



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA
ÁREA: PROCESSAMENTO E ARMAZENAMENTO DE
PRODUTOS AGRÍCOLAS**



ESTÁGIO SUPERVISIONADO

**PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS E REOLÓGICAS DA POLPA DE
CARAMBOLA**

KARLA BARBOZA PEREIRA

Campina Grande - Paraíba

Julho - 2011

**PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS E REOLÓGICAS DA POLPA DE
CARAMBOLA**

KARLA BARBOZA PEREIRA

Estágio Supervisionado apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Campina Grande, como parte dos requisitos necessários para a obtenção do diploma de graduação em Engenharia Agrícola.

ÁREA: Processamento e Armazenamento de Produtos Agrícolas

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

Campina Grande - Paraíba
Julho – 2011



Biblioteca Setorial do CDSA. Abril de 2021.

Sumé - PB



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA AGRÍCOLA



PARECER FINAL DO JULGAMENTO DO ESTÁGIO SUPERVISIONADO

KARLA BARBOZA PEREIRA

**PROPRIEDADES TERMOFÍSICAS E REOLÓGICAS DA POLPA DE
CARAMBOLA**

BANCA EXAMINADORA:

NOTA

Alexandre José de Melo Queiroz

Prof. Alexandre José de Melo Queiroz – Orientador

9,7

Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo

Prof.^a Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo - Orientadora

9,5

Josivanda P. Gomes

Prof.^a Josivanda Palmeira Gomes de Gouveia - Examinadora

10,0

Karla dos Santos Melo

Prof.^a Karla dos Santos Melo - Examinadora

9,5

Média= 9,7 (nove vírgula sete)

JULHO - 2011

DEDICATÓRIA

Ao meu Deus por ter me fortalecido e guiado durante todos esses anos.

Aos meus pais Gelson e Lusinete, que me ensinaram a ser o que sou hoje, pelo apoio e exemplo, sem eles nada disso seria possível.

As minhas irmãs Bárbara e Bruna por terem sempre me acompanhado e ajudado.

Ao meu namorado Natan pelo amor, compreensão, carinho e dedicação.

A todos amigos e familiares que contribuíram direta ou indiretamente por mais essa conquista da minha vida.

Amo vocês!

AGRADECIMENTOS

A Deus, que contribui com tudo que tenho, tudo o que sou e o que vier a ser.

Aos meus pais, Gelson e Lusinete e as minhas irmãs Bárbara e Bruna, por terem me apoiado e ajudado incondicionalmente.

Ao meu namorado Natan, meu grande companheiro, que contribuiu grandemente para este grande passo da nossa vida.

A todos os professores do curso de Engenharia Agrícola pelo conhecimento transmitido em especial ao professor Alexandre e a professora Rossana com quem tanto aprendi durante toda a minha formação.

A minhas amigas e amigos: Renata, Alice, Kalyne, Aluska, Girlene, Quézia, Eli, Voltaérys, Isaiás, Taise, Livia, Ivan... Cada um de alguma forma me deu força para continuar.

A Tâmila, Karla e Vanessa que com suas experiências sempre contribuíram generosamente com minha iniciação científica.

A coordenadora do curso professora Soahd, que não mede esforços para contribuir e encorajar a nossa formação.

As minhas tias, tios, primas, primos, avós Josefina e Tereza (*in memorian*) e avôs João e José (*in memorian*), pela torcida.

Aos todos funcionários do Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas.

Muito obrigada!

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivos	2
1.1.1. Objetivo geral	2
1.1.2. Objetivos específicos	2
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Carambola	3
2.2. Propriedades termofísicas	4
2.2.1. Massa específica	5
2.2.2. Calor específico	5
2.2.3. Difusividade térmica	6
2.2.4. Condutividade térmica	7
2.3. Sólidos solúveis totais (°Brix)	7
2.4. Propriedades reológicas	8
2.4.1. Classificação dos fluidos	8
2.4.1.1. Newtonianos	8
2.4.1.2. Não-Newtonianos	8
2.4.1.2.1. Dependentes do tempo	9
2.4.1.2.1.1. Reopéticos	9
2.4.1.2.1.2. Tixotrópicos	9
2.4.1.2.2. Independentes do tempo	9
2.4.1.2.2.1. Pseudoplásticos	9
2.4.1.2.2.2. Dilatantes	9
2.4.1.2.2.3. Plásticos de Bingham	10
3. MATERIAL E MÉTODOS	11
3.1. Local	11
3.2. Matéria-prima	11
3.3. Processamento	11
3.4. Sólidos solúveis totais (°Brix)	12
3.5. Propriedades termofísicas	12
3.5.1. Massa específica	12
3.5.2. Calor específico	12

3.5.3. Difusividade térmica	13
3.5.4. Condutividade térmica	15
3.6. Propriedades reológicas	15
3.6.1. Modelos reológicos	16
3.6.1.1. Ostwald-de-Waelle	16
3.6.1.2. Herschel-Bulkley	16
3.6.1.3. Mizrahi-Berk	16
3.6.1.4. Casson	17
3.6.2. Análise estatística	17
3.6.2.1. Desvio percentual médio	17
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	18
4.1. Propriedades termofísicas	18
4.1.1. Massa específica	18
4.1.2. Calor específico	18
4.1.3. Difusividade térmica	19
4.1.4. Condutividade térmica	21
4.2. Propriedades reológicas	21
4.2.1. Viscosidades aparentes	21
4.2.2. Modelos reológicos	33
5. CONCLUSÕES	49
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	50

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1. Caramboleira	3
Figura 2.2. Fruto da caramboleira	4
Figura 3.1. Equipamento utilizado para determinação do calor específico	12
Figura 3.2. Cilindro utilizado para determinação da difusividade	14
Figura 4.1. Diagrama temperatura x tempo das três repetições para a determinação da difusividade térmica da polpa de carambola.	20
Figura 4.2. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para o teor de sólidos solúveis totais de 6 °Brix	44
Figura 4.3. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para o teor de sólidos solúveis totais de 9 °Brix	45
Figura 4.4. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para o teor de sólidos solúveis totais de 12 °Brix	46
Figura 4.5. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para o teor de sólidos solúveis totais de 15 °Brix	47
Figura 4.6. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para o teor de sólidos solúveis totais de 18 °Brix	48
Figura A.1. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waelle para o teor de sólidos solúveis totais de 6 °Brix	59
Figura A.2. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waelle para o teor de sólidos solúveis totais de 9 °Brix	59
Figura A.3. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waelle para o teor de sólidos solúveis totais de 12 °Brix	60
Figura A.4. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waelle para o teor de sólidos solúveis totais de 15 °Brix	60
Figura A.5. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waelle para o teor de sólidos solúveis totais de 18 °Brix	61
Figura A.6. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Mizrahi & Berk para o teor de sólidos solúveis totais de 6 °Brix	61
Figura A.7. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Mizrahi & Berk para o teor de sólidos solúveis totais de 9 °Brix	62

Figura A.8. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Mizrahi & Berk para o teor de sólidos solúveis totais de 12 °Brix	62
Figura A.9. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Mizrahi & Berk para o teor de sólidos solúveis totais de 15 °Brix	63
Figura A.10. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Mizrahi & Berk para o teor de sólidos solúveis totais de 15 °Brix	63
Figura A.11. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Casson para o teor de sólidos solúveis totais de 6 °Brix	64
Figura A.12. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Casson para o teor de sólidos solúveis totais de 9 °Brix	64
Figura A.13. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Casson para o teor de sólidos solúveis totais de 12 °Brix	65
Figura A.14. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Casson para o teor de sólidos solúveis totais de 15 °Brix	65
Figura A.15. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Casson para o teor de sólidos solúveis totais de 18 °Brix	66

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1. Massa específica (g/cm^3) da polpa de carambola integral	18
Tabela 4.2. Calor específico da polpa ($\text{cal/g}^\circ\text{C}$) da polpa de carambola integral	18
Tabela 4.3. Valores experimentais da difusividade térmica (m^2/s) da polpa de carambola integral	21
Tabela 4.4. Valores experimentais da condutividade térmica ($\text{W/m}^\circ\text{C}$) da polpa de carambola integral	21
Tabela 4.5. Análise de variância da viscosidade aparente da polpa de carambola integral (6 °Brix)	22
Tabela 4.6. Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de carambola integral (6 °Brix) em função da velocidade de rotação e temperatura	23
Tabela 4.7. Análise de variância da viscosidade aparente da polpa de carambola com 9 °Brix	24
Tabela 4.8. Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de carambola (9 °Brix) em função da velocidade de rotação e temperatura	25
Tabela 4.9. Análise de variância da viscosidade aparente da polpa de carambola com 12 °Brix	26
Tabela 4.10. Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de carambola (12 °Brix) em função da velocidade de rotação e temperatura	27
Tabela 4.11. Análise de variância da viscosidade aparente de carambola com 15 °Brix	29
Tabela 4.12. Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de carambola (15 °Brix) em função da velocidade de rotação e temperatura	29
Tabela 4.13. Análise de variância da viscosidade aparente da polpa de carambola com 18 ° Brix	31
Tabela 4.14. Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de carambola (18 °Brix) em função da velocidade de rotação e temperatura	32
Tabela 4.15. Parâmetros dos modelos reológicos ajustados aos dados viscométricos da polpa de carambola integral (6 °Brix), seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P)	35

Tabela 4.16. Parâmetros dos modelos reológicos ajustados aos dados viscométricos da polpa de carambola com 9 °Brix, seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P)	37
Tabela 4.17. Parâmetros dos modelos reológicos ajustados aos dados viscométricos da polpa de carambola com 12 °Brix, seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P)	39
Tabela 4.18. Parâmetros dos modelos reológicos ajustados aos dados viscométricos da polpa de carambola com 15 °Brix, seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P)	41
Tabela 4.19. Parâmetros dos modelos reológicos ajustados aos dados viscométricos da polpa de carambola com 18 °Brix, seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P)	43

1. INTRODUÇÃO

A produção mundial de frutas está em torno de 540 milhões de toneladas, correspondendo ao montante de US\$ 162 bilhões. O Brasil, depois da China e Índia (55,6 milhões e 48,1 milhões de toneladas, respectivamente), é o terceiro maior produtor de frutas do mundo (43 milhões de toneladas) (ANDRIGUETO & KOSOSKI, 2005).

Os principais produtores mundiais de carambola, em ordem decrescente, são Taiwan (1/3 da produção mundial), Malásia e Brasil. Neste último, a produção anual é estimada em 3.000 toneladas, proveniente, em sua maioria, de pomares domésticos (DONADIO et al., 2001). A caramboleira foi introduzida no Brasil por volta de 1817, no Nordeste, espalhando-se, a partir dessa região, por todo o litoral brasileiro (VENTUROSO et al., 2002).

A caramboleira (*Averrhoa carambola* L.) é uma planta pertencente à família Oxalidaceae, originária da Ásia, típica das regiões tropicais. É uma fruteira exótica, introduzida no Brasil no início do século XVIII, sendo cultivada em todo o país, principalmente nas regiões mais quentes e sem ocorrência de geadas. As formas de consumo da carambola são como fruta fresca ou sucos, geléias, compotas, doces caseiros e saladas. O sumo das sementes é utilizado para remover manchas diversas, as flores são consumidas em saladas e pratos exóticos, e as folhas fazem parte da farmacopéia indiana. O suco da carambola, além de um refrigerante saudável, também pode ser utilizado como febrífugo, antiescorbútico e antidisentérico. Em face ao grande potencial de exploração desta cultura, torna-se necessária a realização de estudos e pesquisas relacionadas às variedades, técnicas de cultivo, produção e conservação pós-colheita, de modo a viabilizar a expansão e divulgar o potencial comercial da caramboleira (BASTOS, 2004).

Polpas de frutas, na forma de matéria-prima destinada à industrialização, estão, como outros produtos alimentícios, sujeitas a processos de aquecimento e resfriamento. Os tratamentos térmicos necessários para eliminar microrganismos contaminantes, inativar enzimas naturais e retardar processos metabólicos e microbiológicos em condições de estocagem têm utilidade ainda nos projetos de equipamentos aquecedores, resfriadores, evaporadores, separadores e embaladores dos produtos. Em todos esses casos são necessários conhecimentos das propriedades termofísicas das matérias-primas, a fim de se calcular cargas térmicas, dispêndios energéticos, dimensionamento dos equipamentos, etc. (ARAÚJO et al., 2004). O suco de carambola ainda é pouco consumido no mercado. Na literatura existem poucas referências sobre os dados reológicos, composição, estabilidade

física e influência das partículas na reologia da polpa e do suco desta fruta (VENDRÚSCOLO, 2005).

O comportamento reológico dos fluidos alimentícios, como polpas e sucos de frutas, também se constitui em fator da maior importância no dimensionamento dos equipamentos da indústria processadora, além de ser um dos fatores de avaliação da qualidade do produto (QUEIROZ, 1998).

Tendo em vista a relevante contribuição da fruticultura para o desenvolvimento socioeconômico do país e a carência de informações científicas relacionadas à carambola faz-se necessário a realização de estudos relacionados ao seu comportamento reológico e termofísico em diferentes teores de sólidos solúveis totais e em diferentes temperaturas (fatores constantemente modificados durante seu processamento), para que equipamentos responsáveis pelos processos industriais a que as polpas são submetidas sejam corretamente projetados diminuindo os custos de produção.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo geral

Determinar as propriedades termofísicas da polpa de carambola integral e seu comportamento reológico em diferentes concentrações e temperaturas.

1.1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar a polpa integral quanto a massa específica, calor específico, difusividade e condutividade térmica;
- Determinar o comportamento reológico da polpa de carambola nas concentrações de 6, 9, 12, 15 e 18 °Brix e nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Carambola

A caramboleira (*Averrhoa carambola* L.) (Figura 2.1) é uma fruteira de origem Asiática com grande potencial, devido à sua capacidade de rápido desenvolvimento, alta produtividade, seleção de novos tipos doces, possibilidade de cultivo em sistemas baixos (latada, casa de vegetação), fruto com aparência e sabor únicos e a possibilidade em contornar fatores limitantes de cultivo, é cultivada no Brasil com grande êxito, pois a planta necessita de climas quentes e úmidos (SAÚCO, 1994; ARAÚJO et al., 2001).

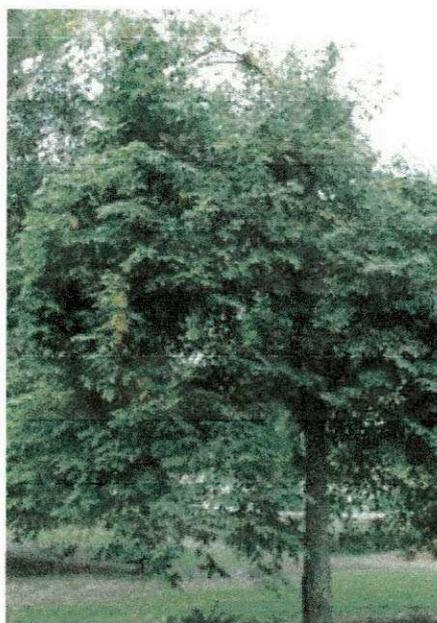


Figura 2.1. Caramboleira (INFOESCOLA, 2011)

O Brasil é um dos maiores produtores de carambola do mundo, sendo grande parte da produção proveniente de pequenos pomares, o que atende a um dos aspectos mais importantes da agricultura, o social, permitindo a fixação do homem no campo (NATALE et al., 2008).

A carambola (Figura 2.2) é consumida fresca ou sob forma de compotas, geléias, vinhos, passas, doces; o suco da polpa é refrigerante e tem uso medicinal no tratamento de febre, escorbuto e diarreia. O fruto é fonte de vitaminas A e C, sendo rico em ácido oxálico. Seu sabor pode variar muito, de árvore para árvore e de fruto para fruto, mas costuma ser adocicado, quando amadurece e um tanto ácido e adstringente, quando ainda verde. Nesse último caso, pode ser preparado em conservas salgadas, do tipo pickles,

conferindo-lhes um sabor exótico e uma aparência decorativa (TORRES et al., 2003a). Recentemente, tem aumentado o interesse para utilização como produto minimamente processado, em virtude da sua atrativa forma de estrela quando fatiado (TEIXEIRA et al., 2006).

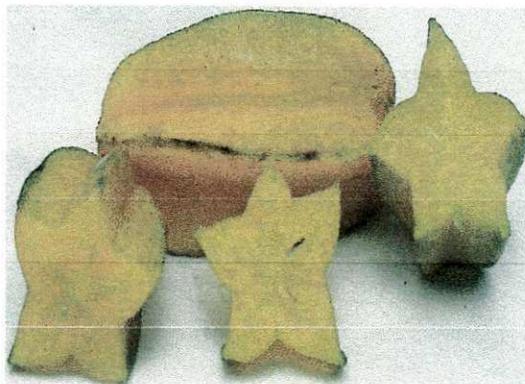


Figura 2.2. Fruto da caramboleira (WIKIPEDIA, 2011)

2.2. Propriedades termofísicas

Os conhecimentos necessários para manipulação, transporte e estocagem de polpas de frutas envolvem propriedades físicas relacionadas ao material, importantes para o correto dimensionamento dos equipamentos destinados a estas operações. No caso de polpas de frutas, são usados processos de aquecimento em pasteurização, concentração, etc., e a utilização de baixas temperaturas é um procedimento largamente utilizado para a preservação da qualidade desses produtos. No entanto, a utilização de tais recursos envolve gastos expressivos com energia e com sistemas e instalações, os quais podem ser otimizados pelo correto dimensionamento das instalações, levando em consideração as cargas energéticas requeridas pelo material que por sua vez dependem da sua natureza termofísica (LIMA et al., 2003).

O aumento da demanda dos produtos alimentícios no país traz como conseqüências a exigência de modernização, adequação tecnológica e maior qualidade para as indústrias. O cumprimento dessas exigências só acontecerá com maiores informações científicas sobre o processamento dos alimentos, o que passa pelo conhecimento das propriedades físicas para os cálculos dos processos (MOURA et al., 2005). Muitas etapas de industrialização envolvem processos de transferência de calor, tornando-se imprescindível o conhecimento das propriedades termofísicas do produto (DANTAS JÚNIOR et al., 2007).

Propriedades como a condutividade térmica, calor específico e massa específica têm uma importante função na análise de alimentos processados e no projeto de equipamentos. Em situações em que a transferência de calor ocorre em regime transiente à propriedade chamada difusividade térmica é a mais usada (OLIVEIRA, 2009).

2.2.1. Massa específica

A massa específica é uma importante propriedade física, sendo amplamente usada em cálculos de processos. É definida como a razão entre a massa de um material e seu volume. Para o correto dimensionamento de todas as operações unitárias relacionadas com a transferência de quantidade de movimento, tais como transporte de materiais através de tubulações de agitação, filtração, fluidização, sedimentação de sólidos em suspensões, dentre outras, é fundamental o conhecimento da massa específica do material em questão. A massa específica de um fluido também é importante para a determinação da pressão exercida por uma coluna do mesmo, o que é imprescindível para o projeto de tanques de armazenagem e sistemas de bombeamento. A transferência de massa e calor durante o processamento dos alimentos altera sua massa específica. Em muitos cálculos de dimensionamento de processos, a massa específica é considerada constante, o que simplifica os cálculos. Porém, esta suposição não é válida para todos os casos, já que altas temperaturas desnaturam os constituintes dos alimentos e baixas temperaturas fazem a água presente nos mesmos mudar de fase, tornando-se gelo; todos estes fatores alteram a massa específica. Devido à simulação de processos, há a necessidade de quantificar as mudanças da massa específica do alimento durante seu processamento. Em operações como a secagem, defumação, branqueamento, fritura e cozimento ocorrem transferências simultâneas de calor e massa. Tais fenômenos provocam variações no volume dos alimentos, o que faz também sua massa específica mudar (SOUZA, 2008).

Quando um alimento é transportado, estocado ou embalado, é importante saber a massa específica do material. A massa específica inclui o volume do material sólido, líquido e todos os poros de um produto alimentício (OLIVEIRA, 2009).

