

A determinação das propriedades reológicas de um fluido implica na determinação simultânea da tensão de cisalhamento e taxa de deformação, num mesmo ponto do aparelho de medição. Para isso são utilizados aparelhos conhecidos por reômetros, que podem apresentar diferentes configurações, nas quais as mais comuns são:

Sistemas Capilares

Sistemas Rotacionais

2.3.1 Sistema Capilar

Nesse tipo de sistema, o fluido escoar no interior de um tubo de seção circular, devido à diferença entre as pressões de entrada e saída do mesmo, que podem ser geradas pela gravidade ou outros meios mecânicos. A Figura 2.5 apresenta um arranjo simples para esse tipo de sistema.

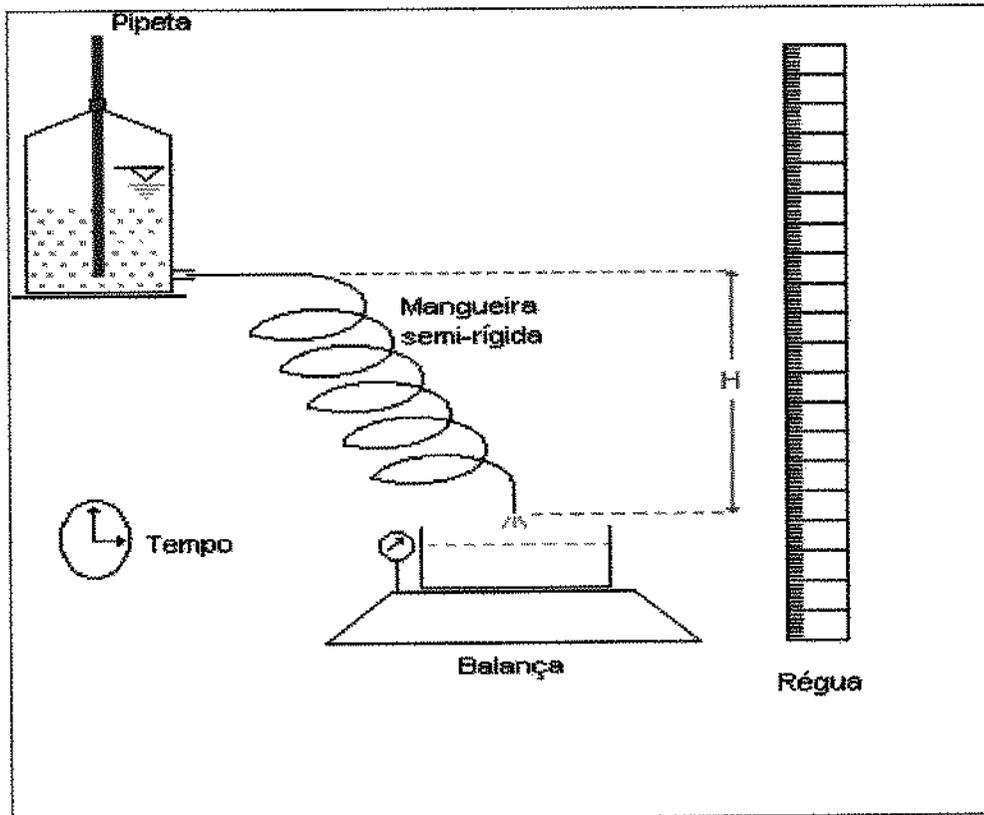


Figura 2.5 - Arranjo experimental de um reômetro do tipo capilar.

No arranjo acima, uma certa quantidade do fluido contido no interior do recipiente escoava através da mangueira, sendo que o tempo de escoamento deve ser cronometrado. Em seguida, a massa escoada é medida. A partir dos dados obtidos de tempo e massa, calcula-se a viscosidade do fluido da seguinte maneira:

a) Para fluidos newtonianos utiliza-se a equação de Hagen-Poiseuille:

$$\mu = \frac{\left(\frac{D\Delta p}{4C}\right)}{\left(\frac{32Q}{\pi D^3}\right)} = \frac{\tau}{\dot{\gamma}} \quad (2.9)$$

b) Para fluidos não newtonianos, independentes do tempo:

$$\tau = \frac{D\Delta p}{4C} \quad (2.10)$$

$$\dot{\gamma} = \frac{32Q}{\pi D^3} \quad (2.11)$$

$$\dot{\gamma}_N = \frac{3}{4}\dot{\gamma} + \frac{1d(\ln \dot{\gamma})}{4d(\ln \tau)} \quad (2.12)$$

Onde:

D = diâmetro interno da mangueira;

C = comprimento da mangueira;

Q = vazão = volume/tempo;

Δp = queda de pressão ao longo de C ;

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação;

$\dot{\gamma}_N$ = taxa de deformação corrigida;

μ = viscosidade;

τ = tensão de cisalhamento.

Plotando-se todos os valores de $\dot{\gamma}$ e de τ calculados, é possível determinar o comportamento que apresenta o fluido.

O equipamento acima apresenta certas vantagens, tais como a facilidade de manuseio e o custo bastante reduzido. Porém, nesse tipo de montagem, é muito importante certificar-se de que a relação C/D seja tal que os efeitos indesejáveis de entrada e saída sejam desprezíveis. Na prática, esse valor deve ser superior a 1000, pois as correções relativas ao termo ρv^2 tornam-se muito pequenas. É também importante verificar se o escoamento estabelecido é laminar puro, ou seja, não há ondulações nas linhas de corrente que levam a uma variação de pressão maior que aquele previsto na equação de Hagen - Poiseuille.

2.3.2 Sistemas Rotacionais

A medida de viscosidade de um reômetro rotacional baseia-se na determinação do torque necessário para manter constante a velocidade de rotação de um corpo que se encontra imerso ou em contato com o fluido em questão. Há também o caso em que se aplica um torque e mede-se a velocidade correspondente. Porém o mais comum é o primeiro caso, ou seja, rotação controlada e medida do torque correspondente.

Esse tipo de reômetro pode apresentar várias configurações, dependendo da geometria dos corpos rotacionais. Dessa forma, os reômetros rotacionais podem ser de cilindros concêntricos, cone e placa e placas paralelas.

As principais vantagens na utilização dos reômetros rotacionais, é que esse tipo de equipamento permite uma medida contínua da relação taxa de deformação e tensão de cisalhamento e uma faixa mais ampla da taxa de deformação, quando comparado aos capilares, permitindo também a análise de comportamentos dependentes do tempo.

2.3.2.1 Reômetros Rotacionais de cilindros concêntricos

Esse instrumento consta de dois cilindros, sendo que apenas um deles gira à uma certa velocidade angular, enquanto o outro permanece imóvel.

Estes aparelhos mantêm uma velocidade de rotação constante que corresponde a certa taxa de deformação, e a tensão de cisalhamento é obtida através da medida do torque no cilindro de medida, que pode ser o fixo ou o rotativo. Conseqüentemente, estabelecendo-se várias velocidades angulares para o cilindro rotacional e detectando-se o torque correspondente no cilindro de medida, as curvas reológicas podem ser obtidas, para determinado fluido. A Figura 2.6 representa um esquema básico dos reômetros rotacionais de cilindros concêntricos.

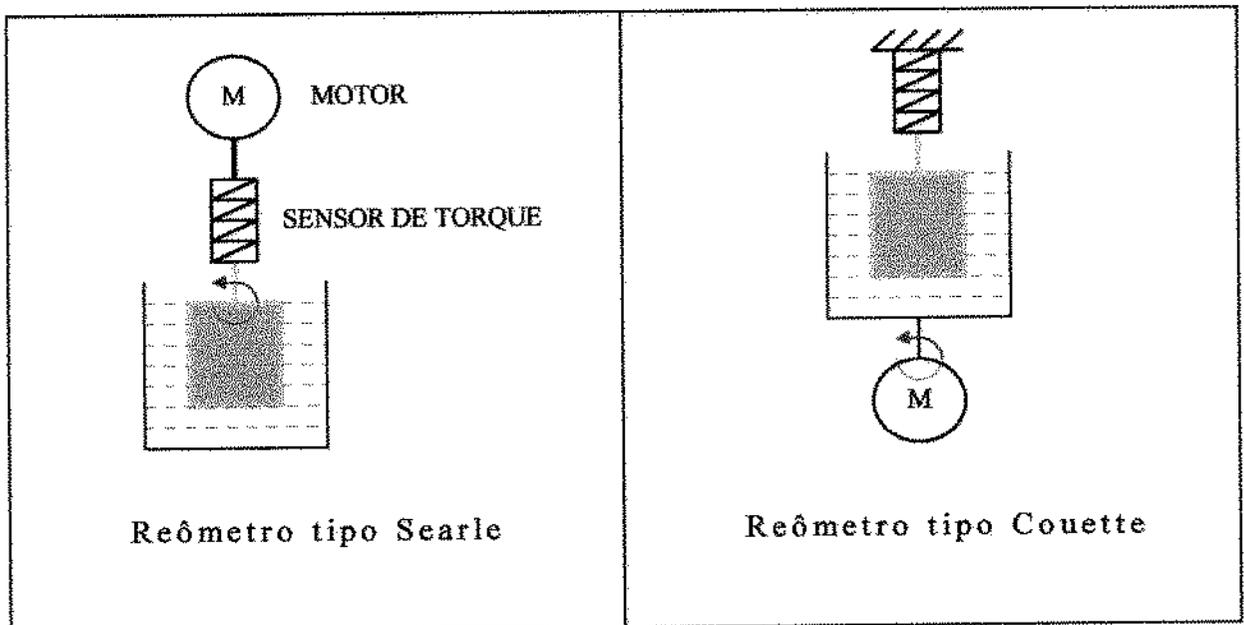


Figura 2.6 – Reômetros rotacionais de cilindros concêntricos.

2.3.2.2 Reômetros Rotacionais de placas paralelas

Reômetros desse tipo são constituídos de duas placas paralelas em forma de disco, distantes a uma certa altura ('gap') uma da outra.

A distância entre as placas pode ser variada, obtendo-se diferentes faixas de taxa de deformação. Maiores taxas de deformação são alcançadas com placas de maior diâmetro e menor distância entre elas.

Da mesma maneira que o sistema de cilindros concêntricos, qualquer uma das duas partes pode girar, para medir o torque necessário (GEHRKE, 1996).

2.3.2.3 Reômetro Rotacional de cone e placa

O equipamento consiste de uma placa plana horizontal e um cone invertido, cujo vértice situa-se muito próximo à placa. Melhores resultados são obtidos para pequenos ângulos entre a placa e o cone, para que seja válida a suposição $\text{tg}\alpha \cong \alpha$. Segundo SCHRAMM (1981), o valor de α deve ser inferior a 0.0349 rad (ou 2°). A vantagem deste sistema em relação ao de placas paralelas é que a taxa de deformação é constante ao longo da superfície do cone. Portanto cada ponto de medida corresponde a um valor da taxa de deformação, e não a uma média de valores. A Figura 2.7 representa o diagrama esquemático do reômetro de cone e placa.

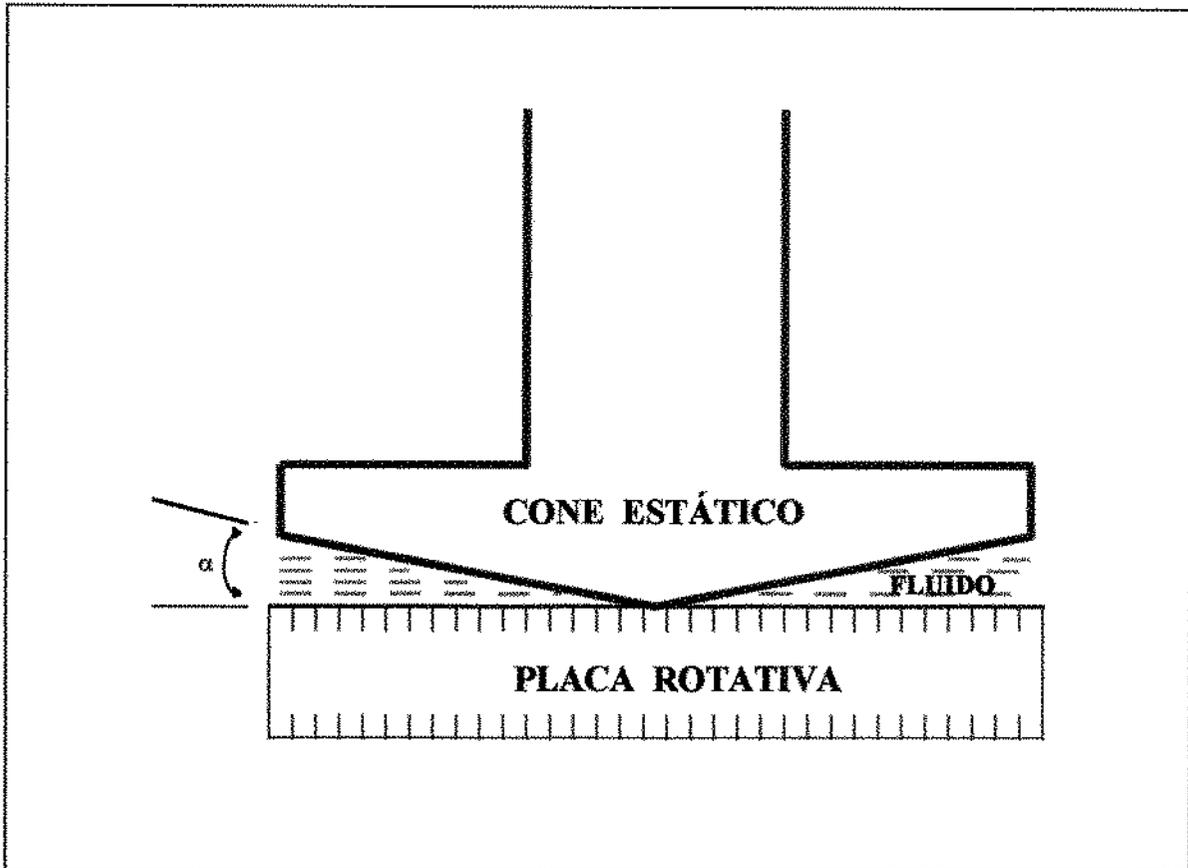


Figura 2.7 - Reômetro de cone e placa

LOZANO & IBARZ (1994) utilizaram o reômetro de cone e placa para medir o comportamento reológico das polpas concentradas de pêssego e ameixa, onde a variação da tensão de cisalhamento com o tempo foi determinada à uma taxa de deformação de $1,0 \text{ s}^{-1}$.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 PROCESSAMENTO DA POLPA

As matérias-primas utilizadas neste trabalho, foram abacaxi da variedade Pérola e manga da variedade Keitt que, conforme visto anteriormente, além do grande interesse comercial estão entre as variedades mais propícias à industrialização. Foram adquiridos 50 Kg de cada fruta, provenientes de um único lote, sendo o abacaxi de um fornecedor de Bauru/SP, e a manga da região do norte de Minas Gerais.

As frutas recepcionadas foram selecionadas levando-se em conta a aparência e o grau de maturação. As frutas com danos na casca foram descartadas e como teste de padronização do estágio de maturação, foi utilizado um texturômetro da marca Texture Analyser, modelo TA - TX2 com ponta de prova de 1,0 cm² de área. A prova constou de penetração de 5,0 mm nas frutas inteiras e com casca, sendo verificada a força necessária.

A matéria-prima selecionada foi lavada, descascada, as mangas foram desprovidas do caroço e os abacaxis do pedúnculo central. As frutas passaram por despulpadora com tela de 1,6 mm de abertura. A tela de 1,6 mm de abertura foi escolhida visando-se um máximo

rendimento na extração da polpa, conforme prática industrial, o que produziu uma polpa bem homogênea.

As polpas foram para um congelador de placas, visando um congelamento rápido do material para que seja evitada a formação de grandes cristais de gelo na superfície, com conseqüente danificação dos tecidos celulares, além de inibir ações enzimáticas. Após quatro horas, o material foi retirado e embalado à vácuo em sacos de polietileno para diminuir o contato com o ar . O produto embalado foi armazenado em freezer horizontal a -20°C . Parte da polpa integral foi centrifugada, parte despectinizada, e o restante conservado na sua forma integral, para a realização dos testes reológicos.

O fluxograma para a obtenção das polpas de manga e abacaxi utilizados neste trabalho está na Figura 3.1.

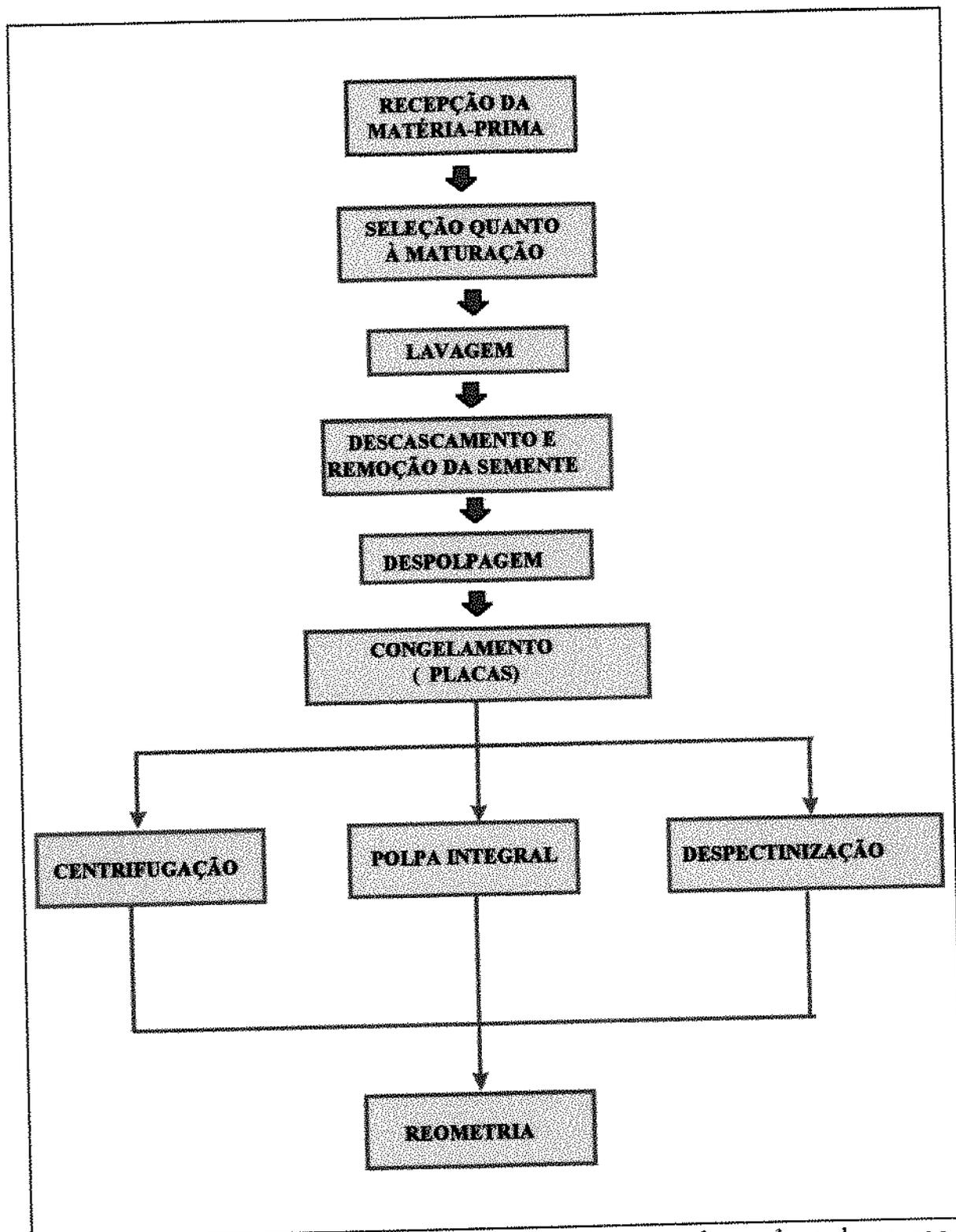


Figura 3.1 - Fluxograma esquemático para a obtenção das polpas de manga e abacaxi.

