

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

FERNANDA FABIANE SCREMIN

**INFLUÊNCIA DO ESTADO DE MATURAÇÃO E DAS ETAPAS DE
PROCESSAMENTO NA REOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO
FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE GOIABA (*PSIDIUM GUAJAVA*
L.) PASTEURIZADA**

FLORIANÓPOLIS – SC

MARÇO DE 2007

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CENTRO TECNOLÓGICO

CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE ALIMENTOS

FERNANDA FABIANE SCREMIN

***INFLUÊNCIA DO ESTADO DE MATURAÇÃO E DAS ETAPAS DE PROCESSAMENTO
NA REOLOGIA E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA POLPA DE GOIABA
(*PSIDIUM GUAJAVA L.*) PASTEURIZADA***

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia de Alimentos.

Área de concentração: Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos

Orientador: Prof. Dr. José Antonio Ribeiro de Souza
Co-orientadora: Prof^a. Dr^a. Mara Gabriela Novy Quadri

FLORIANÓPOLIS, MARÇO DE 2007.

Influência do Estado de Maturação e das Etapas de Processamento na
Reologia e Caracterização Físico-Química da Polpa de Goiaba
(*Psidium guajava* L.) Pasteurizada

Fernanda Fabiane Scremin

Dissertação julgada para obtenção do título de **Mestre em Engenharia de Alimentos**, na área de Desenvolvimento de Processos da Indústria de Alimentos, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos da Universidade Federal de Santa Catarina.

Prof. Dr. José Antonio Ribeiro de Souza

Orientador

Prof^a. Dr^a. Mara Gabriela Novy Quadri

Co - Orientadora

Prof. Dr. José Carlos Cunha Petrus

Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Alimentos

Banca Examinadora:

Prof^a. Dr^a. Mara Gabriela Novy Quadri

Prof. Dr. Ricardo Antonio Francisco Machado

Prof^a. Dr^a. Jane Mara Block

**A vocês, pai e mãe, mestres da vida,
que com amor, apoio, esperança e
presença tornaram este momento
realidade, dedico.**

AGRADECIMENTOS

A Deus por estar vencendo mais uma etapa da minha vida. Sem Ele nada seria possível.

Agradeço seu carinho, Pai, Mãe, o seu apoio, a sua presença às vezes imperceptível, mas absolutamente necessária, que me tornaram mais forte e preparada para viver minha vida. O meu agradecimento é pequeno diante da grandeza do que fizeram por mim. Por isso, por mais que eu cresça, que eu nunca seja grande demais para voltar aos seus braços e, neles, então, esquecer do meu real tamanho.

À Prof. Mara Gabriela Novy Quadri, por me orientar neste trabalho, dividir comigo meu cansaço, minhas preocupações e me incentivar a prosseguir, a nunca desistir de nossos objetivos, por mais complicados que estes pudessem parecer naquele momento.

Ao Prof. José Antonio Ribeiro de Souza, pela orientação no trabalho.

Aos amigos de laboratório, principalmente a Sandra e Solange, por me auxiliarem nos experimentos e me apoiarem nos dias difíceis. Vocês foram o meu porto seguro, fundamentais para eu vencer mais esta etapa.

Ao Marcelo, pela dedicação, paciência, carinho ao longo desta caminhada.

A todos os amigos, pela companhia e ajuda prestada.

Hoje, vivo este importante momento que só existe porque vocês todos se doaram em silêncio e aceitaram viver comigo este sonho. Muito obrigada!

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	9
LISTA DE TABELAS	12
RESUMO	16
ABSTRACT	18
1. INTRODUÇÃO E OBJETIVOS.....	20
1.1. INTRODUÇÃO	20
1.2. OBJETIVOS.....	22
1.3. ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	22
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	24
2.1. GOIABA.....	24
2.1.1. Aspectos botânicos.....	24
2.1.2. Principais cultivares.....	26
2.1.3. Estágios de maturação.....	26
2.1.4. Importância econômica	28
2.1.5. Composição química e nutricional.....	29
2.2. POLPA DE FRUTAS	32
2.2.1. Definição.....	32
2.2.2. Características Gerais	32
2.3. APLICAÇÃO DE ENZIMAS NO PROCESSAMENTO DE FRUTAS	33
2.4. REOLOGIA	35
2.4.1. Modelos reológicos.....	40
2.4.2. Reologia e Viscosidade	44
2.4.3. Medidas reológicas.....	44
2.4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	45
3. INFLUÊNCIA DO ESTÁGIO DE MATURAÇÃO E DA TEXTURA DA PARTÍCULA NA REOLOGIA DA POLPA DE GOIABA (<i>Psidium guajava</i> L.)	
RESUMO	51

ABSTRACT	52
3.1. INTRODUÇÃO	53
3.2. MATERIAIS E MÉTODOS	55
3.2.1. <i>Matéria-prima.....</i>	<i>55</i>
3.2.2. <i>Caracterização físico-química da polpa nos três estágios de maturação.....</i>	<i>55</i>
3.2.3. <i>Medidas de textura e obtenção da polpa de goiaba nos diferentes estágios de maturação.....</i>	<i>56</i>
3.2.4. <i>Metodologia para obtenção dos dados reológicos.....</i>	<i>57</i>
3.2.5. <i>Análises estatísticas</i>	<i>57</i>
3.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	58
3.3.1. <i>Caracterização físico-química da polpa nos três estágios de maturação.....</i>	<i>58</i>
3.3.2. <i>Efeito do estado de maturação sobre a textura e viscosidade aparente da polpa de goiaba.....</i>	<i>60</i>
3.3.3. <i>Avaliação da energia de ativação da polpa de goiaba.....</i>	<i>63</i>
3.3.4. <i>Caracterização reológica</i>	<i>66</i>
3.4. CONCLUSÃO	69
3.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
4. MODELAGEM DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE POLPA DE GOIABA (<i>PSIDIUM GUAJAVA L.</i>) OBTIDA A DIFERENTES ESTADOS DE MATURAÇÃO	
RESUMO	73
ABSTRACT	74
4.1. INTRODUÇÃO	75
4.2. MATERIAIS E MÉTODOS	76
4.2.1. <i>Matéria-prima.....</i>	<i>76</i>
4.2.2. <i>Caracterização físico-química da polpa nos três estágios de maturação.....</i>	<i>77</i>
4.2.3. <i>Obtenção da polpa de goiaba nos diferentes estágios de maturação</i>	<i>77</i>
4.2.4. <i>Metodologia para obtenção dos dados reológicos.....</i>	<i>78</i>
4.2.5. <i>Análises estatísticas</i>	<i>79</i>
4.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	79
4.3.1. <i>Caracterização físico-química da polpa nos três estágios de maturação.....</i>	<i>79</i>
4.3.2. <i>Caracterização reológica</i>	<i>81</i>
4.4. CONCLUSÃO	87
4.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	87

**5. VISCOSIDADE APARENTE E ENERGIA DE ATIVAÇÃO DA POLPA DE GOIABA PASTEURIZADA
(*PSIDIUM GUAJAYA L.*) SUBMETIDA A TRATAMENTO ENZIMÁTICO**

RESUMO	90
ABSTRACT.....	91
5.1. INTRODUÇÃO	91
5.2. MATERIAIS E MÉTODOS	94
5.2.1. <i>Matéria-prima.....</i>	<i>94</i>
5.2.2. <i>Obtenção da polpa de goiaba</i>	<i>94</i>
5.2.3. <i>Cálculo do Rendimento</i>	<i>95</i>
5.2.4. <i>Caracterização físico-química da polpa de goiaba</i>	<i>95</i>
5.2.5. <i>Metodologia para obtenção dos dados reológicos.....</i>	<i>96</i>
5.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	96
5.3.1. <i>Caracterização físico-química da polpa de goiaba</i>	<i>96</i>
5.3.2. <i>Caracterização reológica e Energia de ativação.....</i>	<i>102</i>
5.4. CONCLUSÃO	113
5.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	114

**6. MODELAGEM REOLÓGICA DA POLPA DE GOIABA (*PSIDIUM GUAJAYA L.*) NAS DIFERENTES
ETAPAS DE PROCESSAMENTO**

RESUMO	117
ABSTRACT.....	118
6.1. INTRODUÇÃO	119
6.2. MATERIAIS E MÉTODOS	120
6.2.1. <i>Matéria-prima.....</i>	<i>121</i>
6.2.2. <i>Obtenção da polpa de goiaba</i>	<i>121</i>
6.2.2. <i>Caracterização reológica.....</i>	<i>122</i>
6.3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	123
6.3.1. <i>Caracterização reológica.....</i>	<i>123</i>
6.4. CONCLUSÃO	137
6.5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137

7. CONCLUSÕES	139
ANEXOS.....	141

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1 - GOIABEIRA COM SEUS FRUTOS.....	24
FIGURA 2.2 - PARTICIPAÇÃO DA PRODUÇÃO DE GOIABA POR UNIDADE FEDERATIVA, 2004.	29
FIGURA 2.3 - ESTRUTURA DA PAREDE CELULAR DOS VEGETAIS.....	34
FIGURA 2.4 - CLASSIFICAÇÃO DOS FLUIDOS SEGUNDO COMPORTAMENTO REOLÓGICO.....	38
FIGURA 2.5 - DIAGRAMA ESQUEMÁTICO DO REÔMETRO DE CILINDROS CONCÊNTRICOS... ..	45
FIGURA 3.1 - FLUXOGRAMA DAS MEDIDAS DE TEXTURA E A OBTENÇÃO DA POLPA DE GOIABA NOS DIFERENTES ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO.....	56
FIGURA 3.2 - VISCOSIDADE MÉDIA E SEUS RESPECTIVOS DESVIOS PADRÃO NOS TRÊS ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO EM FUNÇÃO DA TEXTURA.....	63
FIGURA 3.3 - VISCOSIDADE APARENTE EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA PARA A POLPA DE GOIABA VERDE (A), MADURA (B) E MUITO MADURA (C).....	65
FIGURA 3.4 - TENSÃO DE CISALHAMENTO EM FUNÇÃO DA TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA AS DIFERENTES TEMPERATURAS DA POLPA DE GOIABA MADURA	66
FIGURA 3.5 - VISCOSIDADE APARENTE EM FUNÇÃO DA TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA AS DIFERENTES TEMPERATURAS DA POLPA DE GOIABA MADURA	67
FIGURA 3.6 - VISCOSIDADE APARENTE EM FUNÇÃO DA TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA OS TRÊS ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO A 25 °C.....	68
FIGURA 4.1 - FLUXOGRAMA PARA A OBTENÇÃO DA POLPA DE GOIABA NOS DIFERENTES ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO.	77

FIGURA 4.2 - AJUSTE DO MODELO DE (A) BINGHAM, (B) LEI DA POTÊNCIA, (C) CASSON, (D) HERSCHEL-BULKLEY, (E) MIZRAHI-BERK PARA A POLPA VERDOLENGA A 25 °C	82
FIGURA 4.3 - MODELAGEM SEGUNDO MIZRAHI-BERK AJUSTADO AOS RESULTADOS DE TENSÃO DE CISALHAMENTO EM FUNÇÃO DA TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA A POLPA DE GOIABA VERDOLENGA A 25 °C (A) E DE 35 °C A 85 °C (B).....	86
FIGURA 5.1 - FLUXOGRAMA DA PRODUÇÃO DA POLPA DE GOIABA.	94
FIGURA 5.2 - VISCOSIDADE APARENTE EM FUNÇÃO DA TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA AS DIFERENTES TEMPERATURAS DA POLPA DE GOIABA NATURAL.	103
FIGURA 5.3 - VISCOSIDADE APARENTE EM FUNÇÃO DA TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA AS DIFERENTES TEMPERATURAS DA POLPA DE GOIABA PASTEURIZADA.....	104
FIGURA 5.4 - VISCOSIDADE APARENTE EM FUNÇÃO DA TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA AS POLPAS DE GOIABA A 25 °C.....	105
FIGURA 5.5 - VISCOSIDADE APARENTE EM FUNÇÃO DA TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA AS DIFERENTES TEMPERATURAS DA POLPA DE GOIABA TRATADA ENZIMATICAMENTE	107
FIGURA 5.6 - VISCOSIDADE APARENTE EM FUNÇÃO DA TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA AS DIFERENTES TEMPERATURAS DA POLPA DE GOIABA TRATADA ENZIMATICAMENTE E PASTEURIZADA.....	107
FIGURA 5.7 - VISCOSIDADE APARENTE EM FUNÇÃO DA TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA AS POLPAS DE GOIABA NATURAL, TRATADA ENZIMATICAMENTE E TRATADA ENZIMATICAMENTE E PASTEURIZADA A 25 °C	108
FIGURA 5.8 - GRÁFICOS DE VISCOSIDADE APARENTE EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA PARA A POLPA DE GOIABA NATURAL (A) E PASTEURIZADA (B)	110
FIGURA 5.9 - GRÁFICOS DE VISCOSIDADE APARENTE EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA PARA A POLPA DE GOIABA NATURAL (A), TRATADA ENZIMATICAMENTE (B) E TRATADA ENZIMATICAMENTE E PASTEURIZADA (C).....	112
FIGURA 6.1 - FLUXOGRAMA DA PRODUÇÃO DA POLPA DE GOIABA.....	121

FIGURA 6.2 - MODELAGEM SEGUNDO (A) BINGHAM, (B) LEI DA POTÊNCIA, (C) CASSON, (D) HERSCHEL-BULKLEY, (E) MIZRAHI-BERK AJUSTADOS AOS RESULTADOS DE TENSÃO DE CISALHAMENTO EM FUNÇÃO DA TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA A POLPA DE GOIABA NATURAL A 8 °C..... 124

FIGURA 6.3 - TENSÃO DE CISALHAMENTO EM FUNÇÃO DA TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA A POLPA DE GOIABA NATURAL A 25 °C. MODELAGEM SEGUNDO (A) BINGHAM, (B) LEI DA POTÊNCIA, (C) CASSON, (D) HERSCHEL-BULKLEY, (E) MIZRAHI-BERK 125

FIGURA 6.4 - MODELAGEM SEGUNDO (A) BINGHAM, (B) LEI DA POTÊNCIA, (C) CASSON, (D) HERSCHEL-BULKLEY, (E) MIZRAHI-BERK AJUSTADOS AOS RESULTADOS DE TENSÃO DE CISALHAMENTO EM FUNÇÃO DA TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA A POLPA DE GOIABA NATURAL A 85 °C..... 126

FIGURA 6.5 - MODELAGEM SEGUNDO MIZRAHI-BERK AJUSTADO AOS RESULTADOS DE TENSÃO DE CISALHAMENTO EM FUNÇÃO DA TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA A POLPA DE GOIABA NATURAL DE 8 °C A 25 °C (A) E DE 35 °C A 85 °C (B)..... 131

FIGURA 6.6 - MODELAGEM SEGUNDO MIZRAHI-BERK AJUSTADO AOS RESULTADOS DE TENSÃO DE CISALHAMENTO EM FUNÇÃO DA TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA A POLPA DE GOIABA NATURAL PASTEURIZADA A 8 °C (A), 15 °C (B), 25 °C (C), 35 °C - 45 °C (D) E DE 55 - 85 °C (E) 132

FIGURA 6.7 - MODELAGEM SEGUNDO MIZRAHI-BERK AJUSTADO AOS RESULTADOS DE TENSÃO DE CISALHAMENTO EM FUNÇÃO DA TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA A POLPA DE GOIABA TRATADA ENZIMATICAMENTE A 8 °C -15 °C (A), 25 °C - 35 °C (B) E DE 45 °C - 85 °C (C) 134

FIGURA 6.8 - MODELAGEM SEGUNDO MIZRAHI-BERK AJUSTADO AOS RESULTADOS DE TENSÃO DE CISALHAMENTO EM FUNÇÃO DA TAXA DE DEFORMAÇÃO PARA A POLPA DE GOIABA TRATADA ENZIMATICAMENTE E PASTEURIZADA A 8 °C (A), 15 °C (B), 25 °C (C), 35 °C (D), 45 °C - 65 °C (E) E 75 °C - 85 °C (F) 136

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1 - DETERMINAÇÕES QUÍMICAS DA VARIEDADE VERMELHA COMUM DE GOIABA	28
TABELA 2.2 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DA GOIABA.....	30
TABELA 2.3 - COMPOSIÇÃO QUÍMICA DE DUAS DIFERENTES VARIEDADES DE GOIABA..	32
TABELA 2.4 - CLASSIFICAÇÃO DOS MODELOS REOLÓGICOS APLICADOS A CURVAS DE ESCOAMENTO EM ENSAIOS ESTACIONÁRIOS, COMO MODELOS ESPECIAIS DE HERSCHEL-BULKLEY	41
TABELA 3.1 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA PARA AS POLPAS DOS TRÊS ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO DA GOIABA.....	58
TABELA 3.2 - VALORES DE TEXTURA E VISCOSIDADE APARENTE A 25 °C COM SEUS RESPECTIVOS DESVIOS PADRÃO PARA A GOIABA NOS TRÊS ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO	60
TABELA 3.3 - TESTE χ^2 PARA OS TRÊS ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO, RELACIONANDO A TEXTURA DE CADA ESTÁGIO	60
TABELA 3.4 - TESTE χ^2 PARA AVALIAÇÃO DA RELAÇÃO ENTRE A TEXTURA E VISCOSIDADE APARENTE NOS TRÊS ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO.....	62
TABELA 3.5 - INFLUÊNCIA DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS SOBRE A VISCOSIDADE APARENTE NOS TRÊS ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO.....	63
TABELA 3.6 - VALORES DA VISCOSIDADE APARENTE EM TODAS AS TEMPERATURAS PARA OS TRÊS ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO	64
TABELA 3.7 - ENERGIA DE ATIVAÇÃO PARA CADA ESTÁGIO DE MATURAÇÃO.....	64
TABELA 4.1 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA PARA AS POLPAS DOS TRÊS ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO	80

TABELA 4.2 - PARÂMETROS DOS MODELOS REOLÓGICOS PARA A POLPA DE GOIABA VERDOLENGA.....	81
TABELA 4.3 - VALORES DE R EM CADA MODELO AJUSTADO PARA A POLPA DE GOIABA VERDOLENGA.....	83
TABELA 4.4 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA, ANOVA, PARA O MODELO DE MIZRAHI-BERK A 25 °C	83
TABELA 4.5 - PARÂMETROS DO MODELO DE MIZRAHI-BERK PARA AS POLPAS DE GOIABA MADURA E MUITO MADURA.....	84
TABELA 4.6 - VISCOSIDADE APARENTE EM TODAS AS TEMPERATURAS PARA OS TRÊS ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO	84
TABELA 4.7- PARÂMETROS DO MODELO DE MIZRAHI-BERK PARA A POLPA DE GOIABA NOS TRÊS ESTÁGIOS DE MATURAÇÃO	85
TABELA 5.1 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA PARA AS POLPAS DE GOIABA A 25 °C	97
TABELA 5.2 - TESTE χ^2 PARA AS POLPAS DE GOIABA NATURAL E PASTEURIZADA, RELACIONANDO A VISCOSIDADE APARENTE COM A COMPOSIÇÃO E PROPRIEDADES QUÍMICAS	98
TABELA 5.3 - TESTE χ^2 PARA AS POLPAS DE GOIABA NATURAL E PASTEURIZADA, RELACIONANDO A DENSIDADE COM A COMPOSIÇÃO E PROPRIEDADES QUÍMICAS.....	99
TABELA 5.4 - CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA PARA A POLPA DE GOIABA PASTEURIZADA COM TRATAMENTO ENZIMÁTICO A DIFERENTES ETAPAS DE PROCESSAMENTO	100
TABELA 5.5 - TESTE χ^2 PARA AS POLPAS DE GOIABA CRUA, TRATADA ENZIMATICAMENTE E TRATADA ENZIMATICAMENTE COM POSTERIOR PASTEURIZAÇÃO RELACIONANDO A VISCOSIDADE APARENTE COM AS CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS A 25 °C.....	101

TABELA 5.6 - TESTE χ^2 PARA AS POLPAS DE GOIABA CRUA, TRATADA ENZIMATICAMENTE E TRATADA ENZIMATICAMENTE COM POSTERIOR PASTEURIZAÇÃO RELACIONANDO A DENSIDADE COM AS CARACTERIZAÇÕES FÍSICO-QUÍMICAS A 25 °C	101
TABELA 5.7 - VALORES DE VISCOSIDADE APARENTE EM TODAS AS TEMPERATURAS PARA AS POLPAS DE GOIABA NATURAL E NATURAL PASTEURIZADA	102
TABELA 5.8 - VALORES DE VISCOSIDADE APARENTE EM TODAS AS TEMPERATURAS PARA AS POLPAS DE GOIABA NATURAL, TRATADA ENZIMATICAMENTE E TRATADA ENZIMATICAMENTE COM POSTERIOR PASTEURIZAÇÃO.....	106
TABELA 5.9 - ENERGIA DE ATIVAÇÃO PARA A POLPA DE GOIABA NATURAL E PASTEURIZADA NAS DIFERENTES TEMPERATURAS	109
TABELA 5.10 - ENERGIA DE ATIVAÇÃO PARA A POLPA DE GOIABA NATURAL, TRATADA ENZIMATICAMENTE E TRATADA ENZIMATICAMENTE E PASTEURIZADA NAS DIFERENTES TEMPERATURAS	113
TABELA 6.1 - PARÂMETROS DOS MODELOS REOLÓGICOS PARA A POLPA DE GOIABA NATURAL EM TODAS AS TEMPERATURAS.....	127
TABELA 6.2 - VALORES DE R EM CADA MODELO AJUSTADO PARA A POLPA DE GOIABA NATURAL	128
TABELA 6.3 - ANÁLISE DE VARIÂNCIA, ANOVA, PARA O MODELO DE MIZARHI-BERK A 25 °C	128
TABELA 6.4 - VISCOSIDADE APARENTE PARA A ETAPA DE PASTEURIZAÇÃO NAS TEMPERATURAS ESTUDADAS	129
TABELA 6.5 - VISCOSIDADE APARENTE PARA A ETAPA DO TRATAMENTO ENZIMÁTICO SEGUIDO DE PASTEURIZAÇÃO NAS TEMPERATURAS ESTUDADAS	130
TABELA 6.6 - PARÂMETROS DO MODELO DE MIZRAHI-BERK PARA A POLPA DE GOIABA NATURAL	130

TABELA 6.7 - PARÂMETROS DO MODELO DE MIZRAHI-BERK PARA A POLPA DE GOIABA PASTEURIZADA.....	131
TABELA 6.8 - PARÂMETROS DO MODELO DE MIZRAHI-BERK PARA A POLPA DE GOIABA TRATADA ENZIMATICAMENTE	133
TABELA 6.9 - PARÂMETROS DO MODELO DE MIZRAHI-BERK PARA A POLPA DE GOIABA TRATADA ENZIMATICAMENTE E PASTEURIZADA	135

RESUMO

O Brasil é um país que se destaca pelo grande potencial agrícola que possui devido às suas extensas faixas de terra férteis e também devido a boas condições climáticas, fato este, comprovado pela posição que ele ocupa no mercado internacional agrícola, produzindo, a cada ano, uma grande variedade de frutos apreciados em todo o mundo. Dentre estas variedades de frutos, a goiaba vem ganhando grande destaque por ser um dos frutos mais apreciados, devido às suas características de sabor e aroma e pelo seu elevado valor nutritivo.

O presente trabalho propõe a caracterização físico-química e avaliação reológica da polpa de goiaba variedade Pedro Sato (*Psidium guajava* L.) em diversas situações. Foram estudadas a) os efeitos das etapas de processamento da polpa de goiaba pasteurizada, com e sem tratamento enzimático, a temperaturas de 8 °C a 85 °C; b) o efeito do estado de maturação na reologia do produto; c) a energia de ativação, E_a , em todos os casos considerados e também os efeitos da textura e caracterização físico-química nos diferentes estágios de maturação.

Foi observado um aumento de 27 % no rendimento da polpa de goiaba quando aplicado tratamento enzimático (Pectnex Ultra SP-L a 55 °C por 1 hora) sobre a polpa de goiaba "in natura".

O comportamento reológico foi tipicamente não – newtoniano, com características pseudoplásticas, ou seja, a pasteurização e o tratamento enzimático não modificaram o comportamento da polpa. Os modelos reológicos de Bingham, Lei da Potência, Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk se ajustaram de modo satisfatório aos dados experimentais de todas as polpas estudadas, porém o modelo de Mizrahi-Berk foi selecionado por ser o que melhor tem se ajustado à maioria dos reogramas de polpas, sucos e purês de frutas. O efeito da temperatura sobre a viscosidade foi bem descrita pela equação de Arrhenius em todos os casos estudados, com coeficientes de determinação, R , maiores que 0,99. A viscosidade aparente mostrou ser influenciada pelas seguintes propriedades físico-químicas: sólidos totais e

solúveis, açúcares totais e teor de pectina. Foi observado ainda que a densidade diminuiu pouco, porém significativamente, com a aplicação de tratamentos térmicos, sendo esta variação relacionada com açúcares totais, sólidos totais e solúveis, acidez titulável e teor de pectina.

Na polpa de goiaba natural, nas temperaturas de 8 °C, 15 °C e 25 °C, as viscosidades aparentes não diferem entre si assim como nas temperaturas de 35 °C a 85 °C. Para a polpa de goiaba natural pasteurizada, as viscosidades nas temperaturas de 35 °C e 45 °C não tem diferença significativa, assim como as viscosidades nas temperaturas de 55 °C a 85 °C. Com a polpa de goiaba tratada enzimaticamente, as viscosidades a 8 °C - 15 °C, 25 °C - 35 °C e 45 °C - 85 °C, não tem diferença significativa entre si. Para a polpa tratada enzimaticamente e pasteurizada somente as viscosidades à 45 °C – 65 °C e de 75 °C – 85 °C não tem diferença significativa. Deste modo, ajustou-se o modelo de Mizrahi-Berk em conjunto para estas temperaturas.

Através do estudo do estágio de maturação observou-se que a firmeza da polpa bem como a caracterização físico-química influem na viscosidade aparente, que aumenta com o avanço da maturação; sendo que a energia de ativação diminui nestas mesmas condições. Os valores encontrados para a energia de ativação foram de 9,83 kcal.gmol⁻¹ para a polpa de goiaba verde, 1,25 kcal.gmol⁻¹ para a polpa de goiaba madura e 1,15 kcal.gmol⁻¹ para a polpa de goiaba muito madura. Também a temperatura influi pouco na viscosidade da polpa de goiaba nos dois estados de maturação mais avançados. Em todos os estágios, a polpa apresentou comportamento pseudoplástico, sendo este bem representado pelo modelo de Mizrahi-Berk.

O aumento da temperatura não muda significativamente a viscosidade aparente da polpa, com exceção da goiaba verde, que a 25 °C mostra uma viscosidade muito maior que para as demais temperaturas. Portanto, pode-se considerar que a reologia da goiaba verdolenga pode ser representada para um ajuste a 25 °C e outro para temperatura de 35 °C a 85 °C. Para as polpas madura e muito madura a reologia pode ser representada por um único ajuste de 25 °C a 85 °C.

ABSTRACT

Brazil is a country that is rich in agricultural potential that it possesses due to its extensive fertile land bands and also which had the good climatic conditions, fact this, proven for the position that it occupies in agricultural the international market, producing, to each year, a great variety of fruits appreciated in the whole world. Amongst these varieties of fruits, guava comes more gaining great prominence for being one of the appreciated fruits, had to its characteristics of flavor and aroma and for raised nutritional value.

The present work considers physicochemical characterization and rheologic evaluation of guava pulp (*Psidium guajava* L.), variety Pedro Sato, in diverse situations. It was studied a) the effect of pasteurized guava pulp in different processing stages with and without enzymatic treatment for 8 to 85 °C ; b) the effect of maturation stage in the rheology of the product. c) The activation energy, E_a , for all the cases and the effect of texture and physicochemical characterization in the rheology of different maturations stages.

A higher yield was observed for the sample submitted to enzyme treatment. Pulp removal gave an yield around 43 %. Addition of enzyme treatment as a processing step produced 70 % yield, representing an increase of 27% on the pulp amount .

The rheologic behavior was typically not - Newtonian, with pseudoplastic characteristics, or either, the pasteurization and enzyme treatment not modified the pulp behavior pulp. The rheologic models: Bingham, Power Law, Casson, Herschel-Bulkley and Mizrahi-Berk were fitted to the experimental data, however Mizrahi-Berk model was chosen by being the best adjusted to the majority of pulps, juices and fruit purees reogramas. The temperature effect on the apparent viscosity was well described by an Arrhenius equation type, with determination coefficients , R , greater than 0,99. Apparent viscosity showed to be influenced by the following physicochemical properties : total and soluble solids, total sugars and pectin content . It was still observed that the density

diminished a little bit, however significantly, with the application of thermal treatments, being this variation related with total sugars, soluble and total solids, titulable acidity and pectin content.

For raw pulp, the apparent viscosities at 8 °C, 15 °C and 25 °C, not showed statistical differences as well as at 35 °C to 85 °C. No significant differences in the apparent viscosity was also noted at 35 °C – 45 °C, and 55 °C -85 °C for pasteurized pulp; and for 45 °C - 65 °C and 75 °C - 85 °C for enzyme treated-pasteurized pulp. In this way, Mizrahi-Berk model was fitted for these temperatures groups.

In the study of maturation stage it was observed that the firmness of the pulp as well as the physicochemical characterization had influence in the apparent viscosity, that increases with the advance of the maturation; being that the activation energy diminishes in these same conditions. The value of the activation energy was 9,83 kcal·gmol⁻¹ for the green guava pulp, 1,25 kcal·gmol⁻¹ for the mature pulp and 1,15 kcal·gmol⁻¹ for the very mature pulp. Also temperature had a little influence in the viscosity of two more advanced maturation stage. In all the maturation stages, the pulp presented pseudoplastic behavior, being this good represented for Mizrahi-Berk model.

The temperature increase do not change the apparent viscosity of the pulp except for green guava: at 25 °C it has the highest viscosity. Statistic studies showed that apparent viscosity has no significant difference from 35 °C to 85 °C for the green guava, and for 25 °C to 85 °C for mature and very mature pulps. So, only one fitting of Mizrahi Berk model was made for these temperature groups.

INTRODUÇÃO E OBJETIVOS

1.1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país de clima tropical, que se destaca pela sua grande biodiversidade onde se encontram inúmeras frutas com potencial de exportação no mercado internacional, devido ao seu exótico sabor e elevado valor nutricional. O Brasil é hoje o terceiro maior produtor mundial de frutas (EMBRAPA, 2005) e um dos maiores países exportadores, que são vendidas, especialmente, em países da Europa e Estados Unidos.

O país é um grande exportador de frutas tropicais “in natura”. Mas não detém informações completas sobre características dos produtos regionais que podem sofrer alterações no processo de produção. Para aproveitar-se deste mercado emergente que, por proporcionar menor perda que a exportação de frutas frescas pode garantir maior lucros aos exportadores, algumas indústrias nacionais começam a se preocupar em estudar o comportamento de determinadas polpas e sucos para projetar novas unidades de processamento. Este conhecimento é indispensável aos projetos de tubulação e dimensionamentos de bombas e aos sistemas de agitação e mistura, que precedem a chegada dos sucos concentrados às prateleiras dos supermercados (VIDAL, 2000).

A fruticultura apresenta inúmeras vantagens econômicas e sociais, como elevação do nível de emprego, fixação do homem no campo, a melhor distribuição da renda regional, a geração de produtos de alto valor comercial e importantes receitas e impostos, além de excelentes expectativas de mercado interno e externo gerando divisas. Entre estas alternativas, encontra-se a cultura da goiaba, atividade de alta rentabilidade e com grande possibilidade de expansão no país.

A goiaba vem ganhando grande destaque por ser um dos frutos mais apreciados, devido às suas características de sabor e aroma e pelo seu

elevado valor nutritivo (GONGATTI NETO *et al.*, 1996). A goiaba é considerada uma das melhores fontes de vitamina C, com valores de seis a sete vezes superiores aos dos frutos cítricos, e se destaca ainda pelo seu elevado conteúdo de açúcares, vitaminas A e B, como a tiamina e a niacina, além de conter bons teores de fósforo, ferro e cálcio (MANICA *et al.*, 2000).

O Brasil assume a posição de primeiro produtor da fruta no mundo com uma área cultivada de 11.504 ha e uma produção de 256.616 ton, segundo dados baseados nos levantamentos do Ibge, 2004. Apesar da importância econômica real e potencial da goiabeira, há falta de informações e de divulgação tecnológica conducente à otimização do seu cultivo. Este, quando fundamentado nos conhecimentos tecnológicos acumulados ao longo do tempo, constitui uma alternativa de produção não só atraente, mas adequada às excelentes condições climáticas do Brasil.

A expansão do mercado consumidor da goiaba in natura está condicionada a qualidade dos frutos e ao aumento da vida útil pós-colheita. A goiaba é um fruto altamente perecível devido a seu intenso metabolismo durante o amadurecimento. Os atributos de qualidade são influenciados pelos cultivares, condições climáticas e práticas culturais. Manejos inadequados na colheita e na pós-colheita aceleram os processos de senescência afetando sensivelmente a qualidade e limitando ainda mais o período de comercialização (AZOLINI, 2002).

As polpas de frutas podem ser consideradas uma dispersão de partículas sólidas insolúveis (polpa) em solução aquosa contendo sólidos solúveis (principalmente açúcares e ácidos orgânicos), sendo que sua estabilidade à sedimentação depende das condições de processamento.

O conhecimento das propriedades reológicas a altas deformações de polpa de frutas é de grande importância no controle de qualidade tanto da matéria prima quanto do produto final, assim como na avaliação de vida-de-prateleira. Além disso, tais propriedades também são fundamentais em projetos de engenharia de processos como o dimensionamento de trocadores de calor, sistemas de bombeamento, filtração e concentração. As medidas reológicas são consideradas como uma ferramenta analítica por fornecer uma inspeção da organização estrutural dos alimentos (HOLDSWORTH, 1971).

Vale ressaltar que as principais dificuldades no processamento de polpas de frutas estão associadas à alta viscosidade que também é responsável pelos altos custos de processos que envolvem transporte e mistura como bombeamento e agitação. Por outro lado, a obtenção das propriedades viscoelásticas a baixas deformações dá informações sobre a estrutura ou conformação dos constituintes macromoleculares (BARNES *et al.*, 1989; STEFFE, 1996).

A inexistência de dados reológicos sobre frutas tropicais na literatura tem levado a indústria nacional a utilizar no processo de fabricação destes sucos condições semelhantes às aplicadas na produção de suco de laranja, o que também acontece com o suco de goiaba. Mas por terem propriedades diferentes, os resultados não atingem o mesmo nível de qualidade. Para obter sucos concentrados com qualidade capaz de conquistar o exigente paladar dos consumidores do exterior, a indústria brasileira deverá respeitar características exclusivas de cada fruta, como grau de pectina, o teor de açúcares e quantidade de fibras (FERREIRA *et al.*, 2002). Escolheu-se, a goiaba, pois é uma fruta nativa brasileira importante porque: tem elevado valor nutritivo, excelente aceitação para o consumo in natura, grande aplicação industrial, pode se desenvolver e produzir em condições adversas e é uma das frutas com melhores perspectivas econômicas nas regiões onde é cultivada.

1.2 OBJETIVOS

Têm-se como objetivo geral disponibilizar dados reológicos e físico-químicos de goiabas da variedade Pedro Sato procurando suprir a falta de informações para o dimensionamento de equipamentos e utilidades nas indústrias brasileiras.

Têm-se como objetivos específicos:

- ✓ Estudar o comportamento reológico e caracterização físico-química da polpa da goiaba em cada etapa de seu processamento a diferentes temperaturas (08°C a 85°C);
- ✓ Estimar a Energia de ativação para as diferentes situações estudadas;

- ✓ Modelar o comportamento reológico para as diferentes etapas de processamento;
- ✓ Analisar os diferentes estágios de maturação da goiaba (verde, madura, muito madura) em relação ao comportamento reológico, textura e caracterização físico-química;
- ✓ Estudar o rendimento da extração em cada etapa de processamento.

1.3 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

O presente trabalho encontra-se dividido em 8 capítulos.

No capítulo 1 encontram-se a introdução e os objetivos gerais do trabalho. No segundo capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica, incluindo informações sobre a qualidade pós-colheita de frutas e hortaliças (estágio de maturação), a importância sócio-econômica da goiaba assim como uma descrição sobre sua origem, composição e atividade enzimática. Encontra-se também neste capítulo, uma breve abordagem sobre estudos reológicos pertinentes ao estudo aqui apresentado.

Nos capítulos de 3, 4, 5 e 6, o trabalho é apresentado sob a forma de artigos que por sua vez são divididos em: resumo, abstract, introdução, material e métodos, resultados e discussão, conclusão e referências bibliográficas.

A avaliação da influência da textura e dos estágios de maturação da fruta, na reologia da polpa de goiaba foi estudada e está apresentada no Capítulo 3. A polpa da fruta obtida em cada estágio foi avaliada quanto às transformações físico-químicas e quanto à caracterização reológica.

No Capítulo 4 é apresentada a modelagem do comportamento reológico de polpa de goiaba obtida a diferentes estados de maturação.

No Capítulo 5 foi avaliada a viscosidade aparente e energia de ativação nas diferentes etapas de processamento da polpa de goiaba pasteurizada, submetida a tratamento enzimático.

A modelagem reológica da polpa de goiaba nas diferentes etapas de processamento foi estudada e apresentada no Capítulo 6.