2.2.2. Calor específico

O calor específico é entendido como a quantidade de calor necessária para alterar a temperatura de uma unidade de massa, sendo, portanto, fundamental para se determinar a

quantidade de energia a ser adicionada ou removida nos processos de aquecimento e resfriamento (ARAÚJO et al., 2004).

O calor específico dos alimentos é afetado significativamente pela quantidade de água e pelo estado físico da mesma. Os alimentos congelados com alto teor de água, por exemplo, podem ter valores para o calor específico aproximadamente iguais a metade dos correspondentes em seu estado fresco (LEWIS, 1993).

O calor específico de materiais biológicos pode ser determinado através de duas formas: estacionária e transiente, utilizando-se dois tipos de equipamentos: o calorímetro de mistura ou o calorímetro diferencial de varredura. No método das misturas, o material, com massa e temperatura conhecida, é mergulhado em um líquido inerte, também com massa e temperaturas conhecidas, acondicionado, em um calorímetro adiabático de capacidade calorífica conhecida, em que a temperatura de equilíbrio da mistura é anotada. Para se determinar o calor específico do material, assume-se que o calor perdido pelo material é igual ao calor ganho pelo fluido e pelo calorímetro. No método do calorímetro diferencial de varredura, a quantidade de energia necessária para variar a temperatura da amostra é comparada com a energia necessária para mudar a temperatura de um material de referência, sob a mesma taxa de aquecimento, o calor requerido para atingir a temperatura é gravado em um termograma, que registra o histórico do fluxo de calor relacionado com a temperatura (MATTOS, 2007).

2.2.3. Difusividade térmica

A difusividade térmica de um meio ou produto está relacionado à propagação de calor nele, durante as variações de temperatura com o tempo (PINHEIRO, 2004). A difusividade térmica mede a capacidade de um material de conduzir energia térmica em relação à sua capacidade de armazená-la.

Materiais com elevados valores de difusividade responderão rapidamente a mudanças nas condições térmicas impostas a ele. Caso contrário responderá lentamente, necessitando de um tempo maior para atingir uma nova condição de equilíbrio (INCROPERA & DEWITT, 2003).

Segundo CARBONERA et al., (2003) a difusividade térmica de produtos alimentares depende da umidade e da temperatura da amostra, assim como da composição e da porosidade da mesma. Como a temperatura e a umidade do produto podem mudar durante o processamento, a difusividade também é modificada.

2.2.4. Condutividade térmica

A condutividade térmica de um material é a medida de sua capacidade para conduzir calor (VIANA, 2010). A condutividade térmica de um material depende principalmente da composição do produto, incluindo a presença de espaços vazios e do grau de homogeneidade da estrutura (PINEDO, 2007). Esta propriedade pode ser medida a partir do conhecimento das demais propriedades termofísicas: massa específica, calor específico e difusividade térmica do material, uma vez que tais propriedades apresentam uma relação direta entre si (SOUZA, 2008).

Em alimentos, que são compostos de várias substâncias em vários estados, o calor transferido por condução ocorre de várias formas. O efeito resultante da temperatura sobre a condutividade térmica não é facilmente estabelecido pelo emprego dos conhecimentos básicos dos mecanismos de transferência de calor em sólidos, líquidos e gases. Além disso, em produtos alimentícios o aumento da temperatura pode causar várias mudanças em suas propriedades físicas e químicas. Assim a condutividade térmica de alimentos depende tanto da sua composição como de qualquer fator que afete o fluxo de calor através do material como: a porosidade, o tamanho, a forma, o arranjo dos poros, a orientação das fibras etc. (QUEIROZ, 2001).

2.3. Sólidos solúveis totais (°Brix)

A concentração de sólidos solúveis, também conhecido como °Brix é bastante utilizada na determinação do grau de maturação das frutas, onde predominam açúcares (MATOS, 2007) e indicam a quantidade de substâncias que se encontram dissolvidos no suco, sendo constituído na sua maioria por açúcares (CHAVES et al., 2004).

Apresentam tendência de aumento com a maturação e podem ser medidos no campo ou na indústria, com o auxílio de refratômetro. O °Brix indica a quantidade, em gramas, dos sólidos que se encontram dissolvidos na água existente em um alimento. A análise do °Brix tem grande importância para a agroindústria, em controle de qualidade do produto final, controle de processos, controle de ingredientes e outros utilizados em indústrias, tais como: melão, álcool, açúcar, licor e bebidas em geral etc. (CHITARRA & CHITARRA, 1990).

2.4. Propriedades reológicas

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).

Os dados reológicos são de fundamental importância nas indústrias de alimentos, já que determinam o desenvolvimento de processos e equipamentos (VENDRÚSCOLO, 2005). No que se refere às indústrias, o conhecimento do comportamento reológico das polpas de frutas é de grande apreço na etapa de processamento, incluindo aplicações tecnológicas, sensoriais e de engenharia como, por exemplo, no projeto de bombas, tubulações, trocadores de calor e tanques de mistura (TORALLES et al., 2006).

Segundo SATO & CUNHA (2007) durante o processamento de polpas de frutas, freqüentemente utilizam-se tratamentos térmicos e/ou resfriamento, o que faz com que o estudo da influência da temperatura sobre o comportamento reológico destes produtos seja de grande importância. De maneira geral, é possível constatar que o aumento da temperatura leva à diminuição gradativa da viscosidade aparente da polpa.

2.4.1. Classificação dos fluidos

2.4.1.1. Newtonianos

Os fluidos newtonianos são aqueles que apresentam uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, em que a viscosidade é influenciada pela temperatura e concentração e independente da taxa de deformação e tensão de cisalhamento inicial (CASTRO et al., 2001).

2.4.1.2. Não-Newtonianos

Apresentam uma relação não linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, sua viscosidade varia com a taxa de deformação. Podem ser classificados como dependentes ou independentes do tempo. Fluidos com comportamento reológico

independente do tempo, sob condições de temperatura e composição constantes, apresentam viscosidade aparente dependente somente da taxa de deformação ou da tensão de cisalhamento (TONELLI et al., 2005).

2.4.1.2.1. Dependentes do tempo

2.4.1.2.1.1. Reopéticos

Tais fluidos apresentam acréscimo reversível na tensão de cisalhamento com o tempo, para uma dada temperatura e taxa de deformação (SILVA, 2005).

2.4.1.2.1.2. Tixotrópicos

Segundo CLARETO (2007) os fluidos tixotrópicos apresentam uma diminuição da viscosidade aparente com o tempo, sob a ação de um esforço constante. Nos fluidos tixotrópicos o comportamento reológico se define em função de três variáveis: tensão de cisalhamento, taxa de deformação e tempo. Os reogramas característicos para estes fluidos são os que relacionam tensão de cisalhamento com taxa de deformação e os que relacionam tensão de cisalhamento ou viscosidade aparente com o tempo a uma taxa de deformação constante (BRANCO & GASPARETTO, 2003a).

2.4.1.2.2. Independentes do tempo

2.4.1.2.2.1. Pseudoplásticos

São aqueles em que a taxa de acréscimo na tensão de cisalhamento diminui com o aumento da taxa de deformação (BEZERRA, 2000).

2.4.1.2.2.2. Dilatantes

Um fluido é denominado dilatante quando a viscosidade aparente aumenta com o aumento da taxa de deformação (ADORNO, 1997).

2.4.1.2.2.3. Plásticos de Bingham

Os fluidos de Bingham são independentes do tempo, apresentando tensão inicial a partir da qual o fluido apresenta um comportamento linear na relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação (SILVA, 2005).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Local

Este trabalho foi realizado no Laboratório de Armazenamento e Processamento de Produtos Agrícolas da Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola, do Centro de Tecnologia e Recursos Naturais da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), no período de março de 2011 a junho de 2011.

3.2. Matéria-prima

Foram utilizados frutos de carambola (*Averrhoa carambola* L.), provenientes da Empresa Paraibana de Abastecimento e Serviços Agrícolas (EMPASA) do município de Campina Grande, Paraíba.

3.3. Processamento

Os frutos foram selecionados manualmente para eliminação dos frutos danificados e materiais estranhos. Em seguida foram lavados com água corrente e detergente e imersos em solução de hipoclorito de sódio com concentração de 50 ppm, durante 15 minutos, e por fim foram enxaguados em água corrente antes do despulpamento.

O despulpamento foi realizado em despulpadeira da marca Laboremus modelo DF – 200 que possui uma capacidade de processamento de 400 kg/h. Os frutos foram desintegrados, separando-se a polpa das sementes, com o auxílio de uma peneira de malha de 2,5 mm.

A polpa foi embalada em sacos de polietileno de baixa densidade, com capacidade para 1000 g, posteriormente as amostras foram imersas em nitrogênio líquido a $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$, para obter-se um congelamento rápido. Finalmente o produto foi armazenado em freezer a $-22\text{ }^{\circ}\text{C}$ de onde eram retirados para a realização dos experimentos.

3.4. Sólidos solúveis totais (°Brix)

O teor dos sólidos solúveis totais (°Brix) da polpa de carambola nas diferentes concentrações (6, 9, 12, 15, 18 °Brix) foi quantificado, através da leitura direta em refratômetro marca Atago, tipo Abbe.

3.5. Propriedades termofísicas

3.5.1. Massa específica

A massa específica da polpa de carambola integral foi determinada nas temperaturas de 20 e 30 °C, sendo estes ensaios realizados em sextuplicata utilizando-se um densímetro. A amostra (250 ml) era colocada em uma proveta com capacidade para 250 ml em seguida o densímetro era introduzido e o valor da massa específica era obtido diretamente.

3.5.2. Calor específico

O calor específico da polpa de carambola foi determinado em triplicata, utilizando-se um calorímetro de mistura. Este equipamento consiste em uma garrafa térmica (Figura 3.1), com capacidade para 1L, envolvida em camada de 5 cm de isolante térmico (lã de vidro), inserida em uma carcaça de PVC. O recipiente era fechado com rolha de borracha, dotada de furo por onde era introduzida a haste de um termopar, com a finalidade de observar a temperatura interna.



Figura 3.1. Equipamento utilizado para determinação do calor específico (Fonte: Autor)

Em seguida, determinou-se a capacidade calorífica do calorímetro, onde se pesava uma massa de água ($m_1 = 200$ g) à temperatura ambiente. Logo após, foi adicionada uma massa de água resfriada ($m_2 = 200$ g). Agitava-se lentamente o calorímetro e se registrava a temperatura no equilíbrio. Para determinar a capacidade calorífica do calorímetro, utilizou-se o balanço de calor da Equação 3.1.

$$C_1 m_1 (T_1 - T_3) + C_{cal} (T_1 - T_3) = C_2 m_2 (T_3 - T_2) \quad (3.1)$$

em que:

T_1 – temperatura da água a temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$)

T_2 – temperatura da água resfriada ($^{\circ}\text{C}$)

T_3 – temperatura de equilíbrio da água ($^{\circ}\text{C}$)

C_1 e C_2 – calor específico da água ($\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$);

m_1 – massa de água à temperatura ambiente (g);

m_2 – massa de água refrigerada (g);

C_{cal} – capacidade calorífica do calorímetro ($\text{cal}/^{\circ}\text{C}$).

Por fim, acrescentou-se uma massa de amostra (m_3) de aproximadamente 100 g a uma temperatura de aproximadamente 30°C , agitava-se lentamente o calorímetro e verificava-se a temperatura no equilíbrio. Na determinação do calor específico do produto, utilizou-se a Equação 3.2:

$$m_p C_p (T_4 - T_5) = C_1 m_3 (T_5 - T_3) + C_{cal} (T_5 - T_3) \quad (3.2)$$

em que:

m_p – massa do produto (g);

C_p – calor específico do produto ($\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$);

C_1 – calor específico da água ($\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$);

m_3 – soma das massas m_1 e m_2

T_4 – Temperatura inicial do produto ($^{\circ}\text{C}$);

T_5 – Temperatura de equilíbrio ($^{\circ}\text{C}$).

3.5.3. Difusividade térmica

A difusividade térmica da polpa de carambola foi determinada, em triplicata, de acordo com a metodologia proposta por DICKERSON (1965). O equipamento utilizado consistia em um cilindro metálico com 2,45 cm de raio interno e 23,0 cm de comprimento

interno útil, com rolhas de nylon nas extremidades para vedação. O cilindro tinha dois termopares, um aderido na superfície externa e o outro no centro, inserido através do centro de uma das rolhas, de modo a medir a temperatura no centro radial e em posição equidistante das extremidades.

O cilindro (Figura 3.2) foi preenchido com a polpa, adicionada de ágar para evitar a convecção natural; a seguir mergulhava-se o aparato no banho termostático, onde era aquecido até a temperatura de 60 °C, registrando-se as temperaturas na superfície e no centro do cilindro, em intervalos de 2 minutos.

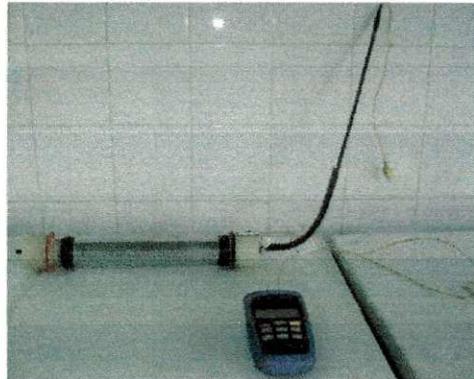


Figura 3.2. Cilindro utilizado para determinação da difusividade (Fonte: Autor)

Para os cálculos da difusividade térmica da polpa de carambola utilizou-se a Equação 3.3.

$$\alpha = \frac{ARc^2}{4(T_s - T_c)} \quad (3.3)$$

em que:

α – difusividade térmica (m^2/s);

A – taxa constante de aquecimento ($^{\circ}C/s$);

Rc – raio do cilindro (m);

Ts – temperatura na superfície do cilindro de raio R ($^{\circ}C$);

Tc – temperatura no centro do cilindro ($^{\circ}C$).

Para se obter os valores da constante da velocidade de aquecimento (A) e (Ts-Tc), utilizou-se o gráfico de temperatura (Ts e Tc) versus tempo, construído com os dados experimentais. A constante da velocidade de aquecimento (A) do banho foi obtida através do coeficiente angular da reta representada no gráfico temperatura (Ts) versus tempo e a

diferença ($T_s - T_c$) foi obtida quando as curvas (T_s) e (T_c) se tornaram paralelas entre si, o que acontece quando (Equação 3.4):

$$\left| (T_s - T_c)_i - (T_s - T_c)_{i+1} \right| \leq 0,1^\circ \text{C} \quad (3.4)$$

As equações de regressão linear da temperatura T_s em função do tempo foram feitas com o auxílio do programa Origin.

3.5.4. Condutividade térmica

A condutividade térmica da polpa de carambola foi determinada através da relação entre a difusividade térmica (α), o calor específico (C_p) e a massa específica (ρ), expressa através da Equação 3.5:

$$K = \alpha \rho C_p \quad (3.5)$$

em que:

K – condutividade térmica ($\text{W/m}^\circ\text{C}$);

α – difusividade térmica (m^2/s);

ρ – massa específica (Kg/m^3);

C_p – calor específico ($\text{KJ/kg}^\circ\text{C}$).

3.6. Propriedades reológicas

A polpa de carambola foi concentrada em rotavapor marca Quimis nas concentrações de 9, 12, 15 e 18 °Brix. Em seguida as medidas reológicas das amostras foram feitas nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50°C utilizando um viscosímetro Brookfield-RVT, fabricado por Brookfield Engineering Laboratories, E.U.A. Os dados experimentais foram ajustados pelos modelos de Ostwald-de-Waelle, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Casson.

3.6.1. Modelos reológicos

3.6.1.1. Ostwald-de-Waele

$$\tau = \kappa \dot{\gamma}^n \quad (3.6)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa);

κ - índice de consistência (Pa.sⁿ);

n - índice de comportamento de fluxo (adimensional);

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

3.6.1.2. Herschel-Bulkley

$$\tau = K_H \dot{\gamma}^{n_H} + \tau_{OH} \quad (3.7)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa);

τ_{OH} - tensão de cisalhamento inicial (Pa);

K_H - índice de consistência (Pa.sⁿ);

n_H - índice de comportamento de fluxo (adimensional);

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

3.6.1.3. Mizrahi-Berk

$$\tau^{1/2} = K_M \dot{\gamma}^{n_M} + K_{OM} \quad (3.8)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa);

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

K_M - índice de consistência (Pa.sⁿ);

n_M - índice de comportamento de fluxo (adimensional);

K_{OM} - raiz quadrada da tensão inicial (Pa).

3.6.1.4. Casson

$$\tau^{1/2} = K_{oc} + K_c \dot{\gamma}^{1/2} \quad (3.9)$$

em que:

τ - tensão de cisalhamento (Pa);

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

$K_{oc}^2 = \tau_{oc}$ - tensão de cisalhamento inicial (Pa);

K_c - viscosidade plástica de Casson ($Pa \cdot s^n$).

3.6.2. Análise estatística

Utilizando-se o programa ASSISTAT (SILVA & AZEVEDO, 2002) os dados das viscosidades aparentes foram submetidos à análise de variância e as médias comparadas pelo teste de Tukey. O delineamento seguiu um esquema fatorial composto por 10 velocidades de rotação (60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm) x 5 temperaturas (10, 20, 30, 40 e 50 °C) x 3 repetições.

A modelagem matemática foi realizada testando-se ajustes dos modelos de Ostwald-de-Waelle, Herschel-Bulkley, Mizrahi & Berk e Casson. Os parâmetros das equações e o coeficiente de determinação (R^2) foram obtidos utilizando-se o software STATISTICA versão 5.0.

3.6.2.1. Desvio percentual médio

Utilizou-se como critério para a determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais o coeficiente de determinação (R^2) e o desvio percentual médio (P), calculado conforme a Equação 3.10.

$$P = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{X_{exp} - X_{teo}}{X_{exp}} \right| \times 100 \quad (3.10)$$

em que:

P - desvio percentual médio (%);

X_{exp} - valor experimental;

X_{teo} - valor teórico;

n - número de dados experimentais.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Propriedades termofísicas

4.1.1. Massa específica

Na Tabela 4.1 são apresentados os valores médios da massa específica da polpa de carambola integral (6 °Brix) nas temperaturas de 20 e 30 °C e desvio padrão. Verifica-se que o valor experimental obtido para a temperatura de 20 °C é inferior ao encontrado por VIANA (2010) que foi de 1,040 g/cm³ para a polpa de cupuaçu com 14 °Brix. O valor obtido para a temperatura de 30 °C é inferior ao relatado por foi encontrado por MUNIZ et al. (2006) para a polpa de bacuri, com teor de sólidos solúveis totais de 5 °Brix, tendo sido constatado uma massa específica de 1,008 g/cm³. Observa-se que a massa específica sofreu um decréscimo com o aumento da temperatura.