3.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DAS POLPAS

As polpas integrais de manga e abacaxi foram analisadas quanto ao pH, teor de sólidos solúveis (°Brix), pectina e sólidos insolúveis.

3.2.1 pH (método Adolfo Lutz, nº 4.7.2)

O pH das polpas de manga e abacaxi foi determinado por processo eletrométrico. Para isso foi utilizado um pHmetro, marca Mettler Toledo, modelo 320 com divisão na escala de 0,01.

O aparelho foi calibrado usando-se soluções tampão pH 4,0 e 7,0 e em seguida foi feita a leitura direta do pH das polpas, com a imersão do eletrodo no béquer contendo a amostra.

3.2.2 Teor de sólidos solúveis

A determinação do teor de sólidos solúveis foi feita em termos de °Brix em refratômetro de bancada, da marca Warszawar, modelo RL3, com menor divisão de escala de 0,5°Brix. As leituras foram feitas diretamente no aparelho à temperatura ambiente e, em seguida, corrigidas para 20°C.

3.2.3 Teor de pectinas

O teor de pectina das polpas foi determinado pelo método de RANGANNA (1977, p. 21 a 54), que baseia-se na neutralização das cargas dos resíduos de ácidos urônicos livres pelos íons cálcio, provocando a gelificação da pectina e a sua precipitação.

3.2.4 Teor de sólidos insolúveis (método Adolfo Lutz, nº13.6.4)

A análise do teor de sólidos insolúveis das polpas foi feita por filtração da amostra dissolvida em água quente. Para isto, 200 ml de água quente (50°C) foram adicionados à 50 gramas de polpa. Em seguida a mistura foi aquecida até ebulição, constantemente. Após manter em ebulição por 20 minutos, a amostra foi filtrada em papel e deixada em estufa a 100-105°C. O papel foi pesado de hora em hora, até peso constante do resíduo insolúvel. Antes de cada pesagem o papel de filtro foi resfriado em dessecador à temperatura ambiente por 30 minutos, para evitar perda de água da amostra por evaporação durante a pesagem.

O teor de sólidos insolúveis das polpas pode ser calculado pela seguinte equação:

$$\text{g S.I./100g} = \frac{\text{g de resíduo insolúvel} \times 100}{\text{g de amostra}} \quad (3.1)$$

3.3 CENTRIFUGAÇÃO

Parte das polpas de manga e abacaxi foram centrifugadas para a remoção das partículas em suspensão. Para este fim, utilizou-se centrífuga da marca Sorvall Instruments, modelo RC5C, com rotor SS-34. As polpas foram centrifugadas a 15000 rpm durante 40 minutos, equivalente a 29000 G, condição esta para reduzir o teor dos sólidos insolúveis a quase zero. Após a centrifugação das polpas, foi feita a determinação de teor de sólidos insolúveis das mesmas, sendo insignificante tanto para a manga quanto para o abacaxi.

3.4 DESPECTINIZAÇÃO

Somente a polpa de manga foi despectinizada, usando-se a enzima Pectinex 3XL (com temperatura ótima de 50°C e pH ótimo de 4,5), fabricada pela Novo Nordisk A/S. A pectina foi adicionada à polpa integral a 50°C na proporção de 1% em volume, com agitação de 50 minutos. Como o pH da manga resultou em valores em torno de 4,5, não foi necessária a correção do pH para a despectinização da polpa.

Conforme observado no trabalho de **QUEIROZ (1998)**, devido ao baixíssimo teor de pectina na polpa de abacaxi, praticamente não houve diferenças entre o comportamento reológico das polpas

integral e despectinizada. Por esse motivo nesse trabalho não foi analisada a reologia da polpa de abacaxi despectinizada.

3.5 REOMETRIA

Foi estudado o comportamento reológico da polpa de manga nas formas integral, centrifugada e despectinizada. O abacaxi foi analisado nas formas integral e centrifugada. Os ensaios foram realizados com as amostras a 30°C.

As medidas experimentais foram feitas no reômetro Haake Rotovisco modelo RV-20, com temperatura controlada por um banho termostaticado. O instrumento é conectado a um computador que, a cada 2,4 segundos, registra dados de temperatura, taxa de deformação, tensão de cisalhamento e viscosidade aparente. O tempo de corrida, para cada ensaio foi programado para 6 minutos. Nos dois minutos iniciais, a taxa de deformação se manteve constante, ao valor da máxima taxa de deformação permitida no sistema de medida, para que se destruam as partículas tridimensionais presentes, tais como os aglomerados de partículas, causadores de perturbações. Em seguida, a taxa de deformação variou de maneira decrescente durante dois minutos até o valor mínimo, próximo a 0 s^{-1} , sendo os dois últimos minutos para valores crescentes da taxa de deformação. Tanto na corrida ascendente quanto na descendente foram obtidos 20 pontos da tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação, resultando num

total de 40 pontos, dos quais foi tomado o valor médio da tensão de cisalhamento para cada taxa de deformação.

Os ensaios foram realizados em triplicata, sendo utilizada uma nova amostra para cada repetição. Segundo recomendações do fabricante, para garantia de temperatura, a amostra foi deixada em repouso no reômetro por um minuto, antes de iniciar cada experimento.

Os sistemas de medidas utilizados para cada tipo de amostra foram os de cilindros concêntricos e de placas paralelas, descritos a seguir.

3.5.1 Reômetro de placas paralelas

O sistema utilizado foi de placas paralelas de 30 mm (PQ30) e de 45 mm (PQ45) de diâmetro, separadas por uma distância ('gap') de 0,5 e 1,0 mm.

Para o diâmetro das placas de 45 mm, os máximos valores da taxa de deformação podem alcançar 900 e 500 s^{-1} , quando a distância entre as placas for de 0,5 mm e 1,0 mm, respectivamente.

Com as placas de 30 mm de diâmetro, os máximos valores alcançados da taxa de deformação são de 580 s^{-1} para a distância entre as placas de 0,5 mm, e de 290 s^{-1} quando a distância entre as placas foi de 1,0 mm.

A Figura 3.2 representa um esquema deste tipo de reômetro

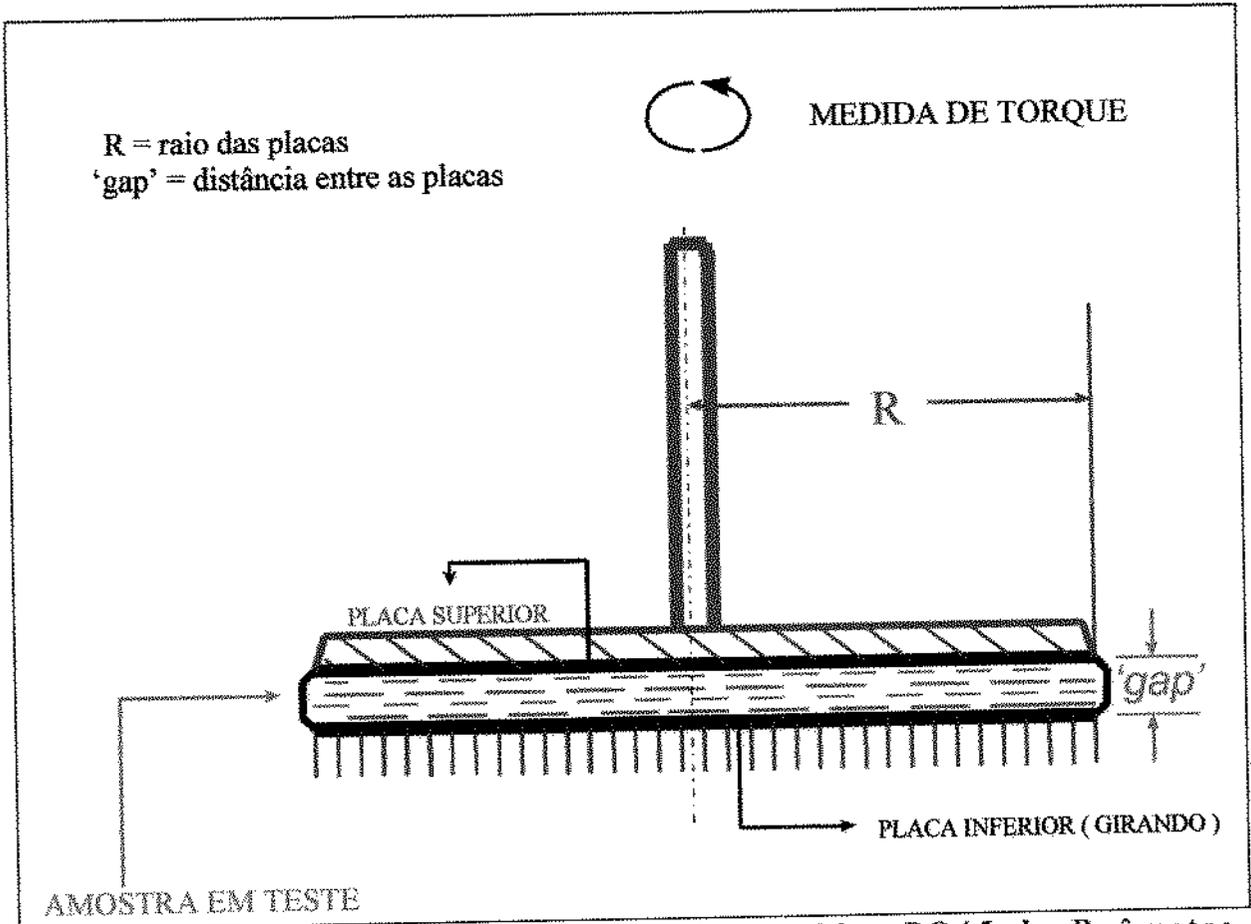


Figura 3.2 - Sistema de placas paralelas PQ30 e PQ45 do Reômetro Haake Rotovisco RV-20.

3.5.2 Reômetro de cilindros concêntricos

O sistema utilizado no experimento foi com cilindros concêntricos (ZA30) com 10 ml de amostra para a realização dos testes. Neste sistema de medidas, o máximo valor da taxa de deformação alcançado foi de 300 s^{-1} , e o espaço anular entre os cilindros mede 1,085 mm.

A Figura 3.3 apresenta o sistema de cilindros concêntricos para o reômetro Haake Rotovisco, RV - 20.

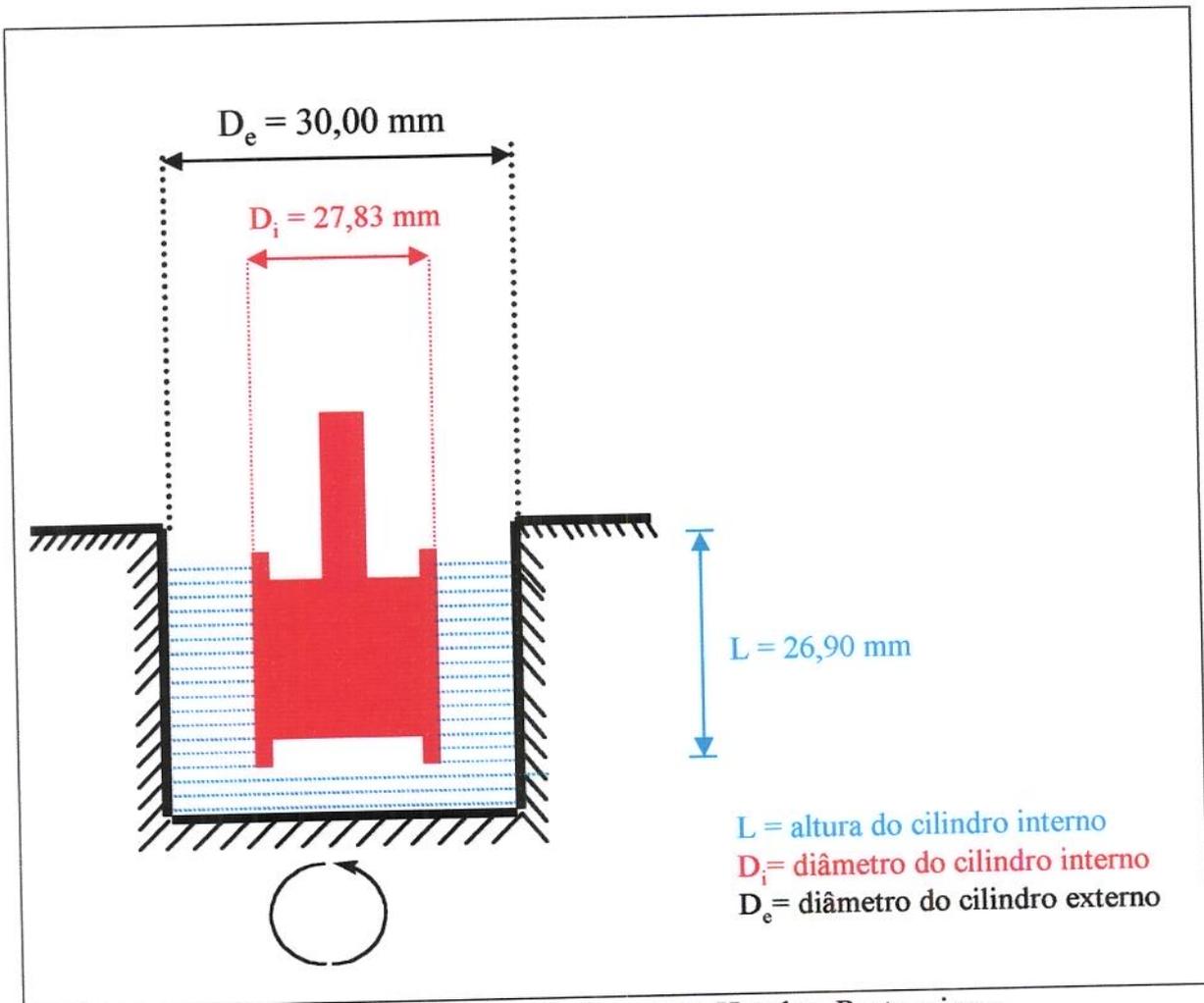


Figura 3.3 - Sistema ZA30 - Reômetro Haake Rotovisco

3.6 PROCESSAMENTO DOS RESULTADOS

Os resultados obtidos foram processados com o software ORIGIN 3.5, e as curvas obtidas ajustadas aos modelos reológicos de Casson, Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência), Mizrahi-Berk e Herschel-Bulkley, para os quais, foram analisados os seguintes parâmetros estatísticos:

R^2 - coeficiente de determinação - mede a proporção da variação total da média explicada pela regressão, definido como a soma quadrática total.

X^2 - qui-quadrado - expressa a diferença entre os valores previstos pelo modelo e os valores obtidos experimentalmente.

SSR - soma dos quadrados dos resíduos - identifica o erro no ajuste da curva.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 CARACTERIZAÇÃO DAS POLPAS

Os valores de pH, Brix, teor de pectina e de sólidos insolúveis determinados para as polpas de manga e abacaxi são apresentados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Valores de pH, °Brix, teor de pectina e de sólidos insolúveis, determinados para as polpas de manga e abacaxi.

	Manga	Abacaxi
pH	4,47	3,50
Brix	16,6	13,3
Pectina (%)	0,980	0,082
Sólidos Insolúveis (g/100g)	1,08	0,54

4.2 COMPORTAMENTO REOLÓGICO

4.2.1 Efeito do Sistema de Medidas

Os gráficos da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação obtidos por diferentes sistemas de medidas e para cada produto, encontram-se nas Figuras 4.1 a 4.5. Nessas figuras os resultados apresentados são as médias das triplicatas experimentais.