Por fim, no capítulo 7, são apresentadas as conclusões gerais da dissertação e algumas sugestões para trabalhos futuros.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 GOIABA

2.1.1 Aspectos botânicos

A goiabeira é uma árvore de clima tropical, mas muito conhecida pela sua grande adaptação ao crescimento e produção de frutos em diferentes locais do mundo, em climas subtropicais e mesmo nas regiões de clima mais frio, nas áreas de ausência de geadas ou com a ocorrência de geadas de curta duração, apesar de ser muito prejudicada pelas baixas temperaturas durante o inverno. Mesmo assim, existem milhares de pomares domésticos e grandes áreas de pomares comerciais nestas condições (MANICA *et al.*, 2000).



Figura 2.1 – Goiabeira com seus frutos (Revista Globo Rural nº 172).

Esta planta é originada da América Tropical, gênero *Psidium*, da família *Mitaceae*, que é composta por mais de 70 gêneros e 2.800 espécies. É intensamente cultivada desde o sul da Califórnia e Flórida até o sul do Brasil e norte da Argentina (MANICA *et al.*, 2000).

A goiabeira tem um sistema radicular com grande predomínio da raiz principal, de crescimento inicial muito intenso e normalmente superior ao das raízes secundárias, laterais ou ramificadas.

Durante o crescimento da planta surgem diversos braços, nos quais se desenvolvem ramos que contêm as gemas necessárias à formação anual de novos brotos. Numa goiabeira adulta, os ramos são em grande número, de formato tortuoso, quase horizontal, originando uma copa arredondada, de base larga e muito densa.

As folhas apresentam um formato arredondado e são de cor verde-amarelada. Colocam-se duas a duas, principalmente na extremidade dos ramos com margens lisas, persistentes e apresentam lâminas grandes.

As flores são brancas, hermafroditas, eclodem em botões isolados ou em grupos de dois ou três, sempre nas axilas das folhas e nas brotações surgidas em ramos maduros.

Os frutos da goiabeira são bagas que tem tamanho, forma e coloração de polpa variável em função de seu cultivo. A fruta pode ser arredondada, ovóide, ovalada-globosa, periforme ou globulosa, com as dimensões de 4 a 12 cm de comprimento e de 5 a 7 cm de largura. O peso do fruto também é muito variável e altera-se desde 42 gramas a 280 gramas.

A casca do fruto pode ser grossa ou fina, passando de uma cor verde intensa quando ainda novo e pequeno para a cor verde, de acordo com as diferentes etapas de maturação e depois muda a cor para verde-amarelada e amarelo intenso quando o fruto está maduro (MANICA *et al.*, 2000).

Internamente, a goiaba apresenta um mesocarpo de espessura variável, textura firme com quatro a cinco lóculos, cheios por uma massa de consistência mais fluida (a polpa), onde se localizam muitas sementes. A polpa pode ter a coloração desde branca, creme, rosada até vermelho forte.

A frutificação começa no segundo ou terceiro ano após o plantio no local definitivo e depende principalmente dos tratos culturais dispensados na fase de formação do pomar, inclusive na produção das mudas.

A goiabeira cresce e produz com muita facilidade em praticamente todo o território brasileiro, desenvolvendo-se bem em quase todos os tipos de climas e de solos, com a produção de goiabas em pomares domésticos de todos os estados e também de pomares comerciais, desde o Estado do Rio Grande do Sul até o Estado do Pará (MANICA *et al.*, 2000).

O espaçamento da goiabeira depende da variedade cultivada. Variedades de porte ereto exigem espaçamentos menores. Entretanto,

recomenda-se evitar baixas densidades de cultivo por ser uma planta exigente em clima e solo e, também, adensamentos excessivos devido à execução de inúmeras podas (IEA, 2002).

2.1.2 Principais cultivares

Dentre as principais cultivares de goiaba exploradas no Brasil, destacam-se algumas de polpa branca que têm importância apenas para a exportação de frutos *in natura* como a Iwao, Kumagai, Ogawa, Pedra Branca ou Branca-de-Valinhos e White Selection da Flórida (MANICA *et al.*, 2000).

As cultivares de polpa vermelha são as preferidas pelo mercado interno para o consumo como fruta fresca e para a indústria, as quais respondem por quase a totalidade dos plantios comerciais no Brasil. Entre elas, destacam-se: Guanabara, Brune Vermelha, IAC-4, Ogawa nº1, Ogawa nº2, Ogawa nº3, Paluma, Pedro Sato, Rica, Pirassununga Vermelha, Riverside Vermelha, Sassaooka (MANICA *et al.*, 2000), Australiana (MEDINA, 1991) e Ruby Supreme (CHITARRA, 1996).

2.1.3 Estágios de Maturação

A alta perecibilidade da goiaba é o principal problema que os produtores enfrentam para a comercialização da fruta *in natura*, tanto no mercado nacional, como no internacional. A falta de tecnologias de conservação limita o período de comercialização e diminui a qualidade dos frutos. Conseqüentemente, há a redução do número de mercados consumidores. O aumento do consumo de goiaba como fruta fresca está condicionado à melhoria da qualidade dos frutos. Assim, a aplicação de tecnologias de conservação pós-colheita são prioritários para o avanço desta cultura (AZOLINI, 2002).

Após a mudança de cor, o amolecimento do fruto é a transformação mais característica que ocorre durante sua maturação. É muito importante do ponto de vista econômico, já que afeta sua qualidade, resistência ao transporte, conservação e resistência ao ataque de microorganismos (AWAD, 1993). A firmeza influencia consideravelmente a aceitação pelo consumidor, uma vez que é um indicador do estado de maturação. Para os produtores, ela está relacionada à vida de prateleira das frutas, e para as indústrias, a comparação

da textura de frutas de variedades diferentes pode ser de vital importância (SUGAI, 2002).

A firmeza dos produtos agrícolas se desenvolve por uma combinação de forças físicas originadas a partir dos seguintes processos:

- Pressão de turgor dentro da célula intacta, criando uma tensão no tecido;
- Forças coesivas dentro da célula, geradas pela composição química e propriedades físicas de cada parede celular;
- Forças adesivas entre células, geradas pela composição química e propriedades físicas da lamela média e das cadeias de pectina;
- Estrutura e forma externa de separar as células (dimensão das células e área de contato);
- Estrutura e forma externa do tecido, como força e distribuição do tecido vascular.

Os primeiros três itens representam as forças químicas e físicas, e os dois últimos itens representam a morfologia e a histologia. Cada processo e cada propriedade mencionada pode e tem efeito sobre a firmeza (TIJSKEUS, 2004).

O amolecimento pode ser determinado de maneira subjetiva, aplicando-se a pressão dos dedos, ou objetiva, utilizando-se instrumentos como o penetrômetro, que indicam a força necessária para vencer a resistência dos tecidos vegetais (COELHO, 2002).

A estrutura e alguns componentes intracelulares são os responsáveis pelo tipo e nível de firmeza em uma fruta ou vegetal, mas sua alteração durante a estocagem depende muito da forma e elasticidade da parede primária da célula. A pectina pode ser degradada pela ação enzimática da pectinametilesterase (PME) e da poligalacturonase (PG). A atividade da PME diminui o grau de metilação da cadeia de pectina e, a PG diminui o comprimento da cadeia de pectina. Assim, ambas as enzimas afetam primariamente a lamela média e conseqüentemente a força de adesão entre as células. A perda de água afetará o turgor e a tensão do tecido (TIJSKEUS, 2004).

Valores de determinações químicas na goiaba vermelha comum são apresentados em dois diferentes estágios de maturação na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 - Determinações químicas da variedade vermelha comum de goiaba (JACKIX, 1988).

Determinações químicas	Estágios de maturação	
	Verde	Madura
pH	3,90	4,0
°Brix	9,5	11,3
Acidez total (expressa em % ácido cítrico)	0,39	0,30
Vitamina C (mg/100mg)	130	107
Açúcares redutores (%)	5,45	7,75
Açúcares totais (%)	5,93	8,75

2.1.4 Importância econômica

Os frutos da goiabeira têm uma importância econômica real em função de suas amplas e variadas formas de utilização.

O Brasil é um dos maiores produtores mundiais de goiaba juntamente com a Índia, Paquistão, México, Egito e Venezuela (GAVIOLI *et al.*, 2003).

No ano de 2004, o Brasil foi o terceiro produtor mundial de frutas, com 38 milhões de toneladas, atrás apenas de China e Índia. No mesmo ano, as exportações brasileiras de frutas frescas movimentaram cerca de US\$ 370 milhões, com aumento de 10% em relação ao ano anterior. Os principais destinos do produto brasileiro são os países europeus, as Américas do Norte e do Sul e o Oriente Médio, além de perspectivas de vendas para o mercado asiático (IEA, 2002).

No território nacional, goiabais comerciais concentram-se, principalmente, nas regiões Sudeste e Nordeste, sendo os Estados de São Paulo e Pernambuco os maiores produtores (Figura 2.2) (IBGE, 2004).

A produção paulista de goiaba é típica de pequenos produtores, inclusive para a finalidade industrial, devido à exigência de constantes podas e de irrigação no caso da fruta para a mesa, o que torna dispendioso as grandes áreas (IEA, 2002).

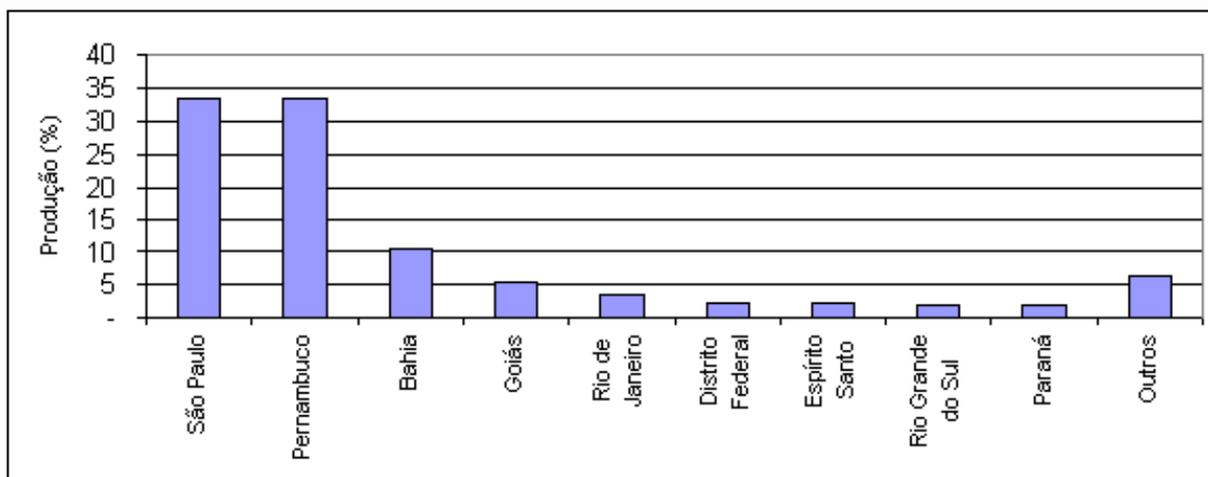


Figura 2.2 - Participação da produção de goiaba por Unidade Federativa (IBGE, 2004).

Cerca de 51% da área produzida constitui-se de pomares de tamanho entre 2 e 10 hectares e 35%, entre 10 e 50 hectares. Os maiores pomares ocupam áreas de 100 a 200 hectares. Destacam-se os municípios de Taquaritinga e Monte Alto, que apresentam áreas cultivadas próximas a 1.000 hectares, correspondendo a 27% da área total estadual. A vantagem desta região é a existência de agroindústrias localizadas nos municípios de Matão, Taquaritinga, Monte Alto e Vista Alegre do Alto (IBGE, 2004).

O cultivar mais utilizado com finalidade industrial é o Paluma e, para o mercado *in natura* na região de Campinas e Valinhos, é o Kumagai cuja polpa é branca. Na região de Mirandópolis, os frutos têm por base o grupo Ogawa que veio atender consumidores que preferiam a polpa vermelha (IEA, 2002).

A colheita da fruta concentra-se no período de janeiro a março, apresentando declínio no decorrer do ano. Os frutos destinados à indústria são colhidos, em sua maioria, em janeiro e fevereiro e os frutos destinados à mesa, em fevereiro e março (IBGE, 2004).

2.1.5 Composição química e nutricional

A goiaba é considerada uma das melhores fontes de vitamina C, com valores de seis a sete vezes superiores aos dos frutos cítricos, e se destaca ainda pelo seu elevado conteúdo de açúcares, vitaminas A e B, como a tiamina

e a niacina, além de conter bons teores de fósforo, ferro e cálcio (MANICA *et al.*, 2000).

Algumas variedades nacionais têm em média um teor de ácido ascórbico de 80 miligramas por 100 gramas, sendo a goiaba branca e amarela mais rica que a vermelha. Graças à descoberta do elevado teor de vitamina C, esta fruta foi, durante a Segunda Guerra Mundial, fornecida como suplemento alimentar de soldados aliados nas regiões frias. Desidratada e reduzida a pó, tinha por finalidade aumentar a resistência orgânica contra as infecções do aparelho respiratório (SOUZA *et al.*, 2005).

As propriedades organolépticas são: o sabor e aroma que são característicos da goiaba, a alta digestibilidade e ótima qualidade nutritiva, além de grande conteúdo de fibras, um fator muito favorável à saúde humana. A Goiaba foi classificada como uma fruta excelente para o consumo *in natura* e para o processamento. A elevada qualidade industrial da polpa de goiaba permite seu processamento como goiaba em calda ou fatias, goiabadas, geléias, sucos, néctar, sorvetes, bases para xaropes e bebidas (MANICA *et al.*, 2000).

Atualmente um novo produto, o *guatchup*, é desenvolvido pela empresa CNJ Internacional em parceria com a Associação Brasileira de Produtores de Goiaba (GOIABRÁS). O novo produto apresenta alto valor nutricional, é rico em licopeno, betacaroteno, vitamina C, ferro, cálcio, fibras e é menos calórico em relação ao seu concorrente feito de tomate (FRANCISCO *et al.*, 2005).

A Tabela 2.2 mostra os valores médios da composição química da goiaba. Os valores variam de acordo com a variedade, fertilidade do solo, grau de maturação, porção do fruto entre outros. Não há nenhuma informação sobre a variação da composição química da goiaba ao longo das etapas de processamento da fruta.

Tabela 2.2 – Composição química da goiaba (USDA Nutrient Database for Standard Reference, 2006; FRANCO, 2001).

Composição química	Valor por 100 g (USDA, 2006)	Valor por 100 g (FRANCO, 2001)
Água (g)	80.80	-----
Calorias (kcal)	68	42.5
Proteínas (g)	2.55	0.90
Carboidratos, por diferença (g)	14.32	-----
Fibra total dietética (g)	5.4	-----
Cálcio, Ca (mg)	18	17
Magnésio, Mg (mg)	22	-----
Fósforo, P (mg)	40	30
Potássio, K (mg)	417	198.5
Sódio, Na (mg)	2	31.5
Selênio, Se(μg)	0,6	-----
Vitamina C, ácido ascórbico total (mg)	228.3	45.6
Vitamina A (μg)	31	245
Folato total (μg)	49	-----
Betacaroteno (μg)	374	-----
Licopeno (μg)	5204	-----

A Tabela 2.3 mostra a composição química de duas diferentes variedades de goiabas. Esta composição pode variar em função da fertilidade do solo, época do ano, grau de maturação, porção do fruto, variedade, etc.

Tabela 2.3 - Composição química de duas diferentes variedades de goiabas (MEDINA, 1978).

Análise química	Branca	Vermelha
Umidade (%)	87,63	84,27
Sólidos totais (%)	12,37	15,73
Proteínas (%)	0,76	0,65
Matérias graxas (%)	0,34	0,42
Açúcares totais (%)	4,83	6,21
Açúcares redutores (%)	3,25	4,50
Fibras (%)	5,73	5,06
Cinzas (%)	0,32	0,53
pH	5,50	5,90

2.2 POLPA DE FRUTAS

2.2.1 Definição

Polpa de fruta é o produto obtido por esmagamento das partes comestíveis de frutas carnosas por processos tecnológicos adequados. (ANVISA Resolução - CNNPA nº 12, de 1978). O produto é designado por "polpa", seguido do nome da fruta.

2.2.2 Características Gerais

A polpa de fruta congelada é um produto em expansão no mercado de sucos de frutas tropicais, cuja procura vem crescendo substancialmente tanto para consumo doméstico, como em estabelecimentos comerciais. Motivado pelo movimento ecológico em virtude do aspecto natural do produto, verifica-se uma tendência no mercado que é a substituição dos sucos engarrafados pela polpa de fruta congelada, que atribui-se a dois fatores importantes: a não utilização de aditivos químicos na conservação do produto e menor preço de venda, em função de menor custo de produção.

O produto deve ser preparado com frutas sãs, limpas e isentas de parasitos e de detritos animais ou vegetais. De acordo com a Anvisa (2006), não deve conter fragmentos das partes não comestíveis da fruta, nem

substâncias estranhas à sua composição normal. Será tolerada a adição de sacarose em proporção a ser declarada no rótulo. Devem apresentar aspecto mole, cor própria, cheiro e sabor próprio.

2.3 APLICAÇÃO DE ENZIMAS NO PROCESSAMENTO DE FRUTAS

A pectina é um polissacarídeo constituído por unidades de ácido galacturônico parcialmente esterificado com metanol. É encontrado nos tecidos vegetais formando a lamela média. Como um dos principais produtos obtidos a partir do aproveitamento de resíduos agrícolas, a pectina compreende a designação de um grupo de polissacarídeos valiosos, extraídos de vegetais comestíveis e usados amplamente como agentes geleificantes e estabilizantes pela indústria alimentícia. Pectinas são ácidos pectínicos solúveis em água, com concentração variável de grupos metil éster (usualmente 70%) e o grau de neutralização tais que sejam capazes de formar géis com açúcar e ácido sob condições favoráveis (CHRISTENSEN, 1984).

Os grupos carboxílicos dos ácidos galacturônicos podem estar parcialmente esterificados por grupos metoxílicos e completamente ou parcialmente neutralizados por uma ou mais bases. A protopectina é a substância precursora da pectina, insolúvel em água, presente em tecidos vegetais e que hidrolisada limitadamente resulta em ácidos pectínicos ou pectina. Ácidos pectínicos são ácidos poligalacturônicos coloidais, com teores intermediários de grupamentos metoxilados, cujos sais são o pectato e o poligalacturonato. As substâncias pécticas encontradas na parede celular dos vegetais possuem diversos valores de grau de metoxilação, uma vez que esses vegetais contêm enzimas como a pectinesterase e além disso mudanças no grau de metoxilação podem ocorrer durante o desenvolvimento ou durante o processamento e estocagem (MCFEETERS & ARMSTRONG, 1984).

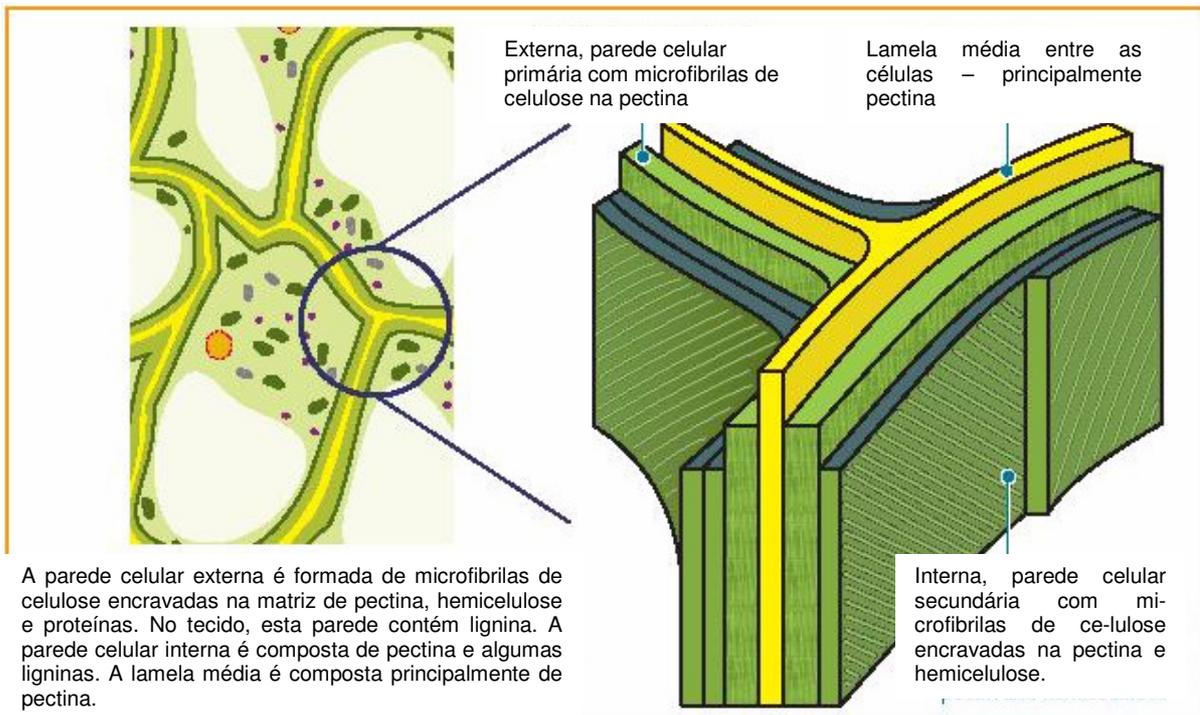


Figura 2.3 – Estrutura geral da parede celular de vegetais (ENZYMES, 2004).

Os constituintes da parede celular dos vegetais são degradados através da ação das enzimas.

Quando o fruto está verde, a pectina encontra-se na forma mais insolúvel e conferindo mais rigidez ao fruto, dificultando a extração do suco. Quando o fruto amadurece, uma parte da pectina torna-se mais solúvel, o fruto sofre um amolecimento e isso favorece a extração do suco.

As pectinases são produzidas durante o processo de amadurecimento natural de certas frutas, onde junto com as celulases, ajudam a amaciar sua parede celular. As substâncias pécticas encontram-se, principalmente, depositadas na parede celular, atuando como material cimentante, sendo responsáveis pelas mudanças de textura dos frutos (CHITARRA & CHITARRA, 1990). São derivadas do ácido poligalacturônico e ocorrem na forma de protopectina, ácidos pectínicos, ácidos pécticos e pectinas. A pectinase ajuda na hidrólise da pectina, causando uma redução na viscosidade da polpa e um significativo aumento na produção de sucos. Pectinesterase (PME) e poligalacturonase (PG) são pectinases que liberam ácidos carboxílicos e ácidos galacturônicos durante o tratamento térmico, o que causa uma redução no pH da polpa (BASTOS *et al.*, 2002).

A pectinesterase (PME), além de ser amplamente distribuída em raízes, caules, folhas e frutos da maioria das plantas superiores, catalisa a desmetilação dos ésteres metílicos dos ácidos poligalacturônicos. O amaciamento que pode ocorrer durante a solubilização da pectina, no amadurecimento do fruto, normalmente é atribuído à hidrólise de ligações glicosídicas na pectina por poligalacturonase (PG) (NOVOZYMES, 2004).

As enzimas pectinolíticas comerciais têm sido muito utilizadas na produção de sucos de frutas. Elas têm papel fundamental para a obtenção de sucos claros e estáveis, alto rendimento e qualidade do concentrado. Elas são importantes na produção de sucos de frutas concentrados, pois elas são usadas para reduzir a viscosidade e evitar a geleificação da pectina durante a concentração. As enzimas também são utilizadas como auxiliares no descascamento e corte de frutas e, ainda na preservação da textura de frutas e vegetais processados. Celulases, amilases e pectinases facilitam a maceração e clarificação durante o processamento de sucos reduzindo os custos e melhorando o rendimento do produto final (ENZYMES, 2004).

A produção em massa de sucos turvos é significativamente afetada pela temperatura e tempo usado no tratamento enzimático. A pectinase remove pedaços da capa de pectina da partícula de turvação do suco e isso possibilita a agregação de diversas partículas com uma densidade maior e, portanto, mais fáceis de serem removidas por decantação e/ou centrifugação (ENZYMES, 2004).

2.4 REOLOGIA

A reologia é a ciência que analisa as propriedades mecânicas dos materiais que determinam seu escoamento quando solicitados por forças externas. De acordo com McClements (2005), a reologia é importante em diferentes áreas da ciência dos alimentos. Muitas das propriedades texturais que os humanos percebem quando consomem alimentos são basicamente reológicas na natureza, ou seja, cremosidade, suculência, maciez, suavidade e dureza. A estabilidade e aparência dos alimentos freqüentemente depende das características reológicas e de seus componentes.

A reologia desempenha um importante papel no desenvolvimento, fabricação e processamento de produtos alimentícios. As propriedades reológicas também servem como um meio de controlar e monitorar um processo industrial (SHARMA *et al.*, 2000).

Segundo Ibarz *et al.* (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 e 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 feitas de forma precisa.

A crescente necessidade e procura dos parâmetros reológicos para os diversos fluidos manipulados nas indústrias de processamento está ligada também a grande importância econômica que estes fluidos e equipamentos de manipulação representam atualmente (VIDAL, 2000).

A teoria clássica de reologia divide os materiais em líquidos ou sólidos, e o conceito de elasticidade se aplica somente a sólidos, enquanto que a viscosidade é um termo aplicado a líquidos. Em um líquido perfeitamente viscoso, a tensão depende apenas da taxa de deformação. O trabalho mecânico necessário para produzir qualquer deformação é dissipado instantaneamente. Por outro lado, em um sólido perfeitamente elástico, a tensão depende somente da magnitude da deformação aplicada. O trabalho mecânico empregado na deformação é armazenado em forma de energia elástica (GRAESSLEY, 1984).

Os parâmetros reológicos de materiais viscoelásticos podem ser determinados a partir de ensaios que envolvam a aplicação de forças tangenciais (cisalhamento) ou normais (extensional ou sem atrito). A aplicação do escoamento extensional pode ser feita através de ensaios em compressão ou em tração. A análise de um material viscoelástico é relativamente simples quando o mesmo apresenta comportamento linear. Nessas condições, a razão entre a tensão e a deformação, em qualquer instante ou frequência, é independente da magnitude de tensão ou deformação aplicada, sendo apenas função do tempo (FERRY, 1980). No intervalo linear, trabalha-se com deformações muito pequenas e a estrutura molecular praticamente não é

afetada e, neste caso, pode-se dizer que os efeitos elásticos seguem a lei de Hooke e os efeitos viscosos obedecem à Lei de Newton (BARNES *et al.*, 1989).

As propriedades reológicas de fluidos newtonianos são independentes da taxa de cisalhamento e do histórico anterior de cisalhamento, e dependentes somente da composição e temperatura (VIDAL, 2000). Para um fluido newtoniano ideal, a tensão de cisalhamento é uma função linear da taxa de cisalhamento, e a constante de proporcionalidade para esta relação μ é chamada de viscosidade newtoniana (SHARMA *et al.*, 2000). A equação matemática que descreve a viscosidade é dada pela equação 2.2:

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

τ = Tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ = Taxa de cisalhamento (s^{-1})

η = Viscosidade dinâmica (Pa.s)

Muitos alimentos, como leite, suco de maçã, suco de laranja, vinho e cerveja exibem um comportamento newtoniano (SHARMA *et al.*, 2000).

Fluidos não-newtonianos são caracterizados como fluidos em que a relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação não é linear e/ou não passa pela origem, podendo ser classificados como dependentes ou independentes do tempo. No primeiro caso, a viscosidade aparente do fluido varia tanto com a taxa de deformação quanto com a duração de sua aplicação, podendo ser classificados como tixotrópicos ou reopéticos. A diminuição da viscosidade aparente com o tempo de cisalhamento, a uma condição constante de temperatura e taxa de deformação, caracteriza um material tixotrópico, enquanto que fluidos que têm a sua viscosidade aparente aumentada com o tempo são denominados reopéticos. Grande parte dos fluidos alimentícios como pastas de frutas e vegetais, “ketchup”, mostarda e comida de bebê apresentam comportamento tixotrópico (CHOI & YOO, 2004).

Um exemplo da classificação simples do comportamento reológico dos fluidos é mostrado na Figura 2.4.

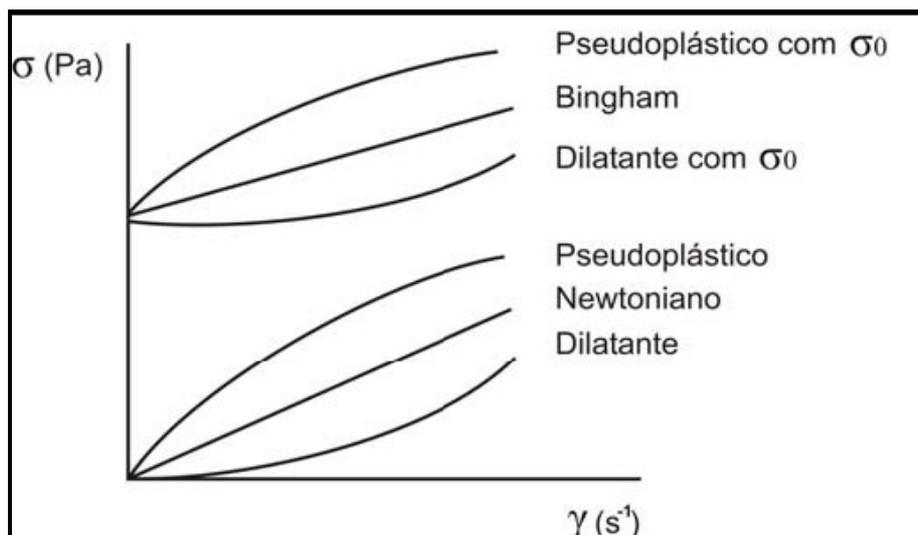


Figura 2.4 - Classificação dos fluidos segundo comportamento reológico (STEFFE, 1996).

Nos fluidos pseudoplásticos encontra-se a maioria dos fluidos de componentes de comportamento não-newtoniano. São fluidos independentes do tempo, sem tensão residual, que começam a escoar sob a ação de tensões de cisalhamento infinitesimais (VIDAL, 2000). Este tipo de fluido demonstra um decréscimo na viscosidade com um aumento na tensão de cisalhamento (MCCLEMENTS, 2005), sendo que a taxa de cisalhamento versus a tensão de cisalhamento forma uma linha convexa (SHARMA *et al.*, 2000). Esses fluidos em repouso apresentam um estado desordenado, e quando submetidos a uma tensão de cisalhamento, suas moléculas tendem a se orientar na direção da força aplicada. Quanto maior a tensão aplicada, maior será a ordenação. Conseqüentemente, a viscosidade aparente será menor (HOLDSWORTH, 1971). Alguns exemplos de fluidos pseudoplásticos são: sucos de frutas concentrados, purê de goiaba, pasta de amido e proteínas (RHA, 1978). Em geral, os purês de frutas e vegetais são fluidos pseudoplásticos. A consistência desses produtos é um importante parâmetro de qualidade industrial (IBARZ e BARBOSA-CÁNOVAS, 1999).

Os fluidos dilatantes apresentam o comportamento inverso ao fenômeno da pseudoplasticidade, ou seja, a viscosidade do fluido aumenta à medida que aumenta a taxa de cisalhamento. Esse tipo de fluxo somente é encontrado em líquidos que contêm uma alta proporção de partículas rígidas insolúveis em suspensão (BOURNE, 1982). Alguns tipos de mel e suspensões de amido se enquadram nessa categoria (SHARMA *et al.*, 2000; STEFFE, 1996).

Segundo McClements (2005), o fluido de Bingham se comporta como um sólido sob condições estáticas. Uma certa quantidade de força deve ser aplicada antes que o fluxo seja induzido (tensão inicial). Alguns exemplos de fluidos alimentícios que representam esse comportamento são: molhos de tomate, maionese, clara de ovo batida e margarina (BOURNE, 1982).

Fluidos tixotrópicos apresentam um comportamento reológico dependente do tempo. Um fluido tixotrópico é aquele no qual a viscosidade aparente diminui com o tempo quando o fluido é submetido a uma taxa de cisalhamento constante. Fluidos desse tipo são conhecidos por conter pequenas partículas (cristais ou biopolímeros) que são mantidos juntos por forças fracas. O cisalhamento do material separa as partículas agregadas e então ocorre uma menor resistência ao escoamento e a viscosidade decresce com o tempo até um valor constante ser alcançado (MCCLEMENTS, 2005). Exemplos desse fluido são gelatinas, cremes, manteigas, molhos para saladas, entre outros (SHARMA *et al.*, 2000).

Em alguns alimentos, a viscosidade aparente do fluido aumenta com o tempo quando sujeito a uma taxa constante de cisalhamento. Há diferentes razões para este comportamento. A mais importante é que o cisalhamento aumenta a frequência das colisões entre as moléculas ou partículas dos fluidos, que pode levar para um aumento de agregados e conseqüentemente um aumento na viscosidade aparente (MCCLEMENTS, 2005). Este tipo de comportamento não é comum em alimentos, mas pode ocorrer em soluções de amido altamente concentradas (SHARMA *et al.*, 2000).

A viscosidade aparente de polpas de frutas é influenciada por inúmeros fatores como quantidade de sólidos solúveis e insolúveis, distribuição de tamanho de partículas, formato das partículas e variáveis de processo. Basicamente, uma concentração muito baixa da fase dispersa faz com que a fase contínua determine o caráter do fluido, resultando em fluidos com comportamento newtoniano (FERGUSON & KEMBLOWSKI, 1991). Por outro lado, sólidos em grandes quantidades podem provocar um grande aumento na viscosidade de suspensões. Polpas de frutas como tomate, manga, acerola, cajá, graviola, goiaba, melão e morango foram caracterizadas na literatura como sendo fluidos pseudoplásticos com tensão residual (SHARMA *et al.*, 1996; BHATTACHARYA, 1999; FREITAS, 2002). Freitas (2002) relacionou o

caráter pseudoplástico das amostras com o teor de polpa em suspensão, e observou que amostras com maior teor de polpa em suspensão apresentaram baixo índice de comportamento de escoamento e tensão de cisalhamento inicial. Qiu & Rao (1988) observaram que as propriedades reológicas do purê de maçã foram influenciadas pelo conteúdo de polpa, sendo que as magnitudes de tensão residual eram proporcionais ao quadrado do conteúdo de polpa presente. Segundo Servais *et al.* 2002), um pequeno aumento na quantidade de sólidos em uma suspensão de 50% (em volume) de concentração de partículas esféricas que não interagem (entre si nem com o sistema), pode duplicar a viscosidade do fluido.

Muitos produtos alimentícios não são líquidos puros ou sólidos puros, mas possuem propriedades reológicas que são parcialmente viscosas e parcialmente elásticas (MCCLEMENTS, 2005). Quase todas as soluções, de polímeros, mesmo diluídas, apresentam comportamento viscoelástico, e muitas vezes, este comportamento não é detectado por instrumentos não preparados para essas medidas. Clara de ovo é o exemplo típico do comportamento viscoelástico (VIDAL, 2000).

2.4.1 Modelos Reológicos

De maneira geral, o modelo Herschel-Bulkley (Equação 2.3) pode ser usado para descrever o comportamento de diversos tipos de fluidos.

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

Onde:

τ_0 = tensão inicial (Pa);

k = índice de consistência (Pa.s);

n = índice de comportamento de escoamento;

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

Na Tabela 2.4, são apresentados os valores típicos dos parâmetros da Equação 2.3 para os diferentes fluidos (STEFFE, 1996).

Os modelos reológicos são úteis para relacionar propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas, como concentração, temperatura, pH, índice de maturação, entre outros. Esses modelos podem ser isotérmicos ou

não isotérmicos. No primeiro caso, descrevem o comportamento de um fluido a uma temperatura fixa, e no último, incluem relações específicas, como funções da temperatura. Dependendo do modelo utilizado, possuem ou não tensão inicial (VIDAL, 2000).

Tabela 2.4: Classificação dos modelos reológicos aplicados a curvas de escoamento em ensaios estacionários, como modelos especiais de Herschel - Bulkley (STEFFE, 1996).

Classificação do Fluido	Equação Constitutiva	τ_0	K	n	Exemplos Típicos
Herschel-Bulkley	$\tau = \tau_0 + k(\dot{\gamma})^n$	> 0	> 0	$0 < n < \infty$	Pasta de peixe picado, pasta de uva passa
Newtoniano	$\tau = k(\dot{\gamma})$	0	> 0	1	Água, leite, mel, suco de fruta clarificado
Pseudoplástico	$\tau = k(\dot{\gamma})^n$	0	> 0	$0 < n < 1$	Purê de banana, suco concentrado de laranja
Dilatante	$\tau = k(\dot{\gamma})^n$	0	> 0	$1 < n < \infty$	Suspensão de 40% de amido de milho
Plástico Bingham	$\tau = \tau_0 + k(\dot{\gamma})$	> 0	> 0	1	Pasta de dente, purê de tomate
Casson	$\tau^{0,5} = k_{OC} + k_C \cdot \dot{\gamma}^{0,5}$	> 0	> 0	0,5	Suspensões de partículas em meio newtoniano, como o chocolate.

Muitos fluidos alimentícios exibem comportamento pseudoplástico e são caracterizados através do modelo Lei da Potência (RAO & COOLEY, 1982):

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

Onde:

K = índice de consistência [Pa.s];

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação [s^{-1}];

n = índice de comportamento do escoamento [adimensional].

Neste caso a viscosidade aparente do fluido diminui à medida que aumenta a tensão de cisalhamento. Se na equação 2.3 o índice de comportamento reológico n for > 1 o fluido é considerado dilatante, o qual corresponde ao fenômeno inverso da pseudoplasticidade, pois a viscosidade

do fluido aumenta à medida que aumenta a taxa de cisalhamento. Se $n < 1$ o fluido é considerado pseudoplástico.