Tabela 4.1. Massa específica (g/cm³) da polpa de carambola integral

Temperatura (°C)	Média ± desvio padrão
20	1,030 ± 0,000
30	1,025 ± 0,000

4.1.2. Calor específico

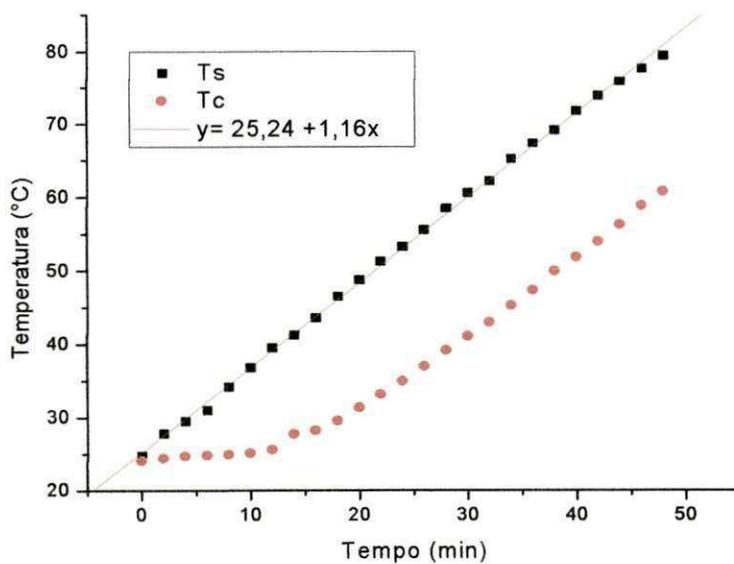
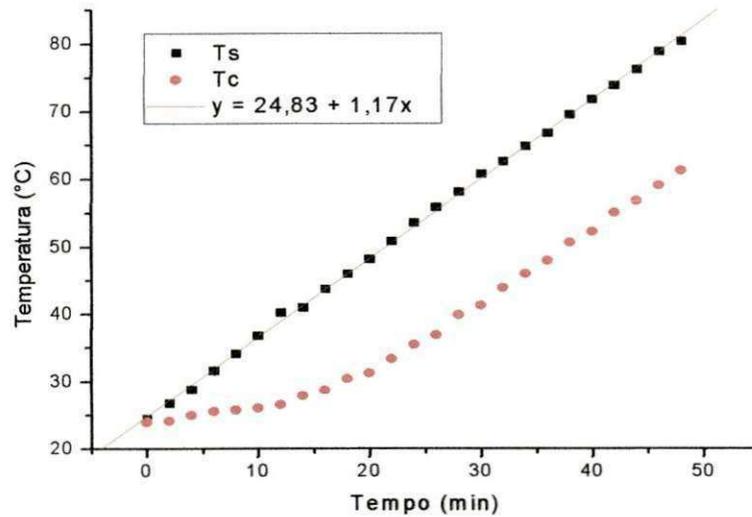
Na Tabela 4.2 tem-se o valor médio do calor específico da polpa de carambola integral, o desvio padrão e o coeficiente de variação (C.V.). LIMA et al. (2003) obtiveram resultado inferior ao determinarem o calor específico da polpa de umbu (0,88 cal/g °C) na concentração de 10 °Brix.

Tabela 4.2. Calor específico da polpa (cal/g°C) da polpa de carambola integral

Média	Desvio padrão	C.V. (%)
0,9821	0,0137	1,40

4.1.3. Difusividade térmica

Na Figura 4.1 tem-se os diagramas temperatura versus tempo das três repetições utilizadas para o cálculo da difusividade térmica da polpa carambola. Verificou-se coeficientes de determinação de 0,9993; 0,9990 e 0,9994, para as regressões lineares da temperatura na superfície do cilindro em função do tempo para as três repetições respectivamente. Dessas regressões obteve-se o coeficiente angular da reta que representa a constante da velocidade de aquecimento do banho (A) e confirmou-se a condição $|(T_s - T_c)_i - (T_s - T_c)_{i+1}| \leq 0,1^\circ\text{C}$ na parte do gráfico onde as curvas se tornaram paralelas.



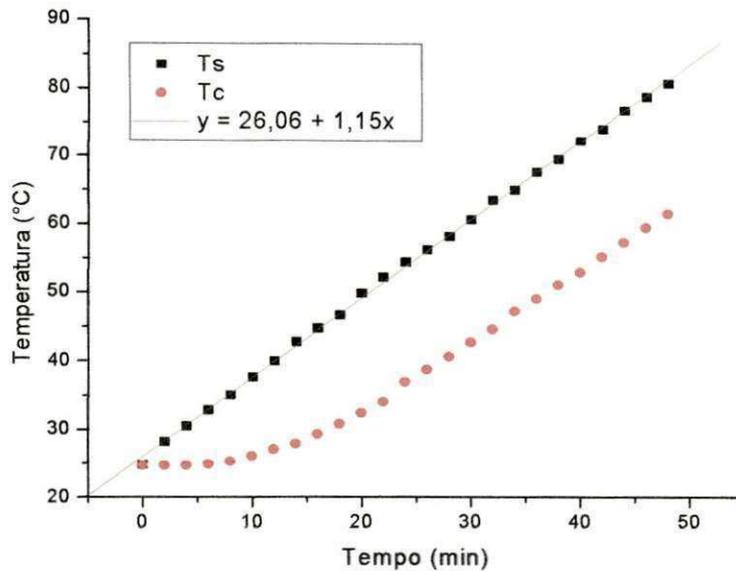


Figura 4.1. Diagrama temperatura na superfície e no centro do cilindro em função do tempo, em triplicata, para a determinação da difusividade térmica da polpa de carambola integral

Na Tabela 4.3 tem-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação da difusividade térmica da polpa de carambola integral. DANTAS JÚNIOR et al. (2007) quantificaram a difusividade térmica da polpa de manga cv. espada integral (13,62 °Brix) e obtiveram resultados próximos ($1,465 \times 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$).

Tabela 4.3. Valores experimentais da difusividade térmica (m^2/s) da polpa de carambola integral

Média	Desvio padrão	C.V.(%)
$1,503 \times 10^{-7}$	$0,0548 \times 10^{-7}$	3,65

4.1.4. Condutividade térmica

Na Tabela 4.4 tem-se a média, o desvio padrão e o coeficiente de variação da condutividade térmica da polpa de carambola integral. O valor obtido é inferior ao encontrado por ARAÚJO et al. (2004) ao determinarem as propriedades termofísicas da

polpa do cupuaçu integral com teor de sólidos solúveis totais de 12 °Brix, obtendo uma condutividade térmica de 0,44 W/m°C.

Tabela 4.4. Valores experimentais da condutividade térmica (W/m°C) da polpa de carambola integral

Média	Desvio padrão	C.V.(%)
0,6246	0,0287	4,60

4.2. Propriedades reológicas

4.2.1. Viscosidades aparentes

Tem-se na Tabela 4.5, a análise de variância dos dados da viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de carambola integral (6 °Brix) para as fontes de variação temperatura e velocidade de rotação. Constata-se efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, para todas as fontes de variação avaliadas e para a interação entre as mesmas.

Tabela 4.5. Análise de variância da viscosidade aparente da polpa de carambola integral (6 °Brix)

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F ₁)	4	0,05566	0,01392	695,6234 **
Velocidade de rotação (F ₂)	9	0,04982	0,00554	276,7416 **
F ₁ x F ₂	36	0,00195	0,00005	2,7094 **
Tratamentos	49	0,10743	0,00219	109,6063 **
Resíduo	100	0,00200	0,00002	
Total	149	0,10943		

G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ** Significativo a 1% de probabilidade.

Na Tabela 4.6 se encontram os valores médios das viscosidades aparentes da polpa de carambola integral (6 °Brix) em função da temperatura (10, 20, 30, 40 e 50 °C) e velocidade de rotação (60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm).

Observa-se, em todas as temperaturas, que com o aumento da velocidade de rotação houve tendência de redução da viscosidade aparente, indicando comportamento pseudoplástico. Comportamento semelhante foi observado por GRANGEIRO et al. (2007) ao determinarem as viscosidades aparentes de polpas concentradas de figo-da-índia (16, 19, 22, 25 e 28 °Brix) e temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C. Em termos percentuais, a diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da velocidade de rotação, entre a menor velocidade (60 rpm) e a maior velocidade (200 rpm), para as temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C, foi de 34,26; 33,38; 36,31; 40,34 e 35,97%, respectivamente.

Tabela 4.6. Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de carambola integral (6 °Brix) em função da velocidade de rotação e temperatura

Temp. (°C)	Velocidade de rotação (rpm)									
	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200
10	0,203	0,150	0,145	0,144	0,141	0,136	0,135	0,134	0,134	0,134
	aA	aB	aBC	aBC	aBC	aC	aC	aC	aC	aC
20	0,201	0,148	0,145	0,144	0,141	0,136	0,134	0,133	0,132	0,133
	aA	aB	aBC	aBCD	aBCD	aCD	abCD	aD	aD	aCD
30	0,184	0,147	0,135	0,134	0,129	0,125	0,124	0,122	0,120	0,117
	bA	aB	bC	aC	bCD	bCDE	bCDE	bDE	bDE	bE
40	0,170	0,140	0,128	0,118	0,113	0,109	0,107	0,105	0,103	0,101
	cA	aB	bC	bCD	cDE	cDE	cDE	cE	cE	cE
50	0,131	0,101	0,097	0,092	0,090	0,088	0,087	0,085	0,085	0,084
	dA	bB	cBC	cBCD	dBCD	dCD	dCD	dCD	dD	dD

DMS p/ colunas = 0,0102; DMS p/ linhas = 0,0118; CV (%) = 3,51; MG = 0,1275 Pa.s

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

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

Verifica-se que para a temperatura de 10 °C entre as velocidades de rotação 70, 80, 90 e 100 rpm e entre 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Para a temperatura de 20 °C entre as velocidades de rotação de 70, 80, 90 e 100 rpm, entre 80, 90, 100, 120, 140 e 200 rpm e entre 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm as viscosidades aparentes não diferiram estatisticamente. Já para a temperatura de 30 °C entre as velocidades de rotação de 80, 90, 100, 120 e 140 rpm, entre 100, 120, 140, 160, 180 rpm e entre 120, 140, 160, 180 e 200 rpm não houve diferença significativa. Para a temperatura de 40 °C entre as velocidades de rotação de 80 e 90 rpm

entre 90, 100, 120, 140 rpm e entre 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Para a temperatura de 50 °C entre as velocidades de rotação de 70, 80, 90 e 100 rpm, entre 80, 90, 100, 120, 140 e 160 rpm e entre 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm as viscosidades aparentes não diferiram estatisticamente.

Avaliando-se o comportamento da viscosidade em cada velocidade de rotação observa-se que há uma tendência de redução da viscosidade aparente da amostra com o aumento da temperatura, o que foi também observado por FERREIRA et al. (2002) que estudaram o efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju (8,14 °Brix) e goiaba (4,8 °Brix) nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C.

Verifica-se que para as velocidades de rotação de 60, 100, 120, 160, 180 e 200 rpm entre as temperaturas de 10 e 20 °C as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Já para a velocidade de rotação de 70 rpm entre as temperaturas de 10, 20, 30, 40 °C as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Para a velocidade de rotação de 80 rpm entre as temperaturas de 10 e 20 °C e entre 30 e 40 °C as viscosidades aparentes não diferiram estatisticamente. Para a velocidade de rotação de 90 rpm não houve diferença significativa entre as temperaturas de 10, 20 e 30 °C. Na velocidade de rotação de 140 rpm não houve diferença significativa entre as temperaturas de 10 e 20 °C e entre 20 e 30 °C. Em termos percentuais, a diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da temperatura, entre a menor temperatura (10 °C) e a maior temperatura (50 °C), para as velocidades de rotação de 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm, foi de 35,35; 32,33; 33,52; 36,24; 36,16; 35,56; 35,56; 36,86; 36,91 e 37,02%, respectivamente.

Tem-se na Tabela 4.7, a análise de variância dos dados das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de carambola com 9 °Brix, para as fontes de variação temperatura e velocidade de rotação. Constata-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, para todas as fontes de variação avaliadas, porém a interação entre elas não foi significativa.

Tabela 4.7. Análise de variância da viscosidade aparente da polpa de carambola com 9 °Brix

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F ₁)	4	0,08318	0,02079	474,9394 **
Velocidade de rotação (F ₂)	9	0,05962	0,00662	151,2934 **
F ₁ x F ₂	36	0,00229	0,00006	1,4530 ns
Tratamentos	49	0,14509	0,00296	67,6267 **
Resíduo	100	0,00438	0,00004	
Total	149	0,14946		

G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; ** Significativo a 1% de probabilidade; ns - não significativo.

Os valores médios das viscosidades aparentes da polpa de carambola com 9° Brix nas diferentes temperaturas e velocidades de rotação, são apresentados na Tabela 4.8.

Tabela 4.8. Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de carambola (9 °Brix) em função da velocidade de rotação e temperatura

Temp. (°C)	Velocidade de rotação (rpm)									
	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200
10	0,221 aA	0,185 aB	0,168 aBC	0,157 aCD	0,151 aD	0,146 aD	0,144 aD	0,143 aD	0,143 aD	0,140 aD
20	0,210 aA	0,173 aB	0,158 aBC	0,151 aCD	0,145 aCD	0,142 aCD	0,140 aD	0,138 aD	0,136 aD	0,134 aD
30	0,184 bA	0,155 bB	0,143 bBC	0,136 bCD	0,130 bCDE	0,125 bCDE	0,124 bDE	0,122 bDE	0,120 bDE	0,118 bE
40	0,171 bA	0,141 bB	0,128 bBC	0,118 cCD	0,113 cCD	0,109 cD	0,108 cD	0,106 cD	0,104 cD	0,101 cD
50	0,132 cA	0,102 cB	0,096 cB	0,092 dB	0,091 dB	0,088 dB	0,088 dB	0,086 dB	0,085 dB	0,085 dB

DMS p/ colunas = 0,0150; DMS p/ linhas = 0,0175; CV (%) = 4,99; MG = 0,13254 Pa.s

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

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

Observa-se, em todas as temperaturas, que com o aumento da velocidade de rotação houve uma tendência de redução nos valores de viscosidade aparente, indicando um

comportamento pseudoplástico. Comportamento semelhante foi observado por TORRES et al. (2003b) ao determinarem a viscosidade aparente de polpas de umbu-cajá concentradas (9, 13, 15, 18, 21 e 24 °Brix) a 10 °C.

Em termos percentuais, a diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da velocidade de rotação, entre a menor velocidade (60 rpm) e a maior velocidade (200 rpm), para as temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C, foi de 36,31; 36,00; 36,09; 40,81; e 35,61%, respectivamente. Verifica-se para a temperatura de 10 °C que entre as velocidades de rotação 70 e 80 rpm, entre 80 e 90 rpm e entre 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Para a temperatura de 20 °C entre as velocidades de rotação de 70 e 80 rpm, entre 80, 90, 100, 120 rpm e entre 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm as viscosidades aparentes não diferiram estatisticamente. Já para a temperatura de 30 °C entre as velocidades de rotação de 70 e 80 rpm, entre 80, 90, 100, 120 rpm, entre 90, 100, 120, 140, 160 e 180 rpm e entre 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm não houve diferença significativa. Para a temperatura de 40 °C entre as velocidades de rotação de 70 e 80 rpm, entre 80, 90 e 100 rpm e entre 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Para a temperatura de 50 °C entre as velocidades de rotação de 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm, as viscosidades aparentes não diferiram estatisticamente.

Avaliando-se o comportamento da viscosidade em cada velocidade de rotação, observa-se que houve uma tendência de redução da viscosidade aparente da amostra com o aumento da temperatura, fato também observado por BRANCO & GASPARETTO (2003b) que estudaram o efeito da temperatura sobre o comportamento reológico de misturas ternárias de polpa de manga (17,0 °Brix) e sucos de laranja (12,0 °Brix) e cenoura (4,6 °Brix) nas temperaturas de 10 e 60 °C. Em termos percentuais, a diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da temperatura, entre a menor temperatura (10 °C) e a maior temperatura (50 °C), para as velocidades de rotação de 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm, foi de 40,16; 44,91; 42,84; 41,46; 39,75; 39,53; 39,29; 40,24; 40,49 e 39,50%, respectivamente. Verifica-se que para as velocidades de rotação de 60, 70 e 80 rpm entre as temperaturas de 10 e 20 °C e entre 30 e 40 °C as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Nas velocidades de rotação de 90, 100, 120, 140, 160, 180 rpm entre as temperaturas de 10 e 20 °C as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais.

Na Tabela 4.9 se encontra a análise de variância dos dados de viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de carambola com 12 °Brix para as fontes de variação temperatura e velocidade de rotação. Constata-se que houve efeito significativo a 1% de

probabilidade pelo teste F, para todas as fontes de variação avaliadas, porém a interação entre as mesmas não foi significativa.

Tabela 4.9. Análise de variância da viscosidade aparente da polpa de carambola com 12 °Brix

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F ₁)	4	0,22325	0,05581	169,0797 **
Velocidade de rotação (F ₂)	9	0,76651	0,08517	258,0131 **
F ₁ x F ₂	36	0,01592	0,00044	1,3397 ns
Tratamentos	49	1,00568	0,02052	62,1768 **
Resíduo	100	0,03301	0,00033	
Total	149	1,03869		

G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F; **Significativo a 1% de probabilidade; ns não significativo

Tem-se na Tabela 4.10, os valores médios das viscosidades aparentes da polpa de carambola com 12 ° Brix, nas diferentes temperaturas e velocidades de rotação.

Tabela 4.10. Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de carambola (12 °Brix) em função da velocidade de rotação e temperatura

Temperatura (°C)	Velocidade de rotação (rpm)									
	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200
10	0,497	0,422	0,372	0,305	0,301	0,274	0,248	0,235	0,222	0,214
	aA	aB	aC	aD	aD	aDE	aEF	aEF	aF	aF
20	0,394	0,317	0,296	0,274	0,254	0,226	0,209	0,193	0,184	0,177
	bA	bB	bBC	abBC	bCD	bDE	abDEF	bEF	abEF	abF
30	0,353	0,296	0,265	0,243	0,219	0,190	0,174	0,161	0,152	0,148
	bcA	bB	bcBC	bcC	bcCD	bcDE	bcDE	bcE	bcE	bcE
40	0,351	0,293	0,256	0,231	0,210	0,186	0,167	0,153	0,143	0,136
	cA	bB	bcBC	cCD	cCDE	bcDEF	cEFG	bcFG	cFG	bcG
50	0,342	0,293	0,253	0,223	0,204	0,183	0,149	0,133	0,126	0,121
	cA	bB	cBC	cCD	cD	cDE	cEF	cF	cF	cF

DMS p/ colunas = 0,0412; DMS p/ linhas = 0,0480; CV (%) = 7,59144; MG = 0,23933 Pa.s

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

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

Observa-se, em todas as temperaturas, que com o aumento da velocidade de rotação houve uma tendência de redução nos valores da viscosidade aparente, indicando característica pseudoplástica. Comportamento semelhante foi também observado por MELO et al. (2008) ao estudarem o comportamento reológico da polpa de buriti com leite (9,8 °Brix) nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C e velocidades de rotação de 0,5; 1,0; 2,5; 5,0; 10,0; 20,0; 50,0 e 100,0 rpm. Em termos percentuais, a diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da velocidade de rotação, entre a menor velocidade (60 rpm) e a maior velocidade (200 rpm), para as temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C, foi de 56,92; 55,04; 58,48; 61,26 e 64,73%, respectivamente. Verifica-se que para a temperatura de 10 °C entre as velocidades de rotação 90, 100 e 120 rpm, entre 120, 140 e 160 rpm e entre 140, 160, 180 e 200 rpm as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Na temperatura de 20 °C entre as velocidades de rotação de 70, 80 e 90 rpm, entre 80, 90 e 100 rpm, entre 100, 120 e 140 rpm e entre 120, 140, 160 e 180 rpm as viscosidades aparentes não diferiram estatisticamente. Já na temperatura de 30 °C entre as velocidades de rotação de 70 e 80 rpm, entre 80, 90 e 100 rpm, entre 100, 120 e 140 rpm e entre 120, 140, 160, 180 e 200 rpm não houve diferença significativa. Para a temperatura de 40 °C entre as velocidades de rotação de 70 e 80 rpm, entre 80, 90 e 100 rpm, entre 90, 100 e 120 rpm, entre 100, 120 e 140 rpm, entre 120, 140, 160 e 180 rpm e entre 140, 160, 180 e 200 rpm as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Para a temperatura de 50 °C entre as velocidades de rotação de 70 e 80 rpm, entre 80 e 90 rpm, entre 90, 100 e 120 rpm, entre 120 e 140 rpm e entre 140, 160, 180 e 200 rpm as viscosidades aparentes não diferiram estatisticamente.