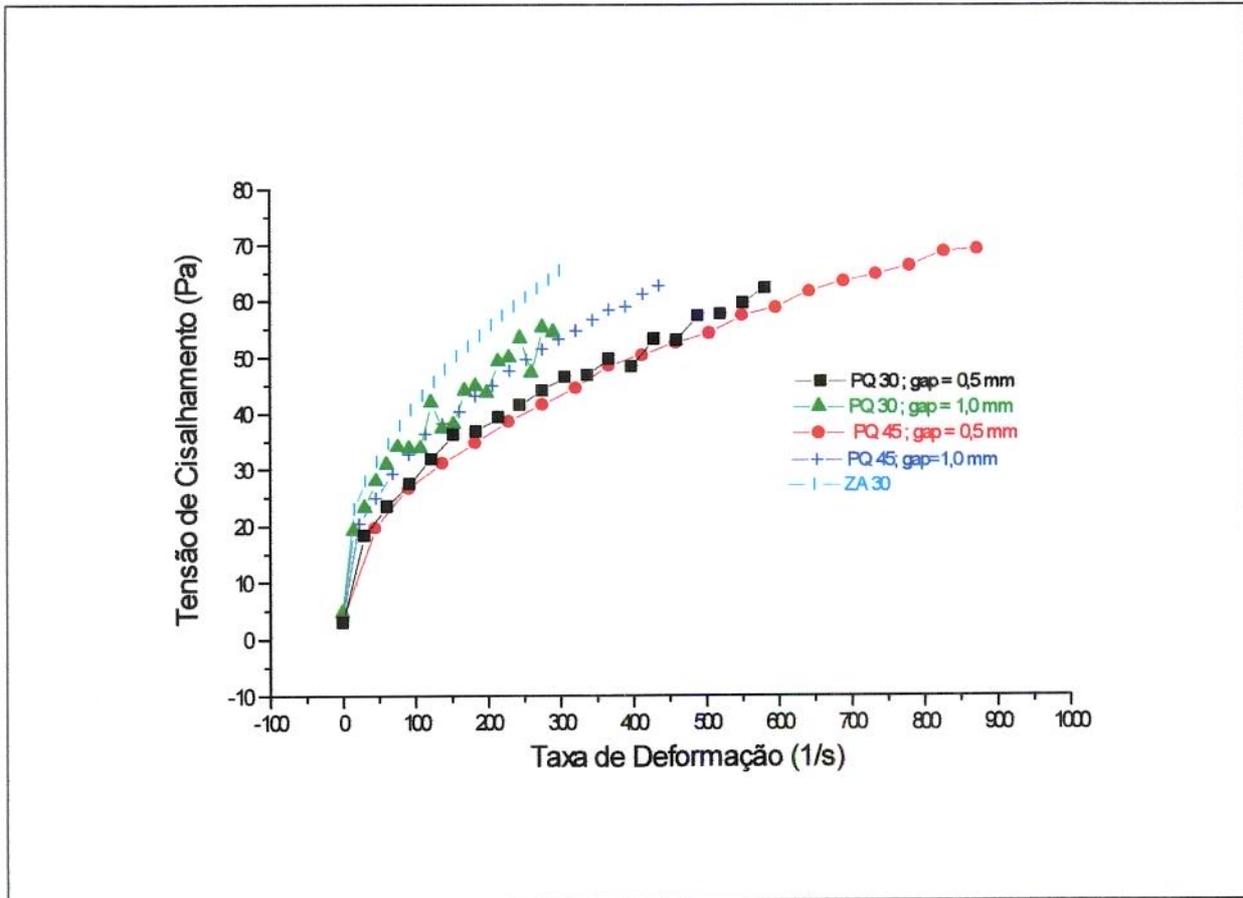


Figura 4.1 - Reograma da polpa de manga integral para os diferentes sistemas de medida.

Da Figura 4.1 observa-se que, para uma certa taxa de deformação, diferentes valores de tensão de cisalhamento são obtidos, dependendo do sistema de medida utilizado. Isso reforça as observações feitas por VIDAL (1997) e QUEIROZ (1998) de que a polpa de manga é um fluido não newtoniano, pois o fato de a resposta do material a uma deformação não ser a mesma quando o sistema de medidas é alterado, evidencia os desvios do comportamento newtoniano. Isso porque os valores da taxa de deformação apresentados nos reogramas e fornecidos pelos fabricantes de equipamentos são precisos apenas para um fluido newtoniano, sendo necessária a sua correção para fluidos de

características não newtonianas. Apesar da proposta relativamente simples para o caso de cilindros concêntricos apresentada por **BRODKEY (1971)** essa correção não é trivial para outras geometrias e também para fluidos que não são descritos pela Lei da Potência. Portanto, um certo valor da taxa de deformação indicado no eixo das abcissas na Figura 4.1, corresponde a diferentes valores reais desta taxa para os diferentes sistemas de medida porque afinal, o material é sempre o mesmo. Sendo assim, há a necessidade de padronização de ensaios quando se trata de fluidos não newtonianos.

Os resultados da Figura 4.1 foram coerentes também com as observações feitas por **GEHRKE (1996)**, que relatou diferentes valores na viscosidade aparente de um suco à temperatura e concentração constantes, para os diferentes sistemas de medidas.

Para a polpa de manga integral pode-se também observar a adequação de todos os sistemas de medidas utilizados, já que as curvas são bem consistentes, com exceção das placas paralelas de 30 mm, cujos reogramas apresentaram distúrbios principalmente na região de baixas taxas de deformação. Aqui é interessante notar que na indústria há preferência pela placa de 30 mm, uma vez que ela requer amostras menores.

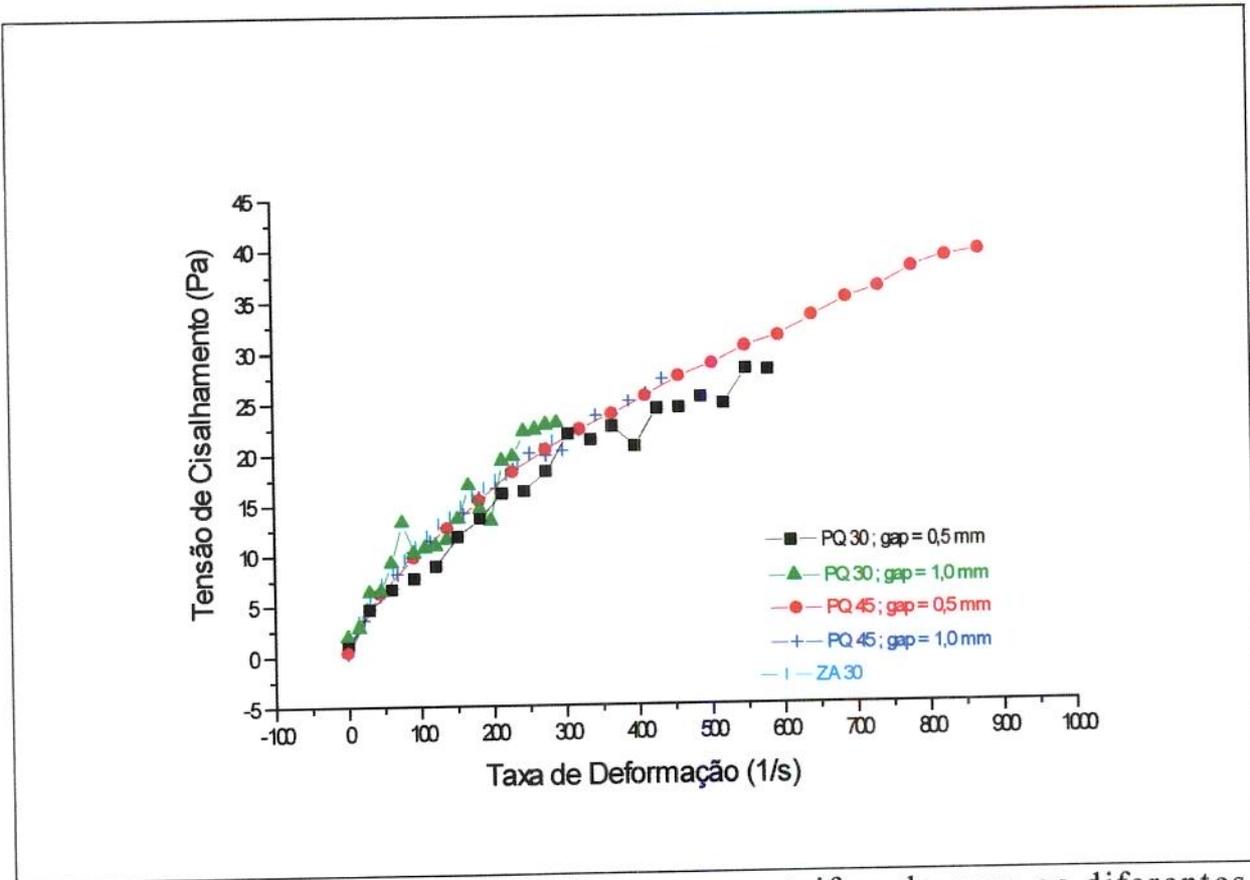


Figura 4.2 - Reograma da polpa de manga centrifugada para os diferentes sistemas de medida.

Da Figura 4.2 observa-se uma certa tendência da polpa de manga apresentar comportamento newtoniano quando os sólidos suspensos são removidos. Na verdade essa é mais a tendência assintótica para valores de taxa de deformação maiores que 100s^{-1} .

Neste caso também as curvas referentes aos cilindros concêntricos e às placas de 45 mm não apresentaram perturbações, o que indica a adequação de qualquer um destes sistemas de medidas.

Dos resultados das análises das polpas de manga integral e centrifugada, pode-se concluir que os sólidos suspensos exercem grande influência no seu comportamento reológico, ou seja, a pseudoplasticidade da polpa de manga integral é intensificada, em grande parte, pela presença dos sólidos suspensos.

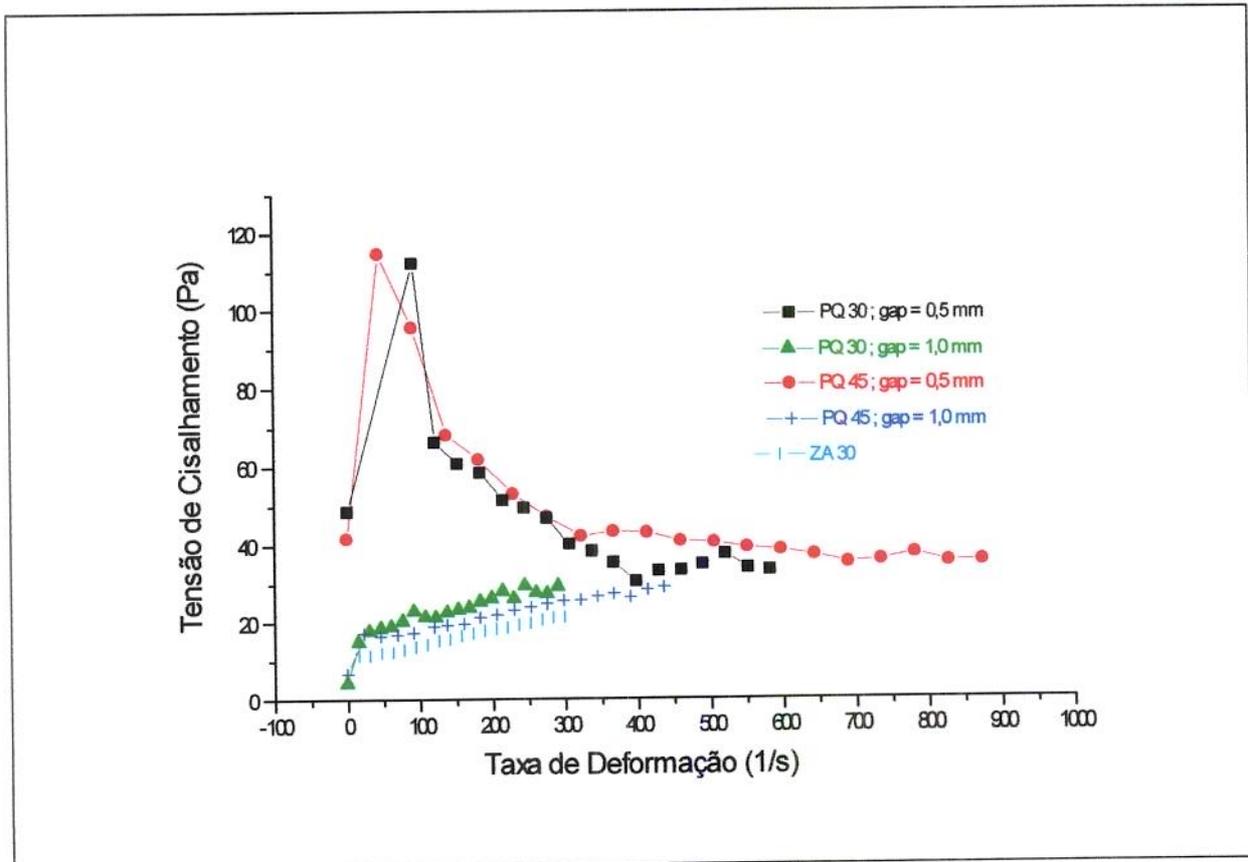


Figura 4.3 - Reograma da polpa de manga despectinizada para os diferentes sistemas de medidas.

Da Figura 4.3, referente à polpa de manga despectinizada, observa-se a inadequação dos sistemas de placas paralelas quando estas distam 0,5 mm uma da outra, devido à sua resposta para taxas de deformação menores que 500 s^{-1} . A partir dessa taxa de deformação é evidente que a resposta do sistema em questão se

harmoniza com a dos demais sistemas. Isso indica que a situação até 500 s^{-1} não representa uma situação reométrica.

Na Figura 4.3, as curvas referentes aos cilindros concêntricos e às placas paralelas com distância entre elas de 1,0 mm estão bastante próximas entre si, o que evidencia a adequação desses sistemas de medidas. Porém, o valor máximo da taxa de deformação é de 450 s^{-1} e valores maiores são atingidos apenas para o sistema de placas separadas em 0,5 mm, mas esse arranjo deve ser utilizado com cautela.

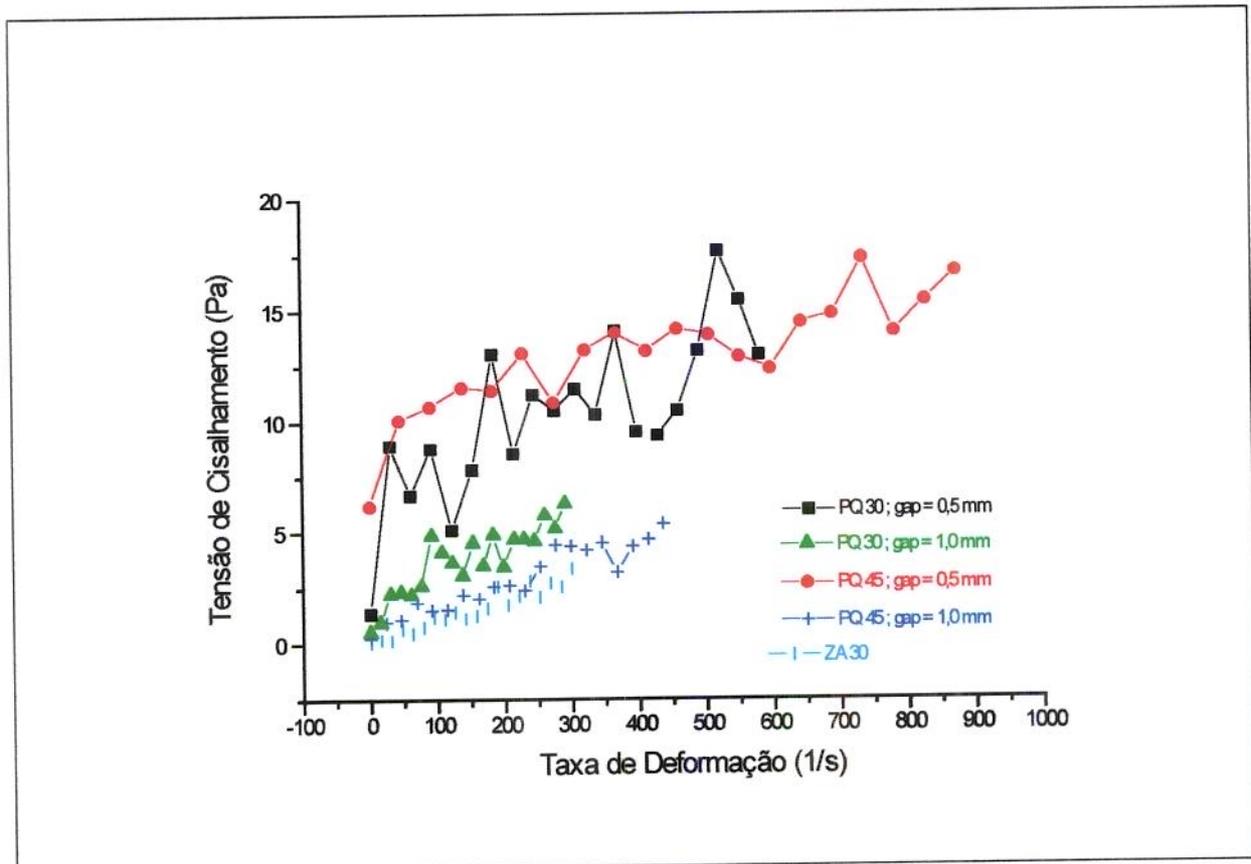


Figura 4.4 - Reograma da polpa de abacaxi integral para os diferentes sistemas de medidas.

Em relação à polpa de abacaxi integral, a Figura 4.4 mostra que o sistema mais indicado para os testes reológicos do produto foi o de placas paralelas de 45 mm com distância entre elas de 0,5 mm, devido ao reograma mais consistente e com menores perturbações, além do menor erro de medida devido aos maiores valores de tensão de cisalhamento. Também, o fato deste sistema permitir ampla faixa de taxa de deformação o torna mais interessante. Porém, ressaltando as observações já realizadas para o caso da polpa de manga despectinizada, é necessário cautela ao usar a separação entre placas de 0,5 mm.

Da Figura 4.4, observa-se diferentes valores de tensão de cisalhamento para a mesma taxa de deformação, para os diferentes sistemas de medidas. Isso evidencia o comportamento não newtoniano da polpa integral de abacaxi, estando em concordância com as observações feitas por **QUEIROZ (1998)**.