Os modelos que consideram a tensão inicial são usados para fluidos que só iniciam o processo de escoamento quando a tensão de cisalhamento aplicada supera uma tensão inicial que é própria de cada um destes materiais (VIDAL, 2000). O modelo de Bingham é um exemplo (Equação 2.5):

$$\tau = \tau_0 + \mu_p \cdot \dot{\gamma} \quad (2.5)$$

Onde:

τ_0 = tensão inicial de cisalhamento [Pa];

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação [s^{-1}];

μ_p = viscosidade plástica de Bingham [adimensional].

A relação geral que descreve o comportamento dos fluidos não-newtonianos é o modelo de Herschel-Bulkley : (STEFFE, 1996):

$$\tau = \tau_0 + K(\dot{\gamma})^n \quad (2.6)$$

Onde:

τ_0 = tensão inicial de cisalhamento [Pa];

K = índice de consistência [Pa.s];

$\dot{\gamma}$ = taxa de deformação [s^{-1}];

n = índice de comportamento do escoamento [adimensional].

Esse modelo é uma forma modificada da Lei da Potência (RAO & COOLEY, 1982), ou seja, o que diferencia um do outro é a presença ou ausência do termo da tensão de cisalhamento inicial.

O modelo de Casson tem sido usado para alimentos, particularmente para estimar a tensão inicial Koc , segundo Gehrke (1996). No caso do modelo de Casson, a curva da tensão de cisalhamento versus a taxa de deformação pode ser transformada em uma linha reta pela plotagem da raiz quadrada da tensão de cisalhamento versus a raiz quadrada da taxa de cisalhamento

(SHARMA *et al.*, 2000). Casson (1959) propôs a seguinte expressão matemática:

$$\tau^{0,5} = K_{OC} + K_C \cdot \gamma^{0,5} \quad (2.7)$$

Onde:

τ = tensão de cisalhamento [Pa];

K_{OC} = raiz quadrada da tensão inicial;

K_C = índice de consistência [Pa.s];

γ = taxa de deformação [s^{-1}].

O Modelo de Mizrahi-Berk, obtido pela modificação da equação de Casson, este modelo foi criado para ser utilizado no estudo do escoamento de suco de laranja concentrado e suspensões de partículas interagindo entre si em um meio pseudoplástico. Para descrever o comportamento reológico do suco de laranja concentrado, Mizrahi & Berk (1972), desenvolveram a seguinte equação reológica :

$$\tau^{0,5} = K_{Om} + K_m \gamma^{n_m} \quad (2.8)$$

Onde:

τ = tensão de cisalhamento [Pa];

K_{Om} = raiz quadrada da tensão inicial;

K_m = índice de consistência [Pa.s];

γ = taxa de deformação [s^{-1}];

n_m = índice de comportamento do escoamento [adimensional].

2.4.2 - Reologia e viscosidade

No processamento de alimentos, a medição da viscosidade permite controlar a qualidade das matérias-primas, avaliar o efeito das variações nas condições de processamento sobre os produtos durante a fabricação e estimar o produto final. Essa medição constitui uma valiosa informação para otimização

das propriedades dos produtos na indústria alimentícia, para a redução dos custos nos ingredientes e para garantir uma melhor consistência do produto.

A viscosidade é considerada a principal propriedade reológica de um fluido. Em muitas operações das indústrias de alimentos, conhecer a viscosidade do fluido é essencial para a definição do equipamento mais apropriado.

A viscosidade pode mudar consideravelmente em algumas operações, em particular, nos processos que envolvem aquecimento, resfriamento, homogeneização e concentração, bem como durante fermentações industriais (LEWIS, 1993).

O termo viscosidade é comumente utilizado para fluidos Newtonianos, enquanto para fluidos Não-Newtonianos o termo mais apropriado a se utilizar é viscosidade aparente, a qual depende somente da magnitude da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento.

2.4.3 – Medidas Reológicas

O reômetro de cilindro concêntrico é um instrumento que opera em uma faixa de taxa de cisalhamento moderada, fazendo deste uma boa escolha para coleta de dados utilizados em muitos cálculos de engenharia (STEFFE, 1996). Estes reômetros mantêm uma velocidade de rotação constante a certa taxa de cisalhamento e a tensão de cisalhamento é obtida através da medida do torque no cilindro. Estes equipamentos são projetados para causar um cisalhamento no fluido localizado entre dois cilindros concêntricos, sendo que um gira e outro permanece estacionário permitindo-se obter curvas reológicas (VIDAL, 2000).

A Figura 2.5 apresenta um esquema do reômetro de cilindro concêntrico.

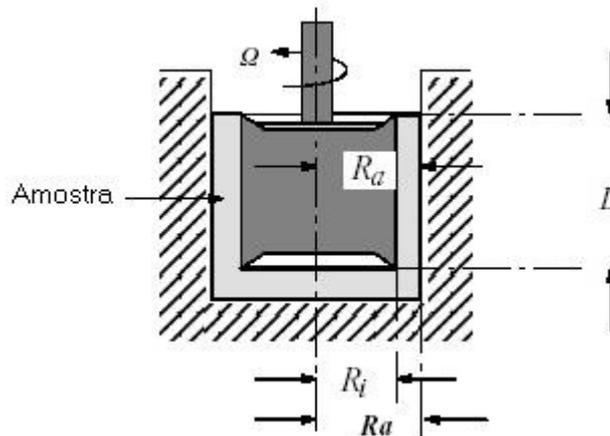


Figura 2.5 - Diagrama esquemático do reômetro de cilindro concêntrico (SCHRAMM, 2000)

onde:

Ω = Velocidade do rotor;

R_a = Raio do rotor;

R_i = Raio do cilindro de medida;

L = Altura do rotor.

Neste trabalho, as medidas reológicas foram realizadas em um reômetro de cilindros concêntricos THERMO HAAKE, modelo VT550, para as polpas obtidas das diferentes etapas de processamento.

2.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. Disponível em: www.anvisa.com.br. Acesso em: 23 de novembro de 2006.

AWAD, M. Fisiologia pós – colheita de frutos. São Paulo: Nobel, 114p., 1993.

AZZOLINI, M. Fisiologia pós-colheita de goiabas Pedro Sato: estádios de maturação e padrão respiratório. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2002.

BARBOSA-CÁNOVAS, G.V; IBARZ, A.; PELEG, M. Propiedades reológicas de alimentos fluidos. Revision. Alimentaria, n. 241, p.39-49, 1993.

BARNES, H. A.; HUTTON, J. F.; WALTERS, K. An introduction to Rheology. Amsterdam: Elsevier Science Publishers, 199p., 1989.

BASTOS, M.S.R.; GURGEL, T.E.P.; SOUSA, M.S.M.F.; LIMA, I.F.B.; SOUZA, A.C.R.; SILVA, J.B. Efeito da aplicação de enzimas pectinolíticas no rendimento da extração de polpa de cupuaçu. Revista Brasileira de Fruticultura. Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 240-242, abril 2002.

BHATTACHARYA, S. Yield stress and time-dependent rheological properties of mango pulp. Journal of Food Science, v.64, p.1029-1033, 1999.

BOURNE, M. C., Food texture and viscosity: concept and measurement. New York : Academic Press, p.325, 1982.

CASSON, N. A. Flow equation for pigment-oil suspensions of the printing ink type, in Rheology of Disperse Suspensions. C.C. Mill (Ed.) Pergamon press, New York, 1959.

CHITARRA, M.I.F. Características das Frutas de Exportação. In: SILVA, J.M.M. (Ed.) Frupex- Goiaba para Exportação: Procedimentos de Colheita e Pós-Colheita. Brasília –SPI, p.9-11, 1996.

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

CHOI, Y. H.; YOO, B. Characterization of time-dependent flow properties of food suspensions. International Journal of Food Science and Technology, v.39, p. 801-805, 2004.

CHRISTENSEN, S. H. Pectin. In:GLICKSMAN, Martin. Food Hydrocolloids. Florida: CRC Press, p.205-229, 1984.

COELHO, M.V.S.; MENDES, A.P. & MARQUES, A.S.A. Seca dos ponteiros da goiabeira causada por Erwinia psidii: levantamento e caracterização. Brasília-

DF: Comunicado Técnico n° 58, Embrapa-SPI, 2002a (Série Embrapa de publicações).

ENZYMES. Disponível em: www.enzymes.com. Acesso em: 15 de novembro de 2006.

FERGUSON, J.; KEMBLOWSKI, Z. Applied fluid rheology. New York: Elsevier Applied Science. 323p., 1981.

FERRY, J.D. Viscoelastic properties of polymers. 3rd. Ed. New York. John Wiley & Sons, 641 p., 1980.

FRANCISCO, V.L.F.S.; BAPTISTELLA, C.S.L. & AMARO, A.A. A Cultura da Goiaba em São Paulo, 2005. Instituto de Economia Agrícola. Disponível em www.iea.sp.gov.br

FRANCO, GUILHERME. Tabela de Composição Química dos Alimentos. 9ª edição. São Paulo: Editora Atheneu, 2001.

FREITAS, I. C. Estudo das interações entre biopolímeros e polpas de frutas tropicais em cisalhamento estacionário e oscilatório. Tese (Doutor em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2002.

GAVIOLI, V.O.; TAKAKURAV., Goiaba oferece vantagens nutricionais, Revista Coopercitrus, n° 182, 2003.

GEHRKE, T. Reometria de suco concentrado de suco de frutas. Campinas, UNICAMP. Dissertação de Mestrado. 52p. 1996.

GRAESSLEY, W. W. Viscoelastic and flow in polymers melts and concentrated solutions. In: MARK, J. E.; EINSEBERG, A.; GRAESSLEY, W. W.; MADELKERN, L.; KOENING, J. L. (Eds.) Physical properties of polymers. Washington, D. C.: American Chemical Society, p. 97-153, 1984.

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

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA (IEA). Disponível em: <http://www.iea.sp.gov.br>. Acesso em: 14 de dezembro de 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 14 de dezembro de 2006.

IPPA – INTERNATIONAL PECTIN PRODUCERS ASSOCIATION. What is pectin? Disponível em: http://www.ippa.info/what_is_pectin. Acesso em: 5 de dezembro de 2006.

JACKIX, M. H. Doces, Geléias e Frutas em Calda. (Teórico e Prático). Campinas: Editora Ícone, 172p., 1988.

LEWIS, M.J. Propriedades Físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado. 1 ed. Ed. Acribia. Zaragoza, 1993.

MANICA, I.; ICUMA, I.M.; JUNQUEIRA, N.T.V.; SALVADOR, J.O.; MOREIRA, A. & MALAVOLTA, E. Fruticultura Tropical 6: Goiaba. Porto Alegre. Cinco Continentes, 2000.

MCCLEMENTS, J. Food Biopolymers and Colloids Research Laboratory. University of Massachusetts Amherst. Disponível em: <http://www.unix.oit.umass.edu/~mcclemen/581Rheology.html>. Acesso em: 23 de novembro de 2006.

MCFEETERS, R.; ARMSTRONG, S. A. Measurement of pectin methylation in plant cell wall. *Analytical biochemistry*, v.139, p.212 – 217, 1984.

MEDINA, J.C.; GARCIA, J. L. M.; DE MARTIN, Z. J.; VIEIRA, L. F.; RENESTO, O. V. Goiaba – da cultura ao processamento e comercialização. Instituto de Tecnologia de Alimentos. Campinas, v.6, 1978.

MEDINA, J.C. Cultura. In: CASTRO, J.V.; SIGRIST, J.M.M.; MARTIN, Z.J.; KATO, K.; MAIA, M.L.; GARCIA, A.E.B.; FERNANDES, R.S.S. (Eds.) Série Frutas Tropicais n° 6: Goiaba. ITAL-Campinas. ICEA. p.1-120, 1991.

MIZRAHI, S., BERK, Z. Flow behavior of concentrated orange juice: mathematical treatment. Journal of Texture. n.1, V.3. p.69-79, 1972.

NOVOZYMES. Disponível em:[http:// www.novozymes.com](http://www.novozymes.com). Acesso em 5 de dezembro de 2006.

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, p.1165-1170, 1988.

RAO, M. A., COOLEY, H. J. Applicability of flow models with yield for tomato concentrates. Journal of food process engineering. n.3, v.6, p.159-173, 1982.

REVISTA GLOBO RURAL, edição 172, fevereiro de 2000. Disponível em <http://www.globorural.globo.com>. Acesso em: 30 de novembro de 2006.

RHA, C. Rheology of fluid food. Food technology. v.32, 77-82p., 1978.

ROMBOUTS, F.M.; PILNIK, W. Pectic enzymes. Economic Microbiol., London, Academic Press. v. 5, p.227, 1980.

SCHARAMM, G. A practical approach to rheology and rheometry. 2nd edition, Karlsruhe, Germany, 2000.

SERVAIS, C.; JONES, R.; ROBERTS, The influence of particle size distribution on the processing of food. Journal of Food Engineering, v.51, p.201-208, 2002.

SHARMA, S. K.; LeMAGUER, M.; LIPTAY, A.; POYSA, V. Effect of composition on the rheological properties of tomato thin pulp. Food Research International, v.29, p.175-179, 1996.

SHARMA, S. K., MULVANEY, S. J., RIZVI, S. S. H. Food processing engineering: theory and laboratory experiments. United States of America : Wiley-Interscience. 348p., 2000.

SOUZA, O.P.; MARCIN, C.A.; MELO, B. Cultura da goiaba, 2005. Disponível em <http://www.fruticultura.iciag.ufu.br>. Acesso em: 30 de novembro de 2006.

STEFFE, J. F. Rheological Methods in Food Process Engineering, 2^a Ed. Freeman Press, East Lansing, Michigan State, USA. 418p., 1996.

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

TIJSKEUS, L.M.M. et al. Modeling the firmness of Elstar apples during storage and transport. PhD thesis of Wageningen University. P.113-120, 2004.

USDA National Nutrient Database for Standard Reference. Disponível em:<http://www.nal.usda.gov/fnic/foodcomp/search/>. Acesso em: 20 de novembro de 2006.

VIDAL, J.R.M.B. Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* LKeitt) – Tese de Doutorado. UNICAMP, Campinas, SP, 2000.

Capítulo 3

INFLUÊNCIA DO ESTÁGIO DE MATURAÇÃO E DA TEXTURA DA PARTÍCULA NA REOLOGIA DA POLPA DE GOIABA (*Psidium guajava* L.)

RESUMO

O comportamento reológico dos sucos e polpas é usado como um parâmetro para o controle de qualidade desses produtos sendo também indispensável para o projeto, avaliação e operação de equipamentos de processos. Este comportamento está diretamente ligado aos teores de sólidos em suspensão e seus respectivos tamanhos, forma e concentração das partículas em suspensão e da estrutura do sistema. O presente trabalho tem como objetivo avaliar a influência da textura e dos estágios de maturação da fruta, na reologia da polpa de goiaba. Os frutos em três estágios de maturação diferentes foram escolhidos segundo a cor da casca: goiaba verde (1º estágio); goiaba madura (2º estágio) e goiaba muito madura (3º estágio). A polpa da fruta obtida em cada estágio foi avaliada quanto às transformações físico-químicas (sólidos totais, solúveis e insolúveis; açúcares totais, redutores e não-redutores; pectina e firmeza da polpa) e quanto à caracterização reológica. Os ensaios reológicos foram realizados nas temperaturas de 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C, 75 °C e 85 °C para polpas provenientes de frutas nos três estágios de maturação utilizando um reômetro de cilindros concêntricos. Os resultados obtidos para a caracterização físico-química bem como a caracterização reológica apresentaram diferenças significativas para os diferentes os estágios de maturação. Todas as polpas apresentaram comportamento não newtoniano, com características pseudoplásticas. O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente foi bem descrito pela equação de Arrhenius para todos os casos estudados, sendo que o valor da energia de ativação foi de 9,83

kcal·gmol⁻¹ para a polpa de goiaba verde, 1,25 kcal·gmol⁻¹ para a polpa de goiaba madura e 1,15 kcal·gmol⁻¹ para a polpa de goiaba muito madura.

Palavras-chave: reologia, textura, fruta, caracterização físico-química, maturação.

ABSTRACT

The rheological behavior of fruit juices and pulps is used as a parameter for the quality control of these products. They are also very important for the project, evaluation and operation of processes equipments. This behavior is directly related on to suspended solid contents and the size, form and concentration of particles in suspension and the structure of the system. The present work aims to evaluate the influence of the texture and the maturation stage of the fruit on the rheology of the guava pulp. Fruits in three different maturation stage had been chosen according to the peel color: green guava (1^o stage); mature guava (2^o stage) and very mature guava (3^o stage). The fruit pulp from each maturation stage was evaluated by analysis of the solids, sugars and pectin content, firmness of the pulp and rheological characterization. The rheological assays had been carried out at temperatures of 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C, 75 °C and 85 °C in a cylindrical concentric reometer. The results obtained for the physicochemical as well as the rheological characterization had presented significant differences for the different maturation stages. All the pulps shown non Newtonian behavior, with pseudoplastic characteristics. The temperature effect on the apparent viscosity was well described by the Arrhenius equation for all cases. The value of the activation energy was 9,83 kcal·gmol⁻¹ for the green guava pulp, 1,25 kcal· gmol⁻¹ for the mature pulp and 1,15 kcal·gmol⁻¹ for the very mature pulp.

Key words: rheology, texture, fruit, physicochemical, maturation.

3.1 INTRODUÇÃO

Entre as frutas tropicais, a goiaba (*Psidium guajava* L.) destaca-se por apresentar excelente qualidade nutricional, o que tem contribuído para um aumento de seu consumo *in natura*. O Brasil está entre um dos principais produtores mundiais de goiaba ao lado do Paquistão, México, Egito e outros, porém sua participação no mercado internacional ainda é pequena. No ano de 2000 foram produzidas cerca de 300 mil toneladas e somente 0,06% desta produção foi exportada (CHOUDBRY *et al.*, 2002).

As principais regiões produtoras de goiaba estão localizadas no estado de São Paulo e Pernambuco. No estado de São Paulo, as principais variedades produzidas são Kumagai, Pedro Sato e Sassaoka (GUTIERREZ *et al.*, 2002).

A expansão do mercado consumidor de goiaba *in natura* está condicionada à qualidade dos frutos e ao aumento da vida útil pós-colheita. A goiaba é um fruto altamente perecível pois possui um intenso metabolismo durante o amadurecimento. A qualidade dos frutos é influenciada pelos cultivares, condições climáticas e práticas culturais. Manejos inadequados na colheita e na pós-colheita aceleram os processos de senescência afetando a qualidade e limitando ainda mais o período de comercialização (AZZOLINI, 2002).

A perda de grande parte desta produção pode ser atribuída à ação de enzimas durante a pós-colheita. As peroxidases são enzimas pertencentes ao grupo das oxiredutases, responsáveis pela deterioração oxidativa de muitos vegetais durante o armazenamento. A investigação desse grupo de enzimas tem sido de grande importância para a tecnologia de alimentos, uma vez que a continuidade da atividade enzimática pode ocasionar mudanças na cor, variações de aroma, alterações no teor de vitaminas e até mesmo mudança na textura (CLEMENTE, 1998). Durante o período de maturação, há um aumento de atividade enzimática devido ao aumento da solubilidade da enzima com o grau de maturação.

O estágio de maturação no qual os frutos são colhidos determina a qualidade do fruto a ser oferecido ao consumidor. Os frutos colhidos antes da maturação não têm uma boa qualidade, apresentando uma perda de água

significativa e sendo muito suscetíveis a desordens fisiológicas. No entanto, quando colhidos muito maduros entram rapidamente em senescência. Para a goiaba, não existe uma padronização e um consenso do estágio de maturação ideal para a colheita e quais seriam os índices de maturação adequados (AZZOLINI,2002).

As goiabas normalmente são colhidas quando a polpa ainda está firme e a coloração da casca começa a mudar de verde-escuro para verde-claro ou começando a amarelecer. De uma forma geral, quando as goiabas são destinadas a mercados distantes das áreas de produção, os frutos são colhidos em estágios iniciais de maturação (cor da casca verde-escuro). No entanto, não existem dados avaliando a qualidade dos frutos no momento do consumo (MANICA *et al.*, 2000).

No que se refere à polpas de frutas, o conhecimento do comportamento reológico é útil não só para o controle de qualidade do produto, mas principalmente para a adequação de sistemas de tubulação, trocadores de calor, filtros, bombas, entre outros (QUEIROZ *et al.*, 1996).

Os sucos e purês de frutas geralmente apresentam comportamento não newtoniano (PELEGRINE *et al.*, 2000). Segundo Holksworth (1971), a maioria dos alimentos fluidos derivados de frutas apresenta comportamento pseudoplástico, onde a viscosidade aparente decresce com o aumento da taxa de deformação.

De acordo com Queiroz (1998), sucos e purês são considerados, sob o ponto de vista reológico, como fluidos pseudoplásticos, e o afastamento do comportamento newtoniano é determinado pelo conteúdo de polpa do produto, acrescentando que sucos despulpados, ou com pouca polpa, se comportam como newtonianos. Com o aumento do conteúdo da polpa o caráter pseudoplástico é ressaltado. Uma ação enzimática, ou mecânica, que modifique a estrutura da polpa, terá repercussão no seu comportamento reológico.

Os principais fatores que afetam a viscosidade de um fluido, com concentração de sólidos inferiores a 5 % são a concentração volumétrica de sólidos, as características do meio (viscosidade, densidade, etc.) e a temperatura. Com a elevação do percentual do sólido, as partículas passam a interagir entre si. O comportamento reológico desvia-se do newtoniano e passa

a depender também de diversas variáveis, como as características físicas das partículas, a distribuição de tamanho de partícula, densidade, formato, tipo de interação, entre outros fatores (PANDOFELLI, 2000).

O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente pode ser descrito mediante uma equação análoga à de Arrhenius (RAO, 1977), equação (3.1).

$$\eta_a = \eta_o \cdot \exp\left(\frac{E_a}{RT}\right) \quad (3.1)$$

onde η_a é a viscosidade aparente (Pa·s), η_o é uma constante (Pa·s), E_a é a energia de ativação para escoamento viscoso ($\text{kcal}\cdot\text{gmol}^{-1}$), R é a constante dos gases ($1,987\cdot 10^{-3} \text{ kcal}\cdot\text{gmol}^{-1}\cdot\text{K}^{-1}$) e T é a temperatura absoluta (K). A equação indica a tendência geral observada de uma diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura. O efeito da concentração sobre a viscosidade aparente de sucos de frutas é importante em aplicações tais como na concentração de fluidos alimentares.

No presente trabalho foram determinadas e comparadas as características físico-químicas de três estágios de maturação da polpa de goiaba (verde, madura e muito madura), bem como suas características reológicas.

3.2 MATERIAL E MÉTODOS

3.2.1 Matéria – prima

A goiaba utilizada no processamento é proveniente de Vista Alegre do Alto, São Paulo, safra de março de 2006, variedade Pedro Sato. Os frutos foram adquiridos no mercado local de Florianópolis (SC) em quantidade suficiente para os testes propostos.

3.2.2 Caracterização físico-química da polpa nos três estágios de maturação

Para a caracterização físico-química da polpa em cada estágio de maturação, as análises foram conduzidas em quintuplicatas, usando os

seguintes métodos: açúcares totais pelo método de DUBOIS *et al.* (1956); açúcares redutores, método proposto por MILLER (1959); açúcares não-redutores obtidos por diferença entre carboidratos totais e redutores; sólidos totais pelo método 934.01 da AOAC (1997); sólidos solúveis pelo método 37.1.15 da AOAC (1997); sólidos insolúveis obtidos por diferença entre sólidos totais e solúveis e pectina pelo método descrito por RANGANNA (1979).

3.2.3 Medidas de textura e obtenção da polpa de goiaba nos diferentes estágios de maturação

A obtenção da polpa de goiaba nos diferentes estágios de maturação é mostrada na Figura 3.1, que traz um fluxograma das ações utilizadas.

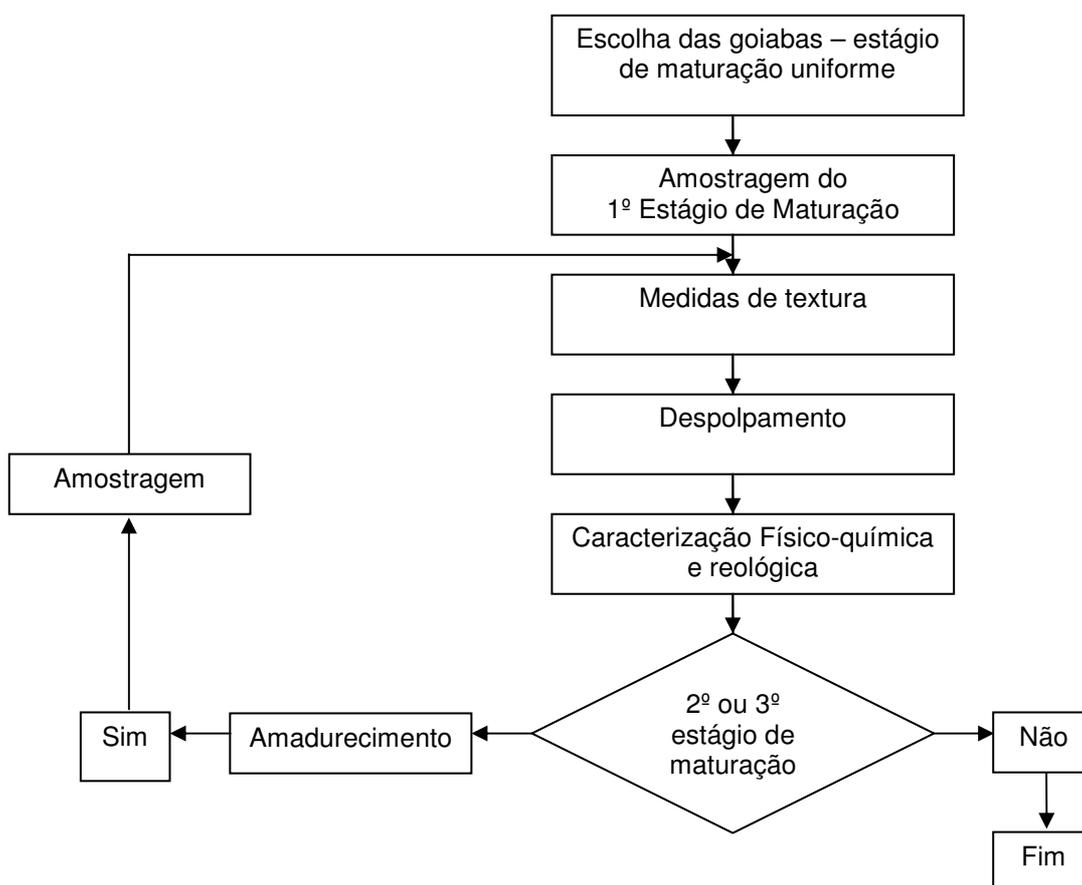


Figura 3.1 – Fluxograma das medidas de textura e a obtenção da polpa de goiaba nos diferentes estágios de maturação.

As frutas foram selecionadas por coloração, de modo a se obter uma faixa suficientemente estreita de maturação.

A textura da polpa em cada estágio de maturação foi determinada com penetrômetro manual marca TR Turoni, modelo FT 327, com sonda de 8 mm. Foram tomadas quatro leituras em cada fruto, fazendo-se 4 perfurações na região equatorial. Foram utilizadas 10 goiabas para cada estágio de maturação. Antes de se efetuar a medida, retirou-se a casca do local da leitura, com auxílio de uma lâmina metálica. Os resultados foram expressos em Newton (N).

O despulpamento foi realizado em despulpadeira Walita com abertura de peneira de 0,06 mm e a polpa dos três estágios de maturação foi acondicionada em sacos de polietileno e congelada a -18°C para análises posteriores.

3.2.4 Metodologia para obtenção dos dados reológicos

As medidas reológicas foram realizadas a temperaturas de 25 °C, 35, °C 45 °C, 55 °C, 65 °C, 75 °C e 85 °C em um reômetro de cilindros concêntricos THERMO HAAKE, modelo VT550, para as polpas dos três estágios de maturação.

As medidas experimentais foram obtidas após o estabelecimento da temperatura de equilíbrio, por meio de um banho termostático Haake DC 10. Para o controle do sistema e registro das medidas efetuadas utilizou-se o software Rheowin Pro Job Manager, que comanda as operações do sistema.

O tempo de corrida para cada ensaio foi programado para 6 minutos com a taxa de deformação máxima de 1000 s⁻¹. Os ensaios foram feitos com uma corrida ascendente e outra descendente, com 90 pontos de taxa de deformação em função da tensão de cisalhamento em cada uma delas, resultando num total de 180 pontos.

3.2.5 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram processados e analisados estatisticamente por análise de variância (ANOVA) e teste χ^2 e as médias dos estados de maturação foram comparadas entre si pelo teste de Tuckey, para um nível de significância de 5%. As análises foram realizadas no programa STATISTICA, versão 6.0.

3.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.3.1 Caracterização físico-química da polpa nos três estágios de maturação

Os resultados da caracterização físico-química para as polpas dos três estágios de maturação da goiaba são mostradas na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Caracterização físico-química para as polpas dos três estágios de maturação da goiaba.

Componentes	1º estágio de maturação	2º estágio de maturação	3º estágio de maturação
Açúcares Totais(g/100mL)	6,25 ± 0,19	7,05 ± 0,31	9,01 ± 0,17
Açúcares Redutores (g/100mL)	5,45 ± 0,13	6,07 ± 0,08	7,75 ± 0,07
Açúcares não-red. (g/100mL)	0,80 ± 0,32	0,98 ± 0,39	1,26 ± 0,24
Sólidos Totais (g/100mL)	11,72±0,20	12,73 ±0,09	13,41 ± 0,15
Sólidos Solúveis (º Brix)	9,00 ± 0,01	9,75 ± 0,01	10,25 ± 0,01
Sólidos Insolúveis (g/100mL)	2,72 ± 0,20	2,98 ± 0,09	3,16 ± 0,15
Pectina (10 ⁻⁶ g/100mL)	16,31±0,07	16,56± 0,07	16,94 ± 0,07

Pode-se observar que todos os componentes medidos aumentaram à medida que a maturação da goiaba avançou. Este aumento foi significativo a um nível de $p < 0,05$. Na Tabela 3.1 vê-se que os açúcares totais representam 53,32 %, 59,57 % e 67,49 % dos sólidos totais para o 1º, 2º e 3º estágios de maturação respectivamente. Dos açúcares totais, cerca de 86 % são açúcares redutores. A quantidade de pectina encontrada foi menor que 0,01 % do teor de açúcares redutores.

Os sólidos totais representam os compostos solúveis em água presente no fruto como açúcares, vitaminas, ácidos, aminoácidos e algumas pectinas. O teor de sólidos totais é dependente do estado de maturação no qual o fruto é

colhido e geralmente aumenta durante a maturação pela biossíntese ou degradação de polissacarídeos (CHITARRA & CHITARRA, 1990). Observa-se um aumento dos sólidos totais com o avanço da maturação. Isto pode ser explicado pela perda de água do fruto devido à respiração e transpiração. Ainda, em relação aos sólidos, cerca de 76,5 % são solúveis.

Estes resultados estão de acordo com a literatura que afirma que na goiaba, os açúcares totais representam de 50 a 90% do teor de sólidos solúveis (CHITARRA *et al.*, 1990) e conseqüentemente, o teor de sólidos totais pode ser um indicativo da quantidade de açúcares presentes no fruto (AZZOLINI, 2002).

Segundo El – Bulk *et al.* (1997), os principais açúcares presentes na goiaba são frutose, glicose e sacarose, sendo a frutose a forma predominante. Ainda segundo os autores, a frutose representa 55 a 50% dos açúcares redutores, e juntamente com a glicose somam 74 a 98% dos açúcares totais.

De acordo com Esteves & Carvalho (1982) o aumento do grau de doçura durante a maturação está relacionado com a formação e o acréscimo contínuo de frutose.

Em frutos maduros, os teores de açúcares totais variam entre 4 e 9% (PEREIRA E MARTINEZ JR, 1986). Chitarra *et al.* (1990) estudaram as variedades IAC-4 e Guanabara e encontraram teores de açúcares variando entre 2,5 a 5% para os redutores, 0,2 a 1,3% para os não-redutores e de 3 a 6% para os açúcares totais.

Medina *et al.* (1978) analisaram amostras de goiabas da variedade IAC-4 para os três estágios de maturação e encontraram o teor de sólidos solúveis de 9,5% para a goiaba verde a 11,30% para a goiaba madura. Já para os açúcares redutores houve uma variação de 5,45 % para a goiaba verde a 7,75% para a goiaba madura. Para os açúcares totais a variação ficou entre 5,93% para a goiaba verde a 8,75 para a madura.

Para os teores de sólidos solúveis, foram encontrados valores na literatura entre 4,8 a 15,9%, dependendo da variedade, estágio de maturação e condições climáticas (GERHARDT *et al.*, 1997; CHITARRA *et al.*, 1990).

3.3.2 Efeito do estado de maturação sobre a textura e viscosidade aparente da polpa de goiaba

Na Tabela 3.2 são mostrados os valores médios de textura e viscosidade aparente a 25 °C e seus respectivos desvios padrão, nos três estágios de maturação. O estágio em que a fruta começou a amarelecer foi chamado de verdolengo.

Tabela 3.2 – Valores de textura e viscosidade aparente a 25 °C com seus respectivos desvios padrão para a goiaba nos três estágios de maturação.

Estágio de Maturação	Textura (N)	Viscosidade (mPa.s)
1º - Verde	58,1289 ± 4,5942 ^(a)	24,62 ± 9,17 ^(a)
2º - Maduro	29,0767 ± 2,1707 ^(b)	187,41 ± 60,72 ^(b)
3º - Muito maduro	14,7099 ± 0,7020 ^(c)	187,88 ± 54,86 ^(b)

Obs: letras iguais na coluna correspondem às viscosidades e texturas que não têm diferença significativa a um nível de significância de 5%, analisados pelo teste de Tuckey.

Os resultados de textura e viscosidade foram significativamente diferentes entre si para $p < 0,05$, exceto no caso das viscosidades das polpas de goiaba maduras e muito maduras.

Foi observado que a medida firmeza desses frutos diminuiu progressivamente à medida que a maturação progrediu, evidenciando um amolecimento devido ao amadurecimento. Observou-se, também, que embora a firmeza diminua quando a goiaba passa de madura a muito madura, a viscosidade aparente não varia. O teste χ^2 confirmou a relação entre o estágio de maturação e a textura da goiaba (Tabela 3.3)

Tabela 3.3 - Teste χ^2 para os três estágios de maturação, relacionando a textura de cada estágio.

Efeito	GL	χ^2	p
Estágio de maturação	2	440,06	0,00

A diminuição da firmeza da polpa durante o amadurecimento deve-se, principalmente, à perda da integridade da parede celular. A degradação das moléculas poliméricas constituintes da parede celular como celulose, hemicelulose e pectina, gera alterações na parede celular levando ao amolecimento da polpa. Outros processos também podem levar ao amolecimento dos frutos, como a degradação do amido e a perda de turgor (HUBER, 1983; TUCKER, 1993).

A perda de turgor é um processo físico decorrente da perda excessiva de água dos tecidos. Este é um processo importante após a colheita, e ocorre devido à transpiração, que é a diferença da pressão de vapor existente entre os tecidos do fruto e a atmosfera do local de armazenamento (KADER, 1986), e à respiração do fruto.

A viscosidade também é influenciada pela textura resultante da maturação, como confirmado pelo teste χ^2 e ANOVA com valores de $p < 0,05$. O Teste de Tuckey também mostrou, através de valores do nível $p < 0,05$, as situações em que a textura influi sobre a viscosidade. Na Tabela 3.7, a coluna 2 mostra as faixas de magnitude de textura estudadas. O estado verde mostra uma textura que varia de cerca de 51 a 67 N, o maduro que vai de 24 a 35 N e o muito maduro de 14 a 16 N.

Analisando a Tabela 3.4, pode-se observar que a goiaba verde difere significativamente da goiaba muito madura, em todas as faixas de textura encontradas. Ela também difere da madura em algumas faixas particulares de textura e esta significância pode ser devido ao fato de que nestas faixas a variabilidade das medidas são menores. Isto pode ser visualizado na Figura 3.2, que traz os valores médios e desvios padrão das texturas obtidas.

Tabela 3.4 - Avaliação da influência da textura sobre a viscosidade aparente pelo teste de Tuckey.