Avaliando-se em cada velocidade de rotação observa-se que houve tendência de redução da viscosidade aparente da amostra com o aumento da temperatura. Comportamento semelhante foi observado por ADORNO (1997) ao avaliar o comportamento reológico da polpa de manga com teor de sólidos solúveis totais de 28,1 °Brix nas temperaturas 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C. Verifica-se nas velocidades de rotação de 60 e 100 rpm que entre as temperaturas de 20 e 30 °C e entre 30, 40 e 50 °C as viscosidades aparentes resultaram em valores estatisticamente iguais. Já para a velocidade de rotação de 70 rpm entre as temperaturas de 20, 30, 40, 50 °C as viscosidades aparentes também são estatisticamente iguais. Para a velocidade de rotação de 80, 120, 160 rpm entre as temperaturas de 20, 30, 40 °C e entre 30, 40 e 50 °C as viscosidades aparentes não diferiram estatisticamente. Para a velocidade de rotação de 90, 140 e 180 rpm não houve diferença significativa entre as temperaturas de 10 e 20 °C, entre 20 e 30 °C e entre 30, 40

e 50 °C. Para a velocidade de rotação de 200 rpm entre as temperaturas de 10 e 20 °C, entre 20, 30 e 40 °C e entre 30, 40 e 50 °C as viscosidades aparentes não diferiram estatisticamente. Em termos percentuais, a diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da temperatura, entre a menor temperatura (10 °C) e a maior temperatura (50 °C), para as velocidades de rotação de 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm, foi de 31,11; 30,52; 31,96; 26,82; 32,16; 33,20; 39,98; 43,45; 43,34 e 43,60%, respectivamente.

Na Tabela 4.11 se encontra a análise de variância dos dados de viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de carambola com 15 °Brix para as fontes de variação temperatura e velocidade de rotação. Constata-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, para todas as fontes de variação avaliadas e para a interação entre as mesmas.

Tabela 4.11. Análise de variância da viscosidade aparente de carambola com 15 °Brix

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F ₁)	4	1,47008	0,36752	136,1394 **
Velocidade de rotação (F ₂)	9	7,28796	0,80977	299,9615 **
F ₁ x F ₂	36	0,26079	0,00724	2,6834 **
Tratamentos	49	9,01883	0,18406	68,1799 **
Resíduo	100	0,26996	0,00270	
Total	149	9,28879		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F

Tem-se na Tabela 4.12, os valores médios das viscosidades aparentes da polpa de carambola com 15 °Brix, nas diferentes temperaturas e velocidades de rotação.

Tabela 4.12. Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de carambola (15 °Brix) em função da velocidade de rotação e temperatura

Temp. (°C)	Velocidade de rotação (rpm)									
	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200
10	1,260	1,076	1,018	0,997	0,914	0,755	0,641	0,551	0,539	0,457
	aA	aB	aBC	aBC	aC	aD	aDE	aEF	aEF	aF
20	1,136	1,067	0,903	0,806	0,741	0,636	0,627	0,531	0,519	0,455
	bA	aA	abB	bBC	bCD	bDE	abDE	aEF	aEF	abF
30	1,120	1,032	0,797	0,664	0,657	0,587	0,513	0,496	0,435	0,410
	bA	aA	bcB	cBC	bcC	bcCD	bcDE	abDE	abE	abcE
40	1,000	0,987	0,785	0,662	0,600	0,511	0,472	0,457	0,370	0,339
	cA	aA	cB	cBC	cdCD	cDE	cDEF	abEF	bF	bcF
50	0,911	0,744	0,648	0,569	0,516	0,472	0,427	0,383	0,354	0,311
	cA	bB	dBC	cCD	dCDE	cDEF	cEFG	bEFG	bFG	cG

DMS p/ colunas = 0,1180; DMS p/ linhas = 0,1373; CV (%) = 7,67; MG = 0,67717 Pa.s

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

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

Observa-se, em todas as temperaturas, que com o aumento da velocidade de rotação houve uma tendência de redução nos valores de viscosidade aparente, indicando um comportamento pseudoplástico. O que também foi verificado por SATO & CUNHA (2007) ao estudarem o comportamento reológico da polpa integral (13 °Brix) de jabuticaba nas temperaturas de 5, 25, 45, 65 e 85 °C. Em termos percentuais, a diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da velocidade de rotação, entre a menor velocidade (60 rpm) e a maior velocidade (200 rpm), para as temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C, foi de 63,70; 59,96; 63,39; 66,13 e 65,90%, respectivamente. Verifica-se que na temperatura de 10 °C entre as velocidades de rotação 70, 80 e 90 rpm, entre 80, 90 e 100 rpm, entre 120 e 140 rpm, entre 140, 160 e 180 rpm e entre 160, 180 e 200 rpm as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Na temperatura de 20 °C entre as velocidades de rotação de 60 e 70 rpm, entre 80 e 90 rpm, entre 90 e 100 rpm, entre 100, 120 e 140 rpm, entre 120, 140, 160 e 180 rpm e entre 160, 180 e 200 rpm as viscosidades aparentes não diferiram estatisticamente. Já na temperatura de 30 °C entre as velocidades de rotação de 60 e 70 rpm, entre 80 e 90 rpm, entre 90, 100 e 120 rpm, entre 120, 140 e 160 rpm e entre 140, 160, 180 e 200 rpm não houve diferença significativa. Para a temperatura de 40 °C entre as velocidades de rotação de 60 e 70 rpm, entre 80 e 90 rpm,

entre 90 e 100 rpm, entre 100, 120 e 140 rpm, entre 120, 140 e 160 rpm e entre 140, 160, 180 e 200 rpm as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Para a temperatura de 50 °C entre as velocidades de rotação de 70 e 80 rpm, entre 80, 90 e 100 rpm, entre 100, 120, 140 e 160 rpm, entre 120, 140, 160 e 180 rpm e entre 140, 160, 180 e 200 rpm as viscosidades aparentes não diferiram estatisticamente.

Avaliando-se o comportamento das viscosidades aparentes em cada velocidade de rotação, observa-se que houve uma tendência de redução da viscosidade aparente da amostra com o aumento da temperatura. VIDAL et al. (2006) ao estudarem as propriedades reológicas da polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) centrifugada (16,05 °Brix) observaram o mesmo comportamento entre as temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60°C. Em termos percentuais, a diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da temperatura, entre a menor temperatura (10 °C) e a maior temperatura (50 °C), para as velocidades de rotação de 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm, foi de 27,69; 30,81; 36,34; 42,93; 43,55; 37,48; 33,46; 30,42; 34,32 e 32,07%, respectivamente. Verifica-se que na velocidade de rotação de 60 rpm entre as temperaturas de 20 e 30 °C e entre 40 e 50 °C as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Já na velocidade de rotação de 70 rpm para as temperaturas de 20, 30, 40 e 50 °C as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Na velocidade de rotação de 80 rpm as viscosidades aparentes entre as temperaturas de 10 e 20 °C, entre 20 e 30 °C e entre 30 e 40 °C não diferiram estatisticamente. Na velocidade de rotação de 90 rpm não houve diferença significativa entre as temperaturas de 30, 40 e 50 °C. Na velocidade de rotação de 100 rpm entre as temperaturas de 20 e 30 °C, entre 30 e 40 °C e entre 40 e 50°C as viscosidades aparentes não diferiram estatisticamente. Na velocidade de rotação de 120 rpm entre as temperaturas de 20 e 30 °C e entre 30, 40 e 50°C as viscosidades aparentes não diferiram estatisticamente. Na velocidade de rotação de 140 rpm não houve diferença significativa entre as temperaturas de 10 e 20 °C, entre 20 e 30 °C e entre 30, 40 e 50 °C. Na velocidade de rotação de 160 rpm entre as temperaturas de 10, 20, 30 e 40 °C e entre 30, 40 e 50 °C as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Na velocidade de rotação de 180 rpm entre as temperaturas de 10, 20 e 30 °C e entre 30, 40 e 50 °C as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Na velocidade de rotação de 200 rpm entre as temperaturas de 10, 20 e 30 °C, entre 20, 30 e 40 °C e entre 30, 40 e 50 °C as viscosidades aparentes não diferiram estatisticamente.

Na Tabela 4.13 se encontra a análise de variância dos dados de viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de carambola com 18 °Brix para as fontes de variação

temperatura e velocidade de rotação. Constatou-se que houve efeito significativo a 1% de probabilidade pelo teste F, para todas as fontes de variação avaliadas e para a interação entre as mesmas.

Tabela 4.13. Análise de variância da viscosidade aparente da polpa de carambola com 18 ° Brix

Fonte de variação	G.L.	S.Q.	Q.M.	F
Temperatura (F ₁)	4	6,17543	1,54386	496,3485 **
Velocidade de rotação (F ₂)	9	23,08863	2,56540	824,7743 **
F ₁ x F ₂	36	0,99130	0,02754	8,8528 **
Tratamentos	49	30,25536	0,61746	198,5115 **
Resíduo	100	0,31104	0,00311	
Total	149	30,56641		

**Significativo a 1% de probabilidade; G.L. – Grau de liberdade; S.Q. – Soma dos quadrados; Q.M. – Quadrados médios dos desvios; F – Variável do teste F

Tem-se na Tabela 4.14, os valores médios das viscosidades aparentes da polpa de carambola com 18 °Brix, nas diferentes temperaturas e velocidades de rotação. Observa-se também, em todas as temperaturas, que com o aumento da velocidade de rotação houve uma tendência de redução nos valores de viscosidade aparente, indicando um comportamento pseudoplástico. CABRAL et al. (2002), estudaram o comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) peneirada e também observaram esse comportamento nas temperaturas de 10, 15, 20, 25 e 30 °C. Em termos percentuais, a diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da velocidade de rotação, entre a menor velocidade (60 rpm) e a maior velocidade (200 rpm), para as temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C, foi de 66,70; 58,18; 64,25; 64,05 e 67,36%, respectivamente. Verifica-se na temperatura de 10 °C que entre as velocidades de rotação 80 e 90 rpm, entre 140 e 160 rpm e entre 160 e 180 rpm as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Na temperatura de 20 °C entre as velocidades de rotação de 80, 90 e 100 rpm, entre 90, 100 e 120 rpm, entre 140, 160 e 180 rpm as viscosidades aparentes não diferiram estatisticamente. Já na temperatura de 30 °C entre as velocidades de rotação de 60 e 70 rpm, entre 80 e 90 rpm, entre 90 e 100 rpm, entre 120 e 140 rpm, entre 140 e 160 rpm e entre 160, 180 e 200 rpm não houve diferença significativa. Para a temperatura de 40 °C entre as velocidades de rotação de 80 e 90 rpm, entre 90 e 100 rpm, entre 100 e

120 rpm, entre 140 e 160 rpm e entre 160, 180 e 200 rpm as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Na temperatura de 50 °C entre as velocidades de rotação de 80 e 90 rpm, entre 90 e 100 rpm, entre 120 e 140 rpm e entre 160, 180 e 200 rpm as viscosidades aparentes não diferiram estatisticamente.

Tabela 4.14. Valores médios das viscosidades aparentes (Pa.s) da polpa de carambola (18 °Brix) em função da velocidade de rotação e temperatura

Temp. (°C)	Velocidade de rotação (rpm)									
	60	70	80	90	100	120	140	160	180	200
10	2,528	2,282	1,945	1,822	1,665	1,437	1,167	1,045	0,999	0,842
	aA	aB	aC	aC	aD	aE	aF	aFG	aG	aH
20	1,931	1,751	1,577	1,481	1,448	1,353	1,114	1,017	0,978	0,807
	bA	bB	bC	bCD	bCD	aD	aE	aE	aE	aF
30	1,740	1,632	1,358	1,318	1,181	1,031	0,886	0,740	0,696	0,622
	cA	bcA	cB	cBC	cC	bD	bDE	bEF	bF	bF
40	1,729	1,514	1,317	1,304	1,157	1,030	0,872	0,733	0,689	0,621
	cA	cdB	cC	cCD	cDE	bE	bF	bFG	bG	bG
50	1,718	1,413	1,248	1,159	1,083	0,884	0,837	0,659	0,618	0,561
	cA	dB	cC	dCD	cD	cE	bE	bF	bF	bF

DMS p/ colunas = 0,1266; DMS p/ linhas = 0,1474; CV (%) = 4,53; MG = 1,23082Pa,s

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

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

Avaliando-se as viscosidades em cada velocidade de rotação observa-se que houve uma tendência de redução da viscosidade aparente da amostra com o aumento da temperatura. BEZERRA et al. (2009) estudaram o efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de morango (*Fragaria ananassa*), com concentração 8,35 °Brix, observaram o mesmo comportamento entre as temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C. Em termos percentuais, a diminuição das viscosidades aparentes com o aumento da temperatura, entre a menor temperatura (10 °C) e a maior temperatura (50 °C), para as velocidades de rotação de 60, 70, 80, 90, 100, 120, 140, 160, 180 e 200 rpm, foi de 32,06; 38,06; 35,82; 36,41; 34,98; 38,50; 28,22; 36,96; 38,08 e 33,41%, respectivamente. Verifica-se que nas velocidades de rotação de 60, 80, 100 rpm entre as temperaturas de 30, 40 e 50 °C as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Já na velocidade de rotação de 70 rpm entre as temperaturas de 20 e 30 °C, entre 30 e 40 °C e entre 40 e 50 °C as viscosidades aparentes são estatisticamente iguais. Na velocidade de rotação de 90 rpm não houve diferença significativa entre as temperaturas de 30 e 40 °C. Na velocidade de

rotação de 120 rpm entre as temperaturas de 10 e 20 °C e entre 30 e 40 °C as viscosidades aparentes não diferiram estatisticamente. Nas velocidades de rotação de 140, 160, 180 e 200 rpm não houve diferença significativa entre as temperaturas de 10 e 20 °C e entre 30, 40 e 50 °C.

4.2.2. Modelos reológicos

Na Tabela 4.15 estão apresentados os parâmetros dos modelos de Ostwald-de-Waelle, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Casson ajustados aos reogramas da polpa de carambola integral (6 °Brix), nas cinco temperaturas estudadas, seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P). Constata-se que dentre os modelos testados, o modelo de Ostwald-de-Waelle foi o que apresentou os maiores coeficientes de determinação (R^2) para as temperaturas de 10 e 50 °C, o modelo de Herschel-Bulkley para a temperatura de 20°C, o modelo de Mizrahi & Berk para a temperatura de 30 °C e o modelo de Casson para a temperatura de 40 °C. Os menores desvios percentuais foram obtidos pelo modelo de Casson inferiores a 3% exceto para a temperatura de 30 °C. Diante desses valores verifica-se que os todos os modelos resultaram em bons ajustes, em razão de terem apresentado $R^2 \geq 0,93$ e $P < 7\%$. FERREIRA et al. (2002) também verificaram resultados satisfatórios ao utilizaram o modelo de Mizrahi-Berk para descrição do comportamento reológico da polpa de goiaba com teor de sólidos solúveis totais de 4,8 °Brix nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C.

Constata-se, ainda, que os valores do índice de comportamento do fluido (n) do modelo de Ostwald-de-Waelle, Herschel-Bulkley e Mizrahi & Berk foram inferiores a unidade (1) classificando a polpa de carambola integral como um fluido não newtoniano com características pseudoplásticas. SCREMIM (2007) também classificaram a polpa de goiaba pasteurizada (9 °Brix) como um fluido não newtoniano nas temperaturas de 25, 35, 45, 55, 65, 75 e 85 °C. Entre as temperaturas de 20 e 50 °C o índice de consistência (K) diminuiu e o índice de comportamento do fluido (n) aumentou.

Tabela 4.15. Parâmetros dos modelos reológicos ajustados aos dados viscométricos da polpa de carambola integral (6 °Brix), seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P)

Modelo	Temperatura (°C)	Parâmetros			R^2	P (%)
		K	n			
Ostwald-de-Waelle	10	0,150550	0,946952		0,97988	5,07
	20	0,290677	0,765749		0,96967	4,84
	30	0,262936	0,784193		0,98931	2,75
	40	0,218639	0,802703		0,95071	5,98
	50	0,208790	0,807254		0,96800	5,32
	Temperatura (°C)	τ_0	k	n_H	R^2	P (%)
Herschel-Bulkley	10	-0,910078	0,343382	0,772125	0,97230	6,04
	20	0,884331	0,135173	0,917315	0,97636	4,42
	30	-0,549878	0,407127	0,696887	0,98707	3,02
	40	-0,326986	0,314929	0,726126	0,94634	6,32
	50	-1,01495	0,497652	0,634594	0,95863	5,96
	Temperatura (°C)	K_{om}	K_m	n_M	R^2	P (%)
Mizrahi & Berk	10	-3,11587	2,764019	0,179608	0,95666	3,35
	20	-1,06154	1,318605	0,247689	0,95224	2,76
	30	1,281036	0,026640	0,943440	0,99392	1,10
	40	-1,75897	1,812827	0,202945	0,93051	3,45
	50	-0,827054	1,051725	0,271651	0,95109	2,94
	Temperatura (°C)	K_{oc}	K_c	R^2	P (%)	
Casson	10	0,222573	0,316567	0,97490	2,55	
	20	0,599295	0,254833	0,96630	2,37	
	30	0,509736	0,263038	0,98874	1,26	
	40	0,523274	0,242408	0,95276	2,83	
	50	0,480485	0,244119	0,96530	2,48	

Na Tabela 4.16 estão apresentados os parâmetros dos modelos de Ostwald-de-Waelle, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Casson ajustados aos dados de taxa de deformação e tensão de cisalhamento da polpa de carambola (9 °Brix), nas cinco temperaturas estudadas, seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P).

Constata-se que dentre os modelos testados, o de Ostwald-de-Waelle foi o que apresentou os maiores coeficientes de determinação (R^2), exceto para na temperatura de 20 °C em que o modelo de Herschel-Bulkley apresentou o maior R^2 , enquanto o modelo de Casson apresentou os menores desvios percentuais médios, inferiores a 3%. Entretanto, o modelo de Ostwald-de-Waelle apresentou $P < 5\%$ e o modelo de Casson $R^2 > 0,97$, o que indica, nos dois casos, excelentes ajustes. VIDAL et al. (2004), que estudaram o efeito da

temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* L.-Keitt) com concentração de 16,05 °Brix e nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C, obtiveram bons ajustes com o modelo de Mizrahi-Berk. Observando-se os valores de R^2 e P para os modelos de Herschel-Bulkley e Mizrahi & Berk, constata-se que os maiores R^2 foram obtidos com o modelo de Herschel-Bulkley, e os menores P com o modelo de Mizrahi & Berk. Dessa forma, verifica-se que estes modelos também podem ser usados nos ajustes reológicos da polpa de carambola integral, em razão de apresentarem $R^2 > 0,95$ e $P < 6\%$.

Os valores do índice de comportamento do fluido (n) do modelo de Ostwald-de-Waelle, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk foram inferiores a unidade (1) classificando a polpa de carambola integral como um fluido não newtoniano com características pseudoplásticas.