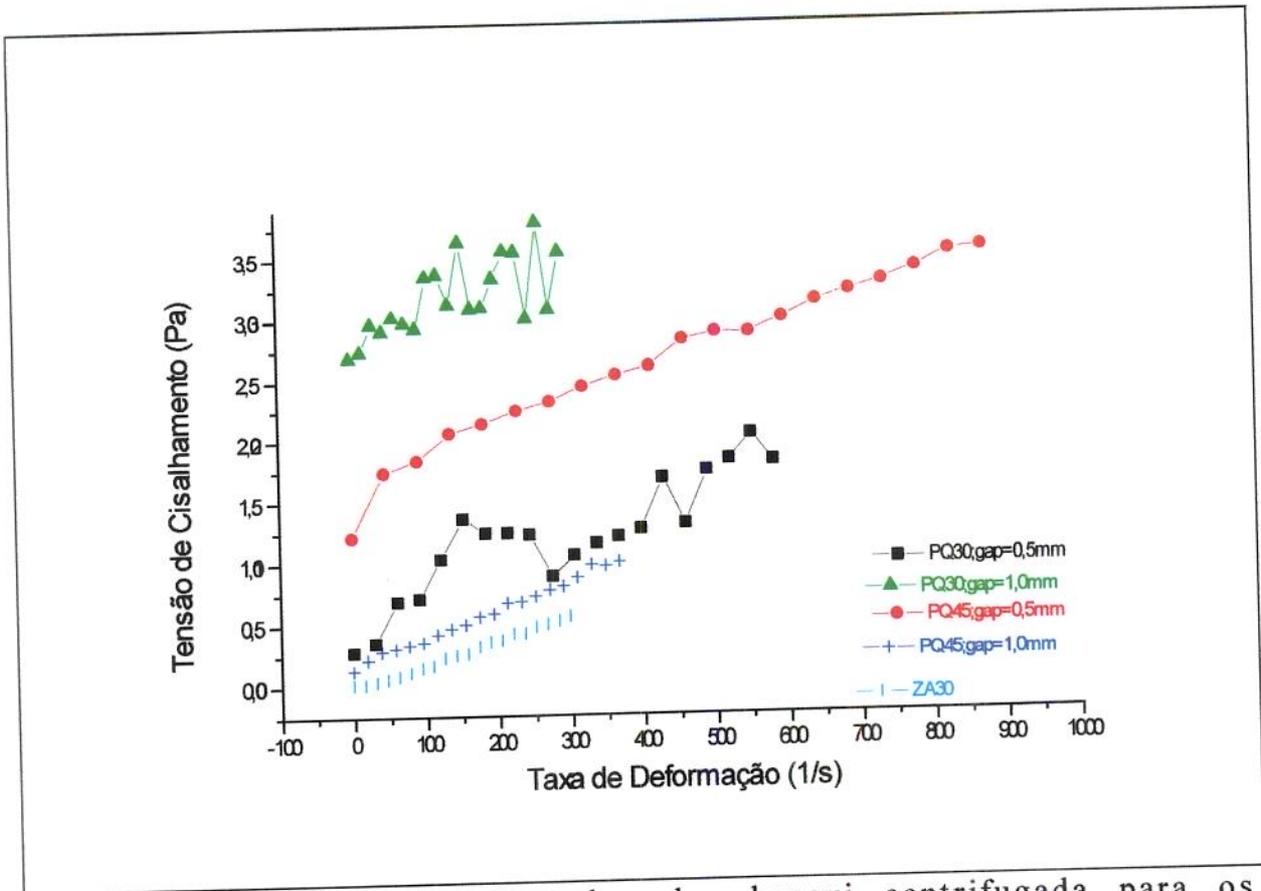


Figura 4.5 - Reograma da polpa de abacaxi centrifugada para os diferentes sistemas de medidas.

Analogamente ao abacaxi integral, a Figura 4.5 mostra maior viabilidade para as placas de 45 mm para a polpa de abacaxi centrifugada.

De maneira geral, os reogramas referentes às placas de 45 mm apresentaram-se mais adequados para as análises dos comportamentos reológicos das duas polpas, em todas as formas estudadas. Além disso, o fato desse sistema permitir uma faixa de taxa de deformação mais ampla o torna mais interessante, pois as operações de processamento apresentam elevadas taxas de deformação.

4.2.2 Determinação dos Parâmetros Reológicos

Dentre os modelos reológicos utilizados para descrever os reogramas anteriores, o de Mizrahi-Berk proporcionou melhores parâmetros de ajuste, apresentando os menores valores de X^2 e de SSR, além dos valores mais elevados para o coeficiente de determinação (R^2).

As Tabelas 4.2 a 4.6 apresentam os valores dos parâmetros obtidos através do ajuste do modelo de Mizrahi-Berk aos reogramas. Os parâmetros obtidos utilizando-se os demais modelos reológicos estão nas tabelas do Apêndice, no final do trabalho.

Tabela 4.2 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para a manga integral

	ZA30	PQ30 gap= 0,5 mm	PQ45 gap=0,5mm	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
K_{0M}	0,87008	0,89149	0,48144	1,14022	0,86608
K_M	2,04231	1,46921	1,59808	1,70527	1,69185
n_M	0,22018	0,24246	0,23560	0,22654	0,23396
Erro K_{0M}	0,15453	0,17380	0,07963	0,46351	0,09570
Erro K_M	0,13500	0,13743	0,05955	0,40334	0,07975
Erro n_M	0,00827	0,01142	0,00421	0,03020	0,00587
X²	0,00330	0,00752	0,00106	0,03473	0,00200
SSR	0,05612	0,12783	0,01797	0,59039	0,03404
R²	0,99926	0,99841	0,99982	0,99001	0,99958

Da Tabela 4.2 verifica-se o valor do índice de comportamento menor que 1 para todos os casos, comprovando que a polpa de manga integral apresenta características pseudoplásticas e que a

pseudoplasticidade pouco variou com os diferentes sistemas de medidas.

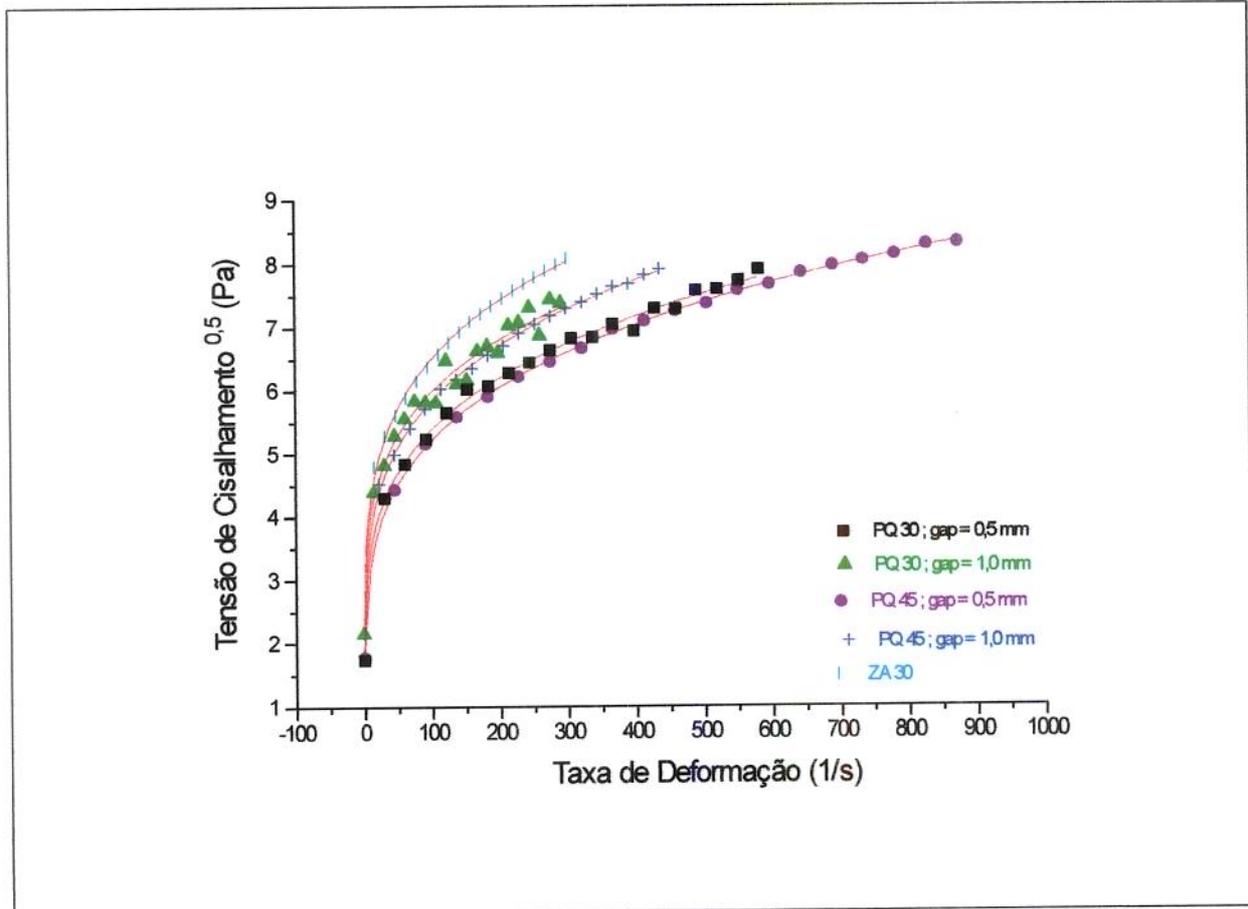


Figura 4.6 – Relação entre taxa de deformação e tensão de cisalhamento para a manga integral descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk.

Tabela 4.3 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para a manga centrifugada

	ZA30	PQ30 gap= 0,5 mm	PQ45 gap=0,5mm	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
K_{0M}	0,35297	0,44322	0,27510	0,98353	0,11481
K_M	0,59438	0,46982	0,65688	0,13680	0,65285
n_M	0,34928	0,36936	0,32873	0,57491	0,33819
Erro K_{0M}	0,04302	0,21575	0,07175	0,41461	0,09101
Erro K_M	0,02739	0,11025	0,03966	0,12281	0,05555
Erro n_M	0,06780	0,03164	0,00761	0,14484	0,01177
X²	0,00092	0,02254	0,00253	0,17396	0,00382
SSR	0,01562	0,38312	0,04300	2,95739	0,06488
R²	0,99925	0,98619	0,99891	0,86416	0,99768

Observando os resultados da Tabela 4.3, pode-se concluir que a polpa de manga centrifugada também apresenta características pseudoplásticas, embora com menor pseudoplasticidade do que a polpa de manga integral. Os ajustes referentes à Tabela 4.3 podem ser visualizados na Figura 4.7.

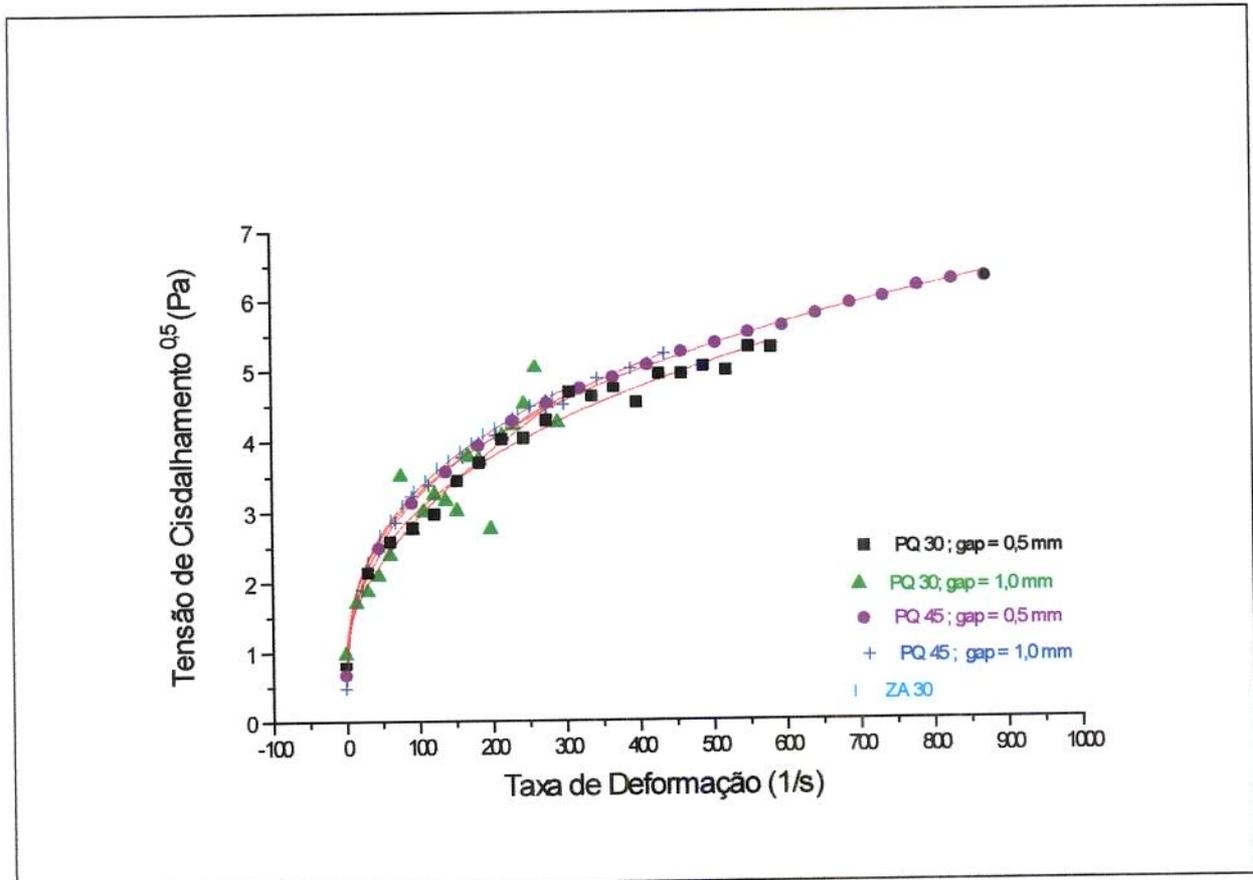


Figura 4.7 – Relação entre taxa de deformação e tensão de cisalhamento para a manga centrifugada descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk.

Para a polpa de manga despectinizada não foi possível ajustar os reogramas a nenhum dos modelos quando se utilizou as placas paralelas com distância entre elas de 0,5 mm. Para os demais sistemas de medidas, os parâmetros de ajuste encontram-se na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para a manga despectinizada

	30 mm	70 mm	100 mm
K_{0M}	2,44165	-0,98123	2,17581
K_M	0,21618	3,64489	0,71701
n_M	0,40167	0,09606	0,24037
Erro K_{0M}	0,12200	1,45208	0,33400
Erro K_M	0,06547	1,44466	0,26895
Erro n_M	0,04572	0,03006	0,04646
X^2	0,00845	0,01403	0,02026
SSR	0,14362	0,23847	0,34436
R^2	0,97423	0,97784	0,95691

Da Tabela 4.4, pode-se concluir que o sistema de placas paralelas de 30 mm não é adequado para medir os parâmetros reológicos da polpa de manga despectinizada pois, apesar do elevado coeficiente de correlação apresentado pelo modelo reológico quando ajustado ao reograma, o índice de consistência resultou em valor maior do que o da polpa integral no mesmo sistema de medidas, o que indica a preponderância de outras forças além das viscosas. Por outro lado, os resultados obtidos com os cilindros concêntricos foram coerentes àqueles descritos por **MANOHAR *et alii* (1990)** que, estudando o efeito das pectinas nas propriedades reológicas da polpa de manga, chegaram à conclusão de que a remoção da pectina desta fez com que o valor do seu coeficiente de consistência caísse drasticamente. Os resultados presentes na Tabela 4.4 confirmam comportamento pseudoplástico para a polpa de manga despectinizada, já predito por **MANOHAR *et alii* (1990)**. A Figura 4.8 ilustra os resultados da Tabela 4.4.