	Estado de maturação	Textura (N)	{1}	{2}	{3}	{4}	{5}	{6}	{7}	{8}	{9}	{10}
1	A	13										
2	A	14	1,000									
3	A	15	1,000	1,000								
4	B	24	0,968	0,719	0,545							
5	B	25	0,954	0,671	0,496	1,000						
6	B	26	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000					
7	B	27	1,000	1,000	1,000	0,980	0,971	1,000				
8	B	28	1,000	0,997	0,964	1,000	1,000	1,000	1,000			
9	B	29	1,000	1,000	1,000	0,831	0,793	1,000	1,000	1,000		
10	B	30	0,675	0,060	0,043	1,000	1,000	1,000	0,854	1,000	0,248	
11	B	31	0,961	0,694	0,519	1,000	1,000	1,000	0,975	1,000	0,812	1,000
12	B	32	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000	1,000
13	B	34	0,994	0,873	0,728	1,000	1,000	1,000	0,997	1,000	0,937	1,000
14	C	50	0,715	0,421	0,298	1,000	1,000	0,999	0,752	0,952	0,507	1,000
15	C	51	0,706	0,412	0,291	1,000	1,000	0,999	0,745	0,949	0,498	1,000
16	C	52	0,004	0,000	0,000	1,000	1,000	0,976	0,015	0,127	0,001	0,825
17	C	53	0,015	0,001	0,001	1,000	1,000	0,976	0,035	0,208	0,003	0,886
18	C	54	0,001	0,000	0,000	1,000	1,000	0,986	0,007	0,091	0,000	0,817
19	C	55	0,041	0,003	0,002	1,000	1,000	0,993	0,082	0,376	0,010	0,974
20	C	56	0,019	0,001	0,001	1,000	1,000	0,981	0,042	0,237	0,004	0,911
21	C	57	0,105	0,016	0,009	1,000	1,000	0,989	0,157	0,491	0,036	0,979
22	C	58	0,013	0,001	0,001	1,000	1,000	0,972	0,031	0,190	0,003	0,867
23	C	59	0,080	0,011	0,007	1,000	1,000	0,983	0,124	0,422	0,026	0,962
24	C	60	0,094	0,014	0,008	1,000	1,000	0,987	0,142	0,462	0,031	0,973
25	C	61	0,651	0,359	0,249	1,000	1,000	0,999	0,693	0,928	0,443	1,000
26	C	62	0,105	0,016	0,009	1,000	1,000	0,989	0,157	0,491	0,036	0,979
27	C	63	0,086	0,013	0,007	1,000	1,000	0,985	0,132	0,440	0,028	0,967
28	C	65	0,083	0,012	0,007	1,000	1,000	0,984	0,127	0,430	0,027	0,964
29	C	66	0,091	0,013	0,008	1,000	1,000	0,986	0,138	0,454	0,030	0,971
30	C	67	0,613	0,325	0,222	1,000	1,000	0,998	0,657	0,910	0,406	1,000

Obs: Os estágios de maturação são mostrados apenas as colunas em que podem ser observados níveis $p < 0,05$. A refere-se ao muito maduro, B ao maduro e C ao verde.

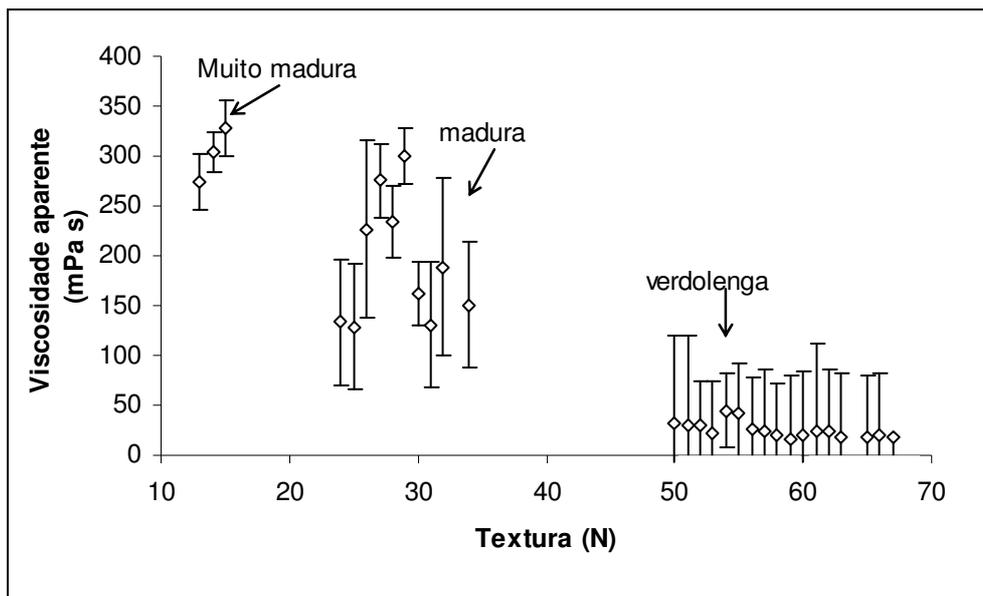


Figura 3.2 - Viscosidade média e seus respectivos desvios padrão nos três estágios de maturação em função da textura.

A viscosidade também possui relação com as características físico-químicas como mostra a Tabela 3.8, através do teste χ^2 e $p \leq 0,05$.

Tabela 3.5 – Influência das características físico-químicas sobre a viscosidade aparente nos três estágios de maturação.

Efeito	GL	χ^2	p
Açúcares Totais	3	16,59	0,00
Açúcares red.	2	17,24	0,00
Sólidos Totais	2	16,29	0,00
Sólidos solúveis	1	6,49	0,01
Pectina	1	23,81	0,00

3.3.3 Avaliação da energia de ativação da polpa de goiaba

A Tabela 3.6 mostra os valores de viscosidade aparente nas temperaturas de 25 °C a 85 °C, para os três estágios de maturação.

Tabela 3.6 – Valores de viscosidade aparente em todas as temperaturas para os três estágios de maturação.

Temperatura (°C)	Viscosidade aparente (mPas)		
	Verde	Madura	Muito madura
25	24,62 ± 9,17 ^(a)	187,41 ± 60,72 ^(a)	187,88 ± 54,86 ^(a)
35	5,62 ± 0,78 ^(b)	155,01 ± 49,35 ^(a)	173,20 ± 54,81 ^(a)
45	5,92 ± 0,67 ^(b)	144,30 ± 46,32 ^(a)	157,88 ± 51,76 ^(a)
55	2,80 ± 0,92 ^(b)	132,12 ± 41,60 ^(a)	149,52 ± 46,92 ^(a)
65	2,95 ± 0,87 ^(b)	123,38 ± 38,41 ^(a)	140,37 ± 43,78 ^(a)
75	2,80 ± 0,87 ^(b)	127,58 ± 40,18 ^(a)	139,11 ± 43,95 ^(a)
85	2,12 ± 0,91 ^(b)	141,14 ± 45,58 ^(a)	140,31 ± 44,70 ^(a)

Obs: letras iguais na coluna correspondem às viscosidades que não tem diferença significativa a um nível de significância de 5%, analisados pelo teste de Tuckey.

A partir dos valores de viscosidade aparente para cada estágio de maturação em cada temperatura, utilizando a Equação 3.1, foi calculada a energia de ativação, mostrada na Tabela 3.10, com os respectivos coeficientes de determinação. Os ajustes foram satisfatórios, com valores de R que variam de 0,81 a 0,96 .

Tabela 3.7– Energia de ativação para cada estágio de maturação.

Estágios de Maturação	Energia de ativação (kcal.gmol ⁻¹)	η_0	R
1º - Verde	9,83 ± 2,88	0,000001	0,91
2º - Madura	1,25 ± 0,37	20,89	0,82
3º - Muito madura	1,15 ± 0,14	26,06	0,96

A energia de ativação para o estado verde é mais alta, indicando que é necessário fornecer uma energia maior para que a polpa comece a escoar. Para as outras polpas, as energias de ativação pouco diferem entre si. Isto é

esperado uma vez que as polpas de goiaba madura e muito madura não mostraram diferença significativa na viscosidade.

A Figura 3.3 mostra os gráficos do ajuste da Equação de Arrhenius à viscosidade aparente em função da temperatura para as polpas de goiaba (a) verde, (b) madura e (c) muito madura.

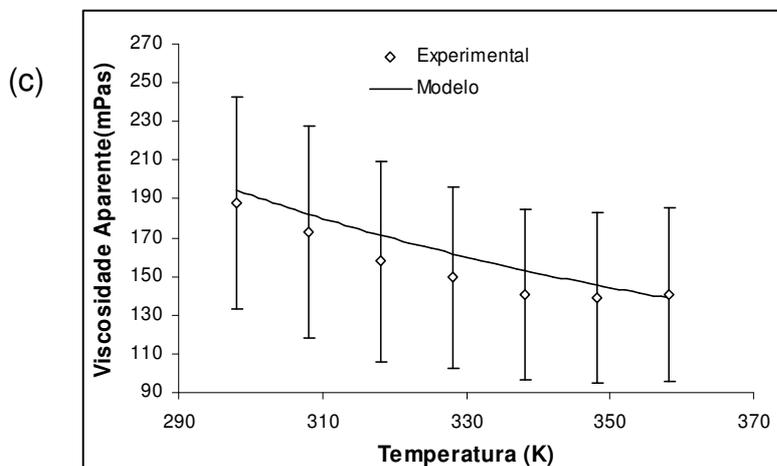
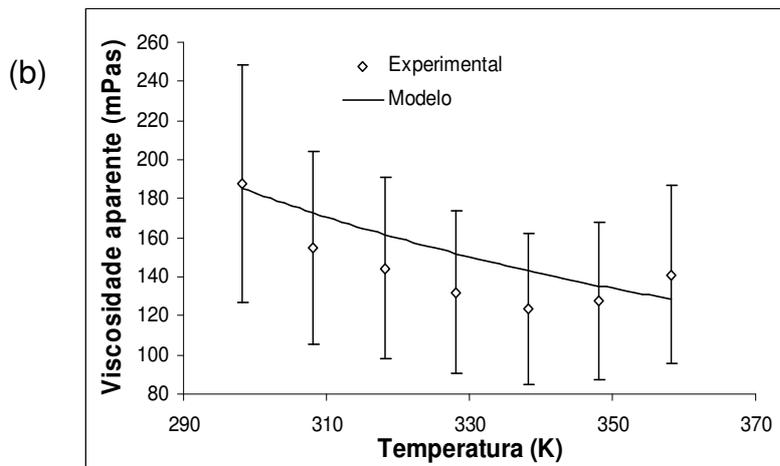
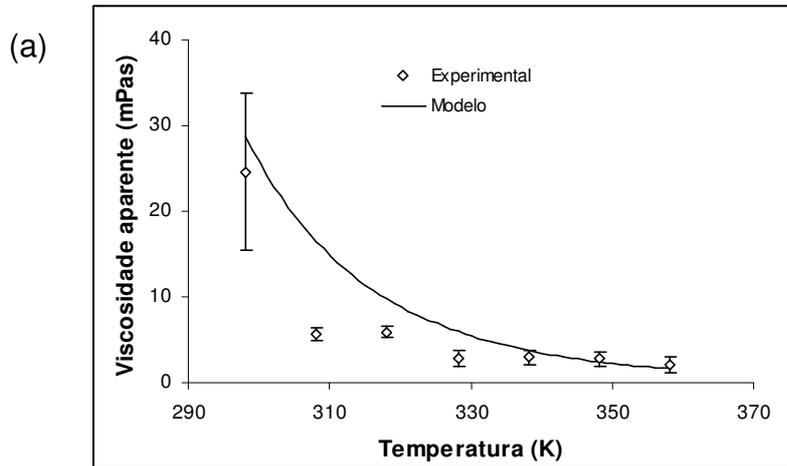


Figura 3.3 - Viscosidade aparente em função da temperatura para a polpa de goiaba verde (a), madura (b) e muito madura (c).

3.3.4 Caracterização reológica

Nos ensaios reológicos, as curvas ascendentes e descendentes da tensão de cisalhamento versus a taxa de deformação, não apresentaram efeitos de histerese. Conseqüentemente, as amostras utilizadas nos ensaios não apresentaram comportamento dependente do tempo, e, portanto, não exibem tixotropia.

A Figura 3.4 ilustra os resultados experimentais da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de goiaba, nas temperaturas de 25 °C a 85 °C. O caso apresentado refere-se ao segundo estágio de maturação.

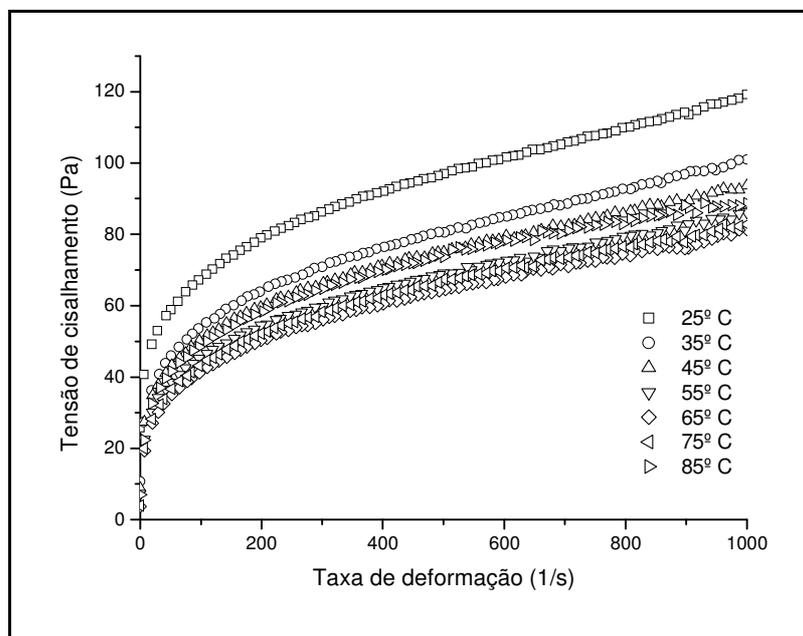


Figura 3.4 - Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para as diferentes temperaturas da polpa de goiaba madura.

Para todas as temperaturas analisadas, observa-se o aparecimento de uma tensão de cisalhamento inicial e um comportamento suave em função da temperatura.

A Figura 3.5 mostra a variação da viscosidade aparente em função da taxa de deformação para o mesmo caso. As curvas decrescem à medida que a taxa de deformação aumenta.

O comportamento mostrado nas duas figuras caracteriza um comportamento pseudoplástico.

De acordo com Hassan & Hobani (1998), com o aumento da temperatura, a energia térmica e as distâncias moleculares aumentam devido à redução das forças intermoleculares, causando uma diminuição na viscosidade. Além disso, a força de cisalhamento quando associada com a aplicação de temperatura, faz com que as partículas se reorganizem em direções paralelas e as partículas maiores sejam quebradas em partículas menores.

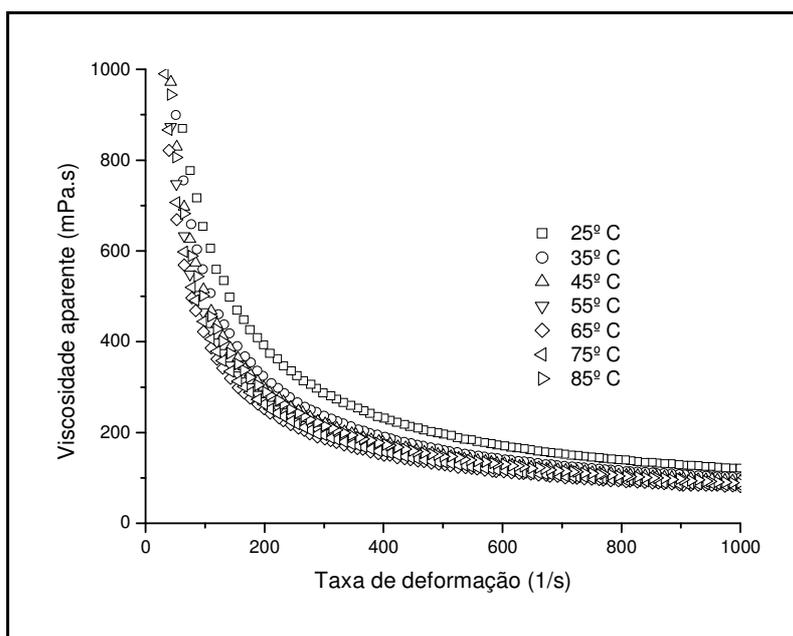


Figura 3.5 – Viscosidade aparente em função da taxa de deformação para as diferentes temperaturas da polpa de goiaba madura.

Essas partículas podem escoar mais facilmente como um resultado da diminuição da interação partícula-partícula, o que resulta na diminuição da viscosidade (CHARM, 1962). Após uma redução abrupta, a viscosidade muda levemente e torna-se estacionária em altas taxas de cisalhamento. Isto pode ser relacionado com a redução do tamanho dos agregados coloidais quando há o aumento da taxa de cisalhamento.

Do ponto de vista industrial, a diminuição da viscosidade aparente facilita o escoamento da polpa e a troca de calor durante o processamento. Sabe-se que quanto menor a viscosidade de um fluido, menor é a perda de carga durante o escoamento, o que resulta em um menor gasto de energia.

Comportamentos semelhantes foram observados para as polpas do 1º e 3º estágios de maturação, as polpas de goiabas verde e muito maduras. Todas apresentaram comportamento não newtoniano, com características pseudoplásticas.

O comportamento não newtoniano confirma os resultados apresentados por alguns autores como Pelegrine *et al.* (2000) e Branco & Gasparetto (2003), os quais afirmaram que sucos e polpas de frutas concentradas apresentam comportamento pseudoplástico, com sua viscosidade aparente diminuindo com o aumento da taxa de deformação.

Ensaio reológico também foram feitos para as polpas de goiaba verde e muito maduras.

A Figura 3.6 ilustra o comportamento da viscosidade para os três estágios estudados.

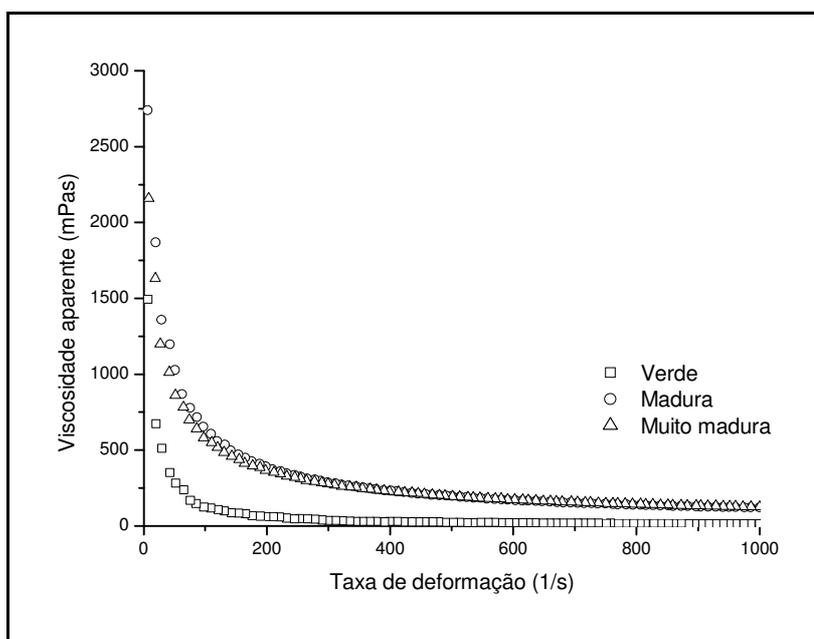


Figura 3.6 – Viscosidade aparente em função da taxa de deformação para os três estágios de maturação da goiaba a 25 °C.

Observa-se que as curvas das polpas provenientes de goiabas maduras e muito maduras estão muito próximas. Para avaliar se existe diferença significativa entre estes dois estados de maturação sobre a viscosidade, foram feitos testes de análise de variância, ANOVA, e de Tukey a um nível de significância de 5%. Eles mostraram que as viscosidades destes dois estágios

não mostraram diferenças estatisticamente significativas entre elas, nas temperaturas e taxas de deformação estudadas.

3.4 CONCLUSÃO

As avaliações das características físico-químicas da polpa de goiaba em três estágios de maturação mostrou que a firmeza desses frutos diminuiu progressivamente à medida que a maturação progrediu, evidenciando o amadurecimento no qual ocorre o aumento de sólidos de um modo geral.

Na caracterização reológica, todas as polpas também apresentaram comportamento não newtoniano, com características pseudoplásticas e aumento da viscosidade aparente com o aumento do grau de maturação.

A equação de Arrhenius representou bem o efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente para as polpas dos três estágios de maturação, sendo que os valores encontrados para a energia de ativação foram de 9,83 kcal.gmol⁻¹ para a polpa de goiaba verde, 1,25 kcal.gmol⁻¹ para a polpa de goiaba madura e 1,15 kcal.gmol⁻¹ para a polpa de goiaba muito madura.

As diferentes características físico-químicas bem como a textura mostraram ter influência significativa sobre a viscosidade. Portanto, a firmeza da polpa e a caracterização físico-química podem ser considerados bons índices de caracterização para a maturação da polpa de goiaba, contraria à reologia que indica uma mudança clara apenas do estado verdolengo ao maduro.

3.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARADO, J.D.; AGUILERA, J.M. Métodos para medir Propriedades Físicas em Indústrias de Alimentos. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, 2001. p.410.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). In: CUNIFF, P. (Ed.) Official Methods of AOAC Internacional, 16th ed., Arlington, VA, 1997, 2v.

AZZOLINI, M.. Fisiologia pós-colheita de goiabas Pedro Sato: estádios de maturação e padrão respiratório. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2002.

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

CHARM, S.E. The nature of role of fluid consistency in food engineering applications advance. *Food research*.11, 356–361, 1962.

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

CHOUDHURY, M M.; COSTA, T. SILVA da.; ARAÚJO, J. L. P. Goiaba: Pós-colheita. Brasília : EMBRAPA, 2001, 45p. (Série Frutas do Brasil).

CLEMENTE, E.Purification and thermostability of isoperoxidase from oranges. *Phytochemistry*, Kiklington/Oxon, v.49, p 29-36, 1998.

DUBOIS, M.; GILLES, K. A. ; HAMILTON, J. K. ; REBERS, P. A. ; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. *Analytical Chemistry*, Washington, v. 28, p. 350 -356, 1956

EL-BULK, R.E., BABIKER, EL F.E.; EL TINAY, A.H. Changes in chemical composition of fruits during development and ripening. *Food chemistry*, v. 59 n.3, p. 395-399,1997.

ESTEVES, M.T. da C.; CARVALHO, V.D.de; CHITARRA, M.I.F.; CHITARRA, A.B.; PAULA, M.B. de. Caracterização dos frutos de seis cultivares de goiabeiras (*Psidium guajava* L.) na maturação.I – Determinações físicas e químicas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE FRUTICULTURA 7., Florianópolis, SC. 1983, Anais Florianópolis SC: SBF, 1984, v.2, p. 477-489.

FERREIRA, G. M., QUEIROZ, A. J. M., CONCEIÇÃO, R. S., & GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de cajú e goiaba. *Revista de Ciências Exatas e Naturais* 4 (2), 175-184, 2002

GERHARDT, L.B.A.; MANICA, I.; KIST, H.; SIELER, R.L. Características físico-químicas dos frutos de quatro cultivares e três clones de goiabeira em Porto Lucena, RS. Pesquisa Agropecuária Brasileira, v. 32, n. 2, p. 185-192, 1997.

GUTIERREZ, A. de S.; WATANABE, H.; SCHMIDT, M. dos R. A goiaba em números, Frutas e Legumes, n. 14, mai-jun, 2002.

HASSAN, B. H., & HOBANI, A. I. Flow properties of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) extract.. Journal of Food Engineering, 35(4), 459-470, 1998.

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

HUBER, D. J. The role of cell-wall hydrolysis in fruit softening. In: Horticultural Review Wetsport, CT: AVI, 1983, p. 619

KADER, A.A. Biochemical and physiological basis for effects of controlled and modified atmospheres on fruits and vegetables. Food Technology, v. 40, n. 5, p. 103-104, 1986.

MANICA, L.; ICUMA, I. M.; JUNQUEIRA, N.T.V.; SALVADOR, J.O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Fruticultura Tropical Porto Alegre: Cinco continentes, 2000. cap. 6. 373p: Goiaba.

MEDINA, J.C.; CASTRO, J.V. de.; SIGRIST, J.M.M.; DE MARTIN, Z.J.; KATO, K.; MAIA, M.L.; GARCIA, A.E.B.; FERNANDES, R.S.S. Goiaba: cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos. 2.ed. Campinas: ITAL, 1988. 224p. (Série Frutas tropicais, 6).

MILLER, G. L., Use of dinitrosalicylic acid reagents for determination of reducing sugar , Analytical Chemistry v. 31, p. 426, 1959.

PANDOFELLI, V. C. et al. Dispersão e empacotamento de partículas, princípios e aplicações em processamento cerâmico. São Paulo: Fazendo Arte, 2000.

PELEGRINE, D.H., VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.20, n.1, 2000.

PEREIRA, F.M.; MARTINEZ, M. JÚNIOR. *Goiabas para industrialização*. Jaboticabal: UNESP, 1986.142P.

QUEIROZ, A.J.M. Estudo do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, 1998. 170 p. Tese de Doutorado.

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, Uberlândia, 1996.

RANGANNA, S. *Manual of analysis of fruit and vegetable products*. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 1977. 634 p.

RAO, M.A. Rheology of liquid foods. *Journal of Texture Studies*, v. 8, n. 2, p. 135-168, 1977.

TUCKER, G.A. Introduction. In: SEYMOR, G.B.; TAYLOR, J.E.; TUCKER, G.A. *Biochemistry of fruit ripening*. London: Chapman & Hall, 1993. cap. 1, 2-51.

VITALI, A.A. & RAO, M.A. Flow Behavior of Guava Puree as Function of Temperature and Concentration. *Journal Texture Studies*.v.13, n.3, p. 275-289, 1982.

MODELAGEM DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE POLPA DE GOIABA (*Psidium guajava* L.) OBTIDA A DIFERENTES ESTADOS DE MATURAÇÃO

RESUMO

Neste trabalho foi determinado o comportamento reológico da polpa de goiaba em três estágios de maturação. As goiabas foram selecionadas por coloração de modo a se obter uma faixa suficientemente estreita de maturação: 1º estágio de maturação (verde); 2º estágio (madura) e 3º estágio (muito madura). Amostras de polpa de cada estágio foram avaliadas quanto às transformações físico-químicas (sólidos totais; sólidos solúveis e insolúveis; açúcares totais; açúcares redutores e não-redutores e pectina) e quanto à caracterização reológica. As caracterizações reológicas foram realizadas nas temperaturas de 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C, 75 °C e 85 °C por meio de um reômetro de cilindros concêntricos. Os dados experimentais foram ajustados utilizando cinco modelos reológicos: Lei da Potência, Bingham, Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk. O ajuste foi feito para todas as temperaturas nos três estágios de maturação. O modelo de Mizrahi-Berk proporcionou os melhores parâmetros de controle do ajuste, embora os demais modelos também tenham apresentado ajustes satisfatórios. Com o ajuste do modelo se constatou que a polpa dos três estágios de maturação possui um forte comportamento não-newtoniano, com características pseudoplásticas. Observou-se também, que o aumento da temperatura não muda significativamente a viscosidade aparente da polpa, com exceção da goiaba verde, que a 25 °C mostra uma viscosidade muito maior que para as demais temperaturas. Portanto, pode-se considerar que a reologia da goiaba verde pode ser representada para um ajuste a 25 °C e outro para temperatura de 35

°C a 85 °C. Para as polpas madura e muito madura a reologia pode ser representada por um único ajuste de 25 °C a 85 °C.

Palavras-chave: reologia, polpa; goiaba, estágio de maturação;

ABSTRACT

The rheologic behavior of the guava pulp in three maturation stages was determined. Guavas had been selected by color in order to get a narrow band of maturation. The first maturation stage was established by green, the second stage as mature and the third as very mature. The fruit pulp from each maturation stage was evaluated by analysis of the total solids; soluble and insoluble solids; total sugars; reducing and non-reducing sugars, pectin content and rheological characterization. The rheological assays had been carried out at temperatures of 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C, 75 °C and 85 °C in a rheometer of concentric cylinders. Power law, Bingham, Herschel-Bulkley, Casson and Mizrahi-Berk rheologic models were fitted to the experimental data. Fitting was made for all the temperatures in the three maturation stages. Mizrahi-Berk model provided the best determination coefficients, even the other models also have presented satisfactory adjustments. It was put in evidence that the three maturation stages had non-Newtonian behavior, with pseudoplastic characteristics. It was also observed, that the temperature increase does not change the apparent viscosity of the pulp except for green guava: at 25 °C it has the highest viscosity. Statistical studies showed that apparent viscosity has no significant difference from 35 °C to 85 °C for the green guava, and for 25 °C to 85 °C for mature and very mature pulps. So, only one fitting of Mizrahi-Berk model was made for these temperature groups.

Key-words: rheology, pulp, guava, maturation stage.

4.1 INTRODUÇÃO

A expansão do mercado consumidor de goiaba *in natura* está condicionada à qualidade dos frutos e ao aumento da vida útil pós-colheita, sendo os atributos de qualidade influenciados pelos cultivares, condições climáticas e práticas culturais. Manejos inadequados na colheita e pós-colheita aceleraram os processos de senescência afetando sensivelmente a qualidade e limitando ainda mais o período de comercialização.

A goiaba é um fruto altamente perecível devido ao seu intenso metabolismo durante o amadurecimento e o aumento em seu consumo como fruta fresca está condicionado a melhoria da qualidade dos frutos (AZZOLINI, 2002).

A determinação correta do estágio de maturação em que um fruto se encontra é essencial para que a colheita seja efetuada no momento certo. Para isso, são utilizados os chamados índices de maturação. Esses índices compreendem medidas físico-químicas que sofrem mudanças ao longo da maturação dos frutos. Os índices de maturação devem assegurar a obtenção de frutas de boa qualidade durante o armazenamento (KLUGE *et al.*, 2002). Em relação à goiaba, não existe padronização e consenso do estágio de maturação ideal para a colheita, assim como pouco se sabe a respeito dos índices de maturação adequados. As goiabas normalmente são colhidas quando a polpa ainda está firme e a coloração da casca começa a mudar de verde-escuro para verde-claro ou começa a amarelecer (MANICA *et al.*, 2000). Estudos que avaliaram a influência dos estádios de maturação na evolução das características físicas e químicas desse fruto após a colheita são escassos.

O comportamento reológico dos fluidos está dividido em newtoniano e não-newtoniano. Os fluidos newtonianos são caracterizados por uma relação linear entre tensão de cisalhamento e a taxa de deformação aplicada, dependendo apenas da temperatura e da composição do fluido. Já os fluidos não-newtonianos são fluidos plásticos, dependentes ou independentes do tempo, de modo que, os independentes não são afetados pelo histórico anterior de cisalhamento, classificando-se como pseudoplásticos (NAGY *et al.*, 1993).

Trifiró *et al.* (1987) relataram que os sucos e purês de frutas, são fluidos pseudoplásticos, e o afastamento do comportamento newtoniano é

determinado pelo conteúdo de polpa, de modo que, sucos despulpados se comportam como newtonianos. O comportamento reológico se altera em função do teor da polpa, por ação enzimática ou mesmo mecânica que modifiquem a estrutura desta polpa. Por outro lado, Tanglertpaibul & Rao (1987) observaram que o comportamento reológico dos sucos e purês de frutas está ligado aos teores de sólidos solúveis e forma, tamanho, concentrações das partículas suspensas e da estrutura do sistema. As referências que tratam da reologia de derivados de frutas estabelecem que a temperatura, a concentração de sólidos solúveis, o teor de pectina e de sólidos insolúveis são os principais responsáveis pelo comportamento reológico (QUEIROZ, 1998).

Na descrição do comportamento reológico, foram utilizados cinco modelos empíricos para relacionar os dados de tensão de cisalhamento com a taxa de deformação. Os modelos reológicos mais citados nas referências bibliográficas para a caracterização reológica de sucos e polpas de frutas são: Lei da Potência, Bingham, Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk. Dentre estes modelos, o de Mizrahi-Berk é o que melhor tem se ajustado à maioria dos reogramas das polpas, sucos e purês de frutas, uma vez que os autores o desenvolveram baseando-se no modelo de uma suspensão de partículas interagindo em um solvente pseudoplástico (PELEGRINE *et al.*, 2000).

Este trabalho foi realizado com o objetivo de avaliar o comportamento reológico da polpa de goiaba nos três estágios de maturação, comparando os diferentes modelos reológicos.

4.2 MATERIAL E MÉTODOS

4.2.1 Matéria – prima

A goiaba, variedade Pedro Sato, utilizada no processamento é proveniente de Vista Alegre do Alto, São Paulo, da safra de março de 2006, foi adquirida no mercado local (Florianópolis, SC). As frutas foram selecionadas por coloração, de modo a se obter uma faixa suficientemente estreita de maturação.

4.2.2 Caracterização físico-química da polpa nos três estágios de maturação

Para a caracterização físico-química da polpa em cada estágio de maturação, as análises foram conduzidas em quintuplicatas, usando os seguintes métodos: açúcares totais pelo método de DUBOIS *et al.* (1956); açúcares redutores, método proposto por MILLER, G.L. (1959); açúcares não-redutores obtidos por diferença entre carboidratos totais e redutores; sólidos totais pelo método 934.01 da AOAC (1997); sólidos solúveis pelo método 37.1.15 da AOAC (1997); sólidos insolúveis obtidos por diferença entre sólidos totais e solúveis e pectina pelo método descrito por RANGANNA (1979).

4.2.3 Obtenção da polpa de goiaba nos diferentes estágios de maturação

A obtenção da polpa de goiaba nos diferentes estágios de maturação é mostrada na Figura 4.1, que traz um fluxograma das ações utilizadas.

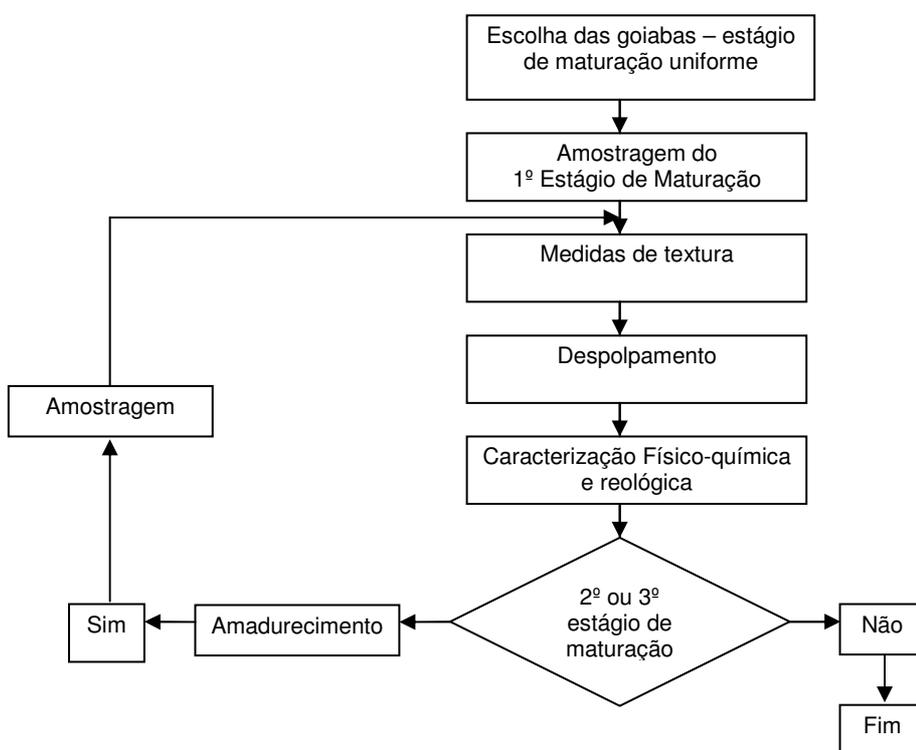


Figura 4.1 – Fluxograma para obtenção da polpa de goiaba nos diferentes estágios de maturação.

O despulpamento foi realizado em despulpadeira Walita Vito modelo RI 6728 com abertura de peneira de 0,06 mm e a polpa dos três estágios de maturação foi acondicionada em sacos de polietileno e congelada a -18°C para análises posteriores.

4.2.4 Metodologia para Obtenção dos Dados Reológicos

As medidas reológicas foram realizadas à temperaturas de 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C, 75 °C e 85 °C em um reômetro de cilindros concêntricos THERMO HAAKE, modelo VT550, para as polpas dos três estágios de maturação.

As medidas experimentais foram obtidas após o estabelecimento da temperatura de equilíbrio, por meio de um banho termostático Haake DC 10. Para o controle do sistema e registro das medidas efetuadas utilizou-se o software Rheowin Pro Job Manager, que comanda as operações do sistema.

O tempo de corrida para cada ensaio foi programado para 6 minutos com a taxa de deformação máxima de 1000s⁻¹. Os ensaios foram feitos com uma corrida ascendente e outra descendente, com 90 pontos de taxa de deformação, resultando num total de 180 pontos.

As Equações 4.1 a 4.5 mostram os modelos utilizados para a análise dos dados experimentais. São os modelos Lei da Potência, Bingham, Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk, respectivamente:

$$\tau = k\gamma^n \quad (4.1)$$

$$\tau = \tau_0 + \eta_\infty \dot{\gamma} \quad (4.2)$$

$$\tau = \tau_0 + k(\dot{\gamma})^n \quad (4.3)$$

$$\tau^{0,5} = K_{OC} + K_C \cdot \dot{\gamma}^{0,5} \quad (4.4)$$

$$\tau^{0,5} = K_{om} + K_m \dot{\gamma}_m^n \quad (4.5)$$

Onde:

τ = tensão de cisalhamento [Pa];

τ_0 = tensão inicial de cisalhamento [Pa];

K_{om} e K_{OC} = raiz quadrada da tensão inicial;

K , K_C e K_m = índices de consistência [Pa.s];

γ = taxa de deformação [s^{-1}];

n_m = índice de comportamento do escoamento [adimensional];

η_∞ = Viscosidade aparente do fluido. [mPas].

4.2.5 Análises estatísticas

Os dados obtidos foram processados e analisados estatisticamente por análise de variância (ANOVA) e teste χ^2 e as médias dos estados de maturação foram comparadas entre si pelo teste de Tuckey, todos a um nível de probabilidade de 5%. As análises foram realizadas no programa STATISTICA, versão 6.0.

4.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.3.1 Caracterização físico-química da polpa nos três estágios de maturação

O estágio de maturação indica diferentes etapas do desenvolvimento do fruto. Conseqüentemente, isto pode resultar em distinções nos processos metabólicos após a colheita, interferindo na qualidade.

A Tabela 4.1 mostra os resultados da caracterização físico-química para as polpas dos três estágios de maturação da goiaba.