Tabela 4.16. Parâmetros dos modelos reológicos ajustados aos dados viscométricos da polpa de carambola com 9 °Brix, seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P)

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros			R^2	P(%)
		K	n			
Ostwald-de-Waelle	10	0,309376	0,760455		0,97346	4,31
	20	0,270616	0,793881		0,98986	3,11
	30	0,270385	0,755027		0,98020	3,83
	40	0,278253	0,701576		0,97162	4,23
	50	0,154874	0,819409		0,98853	3,02
Herschel-Bulkley	10	τ_0	k	n_H	R^2	P(%)
	20	-0,524348	0,461420	0,680254	0,96981	4,68
	30	0,977632	0,109576	0,977583	0,99421	2,39
	40	-0,921169	0,550827	0,616096	0,97436	4,43
	50	-1,53426	0,845072	0,496891	0,96114	5,04
Mizrahi & Berk	10	K_{om}	K_m	n_M	R^2	P(%)
	20	-1,30017	1,536984	0,228958	0,95805	2,54
	30	-1,07213	1,269030	0,261754	0,98169	1,89
	40	-0,548996	0,910631	0,289645	0,96991	2,13
	50	-0,869730	1,195084	0,231274	0,95677	2,45
Casson	10	K_{oc}	K_c	R^2	P(%)	
	20	-1,05903	1,152209	0,245811	0,97744	1,98
	30	0,627274	0,258031	0,97318	2,00	
	40	0,511826	0,274074	0,98989	1,41	
	50	0,578641	0,238960	0,97973	1,74	
		0,645393	0,201795	0,97130	1,95	
		0,361986	0,224328	0,98688	1,48	

Na Tabela 4.17 estão apresentados os parâmetros dos modelos de Ostwald-de-Waelle, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Casson ajustados aos dados viscométricos da polpa de carambola (12 °Brix), nas cinco temperaturas estudadas, seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P). Constata-se que dentre os modelos testados, o modelo de Casson foi o que apresentou os maiores coeficientes de determinação (R^2), superiores a 0,92, e os menores desvios percentuais médios inferiores a 1,5%; sendo portanto considerado o melhor modelo. Entretanto, o modelo de Ostwald-de-Waelle apresentou $P < 4\%$ e $R^2 > 0,89$; o modelo de Herschel-Bulkley apresentou $P < 4\%$ e R^2 superiores a 0,89 e o modelo de Mizrahi & Berk $P < 2\%$ e $R^2 > 0,88$, diante desses valores verifica-se que os todos os modelos resultaram em bons ajustes, com excelente estimativa dos dados experimentais. BEZERRA et al. (2001), obtiveram bons ajustes para o modelo de Mizrahi-Berk para seus dados experimentais de polpa de manga (16 °Brix) nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C.

Os valores do índice de comportamento do fluido (n) do modelo de Ostwald-de-Waelle, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk foram inferiores a unidade (1) classificando a polpa de carambola como um fluido não newtoniano com características pseudoplásticas.

Tabela 4.17. Parâmetros dos modelos reológicos ajustados aos dados viscométricos da polpa de carambola com 12 °Brix, seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P)

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros			R^2	P(%)
		K	n			
Ostwald-de-Waelle	10	2,046212	0,349230		0,91915	3,54
	20	1,275945	0,427216		0,97752	1,93
	30	1,816450	0,284120		0,89205	3,27
	40	1,827541	0,269143		0,92446	2,59
	50	3,053242	0,129748		0,92852	1,10
Herschel-Bulkley		τ_0	k	n_H	R^2	P(%)
	10	-6,46922	6,631057	0,200307	0,90636	3,79
	20	-2,58637	2,761741	0,313080	0,97258	2,07
	30	0,605044	1,454842	0,311728	0,89486	3,21
	40	-1,46102	2,920095	0,212655	0,91979	2,67
50	0,617426	2,562045	0,142470	0,92898	1,08	
Mizrahi & Berk		K_{om}	K_m	n_M	R^2	P(%)
	10	-0,979094	2,350060	0,124318	0,91035	1,81
	20	-1,34913	2,275331	0,141495	0,97323	1,01
	30	-0,344257	1,706971	0,117595	0,88646	1,61
	40	0,200259	1,203731	0,141555	0,92052	1,29
50	0,384683	1,421918	0,071434	0,92713	0,52	
Casson		K_{oc}	K_c		R^2	P(%)
	10	1,977305	0,121223		0,94046	1,49
	20	1,558975	0,146868		0,98658	0,83
	30	1,817278	0,076651		0,92157	1,35
	40	1,803493	0,070023		0,94792	1,03
50	2,101166	0,025488		0,94879	0,49	

Na Tabela 4.18 estão apresentados os parâmetros dos modelos de Ostwald-de-Waelle, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Casson ajustados aos dados da viscosimetria da polpa de carambola (15 °Brix), nas cinco temperaturas estudadas, seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P). Consta-se que dentre os modelos testados, o modelo de Herschel-Bulkley foi o que apresentou os maiores coeficientes de determinação (R^2) para as temperaturas de 10 e 30 °C, o modelo de Mizrahi-Berk foi superior para a temperatura de 20 °C e o modelo de Casson para a temperatura de 40 e 50 °C. Os menores desvios percentuais médios foram obtidos pelo modelo de Mizrahi-Berk, exceto para as temperaturas de 40 e 50°C. Diante desses valores verifica-se que todos os modelos resultaram em bons ajustes por apresentarem $R^2 > 0,81$ e $P < 3,5\%$. OLIVEIRA (2006), também obteve melhor ajuste para seus dados de viscosidade

da polpa de pitanga integral (7 °Brix) com o modelo de Mizrahi-Berk nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C.

Constata-se, ainda, que os valores do índice de comportamento do fluido (n) do modelo de Ostwald-de-Waelle, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk foram inferiores a unidade (1) classificando a polpa de carambola como um fluido não newtoniano com características pseudoplásticas.

Tabela 4.18. Parâmetros dos modelos reológicos ajustados aos dados viscométricos da polpa de carambola com 15 °Brix, seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P)

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros			R^2	P(%)
		K	n			
Ostwald-de-Waelle	10	8,009829	0,234985		0,84526	3,28
	20	6,159448	0,282675		0,97590	1,64
	30	9,201636	0,149951		0,87026	1,95
	40	7,329228	0,178152		0,82592	2,70
	50	6,322469	0,181337		0,91349	1,64
Herschel-Bulkley		τ_0	k	n_H	R^2	P(%)
	10	-2344,64	2343,134	0,002327	0,86061	3,06
	20	11,92126	0,544709	0,644408	0,97961	1,39
	30	-22,9938	30,18891	0,068330	0,87141	1,95
	40	3,680500	4,604835	0,224781	0,82975	2,65
50	1,614503	5,058407	0,204179	0,91487	1,62	
Mizrahi & Berk		K_{om}	K_m	n_M	R^2	P(%)
	10	-137,811	140,0242	0,004076	0,85257	1,57
	20	3,416376	0,107538	0,545556	0,97992	0,67
	30	-60,6676	63,44872	0,005084	0,86570	0,97
	40	1,425516	1,447589	0,131765	0,82665	1,33
50	0,702165	1,852336	0,112762	0,91103	0,82	
Casson		K_{oc}	K_c		R^2	P(%)
	10	3,651376	0,119394		0,81542	1,78
	20	3,308768	0,143576		0,97986	0,70
	30	3,722627	0,055798		0,85398	0,99
	40	3,411740	0,066054		0,85392	1,16
50	3,171196	0,063805		0,93308	0,74	

Na Tabela 4.19 estão apresentados os parâmetros dos modelos de Ostwald-de-Waelle, Herschel-Bulkley, Mizrahi-Berk e Casson ajustados aos dados viscométricos da polpa de carambola (18 °Brix), nas cinco temperaturas estudadas, seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P). Constata-se que dentre os modelos testados, o modelo de Herschel-Bulkley foi o que apresentou os maiores

coeficientes de determinação (R^2), exceto para a temperatura de 50°C, e o modelo de Mizrahi & Berk os menores desvios percentuais médios inferiores a 2%, exceto na temperatura de 50 °C. Entretanto, o modelo de Herschel-Bulkley apresentou $P < 3,5\%$ e o modelo de Mizrahi & Berk $R^2 > 0,86$. Assim, verifica-se que os dois modelos resultaram nos melhores ajustes, com excelente estimativa dos dados experimentais. %.

FERNANDES et al. (2008) também constaram um melhor ajuste para o modelo de Mizrahi-Berk para os dados de polpa de umbu-cajá nas temperaturas de 10, 20, 30 40 e 50 °C e velocidades de rotação de 0,5; 1,0; 2,5; 5; 10; 20; 50 e 100 rpm. Observando-se os valores de R^2 e P para os modelos de Ostwald-de-Waelle e Casson, constata-se que os maiores R^2 foram obtidos com o modelo de Ostwald-de-Waelle, exceto na temperatura de 50 °C, e os menores P com o modelo de Casson. Dessa forma, os modelos de Ostwald-de-Waelle e Casson também podem ser usados na estimativa dos reogramas da polpa de carambola integral, em razão de terem apresentado $R^2 > 0,82$ e $P < 2,5\%$.

Constata-se, ainda, que os valores do índice de comportamento do fluido (n) do modelo de Ostwald-de-Waelle, Herschel-Bulkley e Mizrahi-Berk foram inferiores a unidade (1) classificando a polpa de carambola como um fluido não newtoniano com características pseudoplásticas.

Tabela 4.19. Parâmetros dos modelos reológicos ajustados aos dados viscométricos da polpa de carambola com 18 °Brix, seus respectivos coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P)

Modelos	Temperatura (°C)	Parâmetros			R^2	P(%)
		K	n			
Ostwald-de-Waelle	10	22,14332	0,141786		0,92221	1,38
	20	8,100783	0,385566		0,90931	4,01
	30	15,16754	0,147155		0,86250	1,87
	40	11,35226	0,223423		0,90380	2,22
	50	11,51880	0,200178		0,92725	1,86
Herschel-Bulkley		τ_0	k	n_H	R^2	P(%)
	10	-179,984	195,3121	0,028324	0,92556	1,35
	20	-4079,36	4056,386	0,003745	0,92874	3,35
	30	-518,232	527,1046	0,008481	0,87473	1,80
	40	-1710,78	1710,250	0,004077	0,91795	1,94
50	3,766576	8,745817	0,229622	0,92888	1,83	
Mizrahi & Berk		K_{0M}	K_M	n_M	R^2	P(%)
	10	-174,055	178,3922	0,002643	0,92142	0,68
	20	-371,218	372,4201	0,003309	0,92344	1,79
	30	-23,9059	27,50238	0,014254	0,86732	0,93
	40	-83,5457	86,28424	0,007184	0,91594	1,03
50	1,752854	1,833540	0,148091	0,92659	0,91	
Casson		K_{oc}	K_c		R^2	P(%)
	10	5,733749	0,078645		0,90156	0,74
	20	3,770011	0,318207		0,89354	2,20
	30	4,764530	0,069630		0,82035	1,05
	40	4,329528	0,128735		0,87922	1,34
50	4,323344	0,104207		0,94285	0,13	

No Apêndice A, Figuras A.1 a A.15, tem-se os reogramas das polpas de carambola com diferentes concentrações com ajustes pelos modelos de Ostwald-de-Waelle, Mizrahi & Berk e Casson.

Na Figura 4.2, pode ser visto o comportamento reológico da polpa de carambola com teor de sólidos solúveis totais de 6 °Brix, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley, considerado como um dos melhores modelos ajustados aos dados viscométricos da polpa de carambola, nas cinco temperaturas estudadas. Verifica-se que as curvas não apresentaram uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, indicando um comportamento de um fluido não newtoniano. Observa-se que para uma taxa de deformação fixa, a tensão de cisalhamento diminui com o aumento da temperatura, comportamento também observado por GUEDES et al. (2010) ao estudarem o comportamento reológico da polpa de melancia nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60

°C e concentrações 8, 17, 26 e 35 °Brix; por OLIVEIRA et al. (2009) que estudaram o comportamento reológico da polpa de uva (16,3 °Brix) a 20, 25, 30 e 35 °C; e por BALISCHI et al. (2008) para a polpa integral de acerola nas temperaturas de 25, 35 e 45 °C.

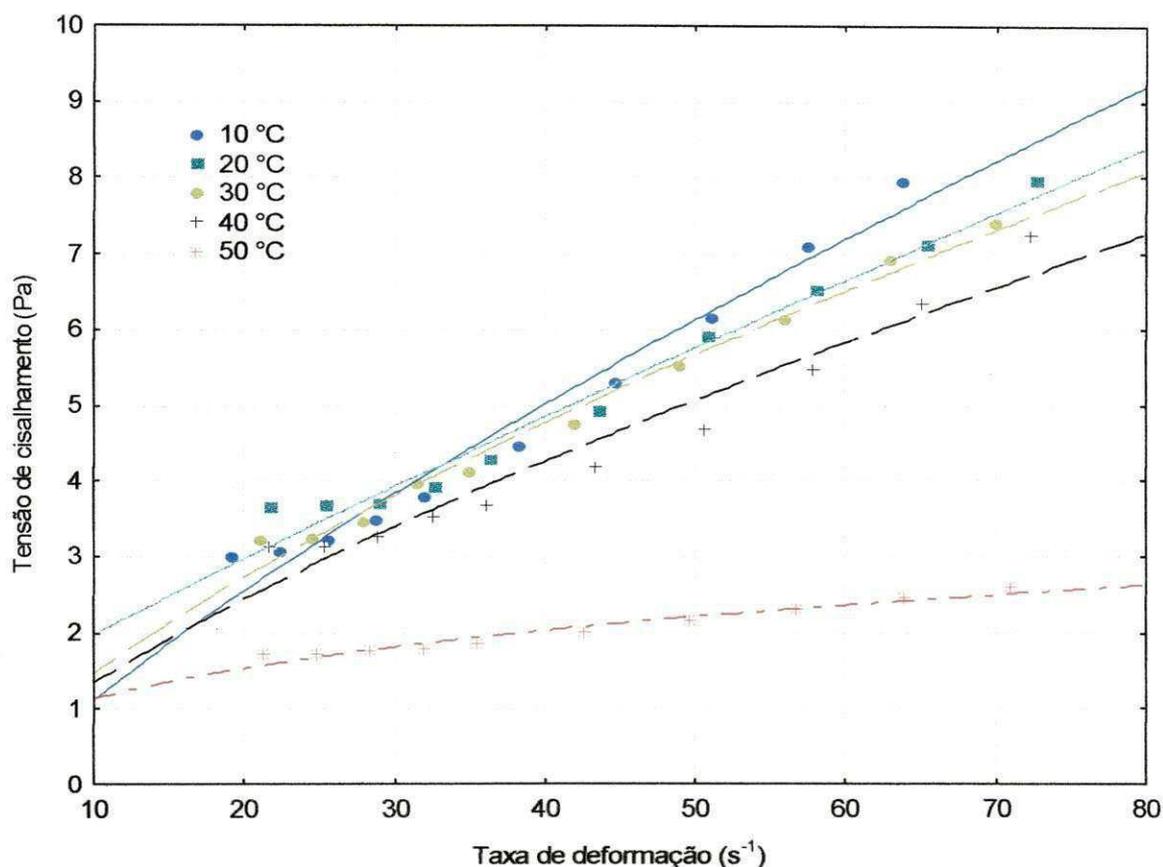


Figura 4.2. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para o teor de sólidos solúveis totais de 6 °Brix

Na Figura 4.3, pode ser visto o comportamento reológico da polpa de carambola, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para o teor de sólidos solúveis totais de 9 °Brix nas cinco temperaturas estudadas. Verifica-se que as curvas não apresentaram uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, indicando um comportamento de um fluido não newtoniano. Observa-se que para uma taxa de deformação fixa, a tensão de cisalhamento diminui com o aumento da temperatura, comportamento também observado também por RIGO et al. (2010) que estudaram o efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa integral (9,25 °Brix) de butiá (*Butia eriospatha*) nas temperaturas 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C; por VIDAL et al. (2006), que

também observou tal comportamento no seu estudo das propriedades reológicas da polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) centrifugada (16,05 ° Brix), nas temperaturas de 10, 20, 30 ,40, 50 e 60 °C; e por SANTOS et al. (2010) para a gabioba (*Campomanesia xanthocarpa* Berg), para a temperatura de 20 °C.

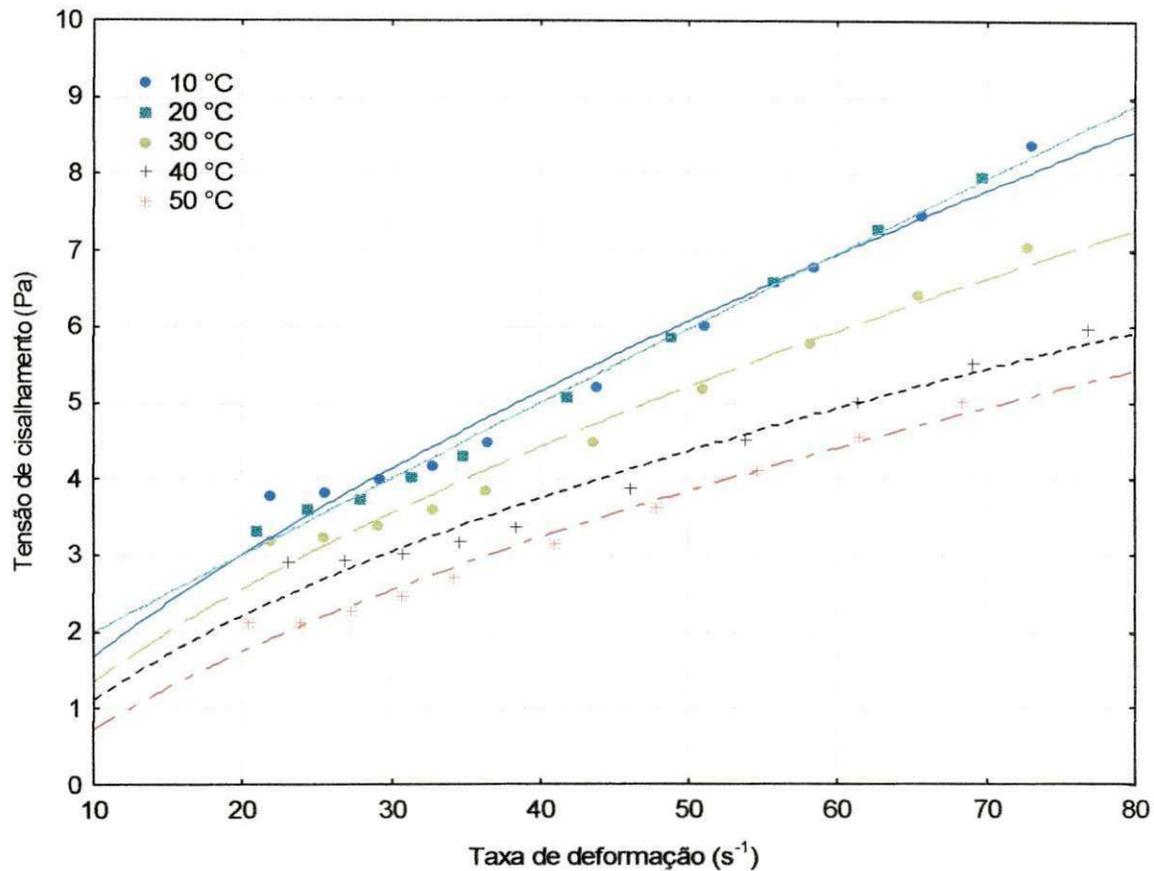


Figura 4.3. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para o teor de sólidos solúveis totais de 9 °Brix

Na Figura 4.4, pode ser visto o comportamento reológico da polpa de carambola, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para o teor de sólidos solúveis totais de 12 °Brix nas cinco temperaturas estudadas. Verifica-se que as curvas não apresentaram uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, indicando um comportamento de um fluido não newtoniano. Observa-se que para uma taxa de deformação fixa, a tensão de cisalhamento diminui com o aumento da temperatura. Comportamento também observado por VIDAL et al. (2004) que estudaram o efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* L-keitt) (16,05°Brix), nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C; por HAMINIUK et al. (2006)

ao realizarem a caracterização reológica da polpa de amora-preta (5,37 °Brix) tendo sido observado tal comportamento nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C; e por CLARETO (2007) para a polpa de goiaba (13,79° Brix) para a faixa de temperatura de 15 a 60 °C.