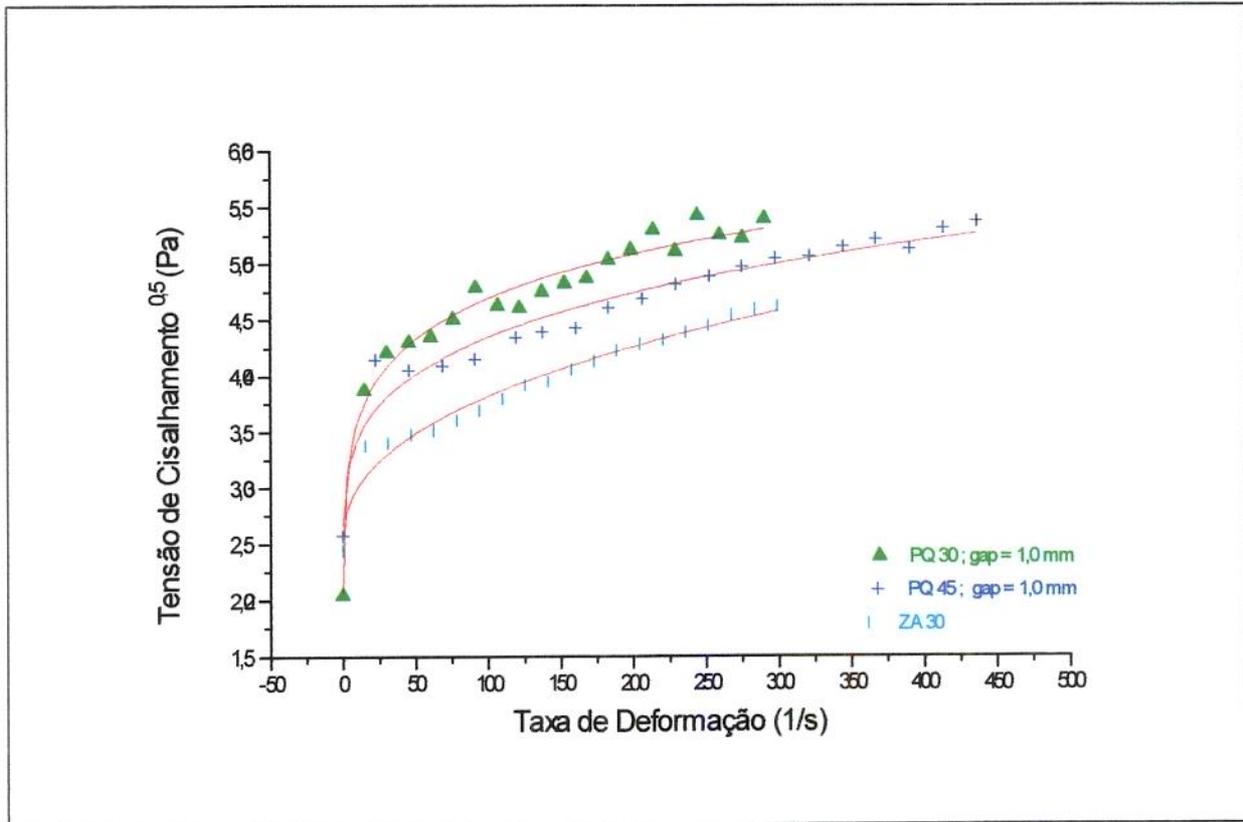


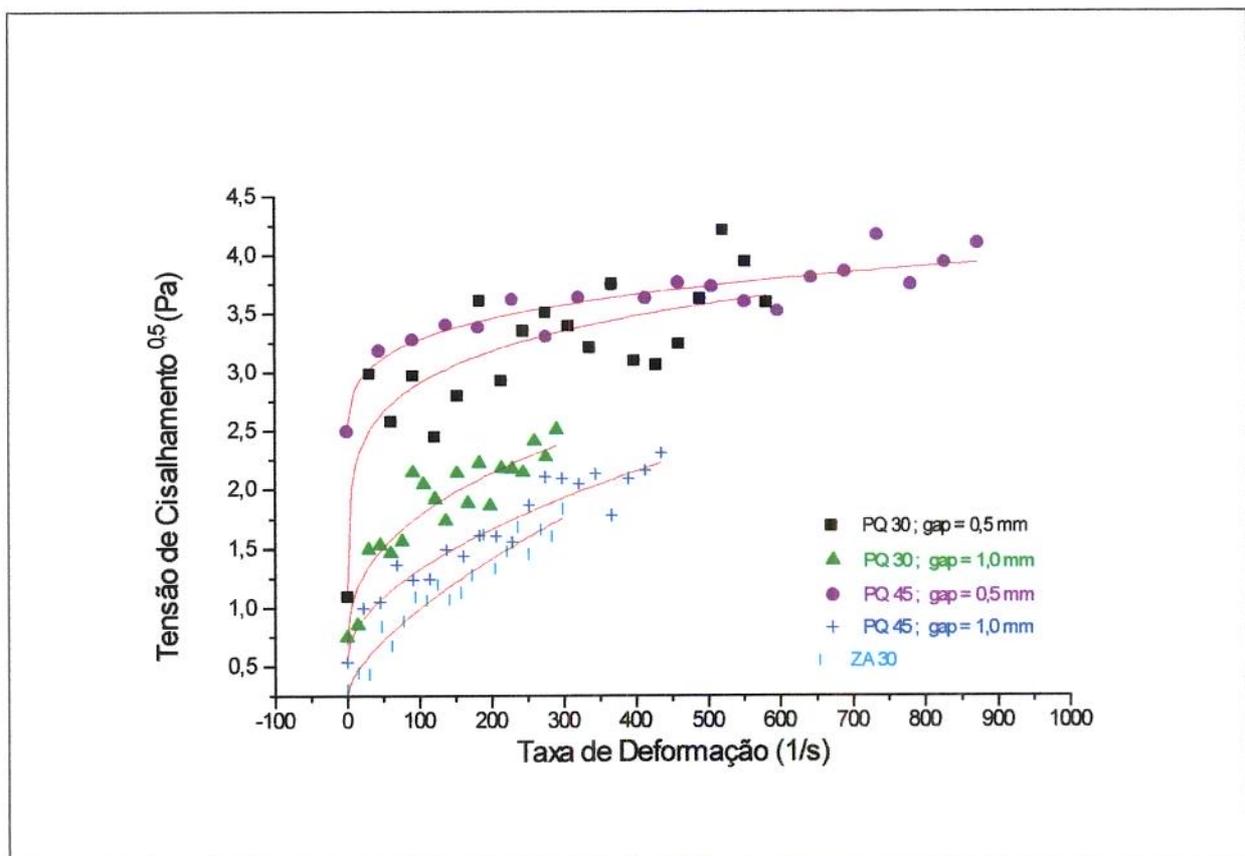
Figura 4.8 – Relação entre taxa de deformação e tensão de cisalhamento para a manga despectinizada descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk.

Os parâmetros reológicos obtidos com a polpa de abacaxi integral estão na Tabela 4.5.

Tabela 4.5 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para o abacaxi integral.

	ZA30	PQ30 gap= 0,5 mm	PQ45 gap=0,5mm	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
K_{0M}	0,24956	-0,24747	2,05297	0,60412	0,55712
K_M	0,03612	1,80389	0,49357	0,19918	0,06600
n_M	0,65450	0,12100	0,19712	0,38469	0,53155
Erro K_{0M}	0,11232	2,19800	0,52318	0,24747	0,14083
Erro K_M	0,02422	2,16045	0,42550	0,14189	0,04192
Erro n_M	0,10916	0,10367	0,08961	0,10757	0,09527
X²	0,01427	0,11917	0,02061	0,03572	0,01877
SSR	0,24254	2,02583	0,35040	0,60726	0,31904
R²	0,93652	0,75510	0,92903	0,85700	0,92643

Da Tabela 4.5 observa-se que o sistema de placas de 30 mm é menos adequado do que os demais sistemas de medidas. Embora os ajustes com os cilindros e as placas de 45 mm tenham apresentado resultados satisfatórios, o fato de as placas de 45 mm resultar em maiores valores de tensão de cisalhamento, quando estas distam 0,5 mm uma da outra, faz com que o erro de medida diminua, principalmente se o fluido tiver baixa viscosidade. Por isso os parâmetros reológicos obtidos com esse sistema de medida apresentam maior confiabilidade. A Figura 4.9 ilustra os parâmetros obtidos para a polpa de abacaxi integral com os diferentes sistemas de medidas.



Quando os sólidos suspensos são removidos da polpa integral do abacaxi observa-se uma diminuição drástica no índice de consistência, além da diminuição na pseudoplasticidade. A Tabela 4.6 mostra os parâmetros reológicos obtidos com os diferentes sistemas de medida, para a polpa do abacaxi centrifugada.

Tabela 4.6 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para o abacaxi centrifugado.

	ZA30	PQ30 gap= 0,5 mm	PQ45 gap=0,5mm	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
K_{0M}	0,05673	0,4763	1,10532	1,62055	0,37090
K_M	0,01258	0,06205	0,02625	0,01676	0,00945
n_M	0,70724	0,41164	0,49831	0,46897	0,71122
Erro K_{0M}	0,02045	0,12937	0,01834	0,07039	0,01323
Erro K_M	0,00359	0,05646	0,00486	0,03051	0,00204
Erro n_M	0,04677	0,12577	0,02490	0,28546	0,03423
X²	0,00052	0,01066	0,00028	0,00396	0,00022
SSR	0,00879	0,18121	0,00484	0,06726	0,00373
R²	0,98941	0,83016	0,99402	0,53054	0,99431

Comparando os resultados das Tabelas 4.5 e 4.6, pode-se concluir que as partículas suspensas presentes na polpa integral de abacaxi influenciam bastante no seu comportamento, mas tanto a polpa integral quanto a centrifugada apresentam comportamento pseudoplástico.

A polpa centrifugada de abacaxi, assim como a sua polpa integral foi melhor descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk quando as placas de 45 mm foram utilizadas. Assim como no caso da polpa integral, os resultados obtidos com essas placas distantes a 0,5 mm entre si são mais confiáveis. A Figura 4.10 ilustra os resultados da Tabela 4.6.

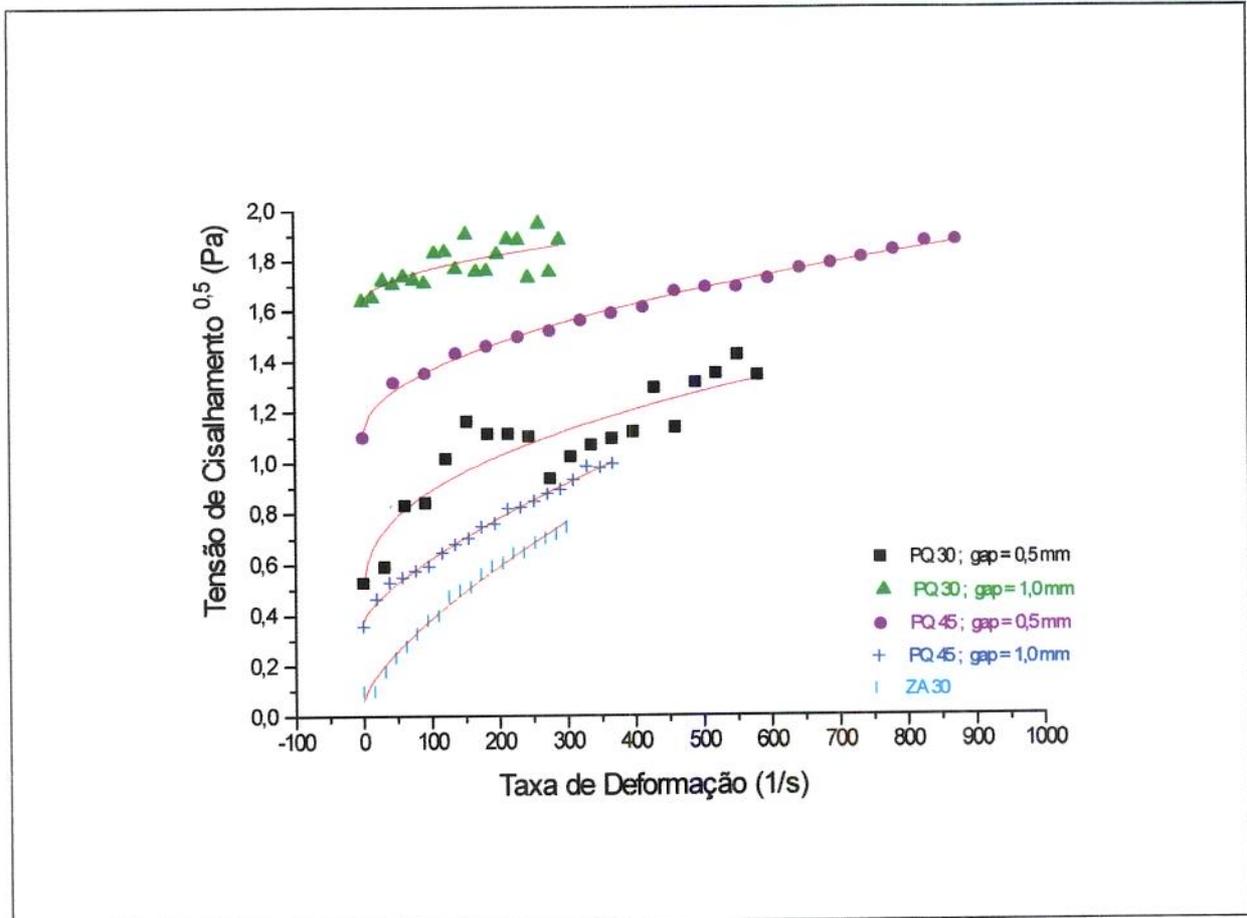


Figura 4.10 - Relação entre taxa de deformação e tensão de cisalhamento para o abacaxi centrifugado descrita pelo modelo de Mizrahi-Berk.

Observando as Figuras 4.6 a 4.10, nota-se que o sistema de placas de 45 mm distantes 0,5 mm entre si resultou nos melhores reogramas para todas as polpas, exceto para a polpa de manga despectinizada, onde os melhores reogramas foram obtidos com os cilindros concêntricos. Por isso, os dados de (tensão de cisalhamento 'versus' taxa de deformação) obtidos por estes sistemas de medidas foram utilizados nos cálculos da viscosidade aparente das polpas e apresentados na seção seguinte.

4.2.3 Viscosidade Aparente das polpas

Como dito anteriormente, o modelo reológico de Mizrahi-Berk foi o que apresentou as melhores correlações, sendo os seus dados também utilizados no cálculos das viscosidades aparentes das diferentes polpas.

Os dados de viscosidade aparente das polpas, para todos os sistemas de medidas, estão nas tabelas do Apêndice, no final deste trabalho.

As Figuras 4.11 a 4.14 apresentam a relação entre as viscosidades aparentes das diferentes polpas, calculadas como:

$$\varepsilon = \eta_{api} / \eta_{apj} \quad (4.1)$$

Onde:

η_{api} = viscosidade aparente da polpa na condição i;

η_{apj} = viscosidade aparente da polpa na condição j.

Esses gráficos tem por objetivo mostrar o efeito relativo dos sólidos suspensos e da pectina no comportamento reológico das polpas estudadas.

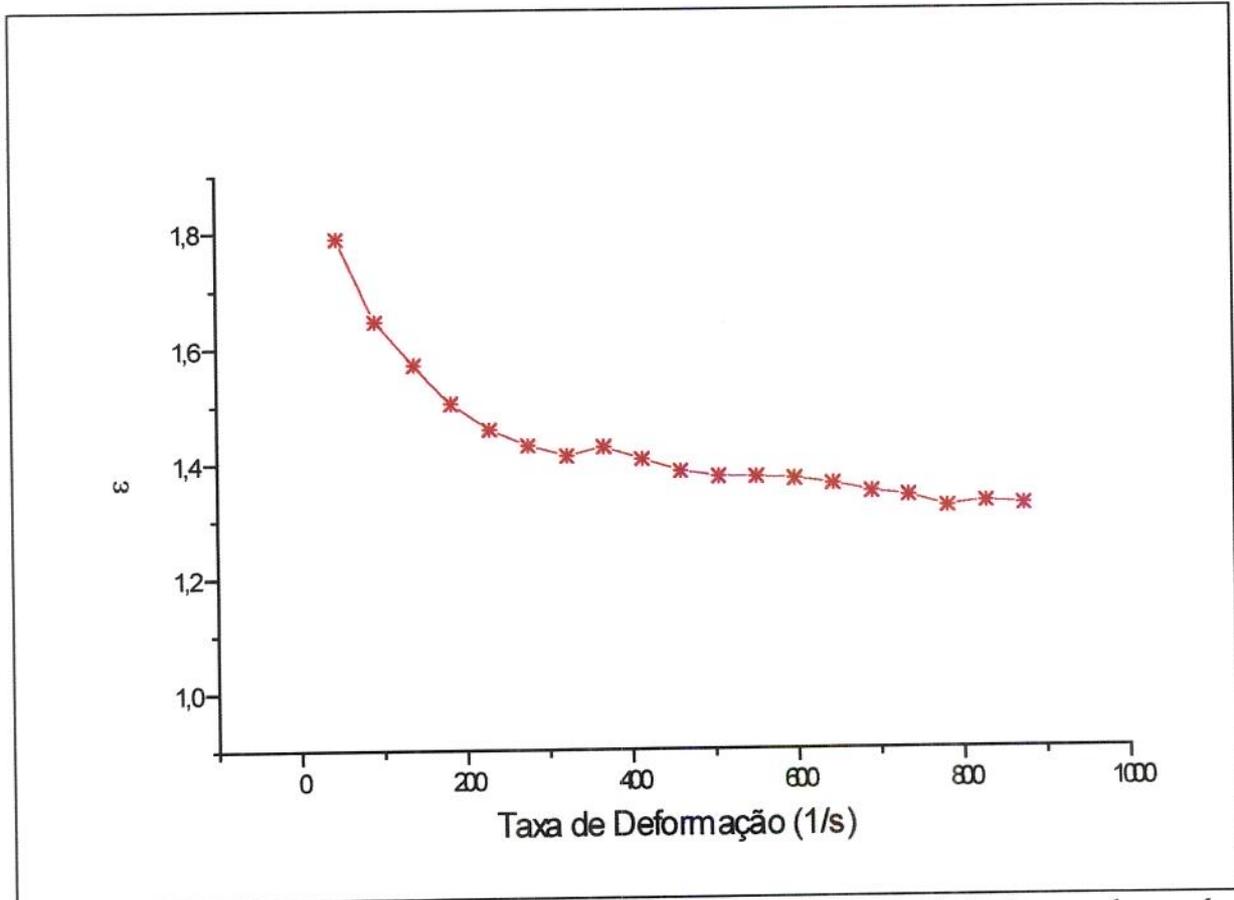


Figura 4.11 – Razão entre as viscosidades aparentes (ϵ) das polpas de manga integral e centrifugada, descritas pelo modelo de Mizrahi-Berk.

A Figura 4.11 mostra que o efeito dos sólidos suspensos na polpa de manga é maior para as baixas taxas de deformação, sendo que tal efeito tende a uma relação constante para as taxas de deformação mais altas. Isso indica um comportamento favorável para diminuir o efeito de sedimentação em prateleira, sendo a polpa de manga mais favorável à centrifugação do que à sedimentação.

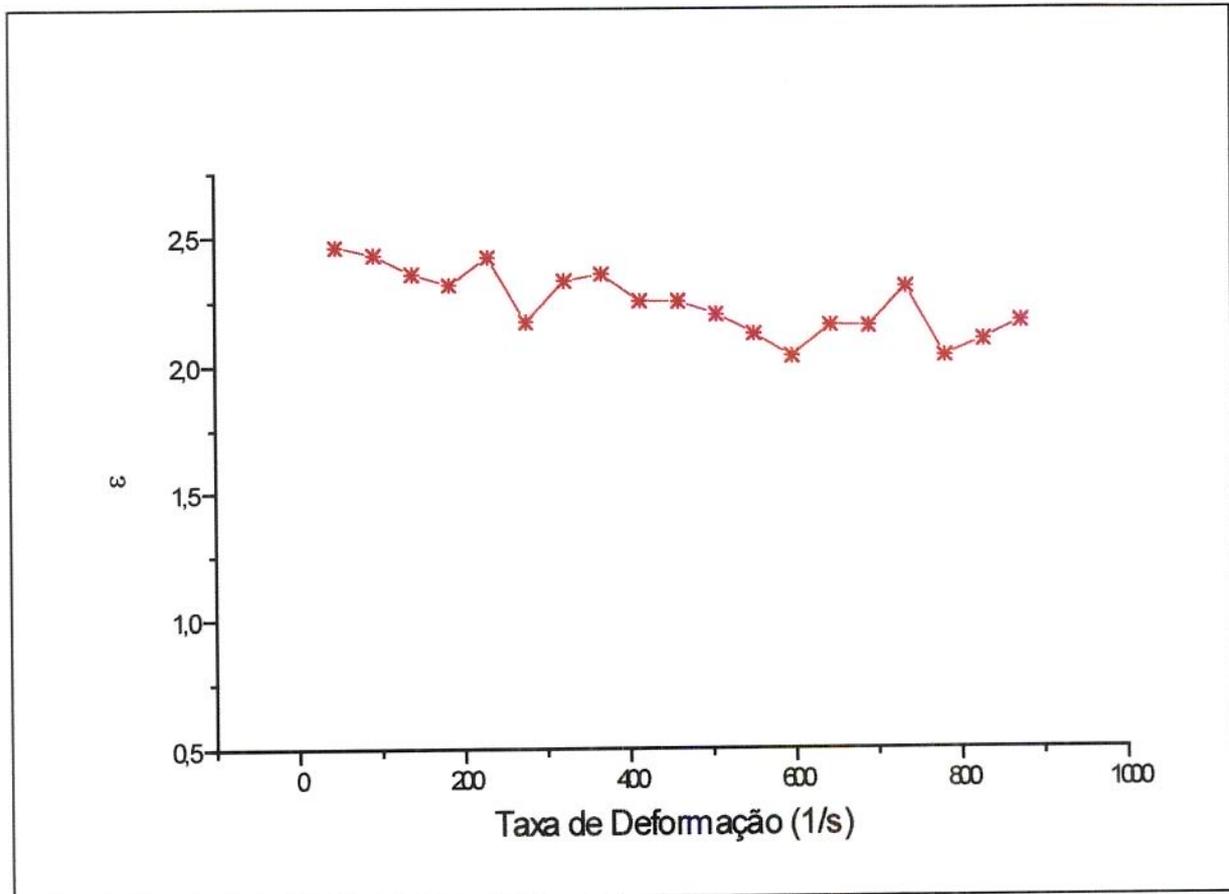


Figura 4.12 – Razão entre as viscosidades aparentes (ϵ) das polpas de abacaxi integral e centrifugada, descritas pelo modelo de Mizrahi-Berk.