Conforme já descrito no capítulo anterior, os componentes medidos aumentaram significativamente à medida que a maturação avançou sendo que os valores encontrados também estão de acordo com a literatura.

Os sólidos totais são dependentes do estado de maturação no qual o fruto é colhido e geralmente aumenta durante a maturação pela biossíntese ou degradação de polissacarídeos (CHITARRA & CHITARRA, 1990), como o indicado pela porcentagem encontrada para cada polpa que variou de 11,72 % a 13,41 %.

A porcentagem de sólidos solúveis ($^{\circ}$ Brix) variou de 9,00% a 10,25% o que significa dizer que, à medida que o fruto foi amadurecendo, a quantidade do $^{\circ}$ Brix aumenta de forma linear. Um maior incremento destes no último estágio de maturação é observado no fruto destinado ao consumo *in natura*, quando a goiaba está pronta para ser diretamente levada para alimentação.

Tabela 4.1 - Caracterização físico-química para as polpas dos três estágios de maturação da goiaba.

Determinações	1º estágio de maturação	2º estágio de maturação	3º estágio de maturação
Açúcares Totais(g/100mL)	6,25 ± 0,19	7,05 ± 0,31	9,01 ± 0,17
Açúcares Redutores (g/100mL)	5,45 ± 0,13	6,07 ± 0,08	7,75 ± 0,07
Açúcares não-red. (g/100mL)	0,80 ± 0,32	0,98 ± 0,39	1,26 ± 0,24
Sólidos Totais (g/100mL)	11,72 ± 0,20	12,73 ± 0,09	13,41 ± 0,15
Sólidos Solúveis (º Brix)	9,00 ± 0,00	9,75 ± 0,00	10,25 ± 0,00
Sólidos Insolúveis (g/100mL)	2,72 ± 0,20	2,98 ± 0,09	3,16 ± 0,15
Pectina (10⁻⁶g/100mL)	16,31 ± 0,07	16,56 ± 0,07	16,94 ± 0,07

Almeida *et al.* (1999) observaram comportamento semelhante para o incremento de sólidos solúveis em manga espada, durante a maturação, assim como Itai (1991) para a goiaba. Segundo Maia *et al.*, (1998) a determinação do teor de sólidos solúveis de quatro variedades de goiaba mostrou que estes valores variam de 11,00 a 12,10 ºBrix . Por sua vez, Ferreira (2002) obteve um teor de sólidos solúveis de 4,8 ºBrix. Itai (1978) relata que a goiaba apresentou 9,5; 10,30 e 11,30 ºBrix para os estágios verde, de vez e maduro, respectivamente.

Os açúcares totais variaram de 11,72 % a 13,41 % e os açúcares redutores variaram de 5,45 % a 7,75 %.O aumento do grau de doçura durante a maturação é decorrente da formação e do acréscimo contínuo de frutose, já que a frutose representa 55 a 50% dos açúcares redutores, e juntamente com a glicose somam 74 a 98% dos açúcares totais.

4.3.2 Caracterização reológica

Nos ensaios reológicos, as curvas ascendentes e descendentes da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação, não apresentaram efeitos de histerese. Conseqüentemente, as amostras utilizadas nos ensaios não apresentaram comportamento dependente do tempo, e, portanto, não exibem tixotropia.

A modelagem dos resultados experimentais foi feita pelo ajuste dos modelos de Bingham, Lei da Potência, Casson, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk, com auxílio do software STATISTICA 6.0. Os modelos foram ajustados para os três estágios de maturação nas temperaturas de 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C, 75 °C e 85 °C.

A Tabela 4.2 mostra os parâmetros dos cinco modelos reológicos para a polpa de goiaba verdolenga em todas as temperaturas.

Tabela 4.2 – Parâmetros dos modelos reológicos para a polpa de goiaba verdolenga.

Modelos	Parâmetros	Temperatura (°C)						
		25	35	45	55	65	75	85
Bingham	τ_0	0,2679	-0,1466	-0,2592	-0,2595	-0,2461	-0,4690	-0,4829
	n	0,0068	0,0059	0,0050	0,0034	0,0034	0,0038	0,0032
Lei da Potência	K	0,0135	0,0032	0,0014	0,0003	0,0004	0,0000	0,0000
	n	0,0135	1,0862	1,1835	1,3220	1,2970	1,7033	1,8606
Casson	K_{oc}	0,1797	-0,1383	-0,2669	-0,3754	-0,3439	-0,7271	-0,7769
	K_c	0,0781	0,0812	0,0781	0,0693	0,0688	0,0835	0,0793
Herschel-Bulkley	τ_0	0,1521	0,0233	-0,0105	0,0296	0,0376	0,0828	-0,0181
	K	0,0097	0,0030	0,0014	0,0003	0,0003	0,0000	0,0000
	n	0,9499	1,0962	1,1775	1,3513	1,3634	1,7830	1,7995
Mizrahi-Berk	K_{om}	0,2332	0,0278	-0,0019	0,0691	0,1412	0,2064	-0,0433
	K_m	0,0680	0,0531	0,0377	0,0140	0,0108	0,0016	0,0038
	nm	0,5172	0,5523	0,5909	0,7001	0,7328	0,8145	0,8924

A Figura 4.2 mostra os resultados experimentais da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de goiaba verdolenga à temperatura de 25 °C, ajustado segundo os modelos de Bingham (a), Lei da Potência (b), Casson (c), Herschel-Bulkley (d) e Mizrahi-Berk (e).

Para as demais temperaturas, os modelos se ajustaram de modo satisfatório, com valores do coeficiente de determinação maiores que 0,88. Os

demais modelos seguiram as mesmas características apresentados na Figura 4.2.

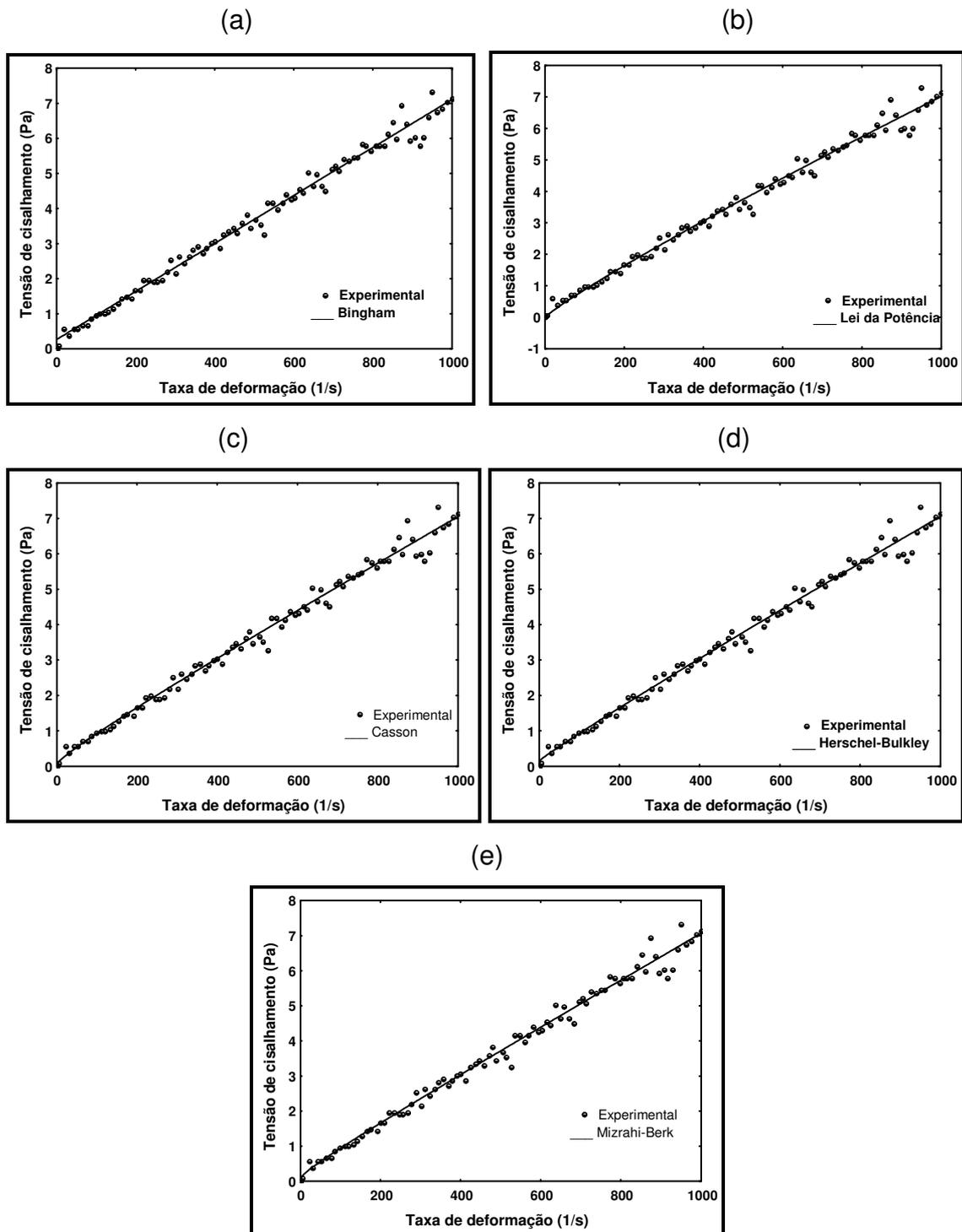


Figura 4.2 – Ajuste do modelo de (a) Bingham, (b) Lei da Potência, (c) Casson, (d) Herschel-Bulkley e (e) Mizrahi-Berk para a polpa verdolenga a 25 °C.

A Tabela 4.3 mostra os valores do coeficiente de correlação, R, em cada temperatura, para cada modelo apresentado em relação à polpa de goiaba verde.

Tabela 4.3 – Valores de R em cada modelo ajustado para a polpa de goiaba verde.

Temperatura (°C)	Bingham	Lei da Potência	Casson	Herschel-Bulkley	Mizrahi-Berk
25	0,9940	0,9940	0,9942	0,9942	0,9942
35	0,9671	0,9676	0,9675	0,9676	0,9676
45	0,9685	0,9700	0,9698	0,9700	0,9700
55	0,8896	0,8947	0,8939	0,8948	0,8948
65	0,9371	0,9418	0,9409	0,9419	0,9420
75	0,9265	0,9477	0,9413	0,9480	0,9483
85	0,9214	0,9464	0,9399	0,9459	0,9464

De acordo com a tabela acima, pode-se ver que o ajuste dos modelos são equivalentes em todas as temperaturas na polpa de goiaba verde. Escolheu-se o modelo de Mizrahi-Berk por ser o que melhor tem se ajustado à maioria dos reogramas das polpas, sucos e purês de frutas, inclusive na literatura, já que o mesmo foi desenvolvido baseando-se em um modelo de uma suspensão de partículas interagindo em um solvente pseudoplástico.

A Tabela 4.4 mostra a análise de variância, ANOVA, para o modelo de Mizrahi-Berk a 25 °C para a polpa de goiaba verde.

Tabela 4.4 – Análise de variância, ANOVA, para o modelo de Mizrahi-Berk a 25 °C para a polpa de goiaba verde.

Efeitos	Soma quadrática	DF	Média quadrática	F	p
Regressão	1566,63	3,00	522,21	10905,71	0,00
Resíduo	4,166	87,00	0,0479		
Total	1570,79	90,00			

Através da análise de variância, observa-se que a regressão é significativa, e o resíduo deixado pelo modelo é desprezável, não tendo diferença significativa a um nível de 5%. Este resultado também foi observado para as demais temperaturas.

O mesmo tipo de análise foi feita para as polpas madura e muito madura. Os resultados foram semelhantes, confirmando que o modelo de Mizrahi-Berk pode ser ajustado para todas as etapas de maturação (Tabela 4.5), e os coeficientes de determinação R foram superiores a 0,99. Pela ANOVA, as regressões são significativas.

Tabela 4.5 – Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para as polpas de goiaba madura e muito madura.

Maturação	Parâmetros	Temperatura (°C)						
		25	35	45	55	65	75	85
Madura	K_{om}	4,6026	2,5287	2,1949	1,8461	0,8473	0,5497	0,5251
	K_m	1,2147	1,9846	2,1190	2,1248	2,6481	3,0169	3,3929
	nm	0,2362	0,1908	0,1806	0,1799	0,1611	0,1495	0,1397
	R	0,9994	0,9919	0,9999	0,9990	0,9991	0,9993	0,9994
Mto Madura	K_{om}	4,7783	4,3603	4,6992	4,5672	4,2760	4,0918	4,4989
	K_m	0,8365	1,0189	0,7782	0,6635	0,7013	0,8380	0,6762
	nm	0,2956	0,2680	0,2781	0,2997	0,2908	0,2685	0,2888
	R	0,9998	0,9997	0,9987	0,9997	0,9995	0,9996	0,9995

A Tabela 4.6 mostra as viscosidades aparentes da polpa de goiaba verde, madura e muito madura nas temperaturas estudadas e o resultado do teste de Tuckey aplicado as diferentes temperaturas para cada tipo de polpa.

Tabela 4.6 - Valores de viscosidade aparente em todas as temperaturas para os três estágios de maturação.

Temperatura (°C)	Viscosidade aparente (mPas)		
	Verde	Madura	Muito madura
25	24,62 ± 9,17 ^(a)	187,41 ± 60,72 ^(a)	187,88 ± 54,86 ^(a)
35	5,62 ± 0,78 ^(b)	155,01 ± 49,35 ^(a)	173,20 ± 54,81 ^(a)
45	5,92 ± 0,67 ^(b)	144,30 ± 46,32 ^(a)	157,88 ± 51,76 ^(a)
55	2,80 ± 0,92 ^(b)	132,12 ± 41,60 ^(a)	149,52 ± 46,92 ^(a)
65	2,95 ± 0,87 ^(b)	123,38 ± 38,41 ^(a)	140,37 ± 43,78 ^(a)
75	2,80 ± 0,87 ^(b)	127,58 ± 40,18 ^(a)	139,11 ± 43,95 ^(a)
85	2,12 ± 0,91 ^(b)	141,14 ± 45,58 ^(a)	140,31 ± 44,70 ^(a)

Obs: letras iguais na coluna correspondem às viscosidades que não tem diferença significativa a um nível de significância de 5%, analisados pelo teste de Tuckey.

As viscosidades aparentes das polpas madura e muito madura é mais alta que aquela encontrada para a verde. No entanto, observa-se que o aumento da temperatura não muda significativamente a viscosidade aparente da polpa, com exceção da goiaba verde, que a 25 °C mostra uma viscosidade muito maior que para as demais temperaturas. Este efeito baixo da temperatura sobre a viscosidade se deve a uma grande variabilidade da medida, como denota o desvio padrão. Deste modo, pode-se considerar que a reologia da goiaba verde pode ser representada para um ajuste a 25 °C e outro para temperatura de 35 °C a 85 °C pode descrever os resultados encontrados.

Os parâmetros encontrados para o caso do conjunto de temperaturas no qual as viscosidades não apresentam diferença significativa são mostrados na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 – Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para a polpa de goiaba verdolenga nos três estágios de maturação.

Maturação	Temperatura (°C)	Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk			
		K_{om}	K_m	n_m	R
Verde	25	0,2332	0,0683	0,5172	0,9942
	35 - 85	0,1575	0,0106	0,7487	0,8455
Madura	25 - 85	2,1717	2,1255	0,1806	0,8500
Muito Madura	25 - 85	4,4757	0,7850	0,2843	0,8360

Para a polpa de goiaba verde a tensão inicial de cisalhamento (K_{om}) diminui com o aumento da temperatura, assim como o índice de consistência (K_m). O índice de comportamento do fluido (n_m) aumenta, indicando a diminuição da pseudoplasticidade do fluido a medida que a temperatura aumenta.

Através dos parâmetros da polpa de goiaba madura, observa-se que a pseudoplasticidade (n_m) aumenta em relação a polpa verde. Os demais parâmetros, índice de consistência e tensão inicial também aumentam para a polpa de goiaba madura.

Quando a polpa passa para o terceiro estágio de maturação, a tensão inicial de cisalhamento (K_{om}) aumenta, e o índice de consistência (K_m) diminui. O índice de comportamento (n_m) diminui, diminuindo a pseudoplasticidade do fluido.

Pode-se observar que os coeficientes de determinação diminuem bastante (de 0,99 para cerca de 0,84), embora o modelo ainda seja significativamente representativo dos resultados experimentais, como dado pela ANOVA a $p < 0,05$. Como mostrado na Figura 4.3, a dispersão em torno do modelo aumenta bastante. O mesmo comportamento é encontrado para os demais estados de maturação.

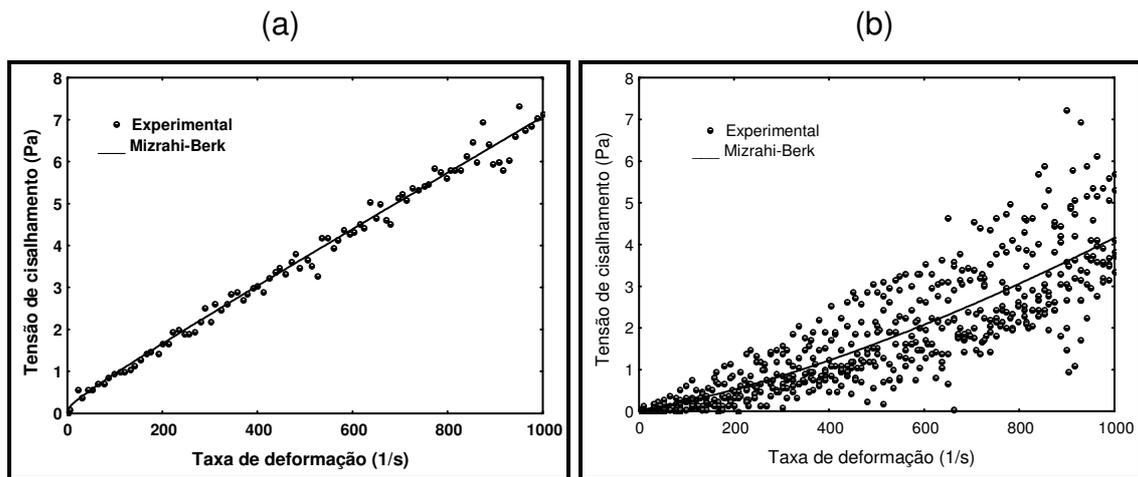


Figura 4.3 - Modelagem segundo Mizrahi-Berk ajustado aos resultados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de goiaba verde a 25 °C (a) e de 35 °C a 85 °C (b).

Não há dados na literatura sobre parâmetros de ajustes de modelos para conjuntos de temperaturas no qual as viscosidades não apresentam diferença significativa.

4.3 CONCLUSÃO

As polpas de goiaba apresentaram, em todas as faixas de temperatura e maturação estudadas, um forte comportamento não-Newtoniano, com características pseudoplásticas. Com relação ao ajuste dos modelos reológicos, todos apresentaram bons índices de coeficiente de correlação, R, porém escolheu-se o modelo de Mizrahi-Berk por ser o que melhor tem se ajustado à maioria dos reogramas das polpas, sucos e purês de frutas, inclusive na literatura. As viscosidades aparentes das polpas madura e muito madura é mais alta que aquela encontrada para a verde. No entanto, observa-se que o aumento da temperatura não muda significativamente a viscosidade aparente da polpa, com exceção da goiaba verde, que a 25 °C mostra uma viscosidade muito maior que para as demais temperaturas. Portanto, pode-se considerar que a reologia da goiaba verde pode ser representada para um ajuste a 25 °C e outro para temperatura de 35 °C a 85 °C. Para as polpas madura e muito madura a reologia pode ser representada por um único ajuste de 25 °C a 85 °C.

4.4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, F.A.C.; PAIVA NETO, B.R.; GOUVEIA, J.P.G. Avaliação do momento adequado da maturação da manga tipo espada, para a comercialização in natura e, ou, industrial. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 28, Pelotas, RS, Anais..., Pelotas : UFSM/SBEA, 1999. (CD-Rom)

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). In: CUNNIFF, P. (Ed.) Official Methods of AOAC Internacional, 16th ed., Arlington, VA, 1997, 2v.

AZZOLINI, M. Fisiologia pós-colheita de goiabas Pedro Sato: estádios de maturação e padrão respiratório. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2002.

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

DUBOIS, M.; GILLES, K. A. ; HAMILTON, J. K. ; REBERS, P. A. ; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry, Washington, v. 28, p. 350 -356, 1956.

FERREIRA, G. M., QUEIROZ, A. J. M., CONCEIÇÃO, R. S., & GASPARETTO, C. A. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de cajú e goiaba. Revista de Ciências Exatas e Naturais, 4 (2), 175-184, 2002.

ITAL, Goiaba cultura, matéria-prima, processamento e aspectos econômicos, 2º ed. Campinas. Gráfica e Editora Ltda. 1991. 224p.

ITAL, Goiaba - da cultura ao processamento e comercialização. Campinas: v.6., 1978.

KLUGE, R.A. NACHTIGAL, J.C.; BILHALVA, A. B. Fisiologia e manejo pós-colheita de frutas de clima temperado, 2.ed. Pelotas: UFPEL, 2002, 163p.

MAIA, G.A.; OLIVEIRA, G.S.F.; FIGUEIREDO, R.W.F.; GUIMARÃES, A.C.L. Tecnologia em processamento de sucos e polpas tropicais. Brasília: editado pela ABEAS, 1998. v.1, p.104.

MANICA, L.; ICUMA, I. M.; JUNQUEIRA, N.T.V.; SALVADOR, J.O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Fruticultura Tropical Porto Alegre: Cinco continentes, 2000. cap. 6. 373p: Goiaba.

MILLER, G. L., Use of dinitrosalicylic acid reagents for determination of reducing sugar , Analytical Chemistry v. 31, p. 426, 1959.

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

PELEGRINE, D.H., VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.20, n.1, 2000.

QUEIROZ, A.J.M. Estudo do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, 1998. 170 p. Tese de Doutorado

RANGANNA, S. Manual of analysis of fruit and vegetable products. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 1977. 634 p.]

TANGLERTPAIBUL, T.; RAO, M.A.; Rheological properties of tomato concentrates as affected by particle size and methods of concentration. Journal of Food Science, Chicago, v.52,n.1, p. 141-145, 1987.

TRIFIRÓ, A.; SACCANI, G.; GHERARDI, S.; BIGLIARDI, D. Effect of content and sizes of suspended particles on the reological behaviour of apricot purees. Industria conserve, Chicago, v.62, p. 97-104, 1987.

Capítulo 5

VISCOSIDADE APARENTE E ENERGIA DE ATIVAÇÃO DA POLPA DE GOIABA PASTEURIZADA (*Psidium guajava* L.), SUBMETIDA A TRATAMENTO ENZIMÁTICO

RESUMO

No presente trabalho foram determinadas e comparadas as características físico-químicas e reológicas em todas as etapas do processamento da polpa de goiaba pasteurizada: polpa crua, polpa crua pasteurizada, após o tratamento enzimático e após a pasteurização. O primeiro processamento consistiu no despulpamento da fruta, pasteurização a 90 °C - 95 °C por 30 minutos e o segundo em despulpamento da fruta, tratamento enzimático com Pectinex Ultra SP-L (Novozymes) a 55 ° C por 1 hora, filtração e pasteurização a 90 ° C – 95 ° C por 30 minutos. As amostras dos dois processamentos foram acondicionadas em sacos de polietileno e congeladas a -18° C. As amostras de cada etapa do processamento das polpas foram avaliadas quanto às transformações físico-químicas e reológicas a diferentes temperaturas em um reômetro de cilindros concêntricos. As amostras mostraram comportamento não newtoniano, com características pseudoplásticas. Um rendimento maior foi observado para o processo com tratamento enzimático. Somente com o tratamento térmico, o rendimento foi em torno de 43 %. Com o tratamento enzimático o rendimento foi de 70 %, representando um aumento de 27%. O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente foi bem descrito pela equação de Arrhenius, sendo que o valor da energia de ativação foi de 1,26 kcal.gmol⁻¹ para a polpa de goiaba natural, 2,02 kcal.gmol⁻¹ para a polpa natural e pasteurizada, 1,79 kcal.gmol⁻¹ para a polpa tratada enzimaticamente e 2,98 kcal.gmol⁻¹ para a polpa tratada enzimaticamente e pasteurizada.

Palavras-chave: reologia, fruta, caracterização físico-química, energia de ativação, tratamento enzimático, pasteurização.

ABSTRACT

In the present work, the physicochemical and rheological characteristics were determined in all processing steps of pasteurized guava pulp and enzyme treated-pasteurized pulp. The operational conditions for enzyme treatment was addition of Pectinex Ultra SP-L (Novozymes) 1 unit L⁻¹ at 55 ° C for 1 hour, and for pasteurization was 90°C to 95°C for 30 minutes. The two processing samples had been conditioned in polyethylene bags and freezed at 18°C. The pulp samples were evaluated about physicochemical and rheological properties temperatures from 8 to 85°C in a rheometer of concentric cylinders . All the samples had shown a non newtonian behavior, with pseudoplastic characteristics. A higher yield was observed for the sample submitted to enzyme treatment. Pulp removal gave an yield around 43 %. Addition of enzyme treatment as a processing step produced 70 % yield, representing an increase of 27% on the pulp amount obtained. The temperature effect on the apparent viscosity was well described by an Arrhenius equation type, and the activation energy value found was of 1.26 kcal·gmol⁻¹ for the crude pulp, 2.02 kcal·gmol⁻¹ for pasteurized pulp, 1.79 kcal·gmol⁻¹, for enzyme treated pulp and 2.98 kcal·gmol⁻¹ for enzyme treated-pasteurized pulp. Enzymatic treatment significantly decreases the viscosity of the guava pulp.

Key words: rheology, fruit, physicochemical characterization, activation energy.

5.1 INTRODUÇÃO

O crescimento da indústria frutícola brasileira tem se baseado, em grande parte, na produção de polpas de frutas congeladas em fábricas de pequeno porte, criadas inicialmente com a finalidade de melhorar a renda familiar de pequenos produtores rurais, ou até mesmo para aproveitar parte da matéria-prima não utilizada e, às vezes, totalmente desperdiçada. No que se refere às grandes indústrias, há muito interesse no conhecimento das propriedades físicas de polpas de frutas, pois, na fabricação de sucos,

néctares, sorvetes, sobremesas, iogurtes e outros, a fruta é geralmente utilizada na forma de polpa concentrada. Com isto, faz-se necessária uma série de noções a respeito de suas características, com vistas à adaptação dos processos e instalações industriais às exigências específicas de cada um desses produtos (QUEIROZ, 1998).

Dentre a grande variedade de frutos, a goiaba vem ganhando grande destaque por ser um dos frutos mais apreciados, devido às suas características de sabor e aroma e pelo seu elevado valor nutritivo. Mas apesar disto, há falta de informações e de divulgação tecnológica que conduzam à otimização do seu cultivo. Este, quando fundamentado nos conhecimentos tecnológicos acumulados ao longo do tempo, constitui uma alternativa de produção adequada às excelentes condições climáticas do Brasil.

De acordo com Castro (1983), a goiaba é uma das frutas de mais fácil processamento, apresentando ótimas características de aproveitamento industrial.

A escassez de dados sobre as propriedades físicas de polpas de frutas tropicais, e, em particular, sobre seu comportamento reológico, tem levado a indústria nacional a utilizar, no processo de fabricação de polpas, condições semelhantes às aplicadas na produção de sucos de laranja. Como as frutas têm propriedades diferentes, os resultados do produto processado não atingem o mesmo nível de qualidade que os da laranja. Para obter sucos concentrados, com qualidade capaz de conquistar o paladar dos consumidores, a indústria brasileira deve respeitar as características de cada fruta (VIDAL et. al. ,2000).

Para a fabricação de produtos que utilizam da polpa concentrada como sucos, néctares, sorvetes, geléias, entre outras e para a definição dos processos é indispensável o conhecimento de suas propriedades físicas e químicas.

Em análise de alimentos, é de suma importância a determinação de um componente específico do alimento como é o caso da determinação da composição centesimal. São procedimentos realizados com a finalidade de fornecer informações sobre a composição química, físico-química e, ou, física de um alimento. Ela pode ter diferentes finalidades, como: avaliação nutricional de um produto; controle de qualidade do alimento; desenvolvimento de novos produtos e a monitoração da legislação.

O comportamento reológico representa o comportamento mecânico dos materiais quando em processo de deformação devido a um campo de tensões. Importantes nos fenômenos relacionados à transferência de massa que tem lugar nos processos industriais, as características reológicas são também imprescindíveis na otimização, no controle e nos cálculos de processos. Esses conhecimentos servem, igualmente, para o desenvolvimento de produtos e correlação de parâmetros físicos e sensoriais (BEZERRA, 2000).

A viscosidade é uma medida de resistência ao escoamento de um fluido e é considerada como sua principal propriedade reológica (ALVARADO & AGUILERA, 2001).

No processamento de alimentos, a medição da viscosidade permite controlar a qualidade das matérias-primas, avaliar o efeito das variações nas condições de processamento sobre os produtos durante a fabricação e estimar o produto final. Essa medição constitui uma importante informação para otimizar as propriedades dos produtos na indústria alimentícia, para reduzir os custos nos ingredientes e para garantir uma melhor consistência do produto.

Para aumentar a vida de prateleira, as polpas são geralmente pasteurizadas, e o aquecimento modifica essas propriedades, pois atua sobre ligações covalentes e pontes de hidrogênio que mantêm a coesão dos componentes químicos que formam as partículas mantidas em suspensão. No entanto, ainda existem poucos dados na literatura sobre este efeito.

As enzimas pectinolíticas são componentes integrais da moderna tecnologia de suco de frutas, prestando uma contribuição essencial ao rápido desenvolvimento do processamento, ao rendimento ótimo e à qualidade dos produtos finais. A aplicação de pectinases melhora o processo de extração do suco resultando em altos rendimentos, por causar uma redução da viscosidade e, conseqüentemente, um aumento da taxa de filtração e clarificação do suco (VIDAL *et al.*, 2004).

A equação de Arrhenius para a determinação da energia de ativação das polpas estudadas indica a tendência geral observada de uma diminuição da viscosidade aparente com o aumento da temperatura. De um modo geral, quanto maior for a energia de ativação, maior será o efeito da temperatura sobre a viscosidade. O efeito da concentração sobre a viscosidade aparente de

sucos de frutas é importante em aplicações tais como na concentração de fluidos alimentares. (RAO, 1986).

Neste trabalho, foram determinadas e comparadas as características físico-químicas em todas as etapas do processamento da polpa de goiaba pasteurizada: polpa crua, polpa crua pasteurizada, após o tratamento enzimático e após a pasteurização, bem como suas características reológicas.

5.2 MATERIAL E MÉTODOS

5.2.1 Matéria – prima

A goiaba variedade Pedro Sato utilizada no processamento é proveniente de Vista Alegre do Alto, São Paulo da safra de março de 2006. Os frutos foram adquiridos em mercado local, Florianópolis (SC), em quantidade suficiente para os testes propostos.

5.2.2 Obtenção da polpa de goiaba Natural e Natural Pasteurizada

A obtenção da polpa de goiaba nos diferentes tratamentos ao qual foi submetida é mostrada na Figura 5.1, que traz um fluxograma dos processos utilizados.

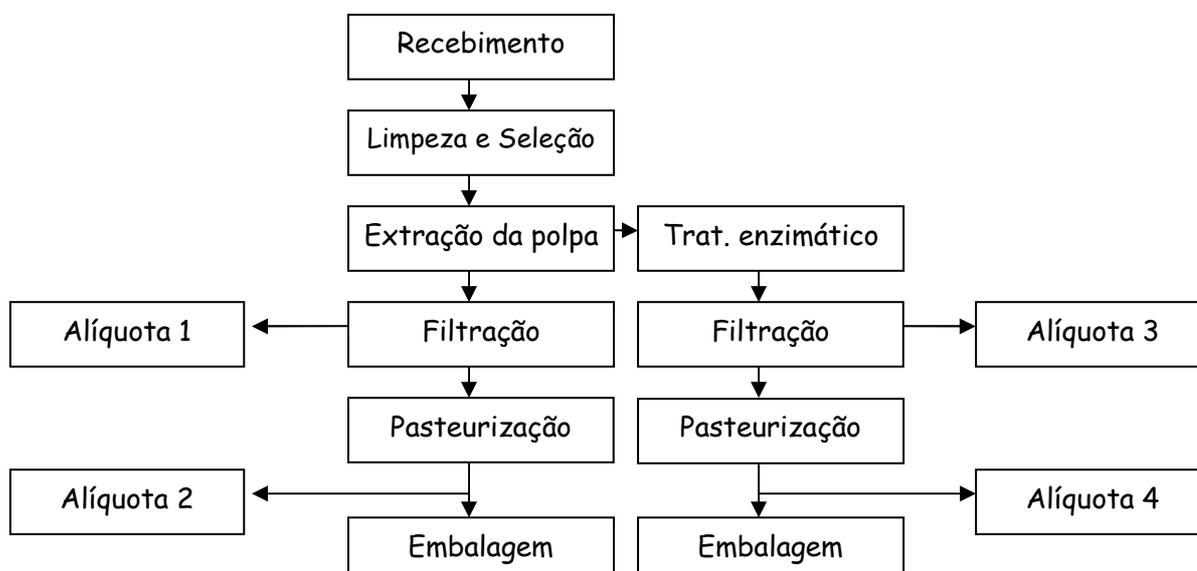


Figura 5.1 – Fluxograma da produção da Polpa de goiaba Natural e Natural Pasteurizada.

As frutas foram selecionadas por coloração, de modo a se obter uma faixa suficientemente estreita de maturação. O despulpamento foi realizado em despulpadeira Walita com abertura de peneira de 0,06 mm e filtrado em filtro dessorador com abertura de 100 mesh. Parte da polpa natural foi acondicionada em sacos de polietileno e congelada a -18 ° C. Outra parte foi pasteurizada a 90 ° C - 95 ° C por 30 minutos e posteriormente estocada da mesma forma. Foi avaliado o efeito do congelamento sobre a viscosidade aparente da polpa de Goiaba Natural.

5.2.3 Cálculo do rendimento

O rendimento foi calculado para as polpas natural e tratada enzimaticamente. Os resíduos obtidos através dos dois tratamentos foram quantificados de acordo com:

$$\eta = \frac{m_i - m_f}{m_i} \times 100$$

Onde:

η = rendimento (%);

m_i = massa de goiaba no início (g);

m_f = massa da polpa obtida (g).

5.2.4 Caracterização físico-química da polpa de goiaba

Para a caracterização físico-química das polpas nas diferentes etapas de processamento, foram feitas análises, em triplicata, de: açúcares totais (DUBOIS et. al., 1956); açúcares redutores (MILLER, G.L., 1959); açúcares não-redutores obtidos por diferença entre carboidratos totais e redutores; sólidos totais (AOAC, método 934.01, 1997); sólidos solúveis (AOAC, método 37.1.15, 1997); sólidos insolúveis obtidos por diferença entre sólidos totais e solúveis, pectina (RANGANNA, 1979), pH (AOAC, método 42.1.04, 1997), acidez total titulável (AOAC, método 37.1.37, 1997), cinzas (AOAC, método 31.1.04, 1997) e densidade por picnometria.

5.2.5 Metodologia para Obtenção dos Dados Reológicos

As medidas reológicas foram realizadas a temperaturas de 08 °C, 15 °C, 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C, 75 °C e 85 °C em um reômetro de cilindros concêntricos THERMO HAAKE, modelo VT550, para as polpas obtidas das diferentes etapas de processamento. As medidas foram feitas em duplicata para cada tratamento, em cada temperatura.

As medidas experimentais foram obtidas após o estabelecimento da temperatura de equilíbrio, por meio de um banho termostático Haake DC 10. Para o controle do sistema e registro das medidas efetuadas utilizou-se o software Rheowin Pro Job Manager, que comanda as operações do sistema.

O tempo de corrida para cada ensaio foi programado para 6 minutos com a taxa de deformação máxima de 1000 s⁻¹.

Os dados obtidos foram processados e analisados estatisticamente por análise de variância (ANOVA), teste χ^2 e pelo teste de Tuckey, todos a um nível de probabilidade de 5%. As análises foram realizadas no programa STATISTICA, versão 6.0.

Através da equação de Arrhenius foi analisado o efeito da temperatura sobre a viscosidade (RAO, 1977).

$$\eta_a = \eta_o \cdot \exp\left(\frac{E_{at}}{RT}\right) \quad (5.1)$$

onde η_a é a viscosidade aparente (Pa·s), η_o é uma constante (Pa·s), E_{at} é a energia de ativação para escoamento viscoso (kcal·gmol⁻¹), R é a constante dos gases (1,987·10⁻³ kcal·gmol⁻¹·K⁻¹) e T é a temperatura absoluta (K).

5.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.3.1 Caracterização físico-química da polpa de goiaba

Não foi observada variação da viscosidade aparente da polpa de goiaba natural à temperatura ambiente e descongelada. Sendo assim, todo o produto usado no trabalho foi congelado, para aumento da vida de prateleira e descongelada na hora dos experimentos.

O rendimento da polpa foi elevado com o tratamento enzimático. Somente com a extração em despoldadeira, o rendimento obtido foi em torno

de 43 %. Com o tratamento enzimático o rendimento foi significativamente maior, em torno de 70 %.

A Tabela 5.1 mostra os resultados da caracterização físico-química para as polpas de goiaba natural e pasteurizada.

Pode-se observar que a aplicação do calor para pasteurizar o produto promove uma mudança nos teores de sólidos solúveis e insolúveis, pectina, pH e acidez titulável.

Tabela 5.1 - Caracterização físico-química para as polpas de goiaba a 25 °C.