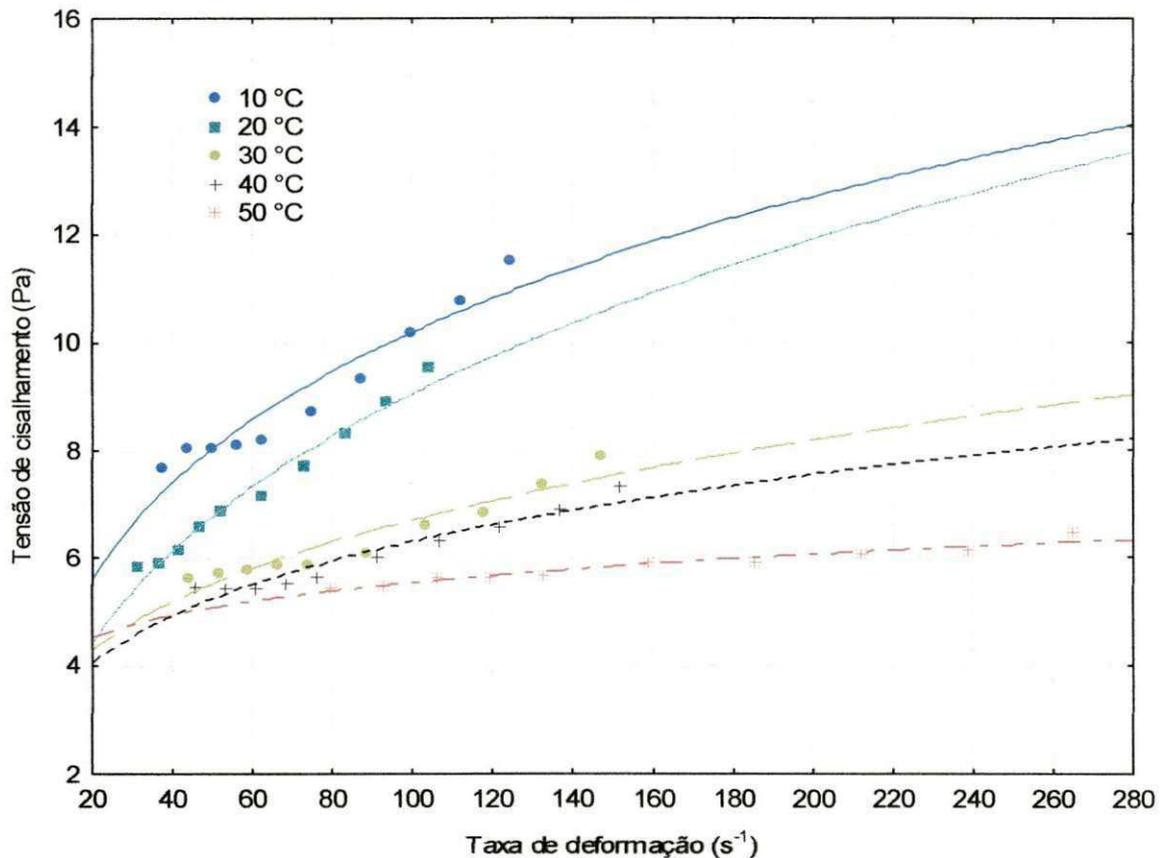


Figura 4.4. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para o teor de sólidos solúveis totais de 12 °Brix

Na Figura 4.5, pode ser visto o comportamento reológico da polpa de carambola, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para o teor de sólidos solúveis totais de 15 °Brix nas cinco temperaturas estudadas. Verifica-se que as curvas não apresentaram uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, indicando um comportamento de um fluido não newtoniano. Observa-se que para uma taxa de deformação fixa, a tensão de cisalhamento diminui com o aumento da temperatura. Comportamento semelhante foi observado por OLIVEIRA et al. (2011) que estudou o efeito da temperatura sobre o comportamento reológico das polpas de gabioba - *Campomanesia xanthocarpa* Berg (14,5 °Brix) e goiaba (5,5 °Brix) nas temperaturas de

20, 25, 30 e 35 °C; por IZIDORO (2007) que estudou a influência da polpa de banana (*Musa cavendishii*) verde (5,15 °Brix) no comportamento reológico, sensorial e físico-químico de emulsão para as temperaturas de 10 e 25 °C; e por BEZERRA et al. (2001) que estudou a reologia de polpa de manga (16 °Brix) em função da temperatura, observando tal comportamento nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e 60 °C.

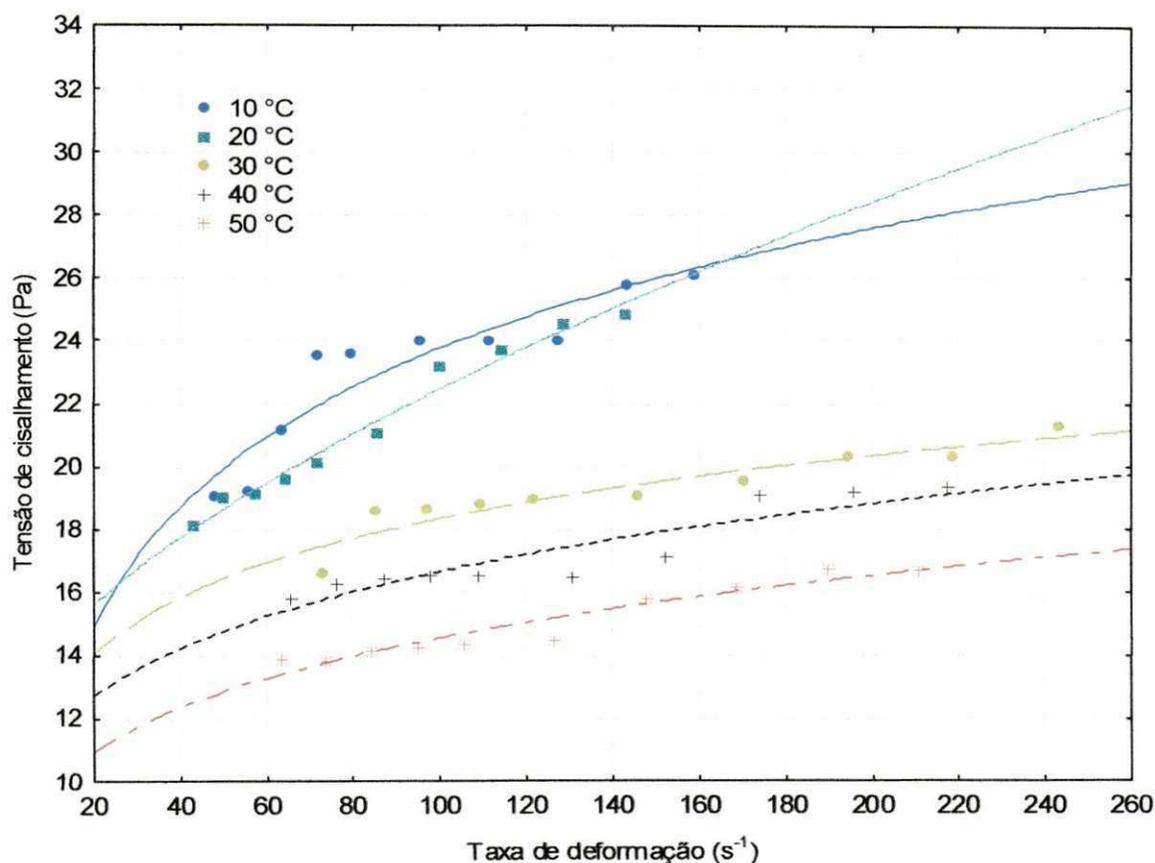


Figura 4.5. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para o teor de sólidos solúveis totais de 15 °Brix

Na Figura 4.6, pode ser visto o comportamento reológico da polpa de carambola, com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para o teor de sólidos solúveis totais de 18 °Brix nas cinco temperaturas estudadas. Verifica-se que as curvas não apresentaram uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação, indicando um comportamento de um fluido não newtoniano, comportamento também observado por ADORNO (1997) em polpa de maracujá na concentração de 13,35 °Brix e temperaturas 10,20, 30, 40, 50 e 60 °C; por SILVA (2008) que determinou as propriedades termofísicas e reológicas da polpa de jenipapo (*Genipa americana* L.), (17 °Brix) nas temperaturas de

10, 20, 30, 40 50 e 60°C; e por FERREIRA, (2008) que estudou as propriedades reológicas da polpa de cupuaçu (10 °Brix) nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C.

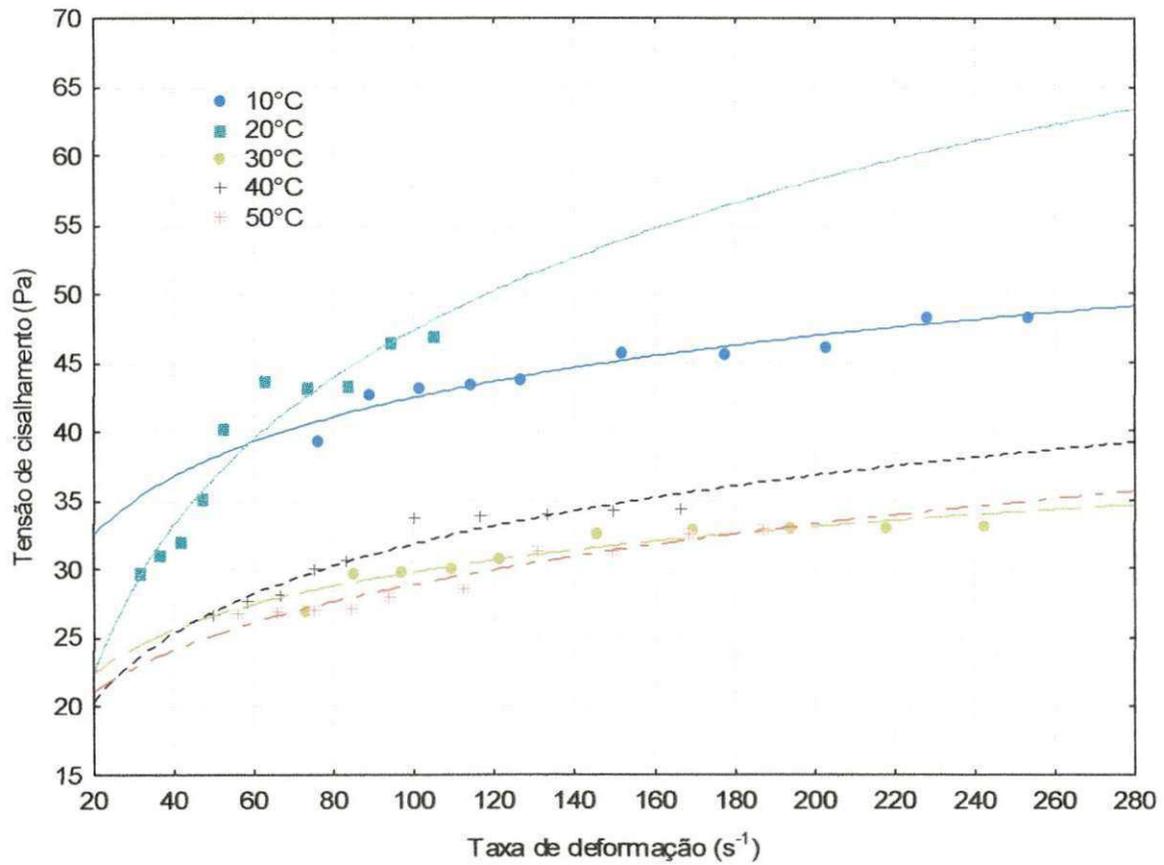


Figura 4.6. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para o teor de sólidos solúveis totais de 18 °Brix

5. CONCLUSÕES

- Os valores médios da massa específica a 20 e 30 °C, calor específico, difusividade e condutividade térmica da polpa de carambola in natura foram 1,030 e 1,025 g/cm³; 0,9821 cal/g°C; 1,503 x10⁻⁷ m²/s e 0,6246 W/m°C, respectivamente.
- Todos os modelos reológicos apresentaram bons ajustes para a polpa de carambola integral e com teor de sólidos solúveis de 15 °Brix. Para polpa de carambola com 9 °Brix os modelos de Ostwald-de-Waelle e Casson proporcionaram melhores ajustes. Para a polpa com teor de sólidos solúveis de 12 °Brix o modelo de Casson é o mais indicado e para a polpa com 18 °Brix os modelos de Hershel-Bulkley e Mizrahi-Berk apresentaram melhores ajustes.
- A viscosidade aparente diminuiu com o aumento da temperatura e da velocidade de rotação aumentou com o aumento da concentração da polpa de carambola.
- A polpa de carambola apresentou comportamento não-newtoniano e pseudoplástico.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADORNO, R.A.C. **Reologia do suco de frutas tropicais: manga, marcujá, mamão e goiaba**. 1997. 191f, Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

ANDRIGUETO, J.R.; KOSOSKI, A.R. Desenvolvimento e conquistas da produção integrada de frutas no Brasil. **Papaya Brasil** – 2005.

ARAÚJO, J.L.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F. Propriedades termofísicas da polpa do cupuaçu com diferentes teores de sólidos. **Ciência e agrotecnologia**, v. 28, n. 1, p. 126-134, 2004.

ARAÚJO, P.S.R. de; SCARPARE FILHO, J.A.; MINANI, K. Seleção de Caramboleiras pelas características biométricas e físico-química dos frutos. **Scientia Agrícola**, v. 58, n.1, p. 91-99, 2001.

BALISCHI, L.; PEREIRA, N.; LIMA, O.; BARROS, S.; DAMASCENO, J.; MENDES, E. Influência do tratamento enzimático sobre as características reológicas e microscópicas da polpa de acerola. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 24, n. 6, p. 1649-1658 2008.

BASTOS, D.C. A cultura da carambola. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 26, n. 2, p. 193 – 384. 2004.

BEZERRA, J.R.M.V.; RIGO, M.; DEMCZUK JUNIOR, B.; CÓRDOVA K.R.V. Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de morango (*Fragaria ananassa*). **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais** v. 5, n. 1, p. 37- 47. 2009.

BEZERRA, J.R.M.V.; QUEIROZ, A.J.M.; GASPARETTO, C.A. Reologia de polpa de manga e ajuste dos parâmetros reológicos em função da temperatura. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.3, n.1, p.37-42, 2001.

BEZERRA, J. R. M. V. **Comportamento reológico da polpa de manga**. UNICAMP, Campinas, SP: 2000. (Tese de Doutorado).

BRANCO, I.G., GASPARETTO, C.A. Comportamento reológico de suco de laranja concentrado congelado. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**. v.5, n.2, p.173-178, 2003a.

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 dos Alimentos**, v. 23 n. supl., p. 166-171, 2003b.

CABRAL, M.F.P.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIREDO, R.M.F. Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* Schum.) peneirada. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.4, n.1, p.37-40, 2002.

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

CASTRO, A. G. de; COVAS, J. A.; DIOGO, A. C. **Reologia e suas aplicações industriais**. Lisboa: Ciência e Técnica/Instituto PIAGET, 2001. 462 p.

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

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. Lavras: ESAL/FAEPE, 1990. 302 p.

CLARETO, S.S. **Estudo da concentração de licopeno da polpa de goiaba utilizando o processo de microfiltração**. 2007. 173f, Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

DANTAS JÚNIOR, E.E; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIREDO, R.M.F. Determinação da difusividade térmica da polpa de manga espada. **Revista Educação Agrícola Superior**, v. 22, n. 1, p. 43-46, 2007.

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

DONADIO, L.C.; SILVA, J.A.A.; ARAÚJO, P.R.S.; PRADO, R.M. **Caramboleira (*Averrhoa carambola* L.)**. Jaboticabal: Sociedade Brasileira de Fruticultura, 2001. 81p. (Série Frutas Potenciais).

FERNANDES T.K.S.; FIGUEIRÊDO, R.M.F; QUEIROZ, A.J.M; MELO, K.S.; BEZERRA, M.C.T. Estudo do comportamento reológico da polpa de umbucajá em função da concentração de maltodextrina. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 10, n. 2, p. 171-180, 2008.

FERREIRA, G.M. **Estudo das propriedades reológicas do sistema polpa de cupuaçu – biopolímeros**. 2008. 120f, Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

FERREIRA, G.M.; QUEIROZ, A.J.M., CONCEIÇÃO, R.S.; GASPARETTO, C.A. Efeito da temperatura no comportamento reológico das polpas de caju e goiaba. **Revista Ciências Exatas e Naturais**, v. 4, n. 2, p. 176 – 184, 2002.

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

GUEDES, D.B.; RAMOS, A.M.; DINIZ, M.D.M.S. Efeito da temperatura e da concentração nas propriedades físicas da polpa de melancia. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 13, n. 4, p. 279-285, 2010.

HAMINIUK C.W.I.; SIERAKOWSKI M.R.; IZIDORO, D.R.; MASSON, M.L. Caracterização Reológica da Polpa de Amora-Preta. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, n. 4, p. 291-296, 2006.

INCROPERA, F. P., DEWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e Massa**, 5ª edição, LTC – Livros Técnicos e Científicos S.A., Rio de Janeiro, Brasil, p.698, 2003.

INFOESCOLA. **Carambola**. Disponível em: <<http://www.infoescola.com/frutas/carambola/>>. Acesso em 20 jun. 2011.

IZIDORO, D.R. **Influência da polpa de banana (*Musa cavendishii*) verde no comportamento reológico, sensorial e físico-químico de emulsão**. Curitiba. Universidade Federal do Paraná. 2007, 167p. (Dissertação de Mestrado).

LEWIS, M.J. **Propiedades de los alimentos y de los sistemas de procesado**. Zaragoza: Acribia, 494p. 1993.

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

MATTOS, J.S. **Banco de dados de propriedades termofísicas de produtos hortícolas**. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2007, 139p. (Dissertação de mestrado).

MELO, K.S.; FIGUEIRÊDO, R.M.F.; QUEIROZ, A. J.M. Comportamento reológico da polpa de buriti com leite. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 8, n.2 - 2º Semestre p. 197 – 206, 2008.

MOURA, S., C., S., R.; FRANÇA, V., C., L.; LEAL, A., M., C., B. Propriedades termofísicas de soluções - modelo similares a sucos – Parte II. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, n. 3, p. 454-459, 2005.

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

NATALE, W.; PRADO, R. M.; ROZANE, D. E.; ROMUALDO, L. M.; SOUZA, H. A. DE; HERNANDES, A. Resposta da caramboleira à calagem. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v.30, n.4, p. 1136- 1145, 2008.

OLIVEIRA, R.C.; ROSSI, R.M.; BARROS, S.T.D. Estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico das polpas de gabioba e goiaba. **Acta Scientiarum. Technology**, v. 33, n. 1, p. 31-37, 2011.

OLIVEIRA, E.P. **Estimação da difusividade térmica de iogurtes comerciais – aplicação do método flash**. João Pessoa, Universidade Federal da Paraíba, 2009. 120p. (Dissertação de Mestrado).

OLIVEIRA, R.C.; BARROS, S.T.D.; ROSSI, R.M. Aplicação da metodologia bayesiana para o estudo reológico da polpa de uva. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.11, n.1, p.73-80, 2009.

OLIVEIRA, F.M.N. **Secagem e armazenamento da polpa de pitanga**. Campina Grande, Universidade Federal de Campina Grande, 2006, 214p. (Dissertação de Mestrado).

PINEDO, R.A., **Estudo da estabilização da polpa de camucamu (*Myrciaria dubia* (H.B.K.) Mc Vaugh) congelada visando à manutenção de ácido ascórbico e de antocianinas**. Campinas, Universidade Estadual de Campinas, 2007, 180p. (Dissertação de Mestrado).

PINHEIRO, G. S. **Propriedades físicas, termofísicas e físico-químicas de purê de banana adicionados de açúcar**. 2004. 140f, Tese (Doutorado em Ciência dos Alimentos), Universidade Federal de Lavras, Lavras.

QUEIROZ, G. M. **Determinação das propriedades termofísicas do pão tipo francês.** São Paulo, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2001. 150p. (Dissertação de Mestrado).

QUEIROZ, A.J.M. **Estudo do comportamento reológico dos sucos de abacaxi e manga.** 1998. 197f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

RIGO, M.; BEZERRA, J.R.M.V.; CÓRDOVA, K.R.V. Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de butiá (*Butia eriospatha*). **Revista do Setor de Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 6, n. 1, p. 25- 36, 2010.

SANTOS, M.S.; PETKOWICZ, C.L.O., HAMINIUK, C.W.I.; CANDIDO, L.M.B. Estudo das propriedades químicas e reológicas dos polissacarídeos extraídos da gabioba (*Campomanesia xanthocarpa Berg*) **Revista Iberoamericana de Polímeros**, v. 11, n. 6, p. 359 – 373. 2010.