Da Figura 4.12 observa-se que a relação entre as viscosidades aparentes das duas polpas é da ordem de 2,5 vezes, e quase constante para toda a faixa de taxa de deformação ensaiada. Portanto, as polpas de abacaxi integral e centrifugada têm o mesmo tipo de comportamento, e o efeito dos sólidos suspensos é do mesmo tipo para toda a faixa da taxa de deformação ensaiada, não aparentando nenhuma vantagem para evitar a sedimentação em prateleira ou centrifugação.

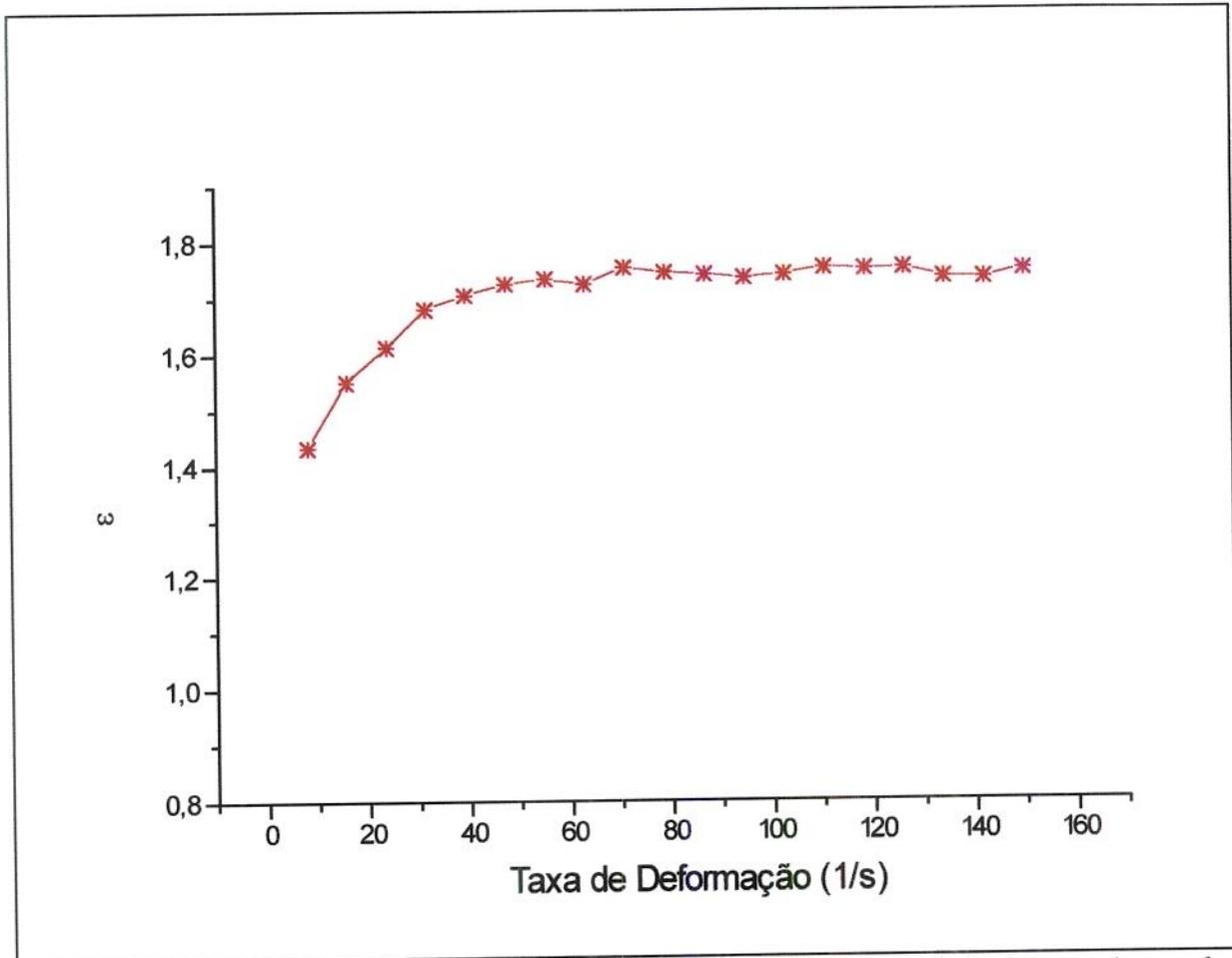


Figura 4.13 – Razão entre as viscosidades aparentes (ϵ) das polpas de manga integral e despectinizada, descritas pelo modelo de Mizrahi-Berk.

A Figura 4.13 mostra que a relação entre as viscosidades aparentes cresce com a taxa de deformação, indicando os efeitos dos sólidos suspensos e das pectinas presentes na polpa integral. Porém, esse efeito dos sólidos e pectinas é crescente até taxas de deformação em torno de 50 s^{-1} e a partir daí o efeito é constante.

Da Figura 4.14 observa-se que o efeito das pectinas na polpa centrifugada cresce com o aumento da taxa de deformação,

inicialmente de maneira exponencial, até a taxa de deformação da ordem de 100 s^{-1} , e a partir daí o crescimento é linear moderado.

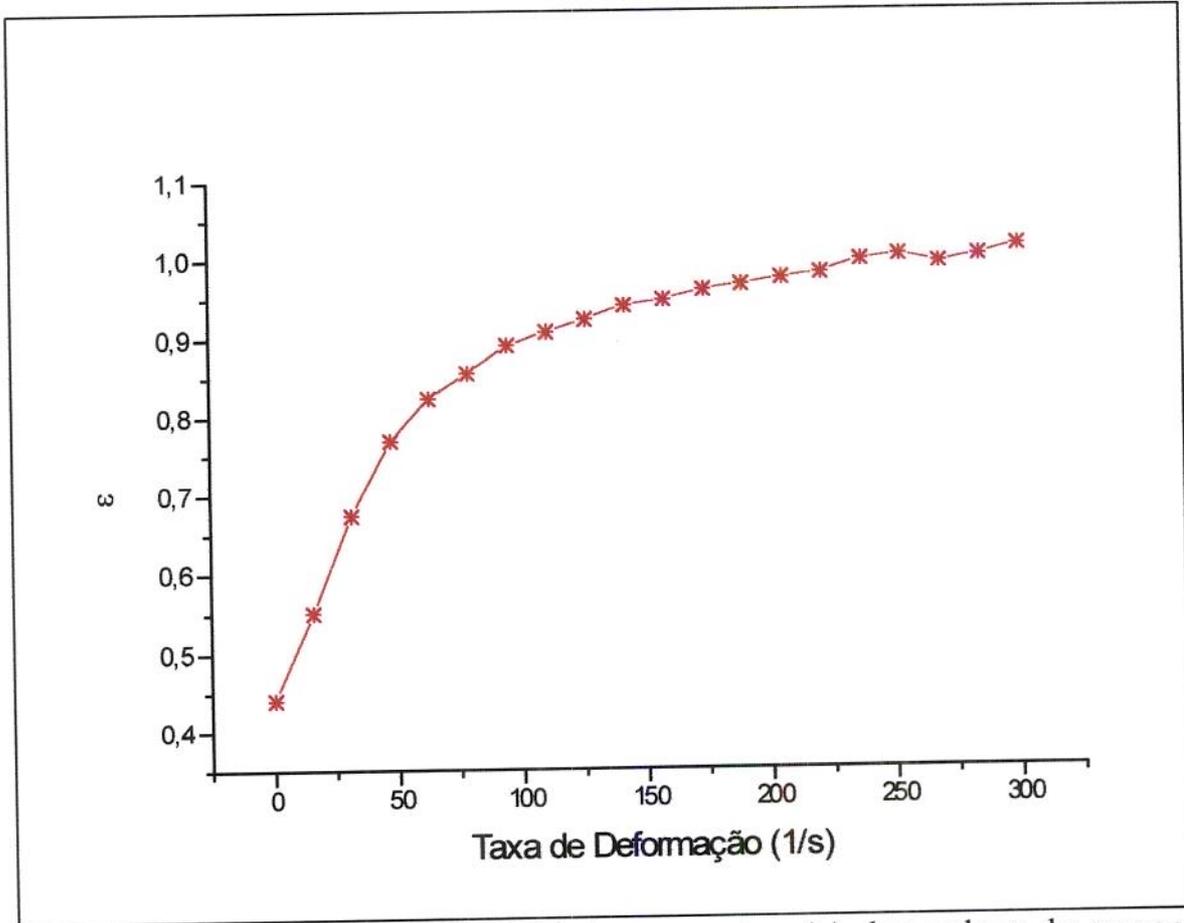


Figura 4.14 – Razão entre as viscosidades aparentes (ϵ) das polpas de manga centrifugada e despectinizada, descritas pelo modelo de Mizrahi-Berk.

5. CONCLUSÕES

• Quanto às observações referentes aos sistemas de medidas utilizados, pode-se concluir que:

- 1) Todos os sistemas de medidas detectaram o caráter não newtoniano pseudoplástico dos materiais ensaiados;
- 2) Quando os sólidos suspensos da polpa integral de manga foram removidos por centrifugação, o comportamento da polpa centrifugada aproximou-se do newtoniano. Isto pode ser observado pela maior proximidade entre as curvas para os diferentes sistemas de medidas;
- 3) Exceto para o caso da polpa de manga despectinizada, o melhor desempenho do reômetro foi obtido com o sistema de medida PQ45, com distância entre placas de 0,5 mm.

- A partir da investigação do comportamento reológico das polpas, pode-se concluir que:
 - 1) Todas as polpas apresentaram comportamento pseudoplástico, sendo a pseudoplasticidade maior para as polpas integrais;
 - 2) O modelo reológico de Mizrahi-Berk foi o que melhor descreveu todos os materiais ensaiados, mesmo aqueles centrifugados;
 - 3) Os sólidos suspensos influenciam bastante o índice de consistência das polpas de manga e de abacaxi. No caso da manga, sua retirada produziu diminuição da ordem de 60% e para o abacaxi a redução foi da ordem de 90%;
 - 4) A polpa do abacaxi apresenta maior tendência de sedimentação em prateleira do que aquela da manga;
 - 5) A polpa da manga parece mais favorável à centrifugação do que à sedimentação;
 - 6) A presença da pectina exerce efeito crescente na viscosidade aparente com a taxa de deformação, tanto na polpa de manga integral quanto na centrifugada, quando comparadas com a polpa despectinizada.

6. SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

A segregação dos sólidos suspensos é importante nos processos de sedimentação e de centrifugação, sendo ambos dependentes do comportamento reológico das suspensões. Essa dependência precisa ser estudada para ser aplicada ao cálculo desses processos. Nota-se que estão em aberto tanto o desenvolvimento de uma metodologia para esse estudo quanto o levantamento de resultados experimentais.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BARNES, H. A.; HUTTON, J. F.; WALTERS, K. **An Introduction to Rheology**. New York: Elsevier Publishers, 1989. 198 p.
- [2] BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. **Transport Phenomena**. EUA: John Wiley & Sons Inc, 1960. 780 p.
- [3] BLEINNROTH, E. W.; GARCIA, J. L. M.; YOKOMIZO, Y. Conservação de quatro variedades de manga pelo frio e em atmosfera controlada. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v.8, n.1, p.217-243, 1977.
- [4] _____; FIGUEIREDO, I. B.; VEIGA, A. A.; SOARES, N. B.; MEDINA, J. C.; SABINO, J. C. Avaliação de novas cultivares de manga para industrialização. I. Análise das características físico-geométricas e químicas da matéria-prima. **Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos, Campinas**, v.22, n.2, p.217-233, 1985.
- [5] BOBBIO, F. O.; BOBBIO, P. A. **Introdução à Química dos Alimentos**. São Paulo, 1989. 223p.
- [6] BRANCO, I. G. **Suco de Laranja Concentrado - comportamento reológico a baixas temperaturas**. Campinas, 1995. 88p. Tese de Mestrado - UNICAMP.

- [7] BRODKEY, R. S. **The Phenomena of Fluid Motions**. EUA: Addison-Wesley, 1971. 472p.
- [8] CARDELLO, H. M. A. B.; MORAES, M. A. C. Análise Sensorial de Manga (*Mangifera indica L.*), var. Haden, em pedaços, processada e congelada. **Alimentos e Nutrição**, São Paulo, v.8, p.27-38, 1997.
- [9] CEREZAL, P.; BATISTA, A. R.; PIÑERA, R. M. Evaluation de cultivares de mango para la elaboracion de pulpas. **Alimentaria**, n.260, p.29-31, 1995.
- [10] COSTELL, E.; DURÁN, L. Reología físico-química de los zumos y purés de fruta. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, v.22, n.1, p.81-94, 1982.
- [11] _____; CLEMENTE, G.; DURÁN, L. Reología físico química del puré de albaricoque. II.Caracterización del flujo y relación entre los parámetros reológicos y las características químicas y físicas del producto. **Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos**, v.22, n.4, p.539-550, 1982.
- [12] CUNHA, G. A. P. C.; SAMPAIO, J. M. M.; NASCIMENTO, A. S. N. N.; FILHO, H. P. S.; MEDINA, V. M. Manga para exportação: aspectos técnicos da produção. **FRUPEX - Manual de Exportação de Frutas**. Brasília, 1994a.

- [13] _____; MATOS, A. P.; CABRAL, J. R. S.; SOUZA, L. F. S.; SANCHES, N. F.; REINHARDT, D. H. R. C. Abacaxi para exportação; Aspectos técnicos da produção. **FRUPEX - Manual de Exportação de Frutas**. Brasília, 1994b.
- [14] DONATO, G.; CARRARO, A. F.; An illustrated guide for importers. **FRUPEX - Manual de Exportação de Frutas**. Brasília, 1995, p.6-7, 16-17.
- [15] FEITOSA, T.; MUNIZ, C. R.; BASTOS, M. S. R.; OLIVEIRA, M. E. B.; OLIVEIRA, S. Perfil Microbiológico de frutas produzidas e comercializadas no estado do Ceará e Rio Grande do Norte. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 15., 1996, Poços de Caldas.
- [16] GEHRKE, T. **Reometria de suco concentrado de frutas**. Campinas, 1996. 103p. Tese de Mestrado - UNICAMP.
- [17] GINER, J.; IBARZ, A.; GARZA, S.; XHIAN-QUAN, S. Rheology of Clarified Cherry Juices. **Journal of Food Engineering**, v. 30, n.1/2 , p.147 - 154, 1996.
- [18] GRANDALL, P. G.; DAVIS, K. C.; CARTER, R. D.; SADLES, G. D. Viscosity Reduction by Homogenization of Orange Juice Concentrate in a pilot Plant Taste Evaporator. **Journal of Food Science**, v.53, n.5, p.1477 - 1481 , 1988.

- [19] GUARIGUATA, C. I. Características Reológicas de Productos de Frutas Tropicales. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v.31, n.4, p.666-678, 1981.
- [20] GUNJAL, B. B.; WAGHMARE, N. J. Flow Characteristics of Pulp, Juice and Nectar of 'Baneshan' and 'Neelum' Mangoes. **Journal of Food Science and Technology**, v.24, n.1, p.20-23, 1987.
- [21] HAND, D. B.; MOYER, J. C.; RANSFORD, J. R.; HENING, J. C.; WHITTENBERGER, R. T. Effect of Processing Conditions on the Viscosity of Tomato Juice. **Food Technology**, v.9, n.5, p.228-235, 1955.
- [22] HARPER, J. C. Viscometric Behavior in Relation to Evaporation of Fruit Purees. **Food Technology**, v.14, n.11, p.557-561, 1960.
- [23] HOLDSWORTH, S. D. Applicability of rheological models to the interpretation of low and processing behaviour of fluid products. **Journal of Texture Studies**, v.2, n.4, p.393-418, 1971.
- [24] IBARZ, A.; VICENTE, M.; GRAEL, J. Rheological Behaviour of Apple Juice and Pear Juice and their Concentrates. **Journal of Food Engineering**, v.6, n.4, p.257-267, 1987.
- [25] _____; GONZALEZ, C.; ESPLUGAS, S.; VICENTE, M. Rheology of Clarified Fruit Juices. I: Peach Juices. **Journal of Food Engineering**, v.15, n.1, p.49-61, 1992a.