Determinações	Polpa Natural	Polpa Natural e Pasteurizada
Açúcares Totais(g/100mL)	7,2628 ± 0,2467 ^(a)	6,9012 ± 0,1362 ^(a)
Açúcares Redutores (g/100mL)	4,9763 ± 0,0880 ^(a)	5,039 ± 0,2850 ^(a)
Açúcares não-red. (g/100mL)	2,2865 ± 0,3353 ^(a)	1,8622 ± 0,4213 ^(a)
Sólidos Totais (g/100mL)	10,3373 ± 0,0584 ^(a)	10,0513± 0,2600 ^(a)
Sólidos Solúveis (° Brix)	7,0833 ± 0,0763 ^(a)	7,6749 ±0,0570 ^(b)
Sólidos Insolúveis (g/100mL)	3,2540 ± 0,1348 ^(a)	2,3764 ± 0,3177 ^(b)
Acidez Titulável	0,5648 ± 0,0140 ^(a)	0,6138 ± 0,0138 ^(b)
pH	4,5000 ± 0,0001 ^(a)	3,3220 ± 0,057 ^(b)
Cinzas	0,9649 ± 0,0380 ^(a)	0,9958 ± 0,2444 ^(a)
Pectina (10⁻⁶g/100mL)	20,6008 ± 0,1443 ^(a)	12,675 ± 0,1250 ^(b)
Densidade (g/100mL)	1,0229 ± 0,0001 ^(a)	0,7452 ± 0,0001 ^(b)
Viscosidade (mPas)	62,62 ± 16,38 ^(a)	162,64 ± 42,70 ^(b)

Obs: Letras diferentes indicam significância estatística para a caracterização físico-química estudadas a um nível de significância de 5%.

O processo de pasteurização aumentou a acidez da polpa. BRASIL *et al.* (1995), obtiveram resultados semelhantes em trabalho realizado com mudanças físico-químicas durante a extração e clarificação de suco de goiaba. Segundo estes autores o aumento da acidez pode ser explicada pela ocorrência de reações bioquímicas, inter e intramolecular, como ligações

cruzadas e fixações de grupamentos ácidos, por ocasião da elevação da temperatura.

Pode-se observar também que a pasteurização aumenta a viscosidade de $62,62 \pm 16,38$ mPa·s para $162,64 \pm 42,70$ mPa·s. Este aumento pode ser explicado pelo fato de que o calor úmido utilizado na pasteurização provoca o inchamento e a retenção de água entre as cadeias da celulose, aumentando o volume das partículas em suspensão (CHEFTEL & CHEFTEL, 1992). Adicionalmente, há uma solubilização das pectinas existentes na polpa (BINNER *e. al.*, 2000; NG & WALDRON, 2002), resultando em maiores valores no teor de sólidos solúveis. Estes são constituídos por compostos solúveis em água, tais como açúcares, ácidos, vitamina C e algumas pectinas.

Estas propriedades influem no escoamento do fluido, pois alteram sua densidade e viscosidade.

Para conhecer quais dos fatores estudados influem significativamente nestas propriedades, foi feito um teste χ^2 , para os valores a 25 °C (Tabela 5.2 e 5.3).

Tabela 5.2 – Teste χ^2 para as polpas de goiaba natural e pasteurizada, relacionando a viscosidade aparente com a composição e propriedades químicas.

Determinações	χ^2	p
Açúcares Totais	1,688	0,00
Açúcares red.	1,351	0,00
Sólidos solúveis	1,125	0,00
Sólidos insolúveis	1,981	0,00

Esta tabela mostra que os açúcares totais, os açúcares redutores, os sólidos solúveis, sólidos insolúveis, pH e densidade têm relação com a viscosidade aparente das polpas.

Tabela 5.3 – Teste χ^2 para as polpas de goiaba natural e pasteurizada, relacionando a densidade com a composição e propriedades químicas.

Determinações	χ^2	p
Açúcares Totais	5,239	0,00
Sólidos Totais	5,480	0,00
Sólidos solúveis	21,493	0,00
Sólidos insolúveis	16,210	0,00
Acidez Titulável	9,665	0,00
Pectina	40,575	0,00

Esta tabela mostra que os açúcares totais, os sólidos totais, sólidos solúveis, sólidos insolúveis, pH, acidez titulável e pectina têm relação com a densidade das polpas.

Segundo o teste de Tuckey, dentre as propriedades que mostraram ter associação com a viscosidade aparente, observou-se que somente os açúcares redutores não mostraram influência significativa sobre esta propriedade, a nível de significância de 5%.

A aplicação do tratamento térmico promove um cozimento do tecido vegetal diminuindo a força das pontes de hidrogênio existentes entre seus componentes, porém não tem força suficiente para desestruturar as partículas. Há uma solubilização parcial da pectina, que atua como estabilizante dos colóides. Deste modo, pode-se observar um aumento no teor de sólidos solúveis e da viscosidade. O teor de sólidos solúveis diminui, não sendo influenciado pela intensidade do tratamento. Adicionalmente, há o enfraquecimento da coesão das células e das pontes de hidrogênio existentes entre os seus constituintes (PEREIRA & BELÉIA, 2004)

A Tabela 5.4 mostra os resultados da caracterização físico-química para as polpas de goiaba crua, tratada enzimaticamente e tratada enzimaticamente com posterior pasteurização.

Pode-se constatar que o tratamento enzimático promove uma alteração do teor de açúcares redutores e não redutores, sólidos totais, solúveis e insolúveis, pH, densidade, pectina e viscosidade.

De acordo com Whitaker (1990), a enzima utilizada no processo é um coquetel de diversas enzimas como celulases, hemicelulases e várias enzimas que atuam sobre as substâncias pécnicas. Dentre estas últimas são encontradas as poligalacturonases, pectina, liases, pectinametilsterase, hidrolase, galactanases, glucanases, proteases, e outras enzimas, as quais degradam pectinas altamente ramificadas, e solubilizam sacarídeos e proteínas presentes nas paredes celulares. Estas enzimas também atuam na lamela média, no material responsável pela coesão entre as células, enfraquecendo o tecido formador das partículas.

Tabela 5.4 - Caracterização físico-química para da polpa de goiaba pasteurizada com tratamento enzimático a diferentes etapas de processamento.

Determinações	Polpa Natural	Polpa Trat. Enz.	Polpa Trat. Enz. Past.
Açúcares Totais(g/100mL)	7,2628 ± 0,2467 ^(a)	7,3031 ± 0,1517 ^(a)	7,2100 ± 0,2147 ^(a)
Açúcares Redutores (g/100mL)	4,9763 ± 0,088 ^(a)	2,9986 ± 0,1190 ^(b)	4,1803 ± 0,1964 ^(c)
Açúcares não-red. (g/100mL)	2,2865 ± 0,3353 ^(a)	4,3171 ± 0,2708 ^(b)	3,0297 ± 0,4112 ^(c)
Sólidos Totais (g/100mL)	10,3373 ± 0,0584 ^(a)	8,1103 ± 0,3603 ^(b)	8,479 ± 0,2506 ^(b)
Sólidos Solúveis (° Brix)	7,0833 ± 0,0763 ^(a)	5,7342 ± 0,1000 ^(b)	7,2024 ± 0,0577 ^(a)
Sólidos Insolúveis (g/100mL)	3,2540 ± 0,1348 ^(a)	2,3761 ± 0,4603 ^(b)	1,2766 ± 0,3083 ^(c)
Acidez Titulável	0,5648 ± 0,0140 ^(a)	0,5790 ± 0,0139 ^(a)	0,5784 ± 0,0139 ^(a)
pH	4,5000 ± 0,0001 ^(a)	3,0769 ± 0,0001 ^(b)	2,3880 ± 0,0570 ^(c)
Densidade (g/100mL)	1,0229 ± 0,0001 ^(a)	0,7237 ± 0,0001 ^(b)	0,6611 ± 0,0000 ^(c)
Cinzas	0,9649 ± 0,038 ^(a)	1,0287 ± 0,0440 ^(a)	1,0329 ± 0,0596 ^(a)
Pectina (10⁻⁶g/100mL)	20,6008 ± 0,1443 ^(a)	11,6433 ± 0,1250 ^(b)	13,3700 ± 0,072 ^(c)
Viscosidade (mPas)	62,62 ± 16,38 ^(a)	24,91 ± 3,86 ^(b)	53,64 ± 11,54 ^(a)

As letras diferentes indicam significância estatística para a caracterização físico-química estudadas a um nível de significância de 5%.

Com a pasteurização, as mudanças são as mesmas com exceção dos sólidos totais que não são influenciados com a pasteurização.

Para conhecer quais dos fatores estudados influem significativamente nestas propriedades, foi feito um teste χ^2 , para os valores a 25 °C (Tabela 5.5 e 5.6).

Tabela 5.5 – Teste χ^2 para as polpas de goiaba crua, tratada enzimaticamente e tratada enzimaticamente com posterior pasteurização relacionando a viscosidade aparente com as caracterizações físico-químicas a 25 °C.

Efeito	GL	χ^2	p
Açúcares Totais	1	10,78	0,0010
Sólidos Totais	3	12,25	0,0060
Sólidos solúveis	1	10,78	0,0010
Pectina	1	23,81	0,0020

Esta tabela mostra que os açúcares totais, os sólidos totais e solúveis e a pectina têm influência sobre a viscosidade aparente das polpas.

Tabela 5.6 – Teste χ^2 para as polpas de goiaba crua, tratada enzimaticamente e tratada enzimaticamente com posterior pasteurização relacionando a densidade com as caracterizações físico-químicas a 25 °C.

Efeito	GL	χ^2	p
Sólidos Totais	3	34,96	0,00
pH	1	104,97	0,00
Pectina	1	104,97	0,00

Observa-se que neste caso somente os sólidos totais, o pH e a pectina influem na densidade das polpas.

5.3.2 Caracterização reológica e Energia de Ativação

Nos ensaios reológicos, as curvas ascendentes e descendentes da tensão de cisalhamento versus a taxa de deformação, não apresentaram efeitos de histerese. Em função disto, as amostras utilizadas nos ensaios não apresentaram comportamento dependente do tempo, e, portanto, não exibem tixotropia.

A Tabela 5.7 mostra os valores de viscosidade aparente de 8 °C a 85 °C para as polpas de goiaba estudadas e taxas de deformação acima de 200 s⁻¹. Viscosidades abaixo desta taxa não foram considerados devido a instabilidades do sistema.

Tabela 5.7 – Valores de viscosidade aparente em função da temperatura para as polpas de goiaba Natural e Natural Pasteurizada.

Temperatura (°C)	Viscosidade aparente (mPas)	
	Natural	Natural Past.
08	58,56 ± 14,96 ^(a)	205,82 ± 56,15 ^(a)
15	63,48 ± 17,24 ^(a)	183,71 ± 49,10 ^(b)
25	62,62 ± 16,38 ^(a)	162,64 ± 42,70 ^(c)
35	45,60 ± 10,18 ^(b)	144,03 ± 37,02 ^(d)
45	46,18 ± 12,14 ^(b)	126,88 ± 32,12 ^(d)
55	45,61 ± 13,43 ^(b)	111,92 ± 27,85 ^(e)
65	41,94 ± 11,12 ^(b)	111,05 ± 28,19 ^(e)
75	38,69 ± 10,51 ^(b)	103,80 ± 26,25 ^(e)
85	42,41 ± 12,22 ^(b)	100,06 ± 26,38 ^(e)

Obs: Letras diferentes indicam significância estatística para a caracterização físico-química estudadas a um nível de significância de 5%.

A Figura 5.2 ilustra os resultados experimentais da viscosidade aparente em função da taxa de deformação para a polpa de goiaba crua, nas temperaturas de 08 °C a 85 °C, como pode ser visto pelos sobrescritos da Tabela 6.6. Pode-se observar que a polpa natural pode ser dividida em apenas

dois valores de viscosidade aparente média, uma vez que de 8 °C a 25 °C os valores não são significativamente diferentes entre si, assim como de 35 °C a 85 °C.

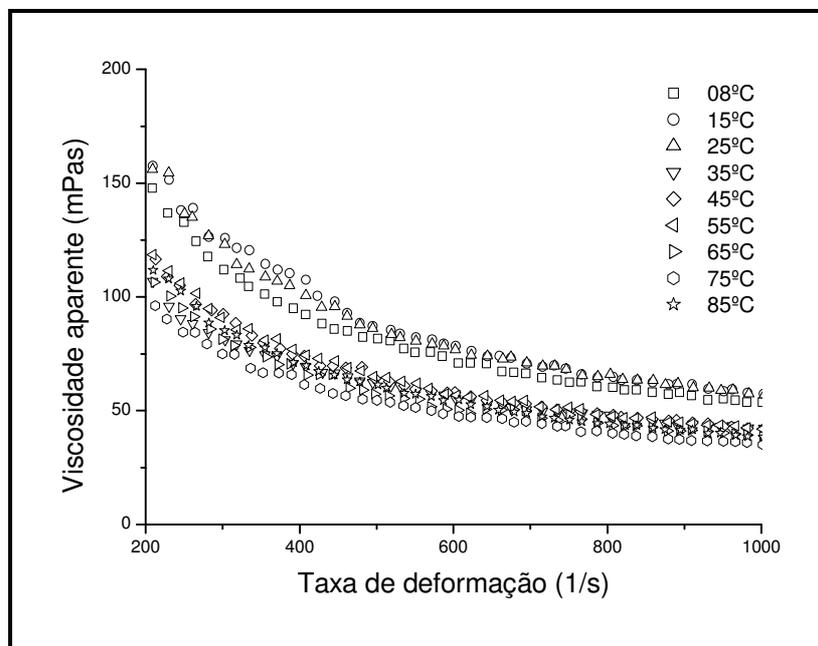


Figura 5.2 – Viscosidade aparente em função da taxa de deformação para as diferentes temperaturas da polpa de goiaba natural.

A Figura 5.3 mostra a variação da viscosidade aparente em função da taxa de deformação para a polpa de goiaba pasteurizada. A viscosidade diminui à medida que a taxa de deformação aumenta e as curvas são claramente diferenciadas até 55 °C. Acima desta temperatura, as curvas se sobrepõem, não havendo diferença significativa entre elas, como mostrado na Tabela 5.7.

O comportamento mostrado nas duas figuras caracteriza um comportamento pseudoplástico.

De acordo com Hassan & Hobani (1998), com o aumento da temperatura, a energia térmica e as distâncias moleculares aumentam devido à redução das forças intermoleculares, causando uma diminuição na viscosidade. Além disso, a força de cisalhamento quando associada com a aplicação de temperatura, faz com que as partículas se reorganizem em direções paralelas e as partículas maiores sejam quebradas em partículas menores.

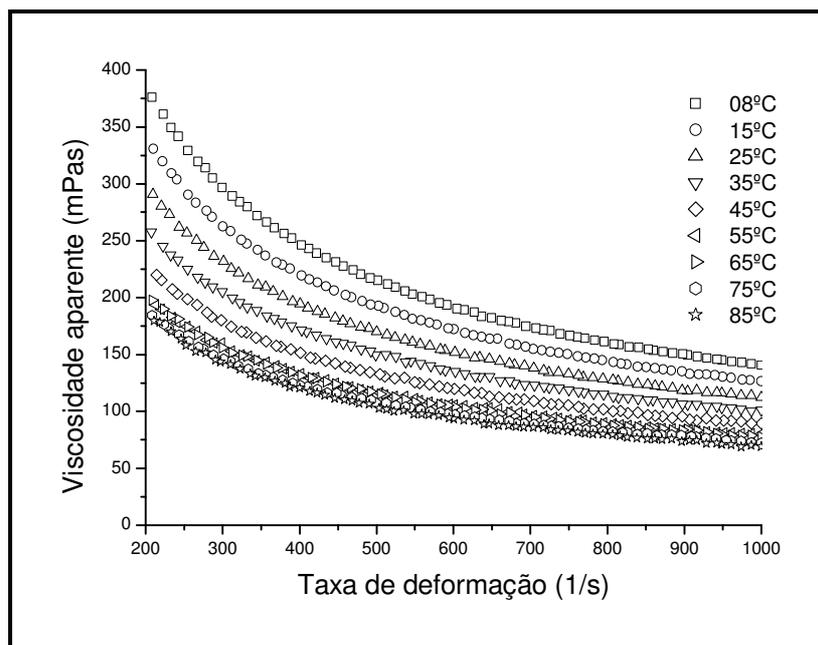


Figura 5.3 – Viscosidade aparente em função da taxa de deformação para as diferentes temperaturas da polpa de goiaba pasteurizada.

Essas partículas podem escoar mais facilmente como um resultado da diminuição da interação partícula-partícula, a qual resulta na diminuição da viscosidade (CHARM, 1962). Após uma redução abrupta, a viscosidade varia de forma suave com o aumento da taxa de deformação, e torna-se constante a altas taxas de cisalhamento. Isto pode ser relacionado com uma estabilização, após redução, do tamanho dos agregados coloidais quando há o aumento da taxa de cisalhamento.

Do ponto de vista industrial, a diminuição da viscosidade aparente facilita o escoamento da polpa e a troca de calor durante o processamento. Sabe-se que quanto menor a viscosidade de um fluido, menor é a perda de carga durante o escoamento, o que resulta em um menor gasto de energia.

O comportamento não newtoniano confirma os resultados apresentados por alguns autores como Pelegrine *et al.* (2000) e Branco & Gasparetto (2003), os quais afirmaram que sucos e polpas de frutas concentradas apresentam comportamento pseudoplástico, com sua viscosidade aparente diminuindo com o aumento da taxa de deformação.

A Figura 5.4 mostra o efeito da pasteurização sobre as duas polpas estudadas.

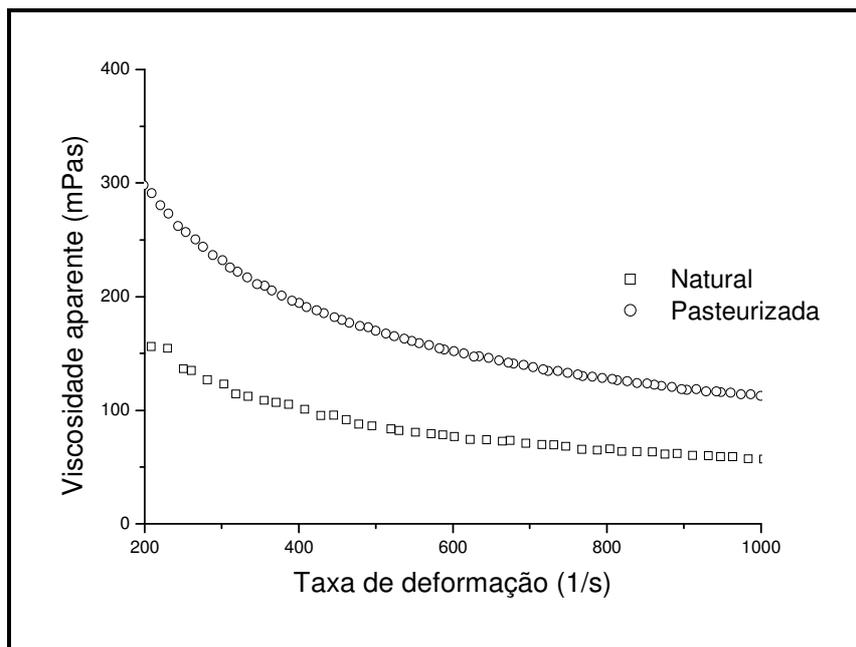


Figura 5.4 – Viscosidade em função da taxa de deformação para as polpas de goiaba a 25°C.

Observa-se que a viscosidade aumenta com a pasteurização. Isto é devido às modificações físico-químicas sofridas pelo produto durante o aquecimento, como já discutido anteriormente.

A Tabela 5.8 mostra os valores de viscosidade aparente em todas as temperaturas para as polpas de goiaba natural, tratada enzimaticamente e tratada enzimaticamente com posterior pasteurização.

Tabela 5.8 – Valores de viscosidade aparente em todas as temperaturas para as polpas de goiaba natural, tratada enzimaticamente e tratada enzimaticamente com posterior pasteurização.

Temperatura (°C)	Viscosidade aparente (mPa·s)		
	Natural	Trat. Enz.	Trat. Enz. e Past.
8	58,56 ± 14,96 ^(a)	33,11 ± 7,72 ^(a)	80,69 ± 19,82 ^(a)
15	63,48 ± 17,24 ^(a)	34,80 ± 6,38 ^(a)	62,85 ± 15,46 ^(b)
25	62,62 ± 16,38 ^(a)	24,91 ± 3,86 ^(b)	53,64 ± 11,54 ^(c)
35	45,60 ± 10,18 ^(b)	28,38 ± 6,65 ^(b)	46,66 ± 11,36 ^(d)
45	46,18 ± 12,14 ^(b)	22,91 ± 4,48 ^(c)	40,35 ± 9,69 ^(e)
55	45,61 ± 13,43 ^(b)	19,11 ± 4,16 ^(c)	36,37 ± 9,36 ^(e)
65	41,94 ± 11,12 ^(b)	17,72 ± 3,90 ^(c)	32,75 ± 9,20 ^(e)
75	38,69 ± 10,51 ^(b)	18,47 ± 4,90 ^(c)	25,72 ± 6,28 ^(f)
85	42,41 ± 12,22 ^(b)	20,32 ± 5,21 ^(c)	26,64 ± 7,99 ^(f)

Obs: Letras diferentes indicam significância estatística para a caracterização físico-química estudadas a um nível de significância de 5%.

A Figura 5.5 mostra a variação da viscosidade aparente em função da taxa de deformação para a polpa de goiaba tratada enzimaticamente. A viscosidade diminui à medida que a taxa de deformação aumenta. A análise estatística mostrou que as curvas a 8 °C e 15 °C, a 25 °C e 35 °C não mostraram diferença significativa. O mesmo ocorre acima de 45 °C, quando as demais curvas se sobrepõem (Tabela 5.8).

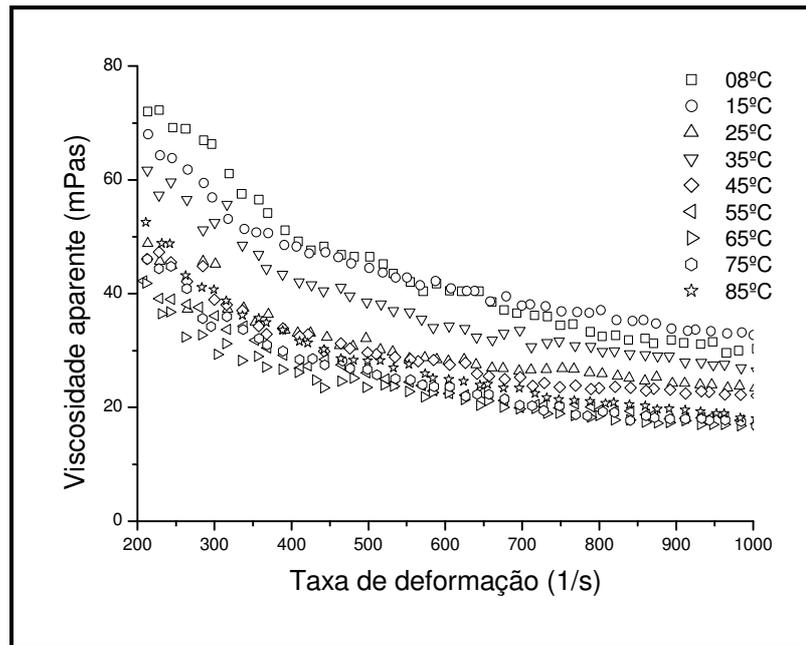


Figura 5.5 – Viscosidade aparente em função da taxa de deformação para as diferentes temperaturas da polpa de goiaba tratada enzimaticamente.

A Figura 5.6 mostra a variação da viscosidade aparente em função da taxa de deformação para a polpa de goiaba tratada enzimaticamente com posterior pasteurização.

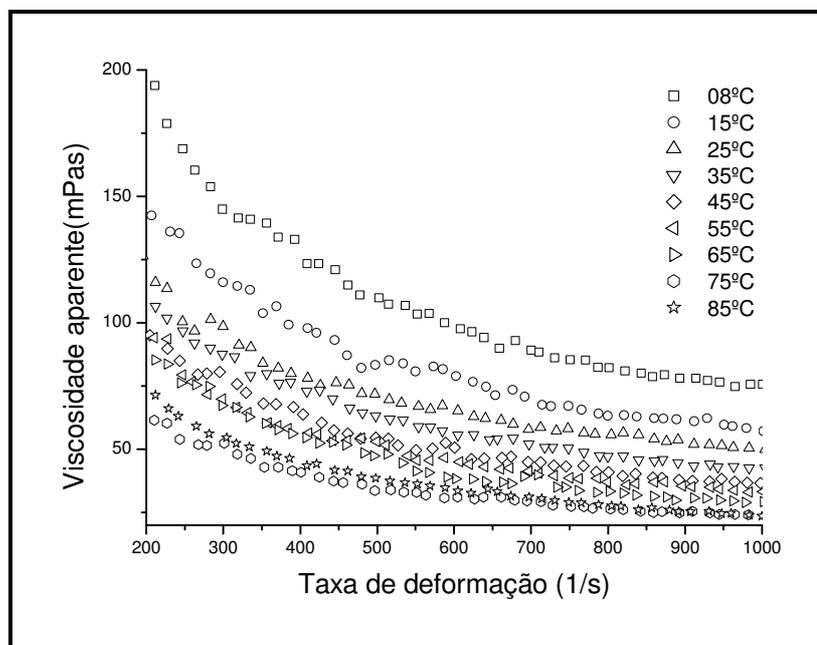


Figura 5.6 – Viscosidade aparente em função da taxa de deformação para as diferentes temperaturas da polpa de Goiaba Tratada Enzimaticamente e Pasteurizada.

O tratamento enzimático diminuiu a viscosidade da polpa, o que pode ser explicado pela modificação da estrutura, ocasionada pela redução do tamanho das macromoléculas, resultando em uma alteração do comportamento reológico ao longo do tempo de tratamento. As curvas são bem diferenciadas até 35 °C. Acima desta temperatura, a viscosidade aparente não apresenta diferença significativa de 45 °C a 65 °C.

De acordo com Hassan & Hobani (1998), com o aumento da temperatura, a energia térmica e as distâncias moleculares aumentam devido à redução das forças intermoleculares, causando uma diminuição na viscosidade. Além disso, a força de cisalhamento quando associada com a aplicação de temperatura, faz com que as partículas se reorganizem em direções paralelas e as partículas maiores sejam quebradas em partículas menores.

As curvas do comportamento reológico das polpas, após tratamento enzimático e pasteurização, apresentaram sempre a mesma tendência de comportamento de fluido pseudoplástico (Figura 5.7).

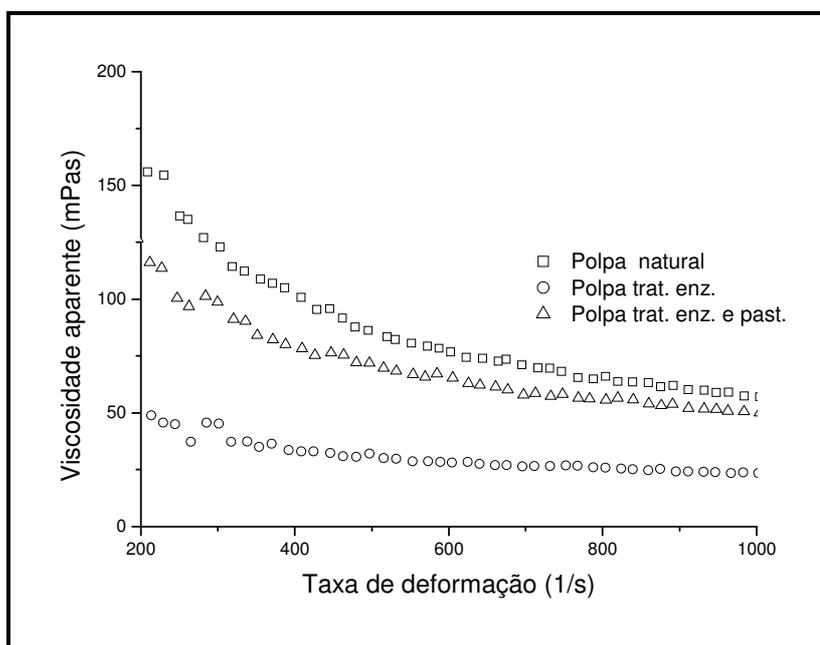


Figura 5.7 – Viscosidade em função da taxa de deformação para as polpas de goiaba a 25 °C.

Este comportamento não newtoniano confirma os resultados apresentados por alguns autores como Pelegrine *et al.* (2000) e Branco & Gasparetto (2003), os quais afirmaram que sucos e polpas de frutas

concentradas apresentam comportamento pseudoplástico, com sua viscosidade aparente diminuindo com o aumento da taxa de deformação. A diminuição da viscosidade após tratamento enzimático, e posterior aumento após pasteurização, também foram encontrados por Vendrúsculo (2005) para polpa de carambola.

Do ponto de vista industrial, a diminuição da viscosidade aparente facilita o escoamento da polpa e a troca de calor durante o processamento. Sabe-se que quanto menor a viscosidade de um fluido, menor é a perda de carga durante o escoamento, o que resulta em um menor gasto de energia.

A partir dos valores de viscosidade aparente para cada tipo de polpa, nas diferentes temperaturas, foi calculada a energia de ativação, (Eq. 5.1) mostrada na Tabela 5.9, com os respectivos coeficientes de determinação. Os ajustes foram satisfatórios, com valores de R que variam de 0,89 a 0,99.

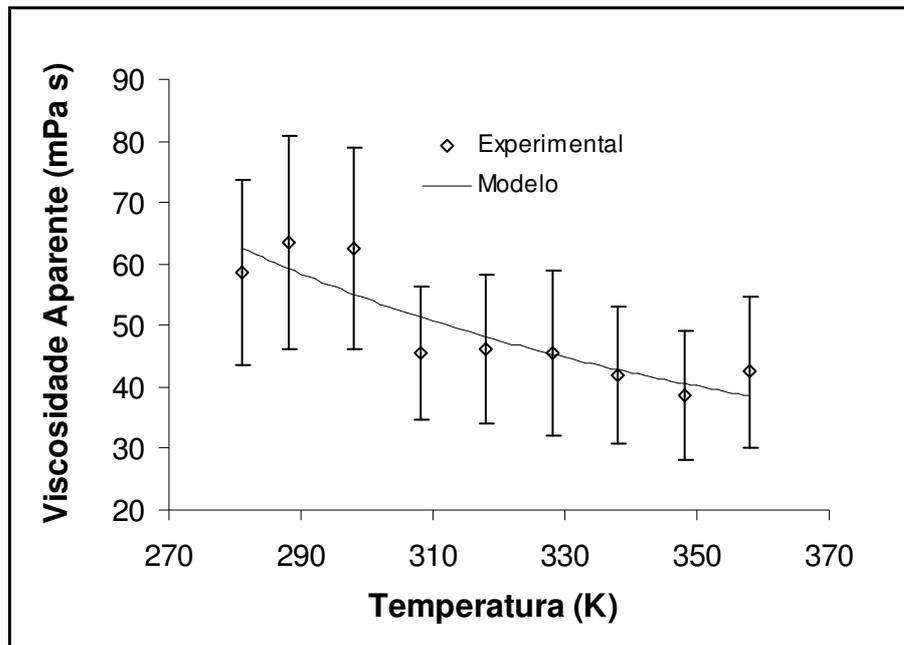
Tabela 5.9 – Energia de ativação para polpa de goiaba natural e pasteurizada nas diferentes temperaturas.

Polpas de Goiaba	Energia de ativação (kcal.gmol ⁻¹)	η_0	R
Natural	1,26 ± 0,24	6,56 ± 2,62	0,89
Natural Pasteurizada	2,02 ± 0,10	5,39 ± 0,91	0,99

O valor de energia de ativação é consistente com os valores disponíveis na literatura para fluidos alimentícios (VITALI & RAO, 1982; AHMED, 2004; RHAMAKRISHNA *et. al.*, 2004). De acordo com Steffe (1996), valores mais altos de E_a indicam uma mudança mais rápida na viscosidade com a temperatura. A energia de ativação é necessária para movimentar as moléculas, como uma função do aumento da temperatura, e o fluido escoar mais facilmente devido à alta energia de ativação em altas temperaturas (GÜRSES & BAYRAKÇEKEN, 1996).

Na Figura 5.8 encontram-se os gráficos de viscosidade aparente em função da temperatura para as polpas de goiaba (a) natural e (b) pasteurizada.

(a)



(b)

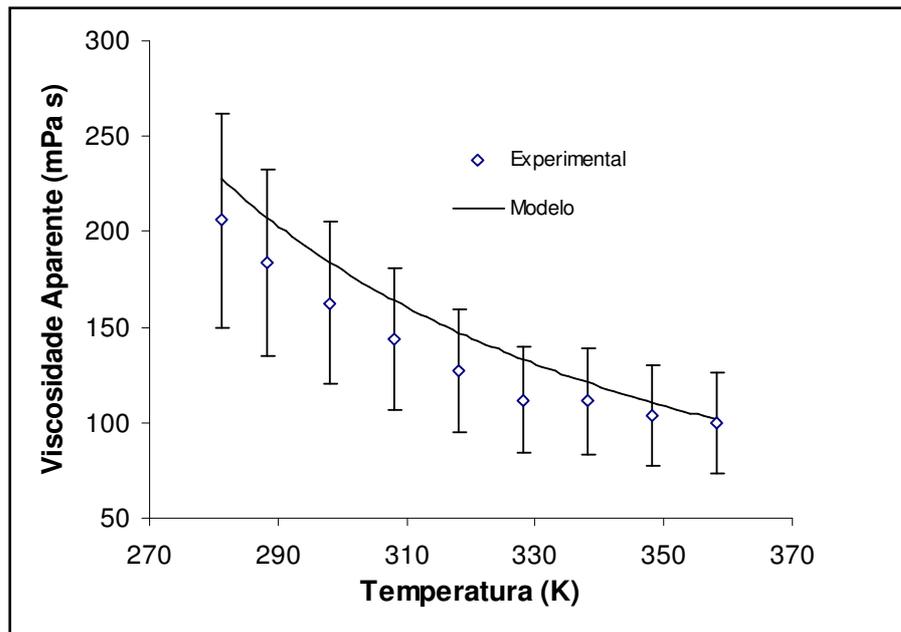


Figura 5.8 - Gráficos de viscosidade aparente em função da temperatura para a polpa de goiaba (a) natural e (b) pasteurizada.

O tratamento por calor úmido, iniciado durante o tratamento enzimático e intensificado pela pasteurização, amolece o vegetal, destruindo a pressão de turgor, macerando o tecido e enfraquecendo as pontes de hidrogênio existentes entre os polissacarídeos ainda presentes nas partículas. Deste modo o gel péctico da matriz da parede celular é parcialmente destruído, com uma conseqüente perda da adesividade intercelular na lamela média. Este efeito é acompanhado por um aumento da solubilidade de polissacarídeos pécticos, provavelmente em conseqüência da degradação dos mesmos e de alterações na distribuição de íons na superfície das partículas (BINNER *et al.*, 2000; NG & WALDRON, 2002). Como resultado tem-se uma perda da integridade estrutural da parede celular e da lamela média (STOLLE-SMITS *et al.*, 1997), o que resulta em ligações fracas entre os resíduos celulares ainda existentes.

Os valores encontrados mostram uma energia de ativação (Teste de Tuckey significativo para $p < 0,05$) mais alta para a polpa pasteurizada, o que reflete uma maior resistência ao escoamento, o que é confirmado pelos valores de viscosidade mais elevados encontrados para esta polpa.

Na Figura 5.9 encontram-se os gráficos de viscosidade aparente em função da temperatura para a polpa de goiaba (a) natural, (b) tratada enzimaticamente e (c) tratada enzimaticamente e pasteurizada (Tabela 5.10), com os respectivos coeficientes de determinação. Os ajustes foram satisfatórios, com valores de R que variam de 0,89 a 0,98.