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

SAÚCO, V.G. Possibilities of non-citrus tropical fruit in the Mediterranean. **Acta Horticulturae**, n.365, p.25-41, 1994.

SCREMIN, F.F. **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, Universidade Federal de Santa Catarina. 2007, 145p. (Dissertação de Mestrado).

SILVA, N.M.C. **Propriedades termofísicas e comportamento reológico da polpa de jenipapo (*Genipa americana* L.).** Itapetinga, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia. 2008, 56p. (Dissertação de Mestrado).

SILVA, K.F.N.L. **Caracterização de méis da região do baixo Jaguaribe – CE.** Campina Grande, Universidade Federal de Campina Grande, 2005, 160p. (Dissertação de Mestrado).

SILVA, F.A.S.; AZEVEDO, C.A.V. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. 4, n. 1, p. 71-78, 2002.

SOUZA, D. **Estudos das propriedades físicas de polpas e néctares de pequenos frutos**. Porto Alegre, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2008, 191p. (Dissertação de Mestrado).

TEIXEIRA, G.H.A.; DURIGAN, J.F.; MATTIUZ, B.H.; ALVES, R.E.; O'HARE, T.J. Cultivar affects browning susceptibility of freshly cut fruit slices. **Scientia Agricola**, v. 63, n. 1, p. 1-4, 2006.

TONELI, J.T.C.L., MURR, F.E.X., PARK, K.J. Estudo da reologia de polissacarídeos utilizados na indústria de alimentos. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.7, n. 2, p. 181-204, 2005.

TORALLES, R. P.; VENDRUSCOLO, J. L.; VENDRUSCOLO, C. T. Reologia de purê homogêneo de pêsego: efeito da temperatura e concentração. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2006.

TORRES, L.B.V.; FIGUEIRÊDO, R.M.F.; QUEIROZ, A.J.M. Caracterização química de carambolas produzidas em região semi-árida do nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v. especial, n.1, p.43-54, 2003a.

TORRES, L.B.V.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIRÊDO, R.M.F. Viscosidade aparente da polpa de umbu-cajá concentrada a 10°C. **Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais**, v.5, n.2, p.161-168, 2003b.

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

VENTUROSO, J.R. A.; RUEDA, W. C.; SAMPAIO, R. M.; MARCOS, S. K. Estudo da secagem de carambola (*Averrhoa carambola L.*). In: Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos, 2002, Porto Alegre, **Anais...** Porto Alegre: SBCTA, 2002.

VIANA, A.D. **Propriedades termofísicas e comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) em diferentes concentrações e temperaturas.** Itapetinga, Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, 2010, 122p. (Dissertação de Mestrado).

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

VIDAL, J.R.M.B.; PELEGRINE, D. H.; GASPARETTO, C.A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga (*mangifera indica l-keitt*). **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 24, n. 1, p. 039-042, 2004.

WIKIPEDIA - **Carambola**. Disponível em: <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Carambola>>
Acesso em: 20 jun. 2011.

APÊNDICE A

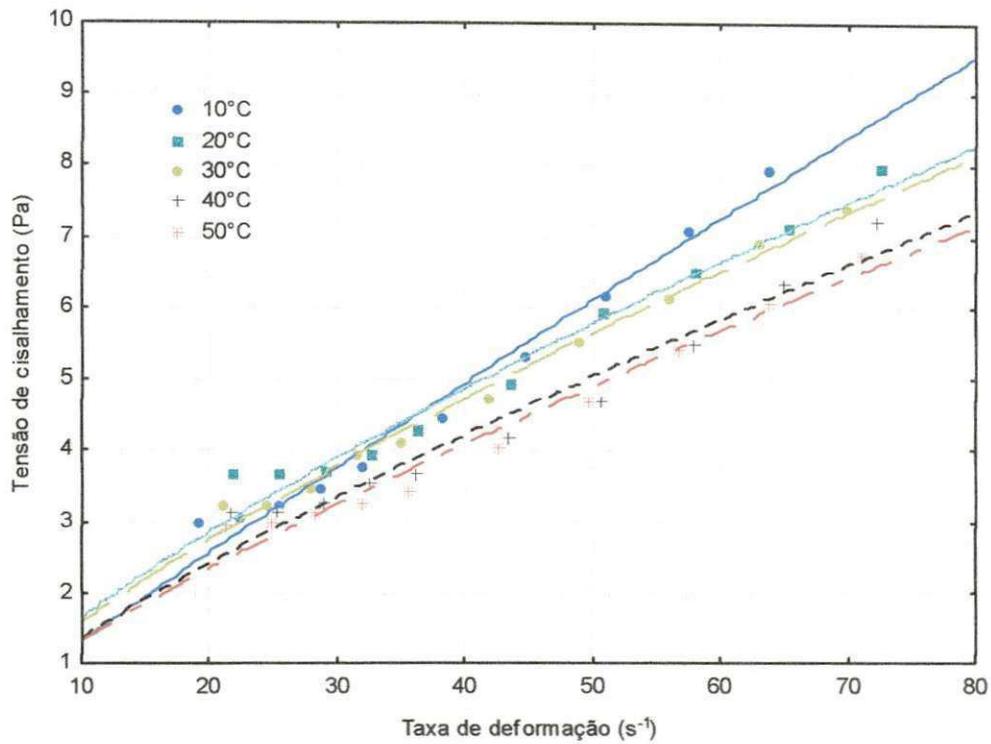


Figura A.1. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waele para o teor de sólidos solúveis totais de 6 °Brix

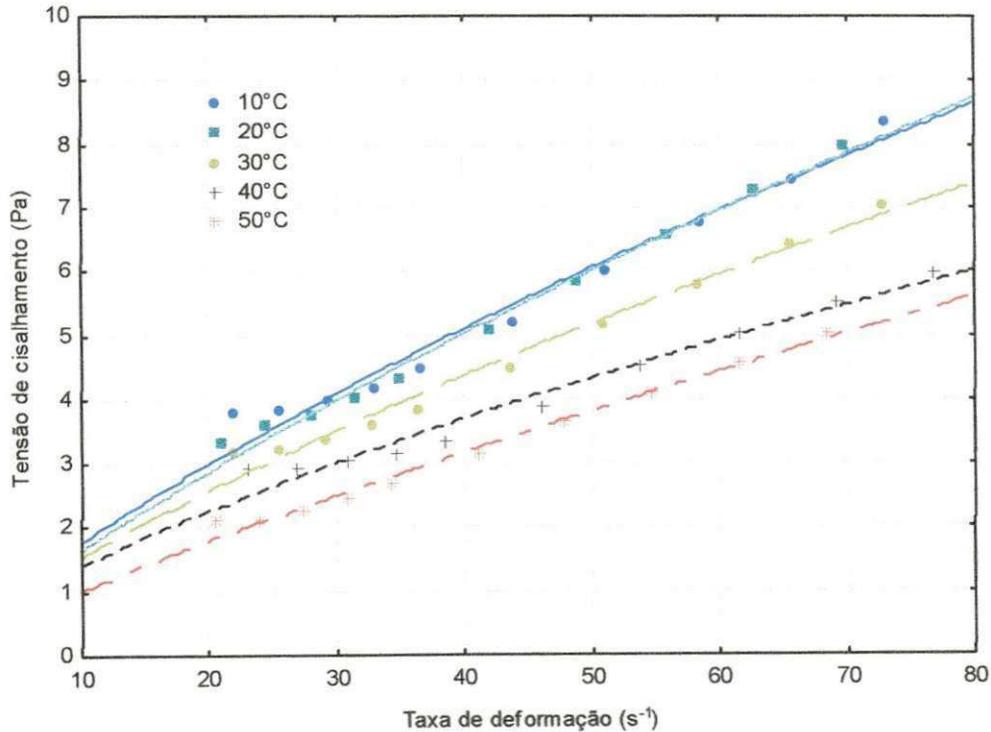


Figura A.2. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waele para o teor de sólidos solúveis totais de 9 °Brix

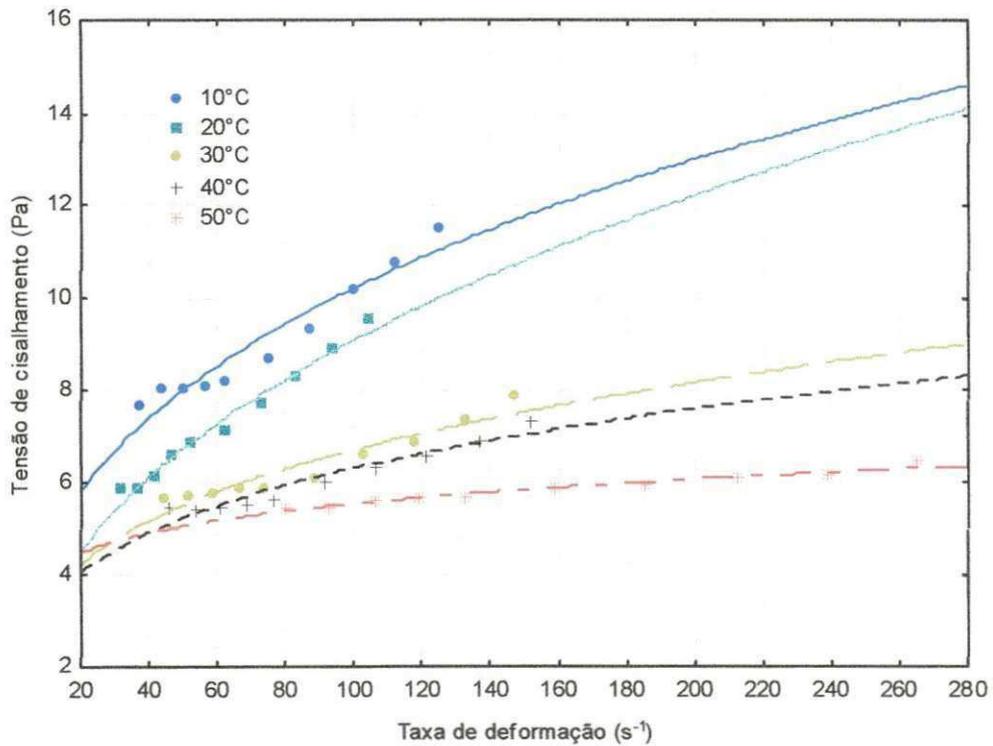


Figura A.3. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waelle para o teor de sólidos solúveis totais de 12 °Brix

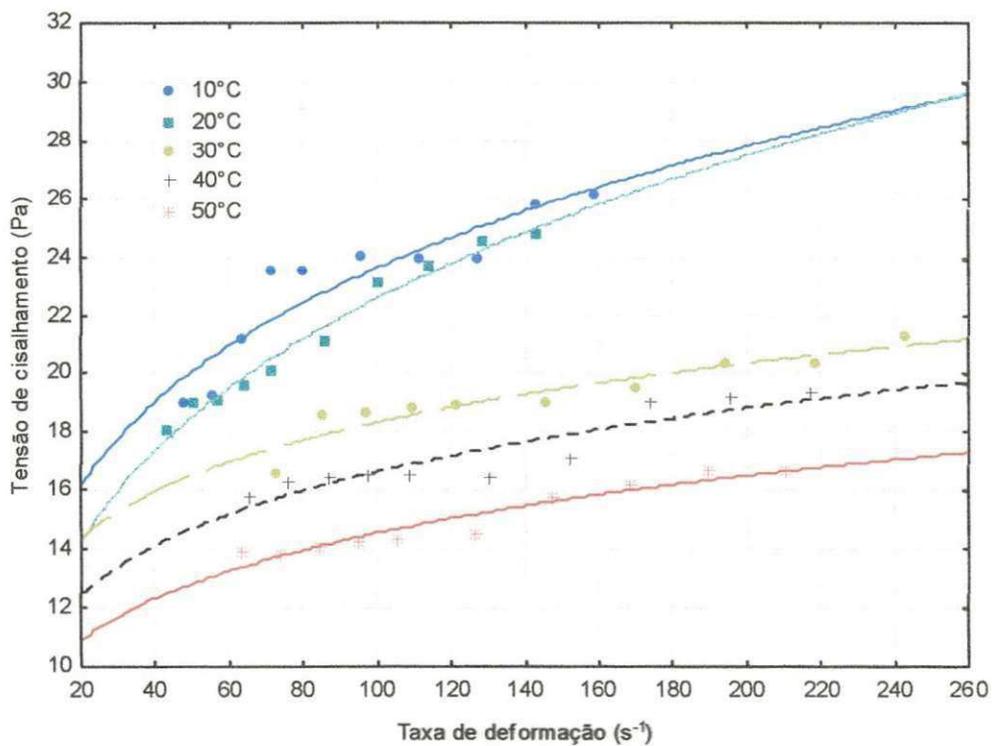


Figura A.4. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waelle para o teor de sólidos solúveis totais de 15 °Brix

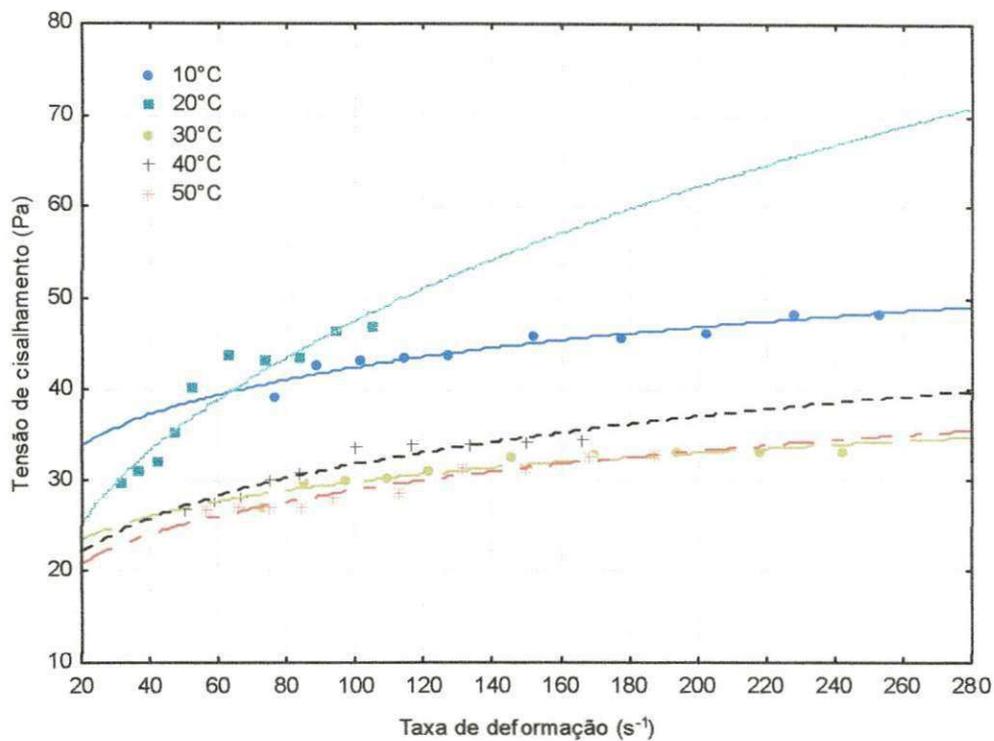


Figura A.5. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Ostwald-de-Waele para o teor de sólidos solúveis totais de 18 °Brix

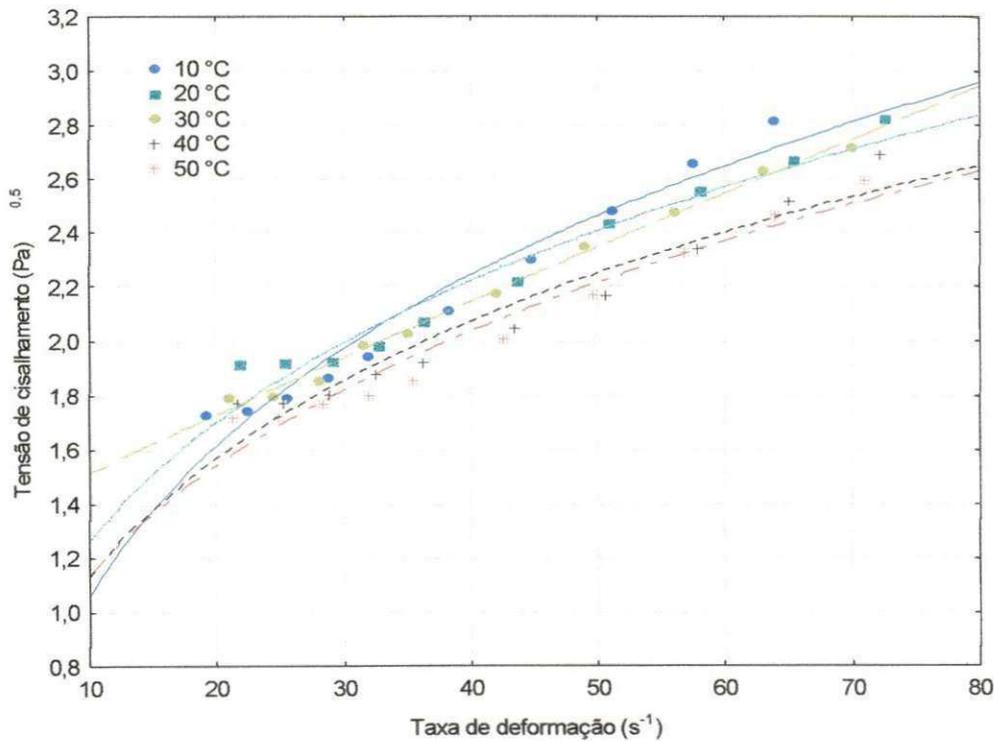


Figura A.6. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Mizrahi & Berk para o teor de sólidos solúveis totais de 6 °Brix

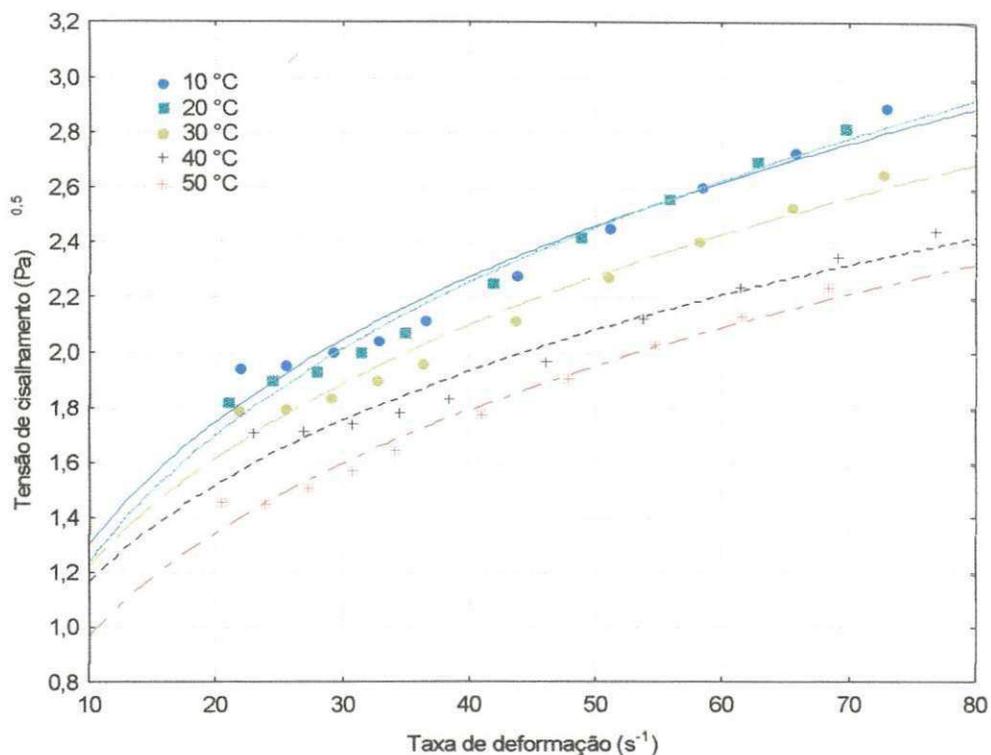


Figura A.7. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Mizrahi & Berk para o teor de sólidos solúveis totais de 9 °Brix