- [26] _____; PAGÁN, J.; MIGUELSANZ, R. Rheology of Clarified Fruit Juices. II: Blackcurrant Juices. **Journal of Food Engineering**, v.15, n.1, p.63-73, 1992b.
- [27] _____. Rheology of Clarified Juices. III: Orange Juices. **Journal of Food Engineering**, v.21, n.4, p.485-494, 1994.
- [28] _____; GONÇALVES, C.; EXPLUGAS, S. Rheology of Clarified Passion Fruit Juices. **Fruit Processing**, v.6, n.8, p.330-333, 1996.
- [29] JIMÉNEZ, L.; FERRER, J. L.; PANIEGO, L. M. Rheology, Composition and Sensory Properties of Pulped Tomatoes. **Journal of Food Engineering**, v.9, n.2, p.119-128, 1989.
- [30] KORGÓ, A. Development of Consumption and Raw Materials: Till Today and in the Future. **Fruit Processing**, v.6, n.12, p.478-481, 1996.
- [31] LARRAURI, J. A.; BORROTO, B.; HOMBRE, R.; CRUZ, H. Elaboracion de Mermelada Concentrada a partir de cascaras de Mangos. **Alimentaria**, n.277, p.53-56, 1996.
- [32] LOMBRAÑA, J. I.; DÍAS, J. M.; Rheological and Chemical Changes in Stored Carrot Juice. **Canadian Institute of Food Science and Technology**, v.18, n.3, p.213-219, 1985.

- [33] LOZANO, J. E.; IBARZ, A. Thixotropic Behaviour of Concentrated Fruit Pulps. **Lebensmittel-wissenschaft & Technologie**, v.27, n.1, p.16-18, 1994.
- [34] MANOHAR, B.; RAMAKRISHNA, P.; RAMTEKE, R. S. Effect of Pectin Content on Flow Properties of Mango Pulp Concentrates. **Journal of Texture Studies**, v.21, n.2, p.179-190, 1990.
- [35] MEDINA, C. J. Abacaxi - da cultura ao processamento e comercialização. In: **Frutas tropicais**. Campinas: Instituto de Tecnologia de Alimentos, 1978.
- [36] MEDINA, M. G. Pectina, pectinesterasa y ácido ascórbico en pulpas de frutas tropicales. **Archivos Latinoamericanos de Nutricion**, v.18, n.4, p.401-412, 1968.
- [37] MIZRAHI, S.; BERK, Z. Flow Behaviour of Concentrated Orange Juice: Mathematical Treatment. **Journal of Texture Studies**, v.3, n.1, p.69-79, 1971.
- [38] NAGY, S.; CHEN, C. S.; SHAW, P. E. **Fruit Juice Processing Technology**. Inc. Albuquerque, Flórida. 1993. 713p.
- [39] OLLÉ, D.; LOZANO, Y. F.; BRILLOUET, J. M. Isolation and Characterization of Soluble Polysaccharides and Insoluble Cell Wall Material of the Pulp from four Mango (*Mangifera indica* L.)

-
- Cultivars. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.44, n.9, p.2658-2662, 1996.
- [40] OOGHE, W.; DRESSELAERTS, D. Quality Parameters for Pineapple Juice. **Fruit Processing**, v.5, n.2, p.11-17, 1995.
- [41] QUEIROZ, A. J. M.; VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A. Influência dos sólidos suspensos na reologia do suco de abacaxi. In: Congresso Brasileiro de Sistemas Particulados, 14., 1996, Uberlândia.
- [42] _____. **Análise do Comportamento Reológico dos Sucos da Abacaxi e Manga**. Campinas, 1998. 109p. Tese de Doutorado - UNICAMP.
- [43] QIU, C. G.; RAO, M. A. Role of Pulp Content and Particle Size in Yield Stress of Apple Sauce. **Journal of Food Science**, v.53, n.4, p.1165-1170, 1988.
- [44] RADOMILLE, L. R.; MARTIN, Z. J.; SOLER, M. P.; MORI, E. E. M; YOTSUYANAGI, K. Avaliação de novas variedades de manga para industrialização.II - Processamento da manga em calda. **Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.4, p.293-319, 1983.
- [45] RANGANNA, S. **Manual of Analysis of Fruit and Vegetable Products**. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Limited, 1977. 634p.

- [46] RAO, M. A; PALOMINO, L. N. O. Flow Properties of Tropical Fruit Purees. **Journal of Food Science**, v.39, n.1, p.160-161, 1974.
- [47] _____. Rheology of Liquid Foods - A Review. **Journal of Texture Studies**, v.8, n.2, p.135-168, 1977.
- [48] _____; COOLEY, H. J. Flow Properties of tomato concentrates. **Journal of Texture Studies**, v.12, n.4, p.521-538, 1982.
- [49] RAO, K. L.; EIPESON, W. E.; RAO, P. N. S.; PATWARDHAN, M. V.; RAMANATHAN, P. K.; Rheological Properties of Mango Pulp and Concentrates. **Journal of Food Science and Technology**, v.22, n.1, p.30-33, 1985.
- [50] _____. Rheological properties of fluid foods. **Food Science and Technology Series**, New York, n.19, p.1-47, 1986.
- [51] _____; COOLEY, H. J.; NOGUEIRA, J. N.; McLELLAN, M. R. Rheology of Apple Sauce: Effect of Apple Cultivar, Firmness, and Processing Parameters. **Journal of Food Science**, v.51, n.1, p.176-179, 1986.
- [52] ROY, A. K.; JOSHI, S.; NATH, N. Effect of Homogenization on Sensory Quality and Rheological Characteristics of Pulp and Beverages from Ripe 'Dushehari' Mangoes. **Journal of food Science and Technology**, v.34, n.3, p.212-217, 1997.

- [53] SANTANA, L. R. R.; MARTIN, Z. J.; SOLER, M. P.; CAMPOS, S. D. S.; VIEIRA, M. C. Avaliação de novas variedades de manga para industrialização.III - Processamento do néctar de manga. **Boletim do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, v.20, n.4, p.321-354, 1983.
- [54] SARAVACOS, G. D. Tube Viscometry of Fruit Purees and Juices. **Food Technology**, v.22, n.12, p.89-92, 1968.
- [55] SCHRAMM, G. **Introduction to Practical Viscometry**. Germany: Gebrueder HAAKE, 1981. 116p.
- [56] SIQUEIRA, D. L.; BOTREL, N.; CARVALHO, V. D.; RAMOS, V. H. V.; COUTO, F. A. D. Características físicas e químicas de vinte cultivares de mangueira (mangifera indica L.). **Revista Brasileira de Fruticultura**, Uberaba, v.10, n.2, p.49-54, 1988.
- [57] SKELLAND, A. H. P. **Non-newtonian flow and heat transfer**. New York, 1967. 469p.
- [58] SMITH, R. E.; PARK, A. Effect of Gap Errors in Rotacional Concentric Cylinder Viscometers. **Journal of Rheology**, v.28, n.2, p.155-160, 1984.
- [59] STACK, A. Quality Juice Processing. **Fruit Processing**, v.5, n.2, p.6-10, 1995.

- [60] TANGLERTPAIBUL, T.; RAO, M. A. Rheological Properties of Tomato Concentrates as Affected by Particles Size and Methods of Concentration. **Journal of Food Science**, v.52, n.1, p.141-145, 1987.
- [61] TRAVAGLINI, D. A.; CARVALHO, P. R. N.; RUIZ, F. S.; SHIROSE, I. Processamento de Flocos de Manga em Secador do tipo Monocilíndrico Rotativo. **Coletânea do Instituto de Tecnologia de Alimentos**, v.24, n.2, p.193-202, 1994.
- [62] TRINDADE, C. S. F.; DA SILVA, F. C.; COURI, S. Caracterização Reológica do iogurte de soja homogeneizado e não homogeneizado. In: Congresso Brasileiro de Ciência e tecnologia de Alimentos, 15., 1996, Poços de Caldas.
- [63] VAN WAZER, R. J.; LYONS, J. W.; KIM, K. I. & COLWELL, R. E. **Viscosity and flow measurements; a laboratory handbook of rheology**. New York, 1963. 406p.
- [64] VARSHNEY, N. N.; KUMBHAR, B. K. Effect of Concentration and Temperature on Rheological Properties of Pineapple and Orange Juices. **Journal of Food Science and Technology**, v.15, n.2, p.53-55, 1978.
- [65] VAZQUEZ-SALINAS, C. LAKSHMINARAYANA, S. Compositional changes in mango fruit during ripening at different storage

temperatures. **Journal of Food Science**, v.50, n.6, p.1646-1648, 1985.

- [66] VIDAL, J. R. M. B. **Estudo Reológico do suco de manga - efeito dos sólidos insolúveis**. Campinas, 1997. 81p. Tese de Mestrado - UNICAMP.
- [67] VIEIRA, J. A. G.; FILHO, J. F. L. **Comportamento reológico do suco de acerola**. In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 15., 1996, Poços de Caldas.
- [68] XU, S. Y.; SHOEMAKER, C. F.; LUH, B. S.; **Effect of Break Temperature on Rheological Properties and Microstructure of Tomato Juices and Pastes**. **Journal of Food Science**, v.51, n.2, p.399-402, 1986.

APÊNDICE

Tabela A.1 - Parâmetros do modelo de Casson para o abacaxi integral

	ZA30	PQ30 gap= 0,5 mm	PQ45 gap=0,5mm	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
Koc	0,09601	1,86143	2,78062	0,79039	0,51778
Kc	0,09292	0,08244	0,04181	0,09518	0,08125
ErroKoc	0,07556	0,23995	0,09997	0,11435	0,08059
ErroKc	0,00617	0,01407	0,00478	0,00948	0,00545
X²	0,01562	0,1581	0,02713	0,03577	0,01783
SSR	0,28111	2,84584	0,48829	0,64387	0,32099
R²	0,92642	0,65598	0,80923	0,84838	0,92497

Tabela A.2 - Parâmetros do modelo de Casson para o abacaxi centrifugado

	ZA30	PQ30 gap= 0,5 mm	PQ45 gap=0,5mm	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
Koc	5,32E-15	0,54274	1,10633	1,62658	0,28848
Kc	1	0,03328	0,02593	0,0138	0,03559
ErroKoc	0	0,06139	0,00991	0,03692	0,01698
ErroKc	4,70E-17	0,0036	0,00047	0,00306	0,00125
X²	6,63E-30	0,01032	0,00027	0,00374	0,00079
SSR	1,26E-28	0,18567	0,00484	0,06731	0,01426
R²	1	0,82597	0,99402	0,53018	0,97823

Tabela A.3 - Parâmetros do modelo de Casson para a manga integral

	ZA30	PQ30 gap= 0,5 mm	PQ45 gap=0,5mm	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
Koc	3,28488	2,8748	2,91552	3,1316	2,99552
Kc	0,29437	0,2169	0,1951	0,26211	0,25045
ErroKoc	0,22151	0,22552	0,24376	0,21828	0,22783
ErroKc	0,01809	0,01323	0,01167	0,0181	0,01542
X²	0,13396	0,13985	0,16346	0,13042	0,14262
SSR	2,41123	2,51737	2,94225	2,34762	2,56713
R²	0,93633	0,93727	0,93954	0,92093	0,93613

Tabela A.4 - Parâmetros do modelo de Casson para a manga centrifugada

	ZA30	PQ30 gap= 0,5 mm	PQ45 gap=0,5mm	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
Koc	0,98289	1,05611	1,28998	1,15922	0,92113
Kc	0,2232	0,18464	0,17903	0,21133	0,21371
ErroKoc	0,08573	0,11921	0,14057	0,15936	0,11142
ErroKc	0,007	0,00699	0,00673	0,01322	0,00754
X²	0,02015	0,03876	0,05435	0,0697	0,034
SSR	0,36278	0,69776	0,97825	1,25462	0,61198
R²	0,98259	0,97484	0,97522	0,93422	0,97808

Tabela A.5 - Parâmetros do modelo de Casson para a manga despectinizada

	ZA30	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
Koc	2,63137	2,98281	3,09869
Kc	0,11503	0,15116	0,11079
ErroKoc	0,05891	0,18704	0,11882
ErroKc	0,00481	0,01551	0,00804
X²	0,00946	0,09528	0,03842
SSR	0,17019	1,71498	0,69156
R²	0,96946	0,84065	0,91347

Tabela A.6 - Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waelle para o abacaxi integral

	ZA30	PQ30 gap= 0,5 mm	PQ45 gap=0,5mm	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
K	0,0105	2,23667	5,62618	0,42101	0,06879
n	0,99349	0,2826	0,14643	0,45242	0,70285
ErroK	0,00623	0,95812	0,70482	0,1591	0,0322
Erron	0,10827	0,07363	0,02059	0,07222	0,08124
X²	0,08708	5,10561	1,19728	0,44765	0,23975
SSR	1,56742	91,90093	21,55098	8,05764	4,31548
R²	0,91333	0,64038	0,81718	0,81932	0,89409

Tabela A.7 - Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waelle para o abacaxi centrifugado

	ZA30	PQ30 gap= 0,5 mm	PQ45 gap=0,5mm	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
K	0,00075	0,10894	0,65041	2,68229	0,01557
N	1,16297	0,43467	0,24002	0,03791	0,69924
ErroK	0,00012	0,04793	0,1083	0,15641	0,00365
Erron	0,02986	0,07431	0,0269	0,01201	0,04197
X²	0,00017	0,0502	0,05094	0,06258	0,00249
SSR	0,00306	0,90355	0,91695	1,12648	0,04484
R²	0,99511	0,78584	0,8813	0,38834	0,96649

Tabela A.8 - Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waelle para a manga integral

	ZA30	PQ30 gap= 0,5 mm	PQ45 gap=0,5mm	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
K	7,21876	4,25574	3,62671	6,60582	5,25415
n	0,38419	0,41629	0,43667	0,36811	0,40601
ErroK	0,24611	0,28615	0,09684	0,79798	0,17699
Erron	0,0653	0,01138	0,00422	0,02331	0,006
X²	0,63275	1,49332	0,262	5,79113	0,4543
SSR	11,38957	26,87981	4,71594	104,24027	8,17743
R²	0,99758	0,99389	0,99922	0,96726	0,99821

Tabela A.9 - Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waelle para a manga centrifugada

	ZA30	PQ30 gap= 0,5 mm	PQ45 gap=0,5mm	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
K	0,6542	0,5375	0,64989	0,4823	0,50636
N	0,61652	0,64449	0,60901	0,67894	0,63349
ErroK	0,01774	0,03897	0,02749	0,17085	0,09514
Erron	0,00508	0,01263	0,00658	0,06634	0,03119
X²	0,02288	0,2002	0,13154	3,57033	1,40148
SSR	0,41187	3,60354	2,36766	64,266	25,22662
R²	0,99944	0,99687	0,99904	0,92095	0,98034

Tabela A.10 - Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waelle para a manga despectinizada

	ZA30	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
K	4,6935	7,25739	6,64233
n	0,25503	0,24005	0,23211
ErroK	0,59474	0,56523	0,73442
Erron	0,02469	0,0153	0,02014
X²	1,49205	1,23597	2,04825
SSR	26,85692	22,24746	36,86855
R²	0,91254	0,9662	0,9335

Tabela A.11 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para o abacaxi integral

	ZA30	PQ30 gap= 0,5 mm	PQ45 gap=0,5mm	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
τ_{0H}	0,07149	1,49839	5,07538	0,3834	0,42544
K_H	0,00759	1,3087	1,50065	0,27815	0,02689
n_H	1,04717	0,35048	0,28621	0,51408	0,84529
Erro τ_{0H}	0,219	3,14743	2,23154	0,73118	0,40077
ErroK_H	0,00916	1,74198	1,39946	0,27005	0,03091
Erron_H	0,20379	0,17925	0,11111	0,15421	0,17992
X²	0,09165	5,35829	1,15275	0,46688	0,24002
SSR	1,55807	91,09093	19,59671	7,93697	4,08027
R²	0,91385	0,64355	0,83376	0,82202	0,89987

Tabela A.12 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para o abacaxi centrifugado

	ZA30	PQ30 gap= 0,5 mm	PQ45 gap=0,5mm	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
τ_{0H}	-0,00944	0,2789	1,27863	2,62403	0,15986
K_H	0,00096	0,03156	0,03131	0,05273	0,00188
n_H	1,12176	0,60586	0,62982	0,48788	1,03405
Erro τ_{0H}	0,00898	0,21823	0,05499	0,24973	0,01678
ErroK_H	0,00027	0,04203	0,0078	0,10133	0,00062
Erron_H	0,04779	0,19389	0,03435	0,30316	0,05397
X²	0,00017	0,04959	0,00331	0,05226	0,00053
SSR	0,00286	0,8431	0,05629	0,88836	0,00903
R²	0,99543	0,80017	0,99271	0,51764	0,99326

Tabela A.13 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para a manga integral

	ZA30	PQ30 gap= 0,5 mm	PQ45 gap=0,5mm	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
τ_{0H}	2,82058	2,02116	1,25611	3,29846	2,21282
K_H	5,79713	3,51047	3,24218	4,8615	4,3292
n_H	0,41562	0,4417	0,45081	0,41208	0,43248
Erro τ_{0H}	0,82159	1,35223	0,5586	3,04363	0,61871
Erro K_H	0,42168	0,52531	0,18308	1,59576	0,271
Erro n_H	0,01107	0,021	0,00747	0,05017	0,00921
X^2	0,41236	1,40701	0,21536	5,7851	0,28247
SSR	7,01006	23,9192	3,66119	98,34665	4,80799
R^2	0,99851	0,99456	0,9994	0,96911	0,99895

Tabela A.14 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para a manga centrifugada

	ZA30	PQ30 gap= 0,5 mm	PQ45 gap=0,5mm	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
τ_{0H}	0,25584	0,05794	-0,15361	2,45804	-0,21599
K_H	0,59967	0,49794	0,67091	0,15376	0,57317
n_H	0,62998	0,63583	0,60481	0,86445	0,63507
Erro τ_{0H}	0,13501	1,1779	0,35743	1,48117	0,43554
Erro K_H	0,03203	0,19843	0,05731	0,1393	0,08462
Erro n_H	0,00866	0,05826	0,01174	0,15193	0,02256
X^2	0,01998	1,48368	0,13777	3,35796	0,20889
SSR	0,33973	25,22248	2,34204	57,08534	3,55112
R^2	0,99954	0,98035	0,99905	0,92979	0,99692

Tabela A.15 - Parâmetros do modelo de Herschel-Bulkley para a manga despectinizada

	ZA30	PQ30 gap=1,0 mm	PQ45 gap=1,0mm
τ_{0H}	6,81196	-0,29558	6,72879
K_H	0,55056	7,50032	1,96564
n_H	0,57113	0,23595	0,3917
Erro τ_{0H}	0,67773	2,85877	1,6086
Erro K_H	0,20072	2,41918	0,81429
Erro n_H	0,05835	0,04155	0,05895
X^2	0,43294	1,30787	1,44235
SSR	7,36005	22,23385	24,52
R^2	0,97603	0,96622	0,95578