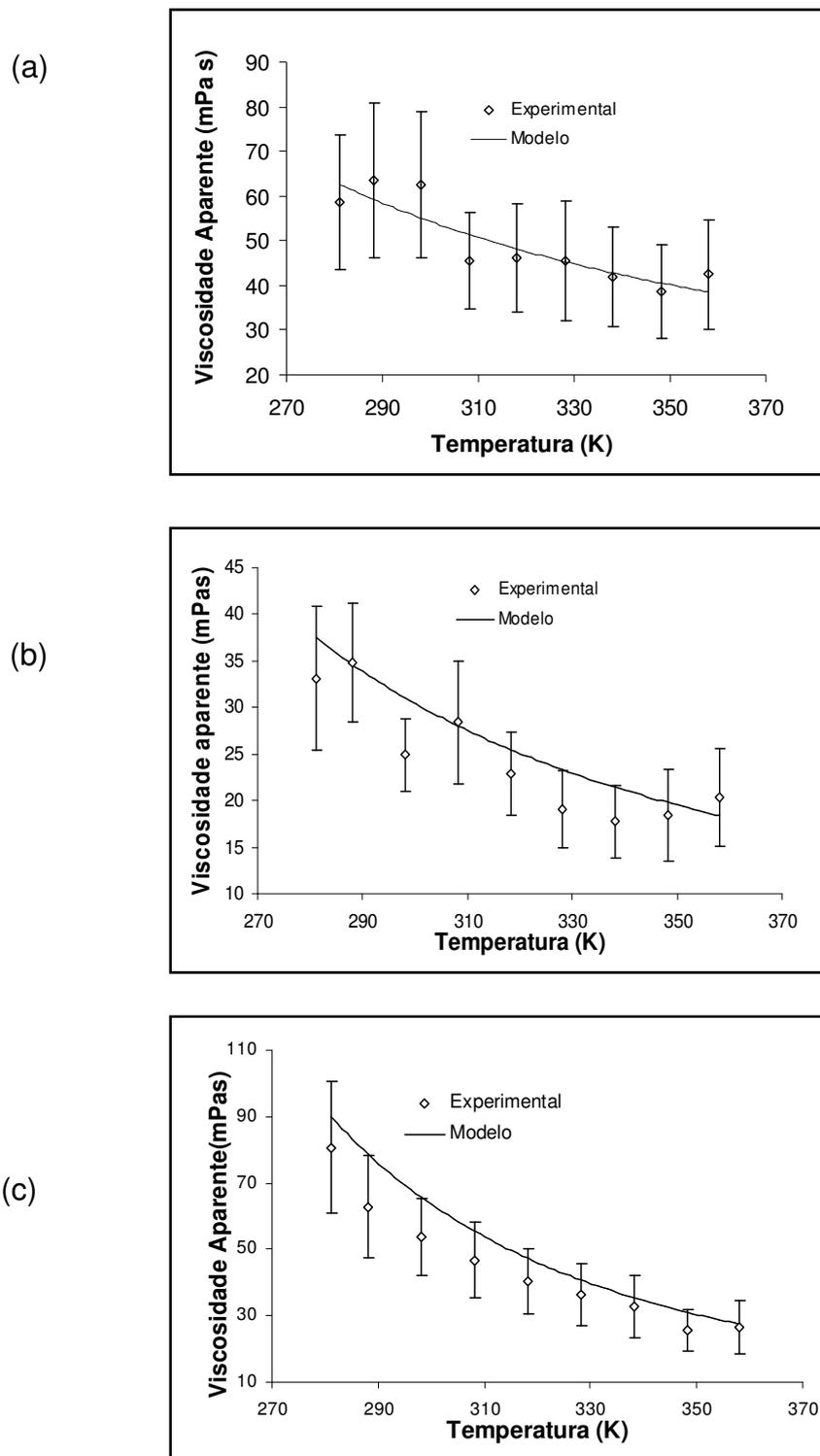


Figura 5.9 - Gráficos de viscosidade aparente em função da temperatura para a polpa de goiaba (a) natural, (b) tratada enzimaticamente e (c) tratada enzimaticamente e pasteurizada.

Tabela 5.10 – Energia de ativação para polpa de goiaba natural, tratada enzimaticamente e tratada enzimaticamente e pasteurizada nas diferentes temperaturas.

Polpas de Goiaba	Energia de ativação (kcal.gmol ⁻¹)	η_0	R
Natural	1,26 ± 0,24	6,56 ± 2,62	0,89
Trat. enzimaticamente	1,79 ± 0,29	1,36 ± 0,67	0,92
Trat. Enzimaticamente e past.	2,98 ± 0,18	0,36 ± 0,10	0,98

Os valores encontrados mostram uma energia de ativação significativa (Teste de Tuckey significativo para $p < 0,05$) mais alta para a polpa tratada enzimaticamente e ainda mais alta para a polpa tratada enzimaticamente com posterior pasteurização, o que reflete uma maior resistência ao escoamento.

5.4 CONCLUSÃO

De acordo com a avaliação das transformações físico-químicas da polpa de goiaba no primeiro processo de pasteurização, foi observado que houve uma diminuição dos sólidos totais indicando que esta diminuição é acompanhada pelos sólidos insolúveis, açúcares totais e pectina, estes sendo componentes daquele. Paralelamente observou-se um aumento dos sólidos solúveis, açúcares redutores e acidez titulável, indicando uma hidrólise de açúcares complexos em componentes mais simples.

Na polpa que sofreu tratamento enzimático, os sólidos totais também diminuiram seguidos pelos sólidos solúveis e insolúveis, pH, densidade, pectina e viscosidade. Paralelamente observou-se que apenas os açúcares não redutores aumentaram.

O Teste χ^2 mostrou quais componentes químicos tem relação significativa com a viscosidade e a densidade da polpa, o que é de grande valia em linhas de processamento, particularmente quando da formulação de produtos.

O estudo reológico mostrou que as polpas de goiaba crua e pasteurizada, juntamente com a tratada enzimaticamente e posterior

pasteurização, possuem comportamento pseudoplástico, com a ausência de tixotropia.

A equação de Arrhenius representou bem o efeito da temperatura na viscosidade aparente para as polpas de goiaba natural, natural e pasteurizada, tratada enzimaticamente e tratada enzimaticamente com posterior pasteurização sendo que o valor da energia de ativação de $1,26 \pm 0,24$ kcal·gmol⁻¹ para a polpa natural, $2,02 \pm 0,10$ kcal·gmol⁻¹ para a polpa pasteurizada, $1,79 \pm 0,29$ kcal·gmol⁻¹ para a polpa tratada enzimaticamente e $2,98 \pm 0,18$ kcal·gmol⁻¹ para a polpa tratada enzimaticamente com posterior pasteurização.

5.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVARADO, J.D.; AGUILERA, J.M. Métodos para medir Propriedades Físicas em Indústrias de Alimentos. Ed. Acribia S.A. Zaragoza, 2001. p.410.

ASSOCIATION OF OFFICIAL ANALYTICAL CHEMISTS (AOAC). In: CUNIFF, P. (Ed.) Official Methods of AOAC Internacional, 16th ed., Arlington, VA, 1997, 2v.

AZZOLINI, M. Fisiologia pós-colheita de goiabas Pedro Sato: estádios de maturação e padrão respiratório. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, 2002.

BEZERRA, J.R.M.V. Comportamento da polpa de manga. Tese de Doutorado, UNICAMP, Campinas, São Paulo, 2000.

BINNER, S.; JARDINE, W.G.; RENARD, C.M.C.G.; JARVIS, M.C. Cell wall modifications during cooking os potatoes and sweet potatoes. Journal of Science of Food an Agriculture, v.80, n.2, p.216-218, 2000.

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

CASTRO, F.A. Industrialização da goiaba – Perfil tecnológico. Fortaleza: Núcleo de Tecnologia Industrial, 1983. 51p.

.CHARM, S.E. The nature of role of fluid consistency in food engineering applications advance. Food research.11, 356–361, 1962.

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

DUBOIS, M.; GILLES, K. A. ; HAMILTON, J. K. ; REBERS, P. A. ; SMITH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. Analytical Chemistry, Washington, v. 28, p. 350 -356, 1956

EL-BULK, R.E., BABIKER, EL F.E.; EL TINAY, A.H. Changes in chemical composition of fruits during development and ripening. Food chemistry, v. 59 n.3, p. 395-399,1997.

HASSAN, B. H., & HOBANI, A. I. Flow properties of Roselle (*Hibiscus sabdariffa*) extract.. Journal of Food Engineering, 35(4), 459-470, 1998.

MANICA, L.; ICUMA, I. M.; JUNQUEIRA, N.T.V.; SALVADOR,J.O.; MOREIRA, A.; MALAVOLTA, E. Fruticultura Tropical Porto Alegre: Cinco continentes, 2000. cap. 6. 373p: Goiaba.

MILLER, G. L., Use of dinitrosalicylic acid reagents for determination of reducing sugar , Analytical Chemistry v. 31, p. 426, 1959.

NG, A.; WALDRON, K.W. Effect of steaming on cell wall chemistry os potatoes (*Solanum tuberosum*) in relation to firmness. Journal of Agricultural and Food Chemistry, v.45, n.9, p.3411-3418, 2002.

PELEGRINE, D.H., VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.20, n.1, 2000.

PEREIRA, L.T.P.; BELÉIA, A.P. Isolamento, fracionamento e caracterização de paredes celulares de raízes de mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz). Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas. 24(1): 059-063, jan.-mar. 2004.

RANGANNA, S. Manual of analysis of fruit and vegetable products. New Delhi: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited, 1977. 634 p.]

RAO, M.A. Rheology of liquid foods. *Journal of Texture Studies*, v. 8, n. 2, p. 135-168, 1977

RAO, M.A. Rheological properties of fluid foods. In: RAO, M.A.; RIZVI, S.S.H. *Engineering properties of foods*. New York: MARCEL DEKKER, 1986. Cap. 5, p. 1-47.

STOLLE-SMITS, T.; BEEKHUIZEN, J.G.; RECOURT, K.; VORAGEN, A.G.J.; DIJK, C. van. Changes in pectic and hemicellulosic polymers of green beans (*Phaseolus vulgaris* L.) during industrial processing. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, v.45, n.12, p.4790-4799, 1997.

VIDAL, J.R.M.B.; PELEGRINE, D.H.; GASPARETTO, C.A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*mangífera indica L-Keitt*). *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, 24(10): 039-042, jan.-mar. 2004.

VIDAL, J.R.M.B. Comportamento da polpa de manga integral. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v.6, n.2, p. 217-222, 2004.

VENDRUSCULO, A. T.; Comportamento Reológico e Estabilidade Física de Polpa de Carambola (*Averrhoa Carambola* L.). *Dissertação de Mestrado*, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

Capítulo 6

MODELAGEM REOLÓGICA DA POLPA DE GOIABA (*Psidium guajava* L.) NAS DIFERENTES ETAPAS DE PROCESSAMENTO

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar as diferenças na caracterização reológica da polpa de goiaba pasteurizada nas diferentes etapas de processamento. Foram usados dois tipos de processo: sem e com tratamento enzimático prévio à pasteurização. As frutas foram selecionadas por coloração, de modo a se obter uma faixa suficientemente estreita de maturação. No primeiro processamento, a fruta foi despulpada e pasteurizada a aproximadamente 90-95 °C por 30 minutos. No segundo processamento, a polpa foi tratada enzimaticamente com Pectinex Ultra SP-L (Novozymes), à concentração de 1 unidade por litro, à 50-55°C por uma hora, seguida de filtração em um filtro dessorador, sendo posteriormente pasteurizada nas mesmas condições. Alíquotas da polpa natural, natural pasteurizada, tratada enzimaticamente, e com tratamento enzimático e pasteurização foram acondicionadas em sacos de polietileno e congeladas a -18 °C para análises posteriores. A caracterização reológica foi realizada por meio de um reômetro de cilindros concêntricos e os dados experimentais foram ajustados utilizando-se cinco modelos reológicos: Bingham, Lei da Potência, Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk. De uma forma geral todos os modelos apresentaram ajustes satisfatórios. Escolheu-se o modelo de Mizrahi-Berk por ser o que melhor tem se ajustado à maioria dos reogramas das polpas, sucos e purês de frutas, inclusive na literatura. Na polpa de goiaba natural, nas temperaturas de 8 °C, 15 °C e 25 °C, as viscosidades aparentes não diferem entre si assim como nas temperaturas de 35 °C a 85 °C. Para a polpa de goiaba natural pasteurizada, as viscosidades nas temperaturas de 35 °C e 45 °C não tem diferença significativa, assim como as viscosidades

nas temperaturas de 55 °C a 85 °C. Com a polpa de goiaba tratada enzimaticamente, as viscosidades a 8 °C - 15 °C, 25 °C - 35 °C e 45 °C - 85 °C, não tem diferença significativa entre si. Para a polpa tratada enzimaticamente e pasteurizada somente as viscosidades à 45 °C – 65 °C e de 75 °C – 85 °C não tem diferença significativa. Deste modo, ajusta-se o modelo de Mizrahi-Berk em conjunto para estas temperaturas. Com o ajuste do modelo se constatou que as polpas dos diferentes tratamentos possuem um forte comportamento não-Newtoniano, com características pseudoplásticas.

Palavras-chave: reologia, polpa; goiaba, tratamento enzimático, pasteurização.

ABSTRACT

The objective of this work was to study the differences in the rheological characterization of pasteurized guava pulp in different processing stages. Two types of process had been applied on raw pulp: pasteurization and enzyme treatment followed by pasteurization. Fruits had been selected by color, in order to get a narrow band of maturation. In the first processing, the fruit was pulped and pasteurized at about 90 - 95 °C for 30 minutes. In the second process, the pulp was enzyme treated with Pectinex Ultra SP-L (Novozymes) at 55 °C for 1 hour, filtered and pasteurized at the same conditions. Aliquot of the raw, enzyme treatment and enzyme treated-pasteurized pulp had been conditioned in polyethylene bags and frozen at -18 °C for further analyses. The rheological characterization was carried out in a rheometer of concentric cylinders and the experimental data had been fitted using five rheological models: Bingham, Power Law, Herschel-Bulkley, Casson and Mizrahi-Berk. All models showed satisfactory adjustments. Mizrahi-Berk model was the best fitted to all of pulp rheograms. For raw pulp, the apparent viscosities at 8 °C, 15 °C and 25 °C, not showed statistical differences as well as at 35 °C to 85 °C. No significant differences in the apparent viscosity was also noted at 35 °C – 45 °C, and 55 °C -85 °C for pasteurized pulp; and for 45 °C - 65 °C and 75 °C - 85 °C for enzyme

tread-pasteurized pulp. In this way, Mizrahi-Berk model was fitted for these temperatures groups. It was put in evidence that pulps of different treatments had non-newtonian behavior, with pseudoplastic characteristics.

Key words: rheology, pulp, guava, enzymatic treatment, pasteurization.

6.1 INTRODUÇÃO

As indústrias frutícolas têm como uma das soluções mais práticas a transformação da matéria-prima em polpa, utilizando assim inúmeros processos que abrangem desde a preservação a longo prazo por congelamento ou adição de conservantes, até a possibilidade de concentração, elaboração de novos produtos, entre outros. (QUEIROZ, 1998).

A goiaba é uma fruta importante, não apenas por seu elevado valor nutritivo, com excelente aceitação para o consumo *in natura* e grande aplicação industrial, como também porque pode se desenvolver e produzir satisfatoriamente mesmo em condições adversas (CHITARRA *et al.*, 1990).

De acordo com Castro (1983), a goiaba é uma das frutas de mais fácil processamento, apresentando ótimas características de aproveitamento industrial, principalmente pela presença de vitaminas A, C e niacina e sais de cálcio, ferro e fósforo. O processamento não apresenta problemas de natureza física com relação à textura ou à forma, e nem problemas de natureza bioquímica de atuação de enzimas que provoquem o escurecimento da polpa.

A pasteurização é o termo frequentemente aplicado a tratamentos térmicos suaves, empregados em alimentos que, por natureza (pH ácido ou muito ácido), não propiciam condições de desenvolvimento aos microrganismos de elevada resistência térmica. É empregada também em conjunto com outros métodos de preservação como refrigeração e congelamento em alimentos que permitem o crescimento de microrganismos de maior termorresistência. A forma mais simples deste tratamento é representada pelo banho-maria, que em nível industrial pode ser automatizado e operado de forma contínua (LEITÃO, 1980). A destruição dos microrganismos pelo calor é devida à coagulação de suas proteínas e,

especialmente, à inativação dos sistemas enzimáticos necessários ao metabolismo (GAVA, 1988).

Com a finalidade de obter maior rendimento na extração da polpa, assim como uma quantidade menor de resíduos gerados durante a etapa de filtração, a utilização de enzimas pectinolíticas promovem rendimentos superiores do produto final, acarretando um custo de produção menor e conseqüentemente, proporções menores de resíduos gerados no processamento. Pectinases são enzimas que ajudam na hidrólise da pectina, causando uma redução na viscosidade da polpa e um aumento na produção de polpas e sucos (ENZIMES, 2004). A Pectinesterase (PME) e a poligalacturonase (PG) são pectinases que liberam ácidos carboxílicos e ácidos galacturônicos durante o tratamento térmico, o que causa uma redução no pH da polpa (BASTOS et. al., 2002). Essas enzimas removem pedaços da capa de pectina da partícula de turvação do suco e possibilita o agregamento de diversas partículas, resultando em partículas com uma densidade maior e, deste modo, mais fáceis de serem removidas por decantação ou centrifugação (ENZIMES, 2004).

Para a definição de processos destinados à fabricação de produtos que utilizam da polpa concentrada como sucos, como néctares, sorvetes, geléias, entre outras, é indispensável o conhecimento das propriedades físicas e químicas. Uma das propriedades mais importantes é o comportamento reológico destas polpas (VIDAL, 1997).

Polpas de fruta são fluidos que, geralmente, exibem comportamento não-newtoniano. Existem diversos modelos reológicos que descrevem esse comportamento, dentre os quais pode-se citar o da Lei da Potência, Bingham, Herschel-Bulkley, Casson e Mizrahi-Berk.

O presente trabalho tem como objetivo estudar as diferenças na caracterização reológica para as diferentes etapas de processamento, reológica da polpa de goiaba natural pasteurizada e tratada enzimaticamente pasteurizada, ajustando diferentes modelos a 08 °C, 15 °C, 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C, 75 °C e 85 °C.

6.2 MATERIAL E MÉTODOS

6.2.1 Matéria – prima

A goiaba, variedade Pedro Sato, utilizada no processamento é proveniente de Vista Alegre do Alto, estado de São Paulo, da safra de março de 2006. Os frutos foram adquiridos no mercado local de Florianópolis SC, em quantidade suficiente para os testes propostos.

6.2.2 Obtenção da polpa de goiaba

Para a obtenção da polpa de goiaba pasteurizada, para os dois processos diferentes. O fluxograma dos processos utilizados nos dois tipos de processamento de polpa de goiaba pasteurizada é mostrado na Figura 6.1.

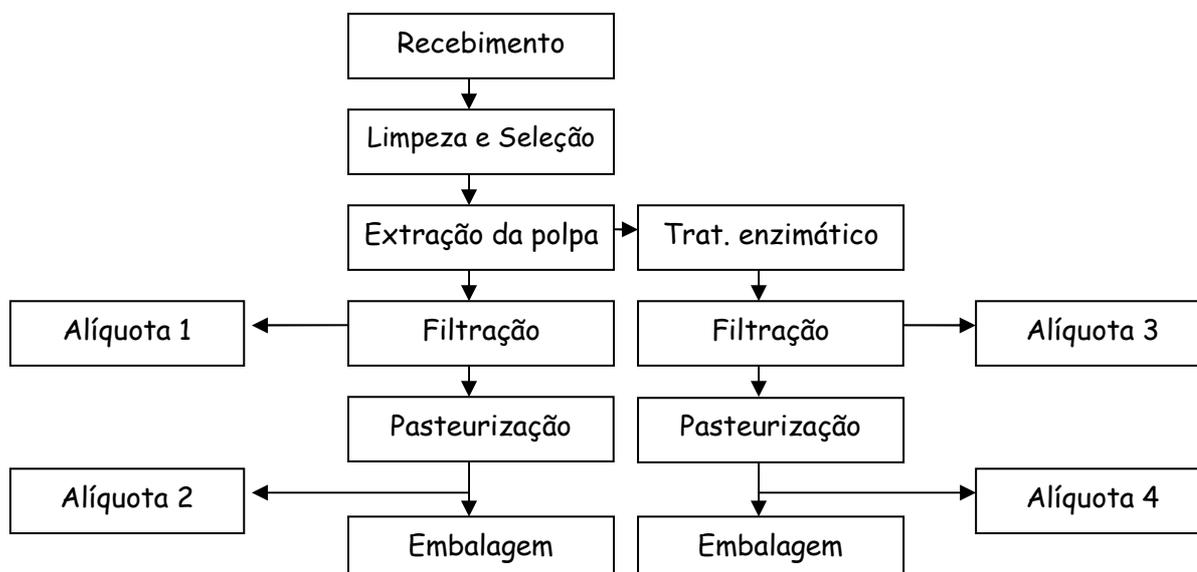


Figura 6.1 – Fluxograma da produção da Polpa de goiaba.

As frutas, selecionadas por coloração, de modo a se obter uma faixa suficientemente estreita de maturação, foram lavadas com hipoclorito de sódio em água (1mLL^{-1}) e a polpa foi extraída com centrífuga de uso doméstico (Walita modelo Vita RI 6728). Esta polpa foi submetida a dois processos de pasteurização: um com, e outro sem, tratamento enzimático prévio. Em cada processo foram retiradas duas alíquotas totalizando quatro amostras, como mostrado na Figura 6.1. Estas amostras foram acondicionadas em sacos de polietileno e congeladas a $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Para a pasteurização, a polpa foi aquecida à temperatura de 90-95 °C durante 30 minutos. O processo foi realizado em batelada.

No tratamento enzimático, foi adicionado à polpa natural a enzima Pectinex Ultra SP-L (Novozymes), à concentração de 1 unidade por litro, à 50-55°C por uma hora, seguida de filtração em um filtro dessorador.

6.2.3 Caracterização Reológica

As medidas reológicas foram realizadas a temperaturas de 08 °C, 15 °C, 25 °C, 35 °C, 45 °C, 55 °C, 65 °C, 75 °C e 85 °C em um reômetro de cilindros concêntricos THERMO HAAKE, modelo VT550, para as polpas obtidas nos quatro pontos de processamento. As medidas foram feitas em duplicata para cada tratamento, em cada temperatura.

O equilíbrio térmico do sistema foi imposto com a ajuda de um banho termostático Haake DC 10. Para o controle do sistema e registro das medidas efetuadas utilizou-se o software Rheowin Pro Job Manager, que comanda as operações do sistema.

O tempo de corrida para cada ensaio foi programado para 6 minutos com a taxa de deformação máxima de 1000 s⁻¹.

A modelagem dos resultados experimentais foi feita pelos modelos de Bingham, Lei da Potência, Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berke (Equações 6.1 a 6.5), ajustando-se os parâmetros com auxílio do software STATISTICA 6.0. Os modelos foram ajustados para os quatro tratamentos em todas as temperaturas estudadas.

$$\tau = k\gamma^n \quad (6.1)$$

$$\tau = \tau_0 + \eta_\infty \dot{\gamma} \quad (6.2)$$

$$\tau = \tau_0 + k(\dot{\gamma})^n \quad (6.3)$$

$$\tau^{0,5} = k_{OC} + k_C \cdot \dot{\gamma}^{0,5} \quad (6.4)$$

$$\tau^{0,5} = k_{om} + k_m \dot{\gamma}^n \quad (6.5)$$

Onde:

τ = tensão de cisalhamento [Pa], τ_0 = tensão inicial de cisalhamento [Pa], K_{Om} e K_{OC} = raiz quadrada da tensão inicial, K , K_C e K_m = índices de consistência [Pa.s], $\dot{\gamma}$ = taxa de deformação [s^{-1}], n_m = índice de comportamento do escoamento [adimensional] e η_{∞} = a viscosidade aparente do fluido.

6.3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.3.1 Caracterização reológica

Nos ensaios reológicos, as curvas experimentais ascendentes e descendentes da tensão de cisalhamento versus a taxa de deformação, não apresentaram efeitos de histerese. Portanto, as amostras utilizadas nos ensaios não apresentaram comportamento dependente do tempo, e, portanto, não exibem tixotropia.

A Figura 6.2 mostra os modelos de Bingham (a), Lei da Potência (b), Casson (c), Herschel –Bulkley (d) e Mizrahi-Berk (e) ajustados aos resultados experimentais da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de goiaba natural à temperatura de 08 °C.

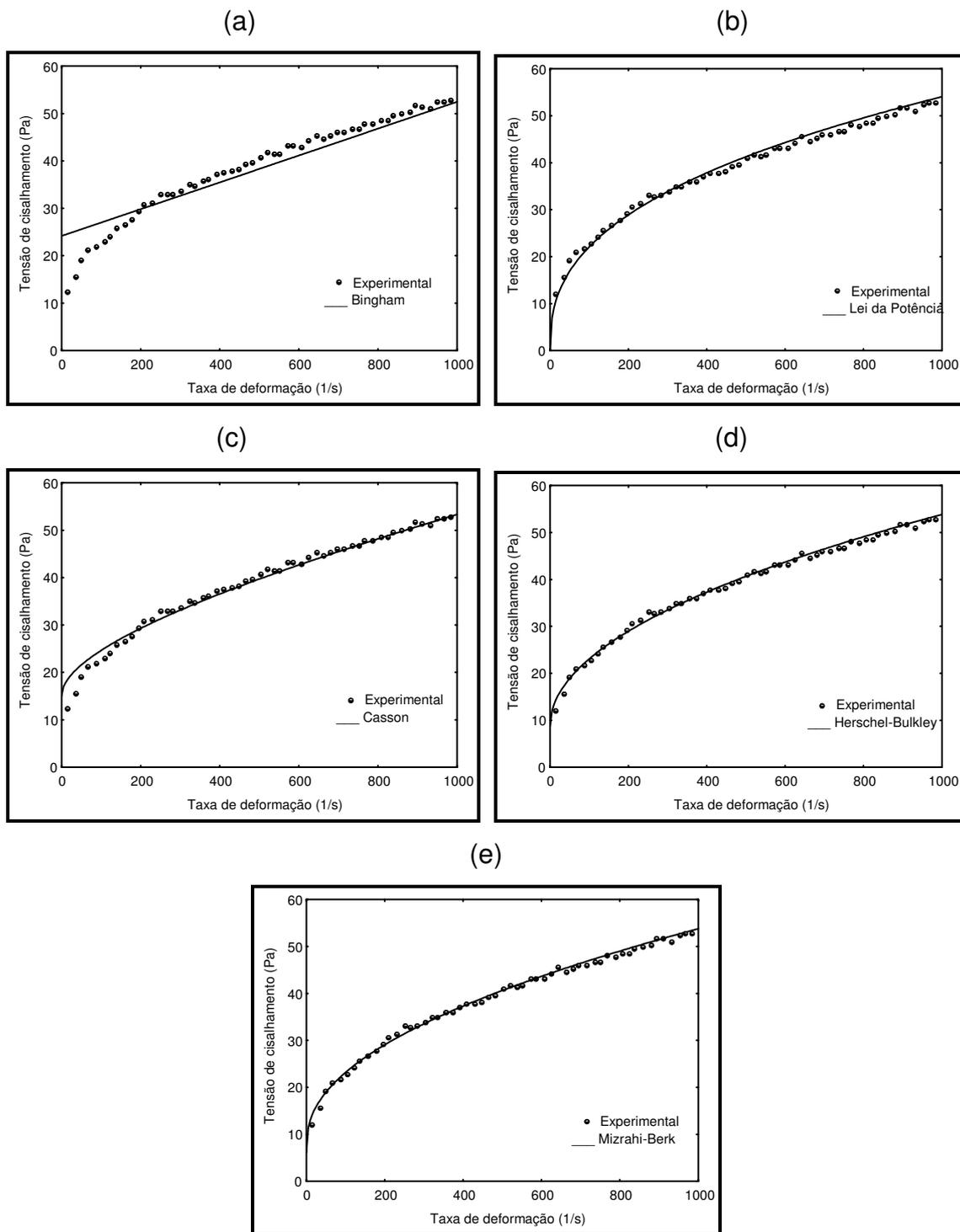


Figura 6.2 – Modelagem segundo Bingham (a), Lei da Potência (b), Casson (c), Herschel –Bulkley (d) e Mizrahi-Berk (e) ajustados aos resultados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de goiaba natural à 08 °C.

A Figura 6.3 mostra os resultados experimentais da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de goiaba natural à temperatura de 25 °C, modelados segundo os modelos apresentados.

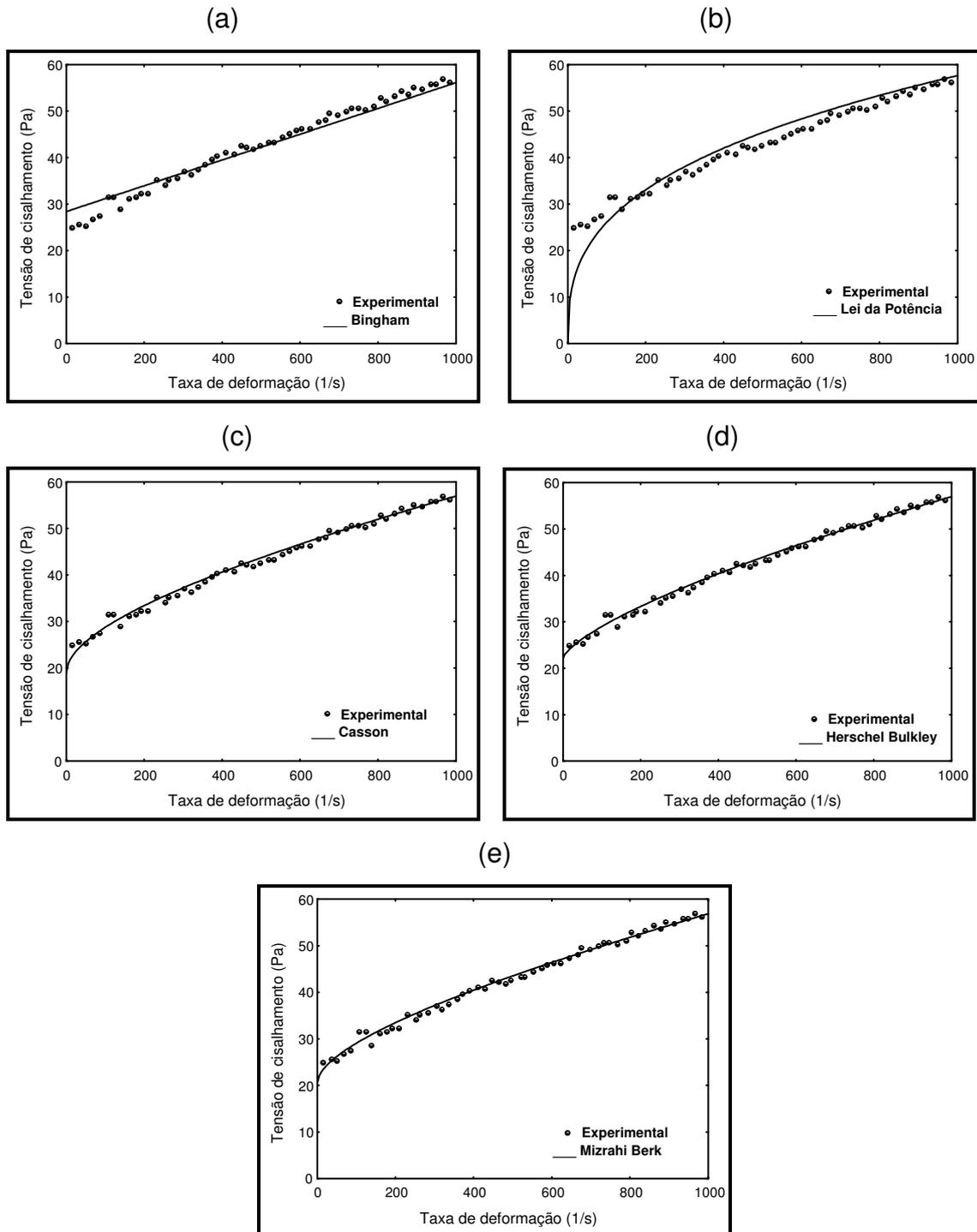


Figura 6.3 – Tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de goiaba natural a 25 °C. Modelagem segundo Bingham (a), Lei da Potência (b), Casson (c), Herschel-Bulkley (d) e Mizrahi-Berk (e).

A Figura 6.4 mostra os modelos de Bingham (a), Lei da Potência (b), Casson (c), Herschel –Bulkley (d) e Mizrahi-Berk (e) ajustados aos resultados experimentais da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de goiaba natural à temperatura de 85 °C.

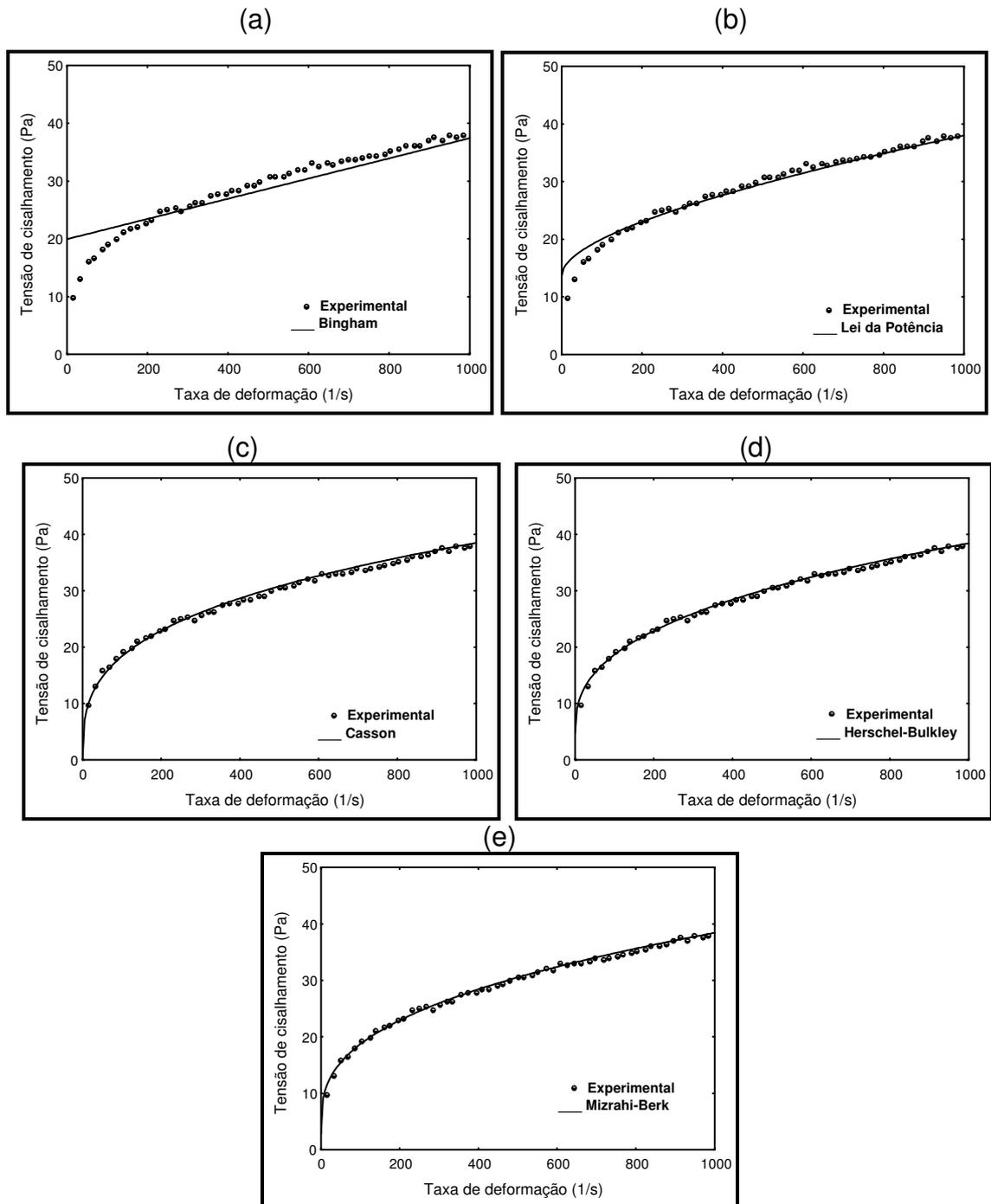


Figura 6.4 – Modelagem segundo Bingham (a), Lei da Potência (b), Casson (c), Herschel –Bulkley (d) e Mizrahi-Berk (e) ajustados aos resultados de

tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de goiaba natural à 85 °C.

Para as demais temperaturas os modelos foram ajustados da mesma forma e os parâmetros dos cinco modelos reológicos para a polpa de goiaba natural são mostrados na Tabela 6.1.

Tabela 6.1 – Parâmetros dos modelos reológicos para a polpa de goiaba natural em todas as temperaturas.

Modelos	Parâmetros	Temperatura (°C)								
		8	15	25	35	45	55	65	75	85
Bingham	τ_0	24,1677	28,0157	28,4063	16,6265	20,0481	22,2334	18,8928	16,7495	19,9437
	n	0,0283	0,0287	0,0277	0,0244	0,0212	0,0178	0,0185	0,0175	0,0174
Lei da Potência	K	3,6825	4,9764	5,3219	1,9507	3,4234	5,1033	3,4972	2,8883	4,1668
	n	0,3888	0,3563	0,3449	0,4455	0,3644	0,3021	0,3472	0,3626	0,0174
Casson	K_{oc}	3,8844	4,2831	4,3507	3,0899	3,601	3,9527	3,5386	3,2923	3,6925
	K_c	0,108	0,1046	0,1011	0,1065	0,0908	0,0766	0,083	0,0827	0,0782
Herschel-Bulkley	τ_0	8,7859	18,7129	22,1537	4,1165	9,2259	10,7115	10,6111	3,3589	4,8174
	K	1,4333	0,5197	0,2648	1,0891	0,942	1,2868	0,6257	1,8084	2,3449
	n	0,4991	0,6295	0,7062	0,5145	0,5148	0,4572	0,5484	0,4157	0,3854
Mizrahi-Berk	K_{om}	2,4816	4,0852	4,5289	1,446	2,6732	2,913	2,9676	1,3132	1,6786
	K_m	0,5391	0,1453	0,0709	0,6363	0,3547	0,4075	0,2281	0,8651	0,9071
	n_m	0,318	0,4611	0,5427	0,2998	0,3441	0,3108	0,3822	0,2427	0,2324

Comparando a temperatura de 25 °C (temperatura ambiente) com 85 °C (temperatura aproximada de pasteurização), nota-se que a tensão inicial de cisalhamento (τ_0) tanto para o modelo de Bingham, quanto para o modelo de Herschel-Bulkley, diminui quando a temperatura passa de 25 °C a 85 °C. Há também uma diminuição no índice de comportamento de escoamento (n e n_m), aumentando assim a pseudoplasticidade do fluido, à medida que a temperatura aumenta. O índice de consistência (K , K_c , K_m) diminui para o modelo da Lei da Potência e Casson e aumenta para o modelo de Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk.