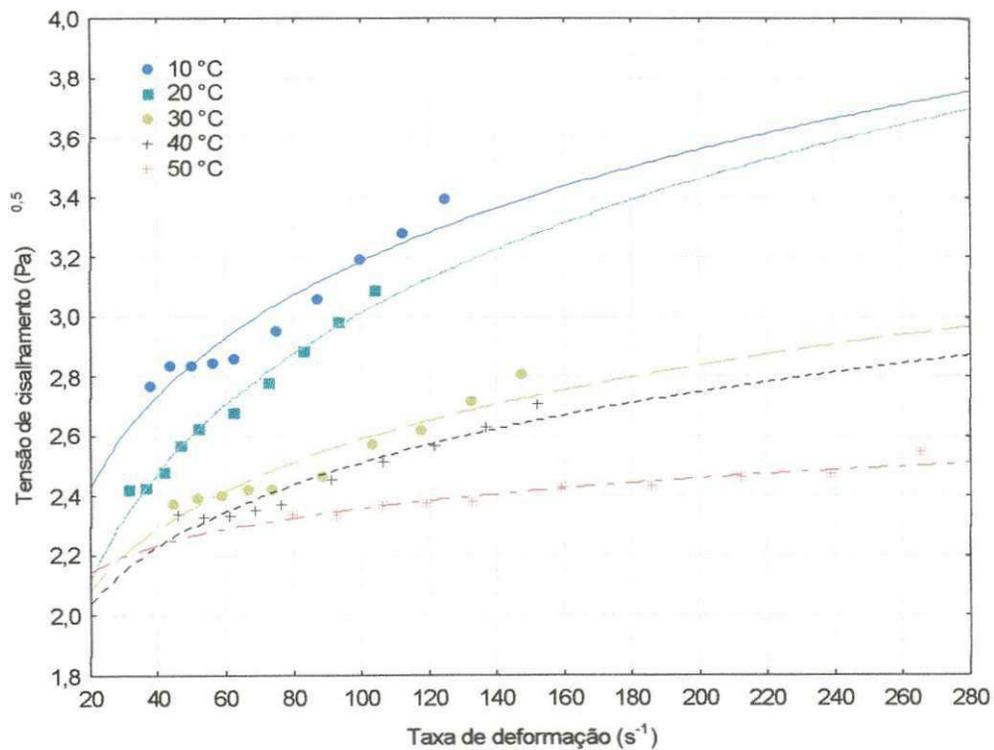


Figura A.8. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Mizrahi & Berk para o teor de sólidos solúveis totais de 12 °Brix

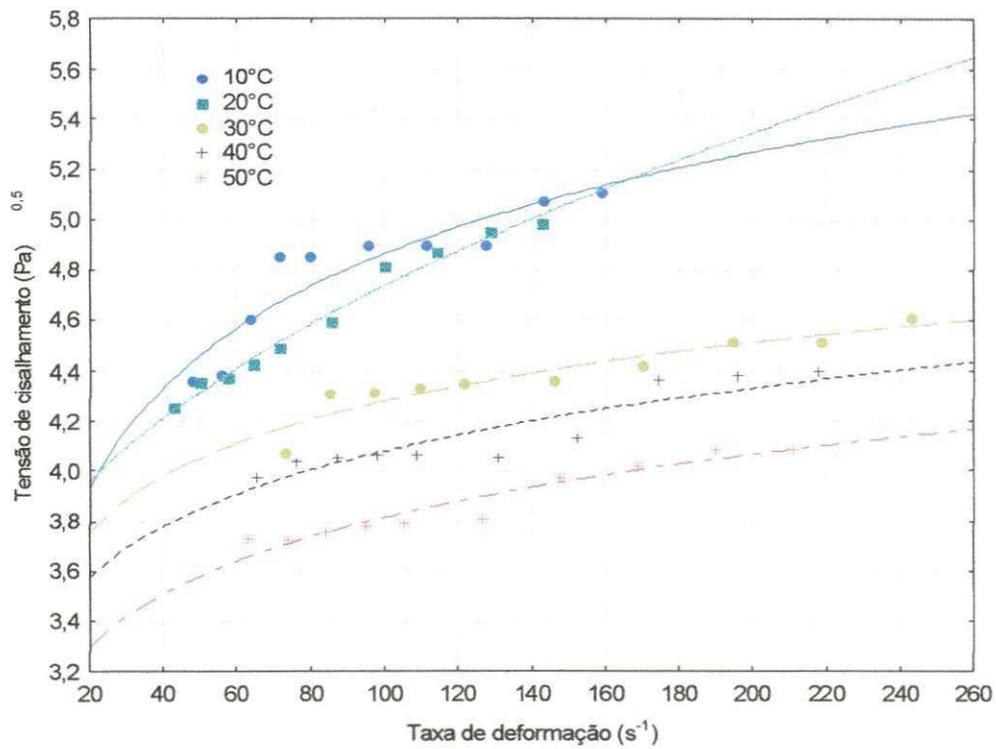


Figura A.9. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Mizrahi & Berk para o teor de sólidos solúveis totais de 15 °Brix

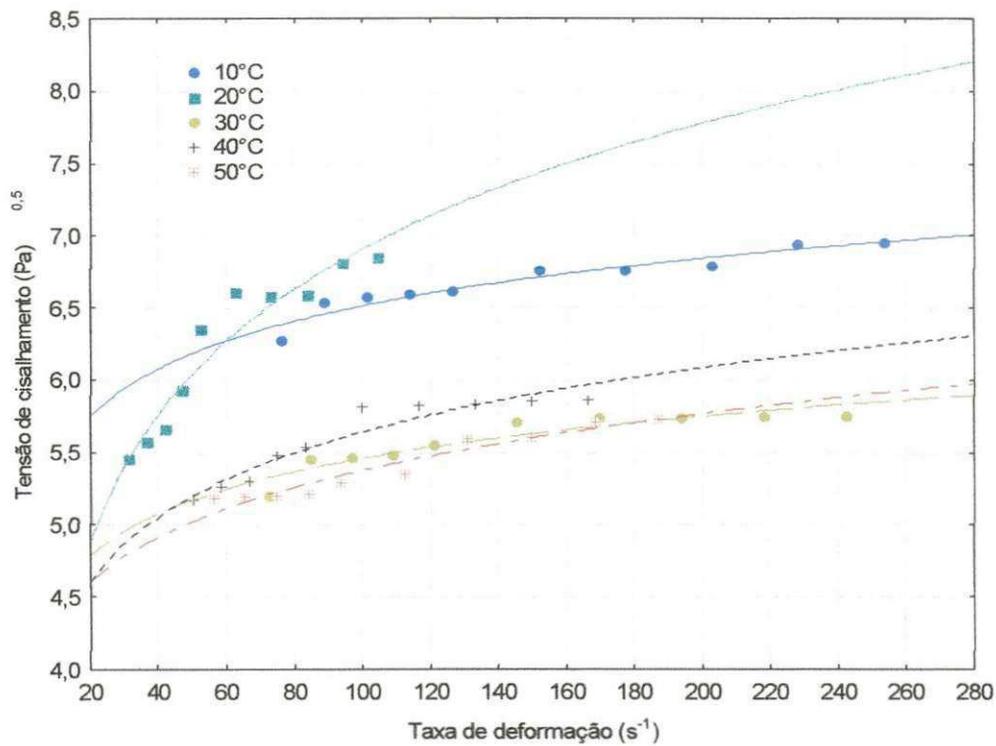


Figura A.10. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Mizrahi & Berk para o teor de sólidos solúveis totais de 18 °Brix

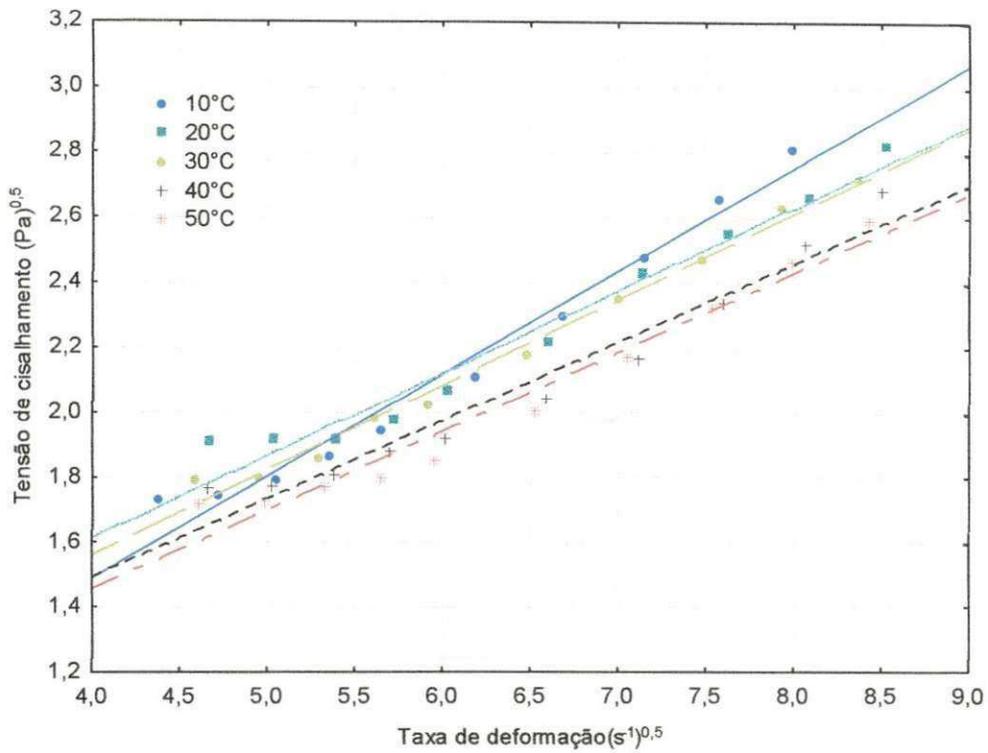


Figura A.11. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Casson para o teor de sólidos solúveis totais de 6 °Brix

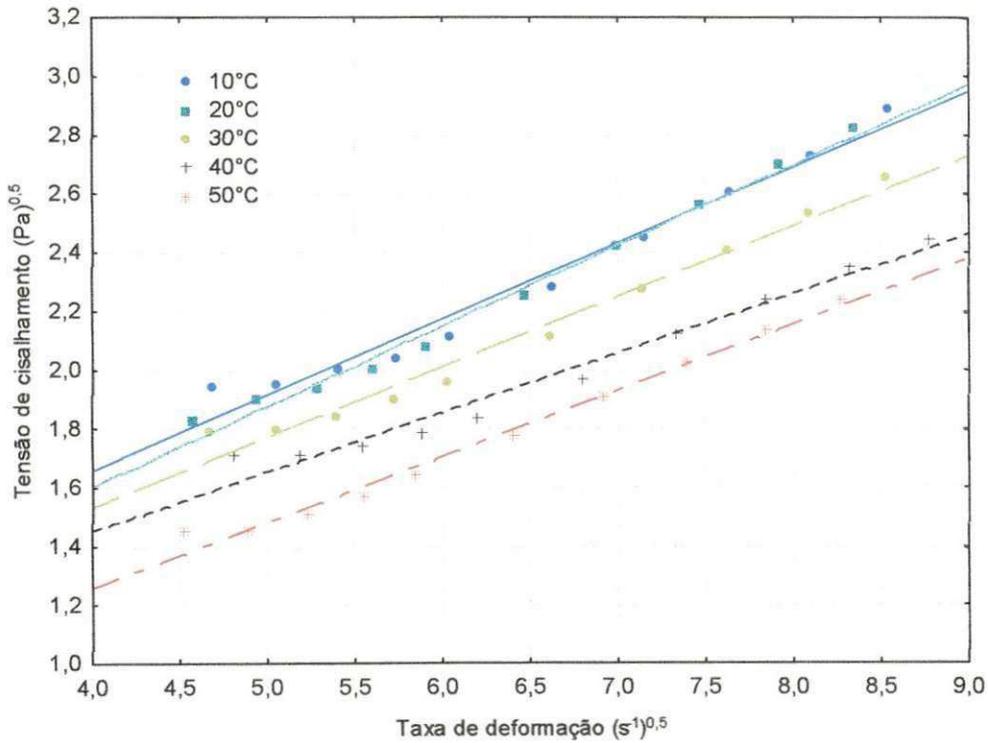


Figura A.12. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Casson para o teor de sólidos solúveis totais de 9 °Brix

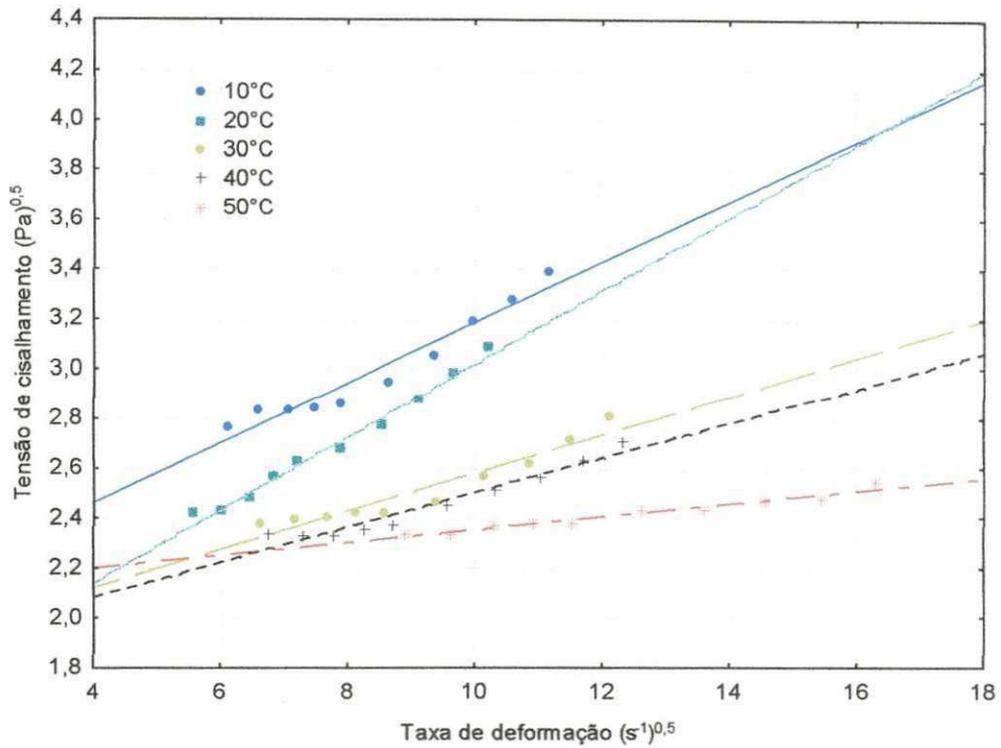


Figura A.13. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Casson para o teor de sólidos solúveis totais de 12 °Brix

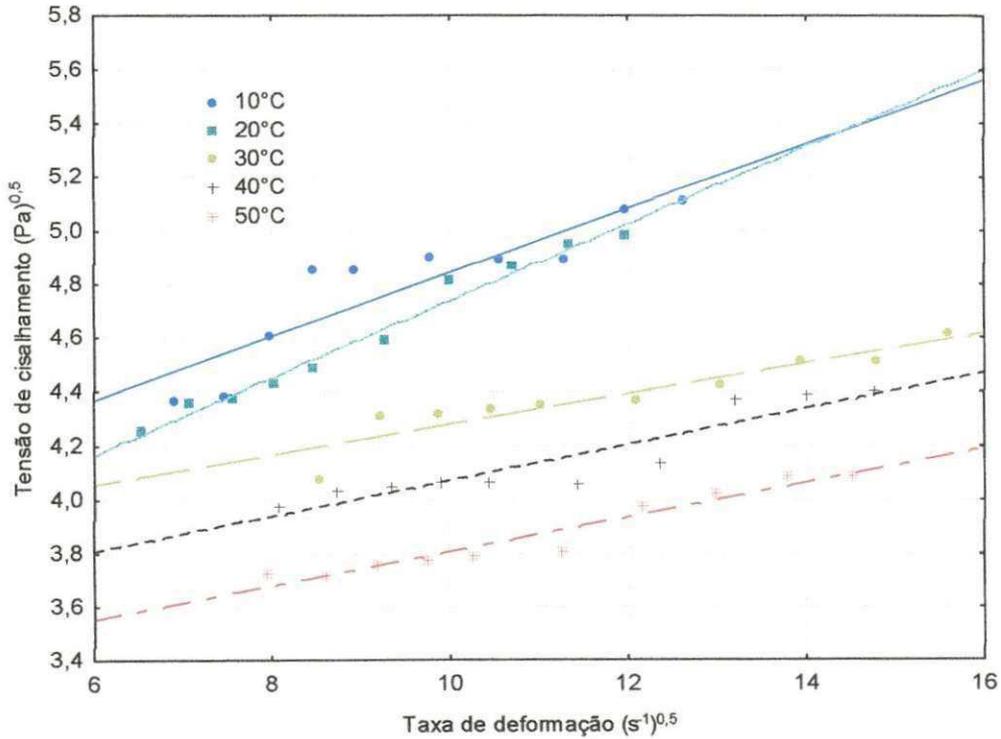


Figura A.14. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Casson para o teor de sólidos solúveis totais de 15 °Brix

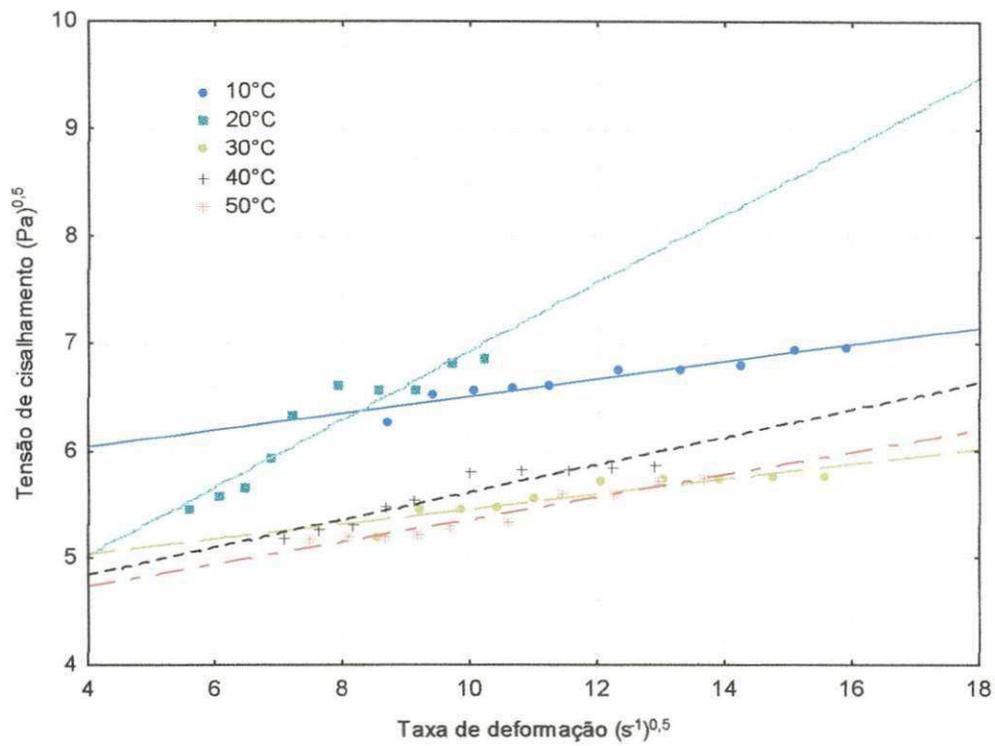


Figura A.15. Comportamento reológico da polpa de carambola com ajuste pelo modelo de Casson para o teor de sólidos solúveis totais de 18 °Brix