Tabela A16: Viscosidade Aparente do abacaxi integral (PQ30, gap=0,5 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
581,025	3,590	0,0062
551,225	3,935	0,0071
520,325	4,202	0,0081
489,500	3,627	0,0074
459,300	3,238	0,0070
428,800	3,060	0,0071
397,925	3,094	0,0078
367,125	3,749	0,0102
336,700	3,212	0,0095
306,275	3,390	0,0111
275,475	3,507	0,0127
244,525	3,353	0,0137
214,075	2,923	0,0137
183,900	3,611	0,0196
152,975	2,796	0,0183
121,850	2,443	0,0200
91,830	2,963	0,0323
61,278	2,576	0,0420
30,910	2,985	0,0966
0,114	1,089	9,5568

Tabela A17: Viscosidade Aparente do abacaxi centrifugado (PQ30, gap=0,5 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
581,000	1,343	0,0023
551,450	1,425	0,0026
520,500	1,350	0,0026
489,500	1,315	0,0027
459,350	1,137	0,0025
428,850	1,293	0,0030
398,000	1,120	0,0028
367,050	1,095	0,0030
336,600	1,069	0,0032
306,200	1,023	0,0033
275,450	0,937	0,0034
244,650	1,103	0,0045
214,250	1,112	0,0052
183,800	1,112	0,0061
152,900	1,162	0,0076
122,050	1,014	0,0083
91,690	0,841	0,0092
61,250	0,830	0,0136
30,680	0,590	0,0192
0,190	0,527	2,7751

Tabela A18: Viscosidade Aparente da manga integral (PQ30, gap=0,5 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
581,383	7,895	0,0136
551,167	7,720	0,0140
520,217	7,586	0,0146
489,350	7,572	0,0155
459,617	7,278	0,0158
428,650	7,292	0,0170
397,833	6,940	0,0174
366,933	7,051	0,0192
337,033	6,844	0,0203
306,217	6,823	0,0223
275,283	6,636	0,0241
244,433	6,444	0,0264
214,533	6,272	0,0292
183,667	6,067	0,0330
152,850	6,021	0,0394
122,017	5,646	0,0463
92,197	5,239	0,0568
61,253	4,840	0,0790
30,380	4,289	0,1412
0,106	1,736	16,3774

Tabela A19: Viscosidade Aparente da manga centrifugada (PQ30, gap=0,5 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
581,317	5,293	0,0091
551,083	5,304	0,0096
520,133	4,967	0,0096
489,417	5,035	0,0103
459,500	4,926	0,0107
428,533	4,927	0,0115
397,683	4,524	0,0114
367,067	4,741	0,0129
336,950	4,613	0,0137
306,150	4,671	0,0153
275,367	4,270	0,0155
244,617	4,032	0,0165
214,517	4,011	0,0187
183,650	3,681	0,0200
152,917	3,432	0,0224
121,967	2,957	0,0242
91,960	2,768	0,0301
61,268	2,566	0,0419
30,353	2,139	0,0705
0,296	0,779	2,6312

Tabela A20: Viscosidade Aparente da manga despectinizada (PQ30, gap=0,5 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{app} (Pa.s)
581,350	33,348	0,0574
551,117	33,775	0,0613
520,217	37,465	0,0720
489,333	34,827	0,0712
459,583	33,190	0,0722
428,567	33,188	0,0774
397,733	30,378	0,0764
366,933	35,267	0,0961
337,050	38,241	0,1135
306,083	40,068	0,1309
275,333	46,810	0,1700
244,400	49,447	0,2023
214,550	51,547	0,2403
183,717	58,488	0,3184
152,917	60,777	0,3975
121,867	66,412	0,5450
92,117	112,262	1,2187
0,239	48,595	203,3264

Tabela A21: Viscosidade Aparente do abacaxi integral (PQ45, gap=0,5 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{app} (Pa.s)
873,150	4,093	0,0047
827,600	3,931	0,0048
781,300	3,746	0,0048
734,750	4,164	0,0057
689,950	3,852	0,0056
643,750	3,803	0,0059
597,450	3,519	0,0059
551,100	3,594	0,0065
506,250	3,729	0,0074
459,650	3,764	0,0082
413,600	3,632	0,0088
367,100	3,744	0,0102
322,000	3,638	0,0113
275,650	3,298	0,0120
229,500	3,619	0,0158
183,000	3,380	0,0185
138,600	3,403	0,0246
91,490	3,273	0,0358
45,180	3,180	0,0704
0,730	2,491	3,4123

Tabela A22: Viscosidade Aparente do abacaxi centrifugado (PQ45, gap=0,5 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
872,550	1,881	0,0022
828,100	1,875	0,0023
781,550	1,839	0,0024
735,100	1,810	0,0025
689,750	1,788	0,0026
643,950	1,766	0,0027
597,550	1,726	0,0029
551,300	1,691	0,0031
505,600	1,693	0,0033
460,200	1,677	0,0036
413,750	1,612	0,0039
367,300	1,589	0,0043
321,700	1,561	0,0049
276,050	1,521	0,0055
229,900	1,497	0,0065
183,200	1,461	0,0080
137,600	1,434	0,0104
91,990	1,354	0,0147
46,120	1,318	0,0286
0,250	1,101	4,4046

Tabela A23: Viscosidade Aparente da manga integral (PQ45, gap=0,5 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
873,183	8,324	0,0095
827,917	8,296	0,0100
781,217	8,137	0,0104
734,700	8,047	0,0110
690,233	7,969	0,0115
643,767	7,851	0,0122
597,317	7,668	0,0128
551,283	7,575	0,0137
506,100	7,368	0,0146
459,667	7,253	0,0158
413,467	7,105	0,0172
367,317	6,966	0,0190
322,233	6,670	0,0207
275,617	6,455	0,0234
229,317	6,220	0,0271
183,250	5,902	0,0322
138,283	5,578	0,0403
92,032	5,161	0,0561
45,743	4,429	0,0968
0,413	1,774	4,2954

Tabela A24: Viscosidade Aparente da manga centrifugada (PQ45, gap=0,5 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
873,150	6,288	0,0072
827,817	6,245	0,0075
781,283	6,160	0,0079
734,950	6,005	0,0082
690,183	5,918	0,0086
643,767	5,771	0,0090
597,450	5,598	0,0094
551,117	5,512	0,0100
506,167	5,358	0,0106
459,867	5,242	0,0114
413,383	5,057	0,0122
367,083	4,879	0,0133
322,333	4,725	0,0147
276,033	4,518	0,0164
229,367	4,267	0,0186
183,183	3,921	0,0214
138,417	3,554	0,0257
91,678	3,122	0,0341
45,827	2,480	0,0541
0,157	0,667	4,2470

Tabela A25: Viscosidade Aparente da manga despectinizada (PQ45, gap=0,5 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
873,183	5,962	0,0068
827,767	5,943	0,0072
781,267	6,132	0,0078
734,917	5,985	0,0081
690,118	5,937	0,0086
643,750	6,096	0,0095
597,550	6,202	0,0104
551,150	6,255	0,0113
506,100	6,373	0,0126
459,933	6,393	0,0139
413,383	6,561	0,0159
367,133	6,580	0,0179
322,317	6,491	0,0201
275,483	6,871	0,0249
229,717	7,286	0,0317
182,250	7,869	0,0432
137,983	8,267	0,0599
91,652	9,775	0,1067
45,517	10,711	0,2353
0,380	6,464	17,0105

Tabela A26: Viscosidade Aparente do abacaxi integral (PQ30, gap=1,0 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
290,475	2,501	0,0086
275,650	2,269	0,0082
260,150	2,402	0,0092
244,700	2,135	0,0087
229,600	2,167	0,0094
214,400	2,170	0,0101
198,950	1,853	0,0093
183,525	2,214	0,0121
168,300	1,873	0,0111
153,150	2,132	0,0139
137,725	1,726	0,0125
122,275	1,910	0,0156
107,050	2,033	0,0190
91,928	2,138	0,0233
76,510	1,555	0,0203
61,050	1,456	0,0238
45,833	1,523	0,0332
30,615	1,484	0,0485
15,590	0,845	0,0542
0,087	0,747	8,5809

Tabela A27: Viscosidade Aparente do abacaxi centrifugado (PQ30, gap=1,0 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
290,700	1,882	0,0065
275,650	1,752	0,0064
260,175	1,946	0,0075
244,700	1,730	0,0071
229,700	1,882	0,0082
214,375	1,884	0,0088
198,925	1,823	0,0092
183,525	1,757	0,0096
168,450	1,755	0,0104
153,100	1,905	0,0124
137,700	1,765	0,0128
122,250	1,834	0,0150
107,150	1,829	0,0171
91,928	1,708	0,0186
76,435	1,722	0,0225
60,955	1,736	0,0285
45,915	1,703	0,0371
30,638	1,719	0,0561
15,308	1,652	0,1079
0,072	1,638	22,7467

Tabela A28: Viscosidade Aparente da manga integral (PQ30, gap=1,0 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
290,717	7,376	0,0254
275,600	7,433	0,0270
260,133	6,866	0,0264
244,700	7,308	0,0299
229,800	7,071	0,0308
214,350	7,023	0,0328
198,950	6,594	0,0331
183,517	6,698	0,0365
168,533	6,623	0,0393
153,117	6,163	0,0402
137,667	6,101	0,0443
122,217	6,476	0,0530
107,283	5,803	0,0541
91,855	5,810	0,0633
76,377	5,833	0,0764
61,000	5,555	0,0911
46,028	5,282	0,1148
30,637	4,815	0,1572
15,220	4,382	0,2879
0,110	2,146	19,5091

Tabela A29: Viscosidade Aparente da manga centrifugada (PQ30, gap=1,0 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
290,650	4,237	0,0146
275,650	4,513	0,0164
260,200	5,026	0,0193
244,700	4,507	0,0184
229,800	4,217	0,0183
214,350	4,064	0,0190
198,900	2,745	0,0138
183,500	3,724	0,0203
168,550	3,769	0,0224
153,100	3,005	0,0196
137,600	3,152	0,0229
122,200	3,235	0,0265
107,300	2,995	0,0279
91,830	2,745	0,0299
76,425	3,496	0,0457
61,085	2,380	0,0390
46,035	2,084	0,0453
30,580	1,861	0,0609
15,190	1,693	0,1115
0,067	0,966	14,5212

Tabela A30: Viscosidade Aparente da manga despectinizada (PQ30, gap=1,0 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
290,683	5,395	0,0186
275,600	5,220	0,0189
260,117	5,247	0,0202
244,683	5,420	0,0222
229,750	5,104	0,0222
214,317	5,292	0,0247
198,917	5,116	0,0257
183,467	5,031	0,0274
168,550	4,866	0,0289
153,150	4,821	0,0315
137,667	4,746	0,0345
122,100	4,606	0,0377
107,317	4,626	0,0431
91,840	4,785	0,0521
76,422	4,504	0,0589
60,968	4,348	0,0713
46,043	4,297	0,0933
30,578	4,205	0,1375
15,385	3,869	0,2515
0,155	2,039	13,1556

Tabela A31: Viscosidade Aparente do abacaxi integral (PQ45, gap=1,0 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
436,250	2,309	0,0053
413,875	2,162	0,0052
390,600	2,090	0,0054
367,375	1,778	0,0048
345,050	2,129	0,0062
321,825	2,047	0,0064
298,625	2,088	0,0070
275,500	2,102	0,0076
253,125	1,864	0,0074
229,900	1,550	0,0067
206,700	1,601	0,0077
183,550	1,607	0,0088
161,175	1,434	0,0089
137,875	1,487	0,0108
114,725	1,240	0,0108
91,523	1,235	0,0135
69,133	1,356	0,0196
46,008	1,047	0,0228
23,255	0,996	0,0428
0,080	0,536	6,6986

Tabela A32: Viscosidade Aparente do abacaxi centrifugado (PQ45, gap=1,0 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
367,900	0,995	0,0027
349,175	0,980	0,0028
329,550	0,986	0,0030
309,875	0,930	0,0030
290,725	0,893	0,0031
271,500	0,876	0,0032
251,950	0,847	0,0034
232,425	0,822	0,0035
213,150	0,817	0,0038
193,950	0,760	0,0039
174,400	0,747	0,0043
154,850	0,703	0,0045
135,625	0,678	0,0050
116,373	0,645	0,0055
96,823	0,592	0,0061
77,230	0,574	0,0074
58,005	0,549	0,0095
38,913	0,528	0,0136
19,445	0,463	0,0238
0,071	0,356	5,0144

Tabela A33: Viscosidade Aparente da manga integral (PQ45, gap=1,0 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
436,283	7,914	0,0181
413,850	7,819	0,0189
390,617	7,680	0,0197
367,517	7,639	0,0208
345,067	7,522	0,0218
321,900	7,392	0,0230
298,700	7,297	0,0244
275,550	7,178	0,0260
253,100	7,048	0,0278
229,883	6,900	0,0300
206,767	6,704	0,0324
183,550	6,561	0,0357
161,100	6,350	0,0394
137,967	6,182	0,0448
114,783	6,029	0,0525
91,512	5,715	0,0625
69,050	5,406	0,0783
45,947	4,988	0,1086
22,983	4,519	0,1966
0,089	1,805	20,2809

Tabela A34: Viscosidade Aparente da manga centrifugada (PQ45, gap=1,0 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
436,550	5,217	0,0120
413,867	5,081	0,0123
390,650	5,006	0,0128
367,433	4,875	0,0133
345,150	4,867	0,0141
321,850	4,718	0,0147
298,683	4,500	0,0151
275,517	4,449	0,0161
253,117	4,482	0,0177
229,933	4,300	0,0187
206,683	4,075	0,0197
183,550	3,965	0,0216
161,117	3,760	0,0233
137,900	3,559	0,0258
114,683	3,372	0,0294
91,593	3,209	0,0350
69,240	2,846	0,0411
45,910	2,446	0,0533
22,975	1,890	0,0823
0,133	0,478	3,5940

Tabela A35: Viscosidade Aparente da manga despectinizada (PQ45, gap=1,0 mm)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
436,533	5,374	0,0123
413,850	5,314	0,0128
390,633	5,129	0,0131
367,450	5,214	0,0142
345,050	5,149	0,0149
321,850	5,064	0,0157
298,617	5,048	0,0169
275,500	4,973	0,0181
253,117	4,884	0,0193
229,933	4,813	0,0209
206,700	4,687	0,0227
183,517	4,608	0,0251
161,083	4,426	0,0275
137,917	4,391	0,0318
119,783	4,342	0,0362
91,523	4,153	0,0454
69,142	4,093	0,0592
45,957	4,052	0,0882
22,905	4,144	0,1809
0,191	2,565	13,4293

Tabela A36: Viscosidade Aparente do abacaxi integral (ZA30)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
299,700	1,837	0,0061
284,050	1,602	0,0056
268,125	1,658	0,0062
252,200	1,454	0,0058
236,900	1,681	0,0071
220,975	1,477	0,0067
205,025	1,330	0,0065
189,100	1,617	0,0086
173,750	1,275	0,0073
157,875	1,124	0,0071
141,875	1,068	0,0075
126,025	1,194	0,0095
110,575	1,064	0,0096
94,695	1,093	0,0115
78,715	0,886	0,0113
62,900	0,678	0,0108
47,568	0,842	0,0177
31,463	0,434	0,0138
15,920	0,444	0,0279
0,098	0,300	3,0642

Tabela A37: Viscosidade Aparente do abacaxi centrifugado (ZA30)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
299,500	0,747	0,0025
284,200	0,720	0,0025
268,200	0,703	0,0026
252,400	0,685	0,0027
236,700	0,647	0,0027
221,050	0,645	0,0029
205,150	0,605	0,0030
189,250	0,593	0,0031
173,550	0,562	0,0032
157,900	0,509	0,0032
141,950	0,497	0,0035
126,050	0,474	0,0038
110,350	0,399	0,0036
94,795	0,380	0,0040
78,810	0,328	0,0042
62,925	0,280	0,0044
47,265	0,232	0,0049
31,525	0,179	0,0057
15,830	0,100	0,0063
0,081	0,100	1,2346

Tabela A38: Viscosidade Aparente da manga integral (ZA30)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
299,733	8,087	0,0270
284,150	7,986	0,0281
268,200	7,890	0,0294
252,283	7,793	0,0309
236,917	7,691	0,0325
220,933	7,583	0,0343
205,067	7,464	0,0364
189,183	7,338	0,0388
173,783	7,211	0,0415
157,817	7,092	0,0449
141,883	6,930	0,0488
125,983	6,760	0,0537
110,600	6,580	0,0595
94,703	6,378	0,0673
78,822	6,156	0,0781
62,847	5,889	0,0937
47,548	5,614	0,1181
31,597	5,289	0,1674
15,777	4,798	0,3041
0,137	2,151	15,7017

Tabela A39: Viscosidade Aparente da manga centrifugada (ZA30)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
299,683	4,685	0,0156
284,117	4,609	0,0162
268,117	4,513	0,0168
252,283	4,459	0,0177
236,900	4,379	0,0185
220,967	4,240	0,0192
205,067	4,174	0,0204
189,133	4,084	0,0216
173,717	3,971	0,0229
157,833	3,847	0,0244
141,933	3,714	0,0262
126,033	3,616	0,0287
110,633	3,443	0,0311
94,662	3,290	0,0348
78,838	3,088	0,0392
62,853	2,884	0,0459
47,475	2,672	0,0563
31,558	2,296	0,0728
15,667	1,831	0,1170
0,086	0,630	7,3256

Tabela A40: Viscosidade Aparente da manga despectinizada (ZA30)

$\dot{\gamma}$ (s ⁻¹)	τ (Pa)	η_{ap} (Pa.s)
299,683	4,621	0,0154
284,067	4,600	0,0162
268,167	4,544	0,0169
252,333	4,447	0,0176
236,883	4,391	0,0185
220,950	4,323	0,0196
205,050	4,284	0,0209
189,183	4,226	0,0223
173,733	4,138	0,0238
157,833	4,062	0,0257
141,900	3,950	0,0278
126,083	3,921	0,0311
110,600	3,793	0,0343
94,663	3,693	0,0390
78,732	3,603	0,0458
62,968	3,509	0,0557
47,533	3,478	0,0732
31,517	3,399	0,1078
15,933	3,379	0,2121
0,148	2,442	16,5000