A Tabela 6.2 ilustra os valores do coeficiente de determinação, R, para cada modelo apresentado em relação à polpa de goiaba natural em todas as temperaturas.

Tabela 6.2 – Valores de R em cada modelo ajustado para a polpa de goiaba natural.

Temperatura (°C)	Bingham	Lei da Potência	Casson	Herschel-Bulkley	Mizrahi-Berk
08	0,9808	0,9974	0,9961	0,9989	0,9990
15	0,9886	0,9897	0,9980	0,9980	0,9981
25	0,9923	0,9830	0,9979	0,9980	0,9982
35	0,9816	0,9988	0,9959	0,9994	0,9994
45	0,9814	0,9960	0,9968	0,9990	0,9990
55	0,9728	0,9936	0,9932	0,9971	0,9972
65	0,9812	0,9913	0,9950	0,9964	0,9964
75	0,9718	0,9984	0,9924	0,9988	0,9988
85	0,9787	0,9981	0,9916	0,9987	0,9988

Nota-se, através dos coeficientes de determinação, R, que de uma forma geral todos os modelos apresentaram ajustes satisfatórios, ou seja, valores maiores que 0,97. Escolheu-se o modelo de Mizrahi-Berk por ser o que melhor tem se ajustado à maioria dos reogramas das polpas, sucos e purês de frutas, inclusive na literatura, já que o mesmo foi desenvolvido baseando-se em um modelo de uma suspensão de partículas interagindo em um solvente pseudoplástico (PELEGRINE *et al.*, 2000).

A Tabela 6.3 mostra a análise de variância, ANOVA, para o modelo de Mizrahi-Berk a 25 °C.

Tabela 6.3 – Análise de variância, ANOVA, para o modelo de Mizrahi-Berk a 25 °C.

Efeitos	Soma quadrática	DF	Média quadrática	F	p
Regressão	243601,7	2,00	121800,9	170327,4	0,00
Resíduo	62,2	87,00	0,7		
Total	243664,0	89,00			

Através da análise de variância, observa-se que a regressão é significativa, e o resíduo deixado pelo modelo é desprezável, não tendo diferença significativa a um nível de 5%. Este resultado também foi observado para as demais temperaturas.

O mesmo tipo de análise foi feita para as diferentes etapas de processo: polpa pasteurizada, polpa tratada enzimaticamente e polpa tratada enzimaticamente e pasteurizada. Os resultados foram semelhantes, confirmando que o modelo de Mizrahi-Berk pode ser ajustado para todas as etapas de processamento.

Nas Tabelas 6.4 e 6.5 observam-se as viscosidades aparentes da polpa de goiaba nas etapas de processamento para as polpas pasteurizada e tratada enzimaticamente e pasteurizada.

Tabela 6.4 – Viscosidade aparente para a etapa de pasteurização nas temperaturas estudadas.

Temperatura (°C)	Viscosidade aparente (mPas)	
	Natural	Natural Past.
08	58,56 ± 14,96 ^(a)	205,82 ± 56,15 ^(a)
15	63,48 ± 17,24 ^(a)	183,71 ± 49,10 ^(b)
25	62,62 ± 16,38 ^(a)	162,64 ± 42,70 ^(c)
35	45,60 ± 10,18 ^(b)	144,03 ± 37,02 ^(d)
45	46,18 ± 12,14 ^(b)	126,88 ± 32,12 ^(d)
55	45,61 ± 13,43 ^(b)	111,92 ± 27,85 ^(e)
65	41,94 ± 11,12 ^(b)	111,05 ± 28,19 ^(e)
75	38,69 ± 10,51 ^(b)	103,80 ± 26,25 ^(e)
85	42,41 ± 12,22 ^(b)	100,06 ± 26,38 ^(e)

Obs: letras iguais na coluna correspondem às viscosidades que não tem diferença significativa a um nível de significância de 5%, analisados pelo teste de Tuckey.

Tabela 6.5 – Viscosidade aparente para a etapa do tratamento enzimático seguido de pasteurização para as temperaturas estudadas.

Temperatura (°C)	Viscosidade aparente (mPas)		
	Natural	Trat. Enz.	Trat. Enz. e Past.
8	58,56 ± 14,96 ^(a)	33,11 ± 7,72 ^(a)	80,69 ± 19,82 ^(a)
15	63,48 ± 17,24 ^(a)	34,80 ± 6,38 ^(a)	62,85 ± 15,46 ^(b)
25	62,62 ± 16,38 ^(a)	24,91 ± 3,86 ^(b)	53,64 ± 11,54 ^(c)
35	45,60 ± 10,18 ^(b)	28,38 ± 6,65 ^(b)	46,66 ± 11,36 ^(d)
45	46,18 ± 12,14 ^(b)	22,91 ± 4,48 ^(c)	40,35 ± 9,69 ^(e)
55	45,61 ± 13,43 ^(b)	19,11 ± 4,16 ^(c)	36,37 ± 9,36 ^(e)
65	41,94 ± 11,12 ^(b)	17,72 ± 3,90 ^(c)	32,75 ± 9,20 ^(e)
75	38,69 ± 10,51 ^(b)	18,47 ± 4,90 ^(c)	25,72 ± 6,28 ^(f)
85	42,41 ± 12,22 ^(b)	20,32 ± 5,21 ^(c)	26,64 ± 7,99 ^(f)

Obs: letras iguais na coluna correspondem às viscosidades que não tem diferença significativa a um nível de significância de 5%, analisados pelo teste de Tuckey.

Na polpa de goiaba natural, nas temperaturas de 8 °C, 15 °C e 25 °C, as viscosidades aparentes não diferem entre si assim como nas temperaturas de 35 °C a 85 °C. Sendo assim, pode-se ajustar o modelo de Mizrahi-Berk para o conjunto de temperaturas a qual as viscosidades não apresentam diferença significativa (Tabela 6.6).

Tabela 6.6 – Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para a polpa de goiaba natural.

Temperatura (°C)	Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk			
	K_{om}	K_m	n_m	R
8 - 25	3,8598	0,1728	0,4408	0,9876
35 - 85	2,2173	0,5086	0,3011	0,9644

Observa-se que a tensão inicial de cisalhamento (K_{om}) diminui com o aumento da temperatura, seguido do índice de comportamento do fluido (n_m),

indicando o aumento da pseudoplasticidade da polpa, justificando assim o aumento do índice de consistência (K_m). Os coeficientes de determinação, R, também se mostraram satisfatórios.

Através da Figura 6.5 observa-se o modelo de Mizrahi-Berk ajustado para as temperaturas de 8 a 25 °C (a) e de 35 a 85 °C (b).

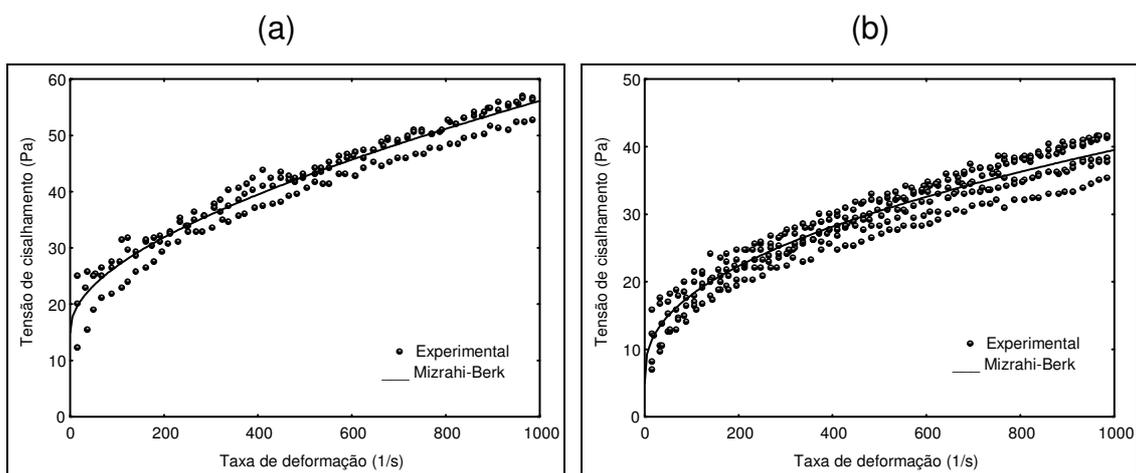


Figura 6.5 - Modelagem segundo Mizrahi-Berk ajustados aos resultados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de goiaba natural de 8 °C a 25 °C (a) e de 35 °C a 85 °C (b).

Para a polpa de goiaba natural pasteurizada, as viscosidades nas temperaturas de 35 °C e 45 °C não tem diferença significativa, assim como as viscosidades nas temperaturas de 55 °C a 85 °C. Deste modo, pode-se ter apenas um ajuste do modelo de Mizrahi-Berk para estas temperaturas em conjunto (Tabela 6.7).

Tabela 6.7 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para a polpa de goiaba natural pasteurizada.

Temperatura (°C)	Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk			
	K_{om}	K_m	n_m	R
8	0,9602	2,6005	0,2072	0,9999
15	0,6721	2,5192	0,2073	0,9999
25	0,9064	2,1277	0,2192	0,9999
35 - 45	1,4618	1,4731	0,2497	0,9763
55 - 85	2,8254	0,5950	0,3304	0,9846

Na Figura 6.6 observa-se o modelo de Mizrahi-Berk ajustado para os conjuntos de temperaturas de para a polpa de goiaba pasteurizada.

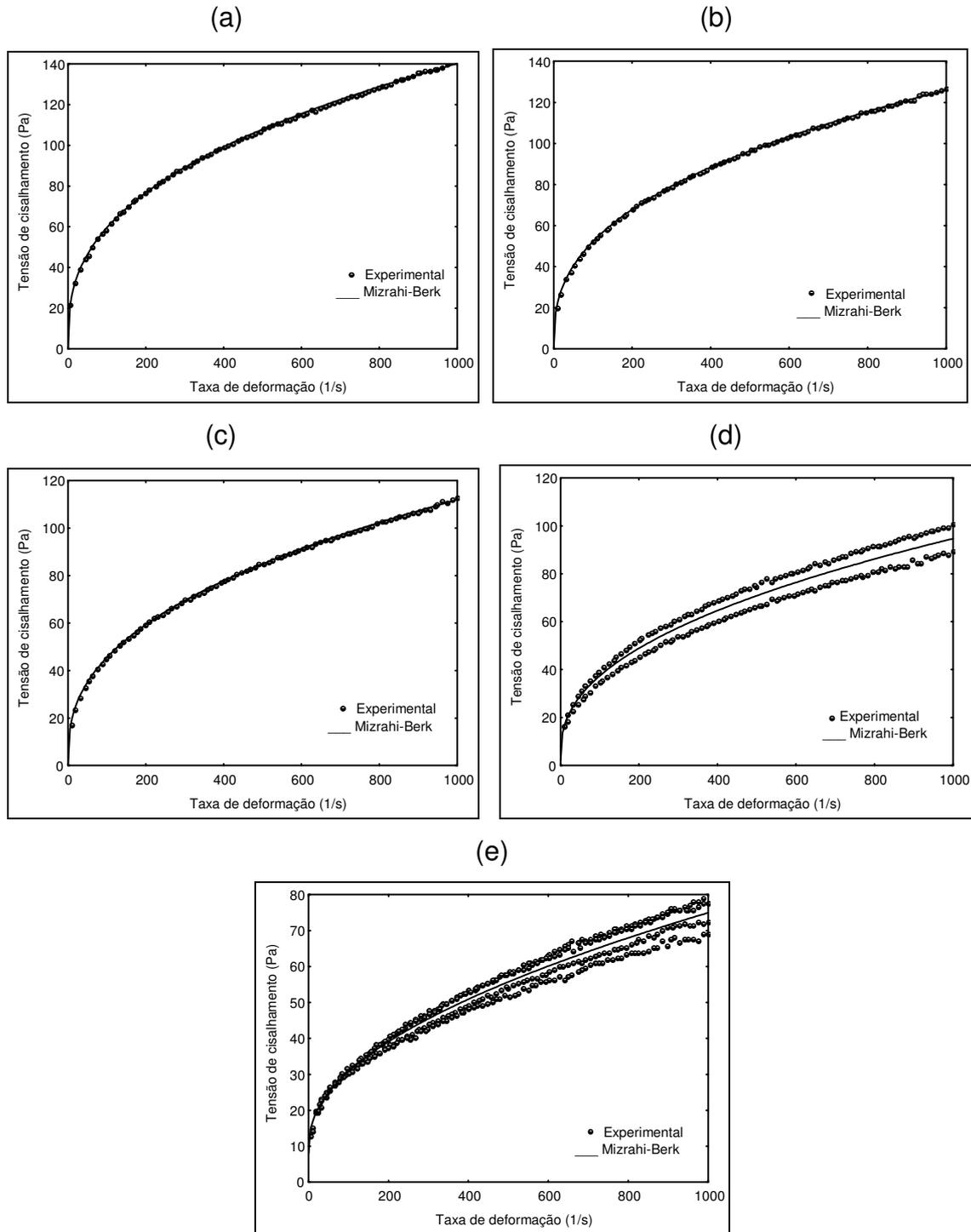


Figura 6.6 – Modelagem segundo Mizrahi-Berk ajustado aos resultados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de

goiaba natural pasteurizada a 8 °C (a), 15 °C (b), 25 °C (c), 35 °C-45 °C (d) e de 55 °C -85 °C (e).

Com a pasteurização, observa-se uma mudança no comportamento da polpa de goiaba. Há um aumento no índice de comportamento do fluido (n_m), diminuindo assim a pseudoplasticidade da polpa. Este comportamento justifica a diminuição no índice de consistência da polpa (K_m) a medida que a temperatura aumenta. A partir de 25 °C a tensão inicial de cisalhamento (K_{om}) aumenta com o aumento da temperatura.

Com a polpa de goiaba tratada enzimaticamente, as viscosidades a 8 °C - 15 °C, 25 °C - 35 °C e 45 °C - 85 °C, não tem diferença significativa entre si. Ajusta-se, então, o modelo de Mizrahi-Berk para as temperaturas em conjunto (Tabela 6.8)

O tratamento enzimático não modifica o comportamento da polpa natural. A tensão inicial de cisalhamento (K_{om}) também diminui com o aumento da temperatura, seguido do índice de comportamento do fluido (n_m), indicando o aumento da pseudoplasticidade da polpa, justificando assim o aumento do índice de consistência (K_m), porém os parâmetros têm valores menores do que aqueles da polpa natural.

Tabela 6.8 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para a polpa de goiaba tratada enzimaticamente.

Temperatura (°C)	Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk			
	K_{om}	K_m	n_m	R
8 - 15	3,2565	0,0182	0,7000	0,9857
25 - 35	2,1785	0,0890	0,4999	0,9750
45 - 85	2,0021	0,0921	0,4785	0,9393

Na Figura 6.7 observa-se o modelo de Mizrahi-Berk ajustado para as temperaturas de 8 °C - 15 °C (a) 25 °C - 35 °C (b) e de 45 °C - 85 °C (c) para a polpa tratada enzimaticamente.

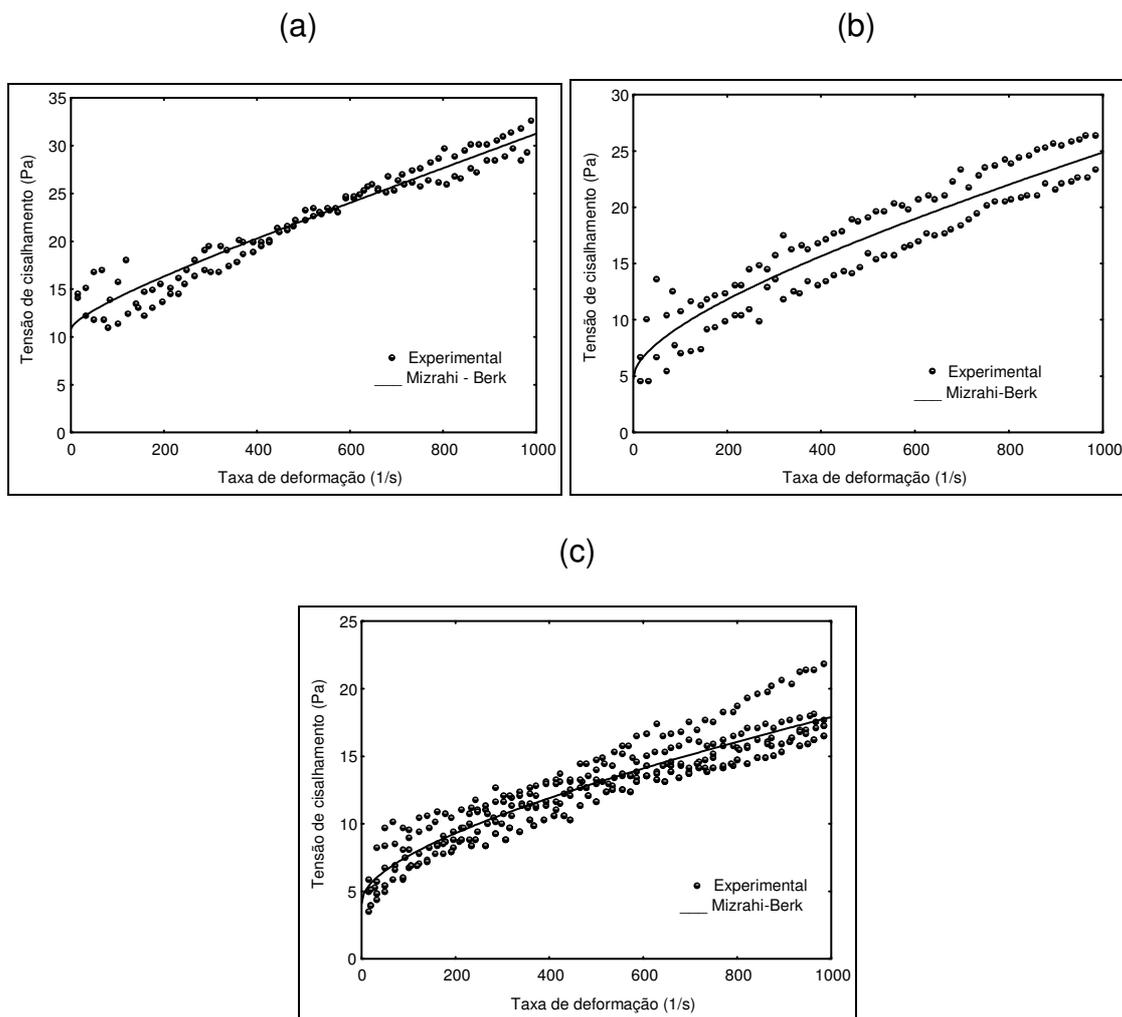


Figura 6.7 – Modelagem segundo Mizrahi-Berk ajustado aos resultados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de goiaba tratada enzimaticamente a 8 °C - 15 °C (a) 25 °C - 35 °C (b) e de 45 °C - 85 °C (c).

Para a polpa tratada enzimaticamente e pasteurizada somente as viscosidades à 45 °C – 65 °C e de 75 °C – 85 °C não apresentam diferença significativa. Deste modo, ajusta-se o modelo de Mizrahi-Berk em conjunto para estas temperaturas (Tabela 6.9)

Tabela 6.9 - Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk para a polpa de goiaba tratada enzimaticamente e pasteurizada.

Temperatura (°C)	Parâmetros do modelo de Mizrahi-Berk			
	K_{om}	K_m	n_m	R
8	4,5172	0,1227	0,5071	0,9981
15	3,7080	0,1551	0,4659	0,9974
25	1,8422	0,5051	0,3383	0,9984
35	3,8325	0,0436	0,5971	0,9975
45 - 65	3,2150	0,0761	0,5089	0,9417
75 - 85	2,4913	0,1457	0,4047	0,9889

Na polpa de goiaba tratada enzimaticamente e pasteurizada, há dois tipos de comportamento: quando a temperatura aumenta de 8 °C para 25 °C a tensão inicial de cisalhamento (K_{om}) diminui com o aumento da temperatura, seguido do índice de comportamento do fluido (n_m), indicando o aumento da pseudoplasticidade da polpa, justificando assim o aumento do índice de consistência (K_m).

A polpa tem o mesmo comportamento da polpa natural e tratada enzimaticamente. Quando a temperatura aumenta de 25 °C para 35 °C ocorre o inverso, a tensão inicial de cisalhamento aumenta, o índice de comportamento do fluido também aumenta e o índice de consistência diminui tendo as mesmas características da polpa natural pasteurizada. A partir de 45 °C, a polpa volta a ter o comportamento das temperaturas iniciais, semelhantes a polpa natural e tratada enzimaticamente.

Na Figura 6.8 observa-se o modelo de Mizrahi-Berk ajustado à 8 °C (a), 15 °C (b), 25 °C (c), 35 °C (d), 45 °C – 65 °C (e), 75 °C – 85 °C (f) para a polpa tratada enzimaticamente e pasteurizada.

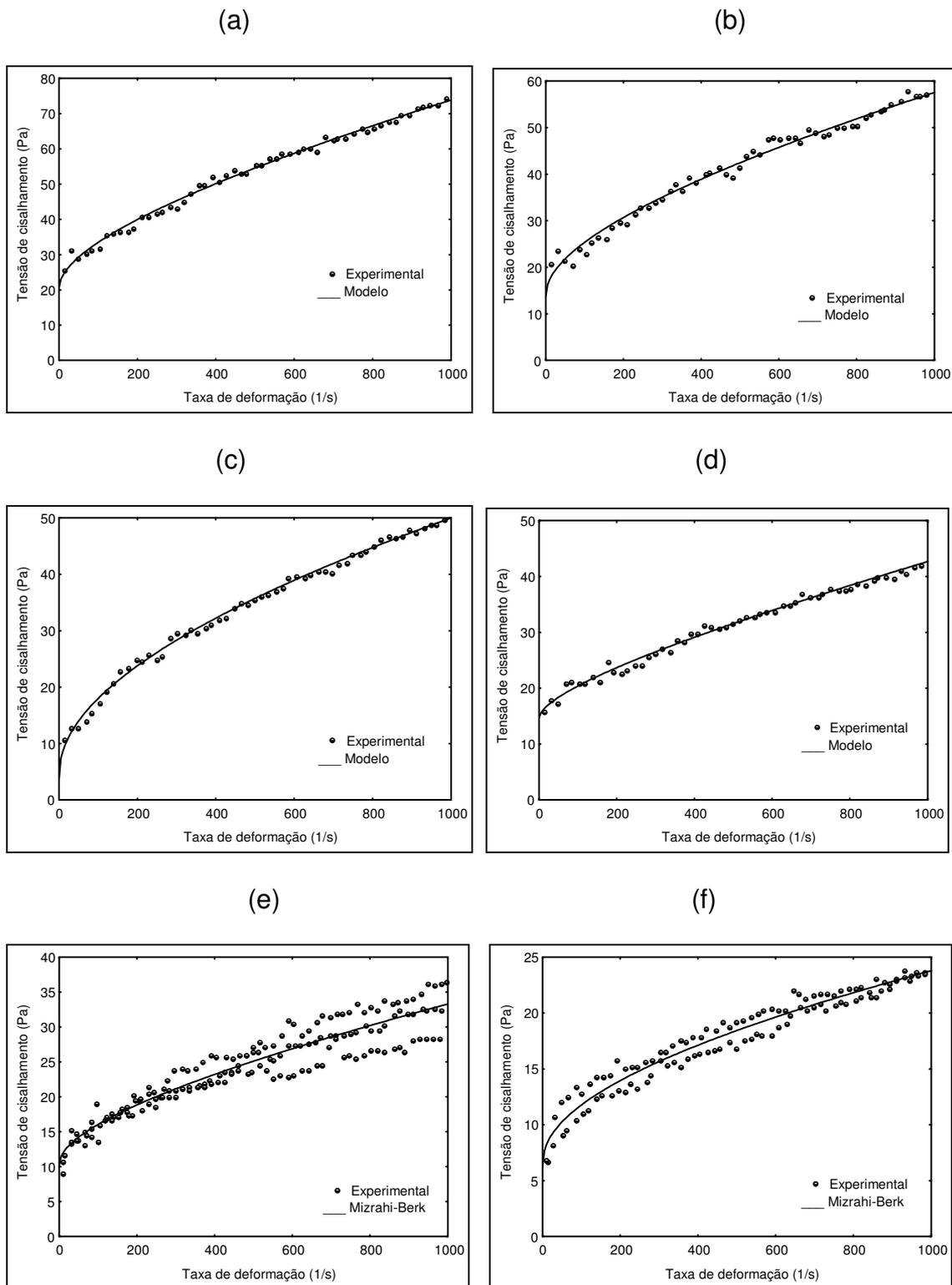


Figura 6.8 - Modelagem segundo Mizrahi-Berk ajustado aos resultados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação para a polpa de goiaba tratada enzimaticamente e pasteurizada a 8 °C (a), 15 °C (b), 25 °C (c), 35 °C (d), 45 °C – 65 °C (e), 75 °C – 85 °C (f).

6.4 CONCLUSÃO

Dentre os modelos reológicos de Bingham, Herschel-Bulkley, Mizrahi & Berk, Casson e Lei da Potência, utilizados para descrever o comportamento reológico da polpa de goiaba nos diferentes tratamentos, o de Mizrahi-Berk foi selecionado por ser o que melhor tem se ajustado à maioria dos reogramas das polpas, sucos e purês de frutas, inclusive na literatura, embora os demais modelos também tenham apresentados ajustes satisfatórios. Na polpa de goiaba natural, nas temperaturas de 8 °C, 15 °C e 25 °C, as viscosidades aparentes não diferem entre si assim como nas temperaturas de 35 °C a 85 °C. Para a polpa de goiaba natural pasteurizada, as viscosidades nas temperaturas de 35 °C e 45 °C não apresentam diferença significativa, assim como as viscosidades nas temperaturas de 55 °C a 85 °C. Com a polpa de goiaba tratada enzimaticamente, as viscosidades a 8 °C - 15 °C, 25 °C - 35 °C e 45 °C - 85 °C, não apresentou diferença significativa entre si. Para a polpa tratada enzimaticamente e pasteurizada somente as viscosidades à 45 °C – 65 °C e de 75 °C – 85 °C não tem diferença significativa. Deste modo, ajusta-se o modelo de Mizrahi-Berk em conjunto para estas temperaturas. Com o ajuste do modelo observou-se que em todas as temperaturas estudadas, as polpas apresentam um forte comportamento não-newtoniano, com características pseudoplásticas.

6.5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BALISCHI, L.; PEREIRA, N. C.; LIMA, O. C. M.; BARROS, S. T. D.; DAMASCENO, J. W.; MENDES, E. S. Influência do tratamento enzimático sobre as características reológicas e microscópicas da polpa de acerola, *Acta Scientiarum*, Maringá, v. 24, n. 6, p. 1649 – 1658, 2002.

BARROS, S.T.D. Clarificação dos sucos de acerola e abacaxi por ultrafiltração: Modelagem e Simulação do Fluxo do Permeado e Determinação dos Mecanismos de Fouling, 2002. Universidade Estadual de Campinas, 2002. Tese de Doutorado.

BASTOS, M.S.R.; GURGEL, T.E.P.; SOUSA, M.S.M.F.; LIMA, I.F.B.; SOUZA, A.C.R.; SILVA, J.B. Efeito da aplicação de enzimas pectinolíticas no rendimento da extração de polpa de cupuaçu. Revista Brasileira de Fruticultura. Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 240-242, abril 2002.

CASTRO, F.A. Industrialização da goiaba – Perfil tecnológico. Fortaleza: Núcleo de Tecnologia Industrial, 1983. 51p.

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

IBARZ, A.; GONÇALVES, C.A.; EXPLUGAS, S. Rheology of clarified passion fruit juices, Fruit processing, v. 6, p. 330 – 333, 1996.

PELEGRINE, D.H., VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A. Estudo da viscosidade aparente das polpas de manga (Keitt) e abacaxi (Pérola). Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.20, n.1, 2000.

QUEIROZ, A.J.M. Estudo do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga. Campinas: Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas, 1998. 170 p. Tese de Doutorado.

VENDRÚSCULO, A. T.; Comportamento Reológico e Estabilidade Física de Polpa de Carambola (*Averrhoa Carambola L.*). Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, 2005.

VIDAL, J.R.M.B.; PELEGRINE, D.H.; GASPARETTO, C.A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*mangífera indica L-Keitt*). Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, 24(10): 039-042, jan.-mar. 2004.

Capítulo 7

CONCLUSÕES

No presente estudo concluiu-se que para os diferentes estágios de maturação da goiaba, observou-se que a firmeza da polpa bem como a caracterização físico-química influem na viscosidade aparente, que aumenta com o avanço da maturação; sendo que a energia de ativação diminui nestas mesmas condições. Também a temperatura influi pouco na viscosidade da polpa de goiaba nos dois estados de maturação mais avançados.

Com o tratamento térmico da polpa crua, ao longo do processamento a viscosidade aumenta. Com o tratamento enzimático, há a redução da viscosidade aparente. Com a posterior pasteurização, a viscosidade aumenta novamente. Este comportamento é devido às modificações físico-químicas: sólidos totais e solúveis, açúcares totais e teor de pectina sofridas pelas polpas durante o aquecimento e o tratamento enzimático.

No estudo do comportamento reológico da polpa de goiaba, todas as amostras nos três estágios de maturação e mesmo, com seus tratamentos enzimático e de pasteurização, apresentaram comportamento não – newtoniano, com características pseudoplásticas.

Os modelos reológicos de Bingham, Lei da Potência, Casson, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk se ajustaram bem aos dados experimentais de todas as polpas estudadas, porém o modelo de Mizrahi-Berk foi selecionado por ter apresentado coeficientes de determinação mais altos em todos reogramas de polpas.

Na estimativa da energia de ativação de cada polpa, o efeito da temperatura sobre a viscosidade foi bem descrita pela equação de Arrhenius em todos os casos estudados, com coeficientes de determinação, R, maiores que 0,99. A energia de ativação diminuiu com o avanço da maturação e aumentou com a aplicação de cada etapa de processamento.

Com relação ao estudo do rendimento da polpa, a adição da enzima Pectinex SP-L na polpa de goiaba aumentou em 27% o rendimento da polpa

obtida. Observou-se que somente com o tratamento térmico, o rendimento foi em torno de 43 % enquanto que com o tratamento enzimático o rendimento foi de 70 %.

Como sugestão para trabalhos futuros pode-se pesquisar o reaproveitamento do resíduo do processamento da polpa de goiaba através da fabricação de um doce em massa e a ainda avaliar a cor da polpa de goiaba durante a estocagem, por ser a cor uma das características sensoriais mais importantes para a comercialização.

ANEXOS

Caracterização Físico-química

Para a caracterização físico-química das polpas nas diferentes etapas de processamento e nos diferentes estágios de maturação, foram feitas análises, em triplicata:

Açúcares Totais (DUBOIS et. al., 1956)

Em um tubo de ensaio foram adicionados 500 μL de polpa, 500 μL de solução de fenol 5 % e 2,5 mL de ácido sulfúrico. Em seguida o tubo foi agitado, incubado a temperatura ambiente por 30 minutos e a absorbância lida em espectrofotômetro a 490 nm. Esta leitura é comparada a uma curva padrão de glicose 0,1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$ 0,01 % p/v com concentrações de 0; 0,025; 0,05; 0,075 e 0,1 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Açúcares Redutores (MILLER, G.L., 1959)

Utilizou-se o método do ácido 3,5 – dinitrosalicílico (3,5 – DNS). Este método baseia-se na reação de oxidação do grupo aldeído presente nos açúcares redutores, mediante redução do ácido 3,5 – dinitrosalicílico em condições alcalinas. Em um tubo de ensaio contendo 400 μL da amostra previamente diluída, foi adicionado 400 μL do reativo DNS. A mistura foi incubada em banho-maria a 100 °C por 5 minutos, sendo em seguida resfriada em banho de gelo até a temperatura ambiente. Foi adicionado um volume de 4 mL de água destilada e, após 15 minutos, a absorbância foi lida em espectrofotômetro a 540 nm e comparada a uma curva padrão de glicose em concentrações na faixa de 0 a 3,0 $\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$.

Açúcares não- redutores

Obtidos por diferença entre carboidratos totais e redutores.

Conteúdo de Sólidos Totais (AOAC, método 934.01, 1997)

Obtido por método gravimétrico. Cerca de 5 gramas de amostras foram pesadas e estocadas em uma estufa à 70 °C por 5 horas sob vácuo de 40mm de HG, até peso constante. Os recipientes contendo as amostras, placas de

Petri, foram inseridos em um dessecador para esfriar por 30 minutos e posteriormente pesados em uma balança semi-analítica, com precisão de 0,001g.

Teor de sólidos solúveis (AOAC, método 37.1.15, 1997)

A determinação do teor de sólidos solúveis foi realizada através de um refratômetro óptico manual transferindo-se de 1 a 2 gotas da amostra homogeneizada e filtrada para o prisma do refratômetro, calibrado previamente com água destilada, que fornece medidas diretas em graus Brix, com resolução de 0,2, sem a necessidade de correção em função da temperatura.

Sólidos Insolúveis

Obtidos por diferença entre sólidos totais e solúveis.

Pectina (RANGANNA, 1979)

O teor de pectina foi determinado de acordo com a metodologia descrita por RANGANNA (1977). Pesou-se 5 g de polpa em um béquer de 250 mL e adicionou-se 40 mL de ácido clorídrico 0,05N para extração da pectina por 2 horas a 80-90 °C, substituindo o volume perdido por água destilada. O conteúdo obtido da extração foi transferido para um balão volumétrico de 50 mL, completado com água destilada e agitado. A solução foi filtrada através de um papel filtro para um béquer, do qual foram retiradas duas alíquotas de 10 mL e transferidas para dois béqueres de 250 mL. Adicionou-se 25 mL de água destilada, neutralizando a solução com Hidróxido de Sódio 1N (NaOH) em agitação constante, utilizando como indicador fenolftaleína. Pipetou-se 10 mL de NaOH 1N em excesso até obter uma coloração rosa escuro. A solução ficou em repouso por 12 horas. Foram adicionados 5 mL de ácido acético 1N. e depois de 5 minutos de espera, 2,5 mL de solução de cloreto de cálcio 1N sob agitação. Após 1 hora de repouso, a solução foi fervida por 1 minuto e filtrada em papel filtro (umedecido com água quente e seco em estufa a 105 °C por 2 horas). O precipitado contido no filtro foi lavado com água fervente até que estivesse livre de cloreto, utilizando o teste com nitrato de prata 1 %. O filtro contendo o pectato de cálcio foi seco em estufa 100 °C durante a noite e

pesado. A equação para o cálculo do percentual de pectato de cálcio está descrita abaixo.

$$\% \text{ Pectato de Ca} = \frac{P_{\text{pectato de Ca}} \times 50 \times 100}{V_a \times P_a}$$

Onde: P : Peso, V_a : volume da alíquota (mL), P_a : Peso da amostra

pH (AOAC, método 42.1.04, 1997)

O pH das polpas foi determinado pelo método potenciométrico. Para isso foi utilizado um pHmetro manual. O aparelho foi calibrado usando tampão de pH 4,0 e 7,0 e em seguida foi feita a leitura direta do pH, com imersão do eletrodo no béquer contendo a amostra.

Acidez total titulável (AOAC, método 37.1.37, 1997)

Aproximadamente 5 gramas de amostra foi misturada com 100 mL de água destilada em liquidificador doméstico. Pegou-se uma alíquota de 5 mL dessa solução e adicionou-se 30 ml de água destilada. A titulação foi feita com solução de hidróxido de sódio 0,1 N, e os resultados foram expressos em porcentagem de ácido cítrico, utilizando-se da fórmula:

$$\text{Equivalente de Ácido Málico}/(100 \text{ g de amostra}) = V * f * N * PE * 100/P$$

Onde: V é o volume (mL) de NaOH gasto na titulação, f é o fator de correção, N é a normalidade do NaOH, P é a massa (g) de amostra e PE peso equivalente grama do ácido málico.

Cinzas (AOAC, método 31.1.04, 1997)

Pesou-se 5 gramas de polpa em cápsula de porcelana previamente aquecida em mufla a 550 , resfriada em dessecador até a temperatura ambiente e pesada. Secou-se em estufa, carbonizou-se em temperatura baixa e incinerou-se em mufla a 550 . Resfriou-se em dessecador até a temperatura ambiente e

pesou-se. Repetiu-se as operações de aquecimento e resfriamento até peso constante. Para se achar o conteúdo de cinzas utilizou-se a seguinte fórmula:

$$(100 * N) / P = \text{Cinzas por cento p/p}$$

Onde:

N = peso de cinzas em gramas

P = peso da amostra em gramas

Densidade

Pesou-se o picnômetro vazio e seco. Encheu-se o picnômetro com água destilada e pesou-se. Calculou-se o volume do picnômetro, utilizando a densidade da água na temperatura em que a água se encontrava na hora do experimento. Lavou-se três vezes o picnômetro com um pequeno volume da polpa cuja densidade seria determinada para remover os resíduos do seu interior. Descartaram-se estas alíquotas. Adicionou-se a polpa com o cuidado ao encher o frasco para não haver formação de bolhas, pois isto acarretaria erros nos resultados, e colocou-se a tampa de maneira que o excesso de líquido escorresse pelo capilar. Com um pano ou papel poroso, enxugou-se o líquido presente na parte externa do picnômetro. Pesou-se o picnômetro (contendo o líquido) e anotou-se sua massa. Repetiu-se a pesagem mais duas vezes retirando o picnômetro da balança a cada pesagem.

Mediu-se a temperatura do líquido. A diferença entre essa massa e a massa do picnômetro vazio permitiu determinar a massa de cada polpa. E, como o volume da polpa corresponde ao volume do picnômetro determinado durante a calibração, então se determinou a densidade.