

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
COORDENAÇÃO DE TECNOLOGIA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS
CAMPUS CAMPO MOURÃO-PARANÁ

RODRIGO MOCHI GUAZELLI

ESTUDO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE POLPAS DE FRUTAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

CAMPO MOURÃO

2015

RODRIGO MOCHI GUAZELLI

ESTUDO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE POLPAS DE FRUTAS

Trabalho de conclusão de curso de graduação, apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, de Engenharia de Alimentos do Departamento Acadêmico de Alimentos (DALIM), da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Campus Campo Mourão, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Charles Windson Isidoro Haminiuk

CAMPO MOURÃO

2015



TERMO DE APROVAÇÃO

ESTUDO DO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE POLPAS DE FRUTAS

POR

RODRIGO MOCHI GUAZELLI

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado em 03 (três) de Julho de 2015 às 14:30hrs como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos. O(A) candidato(a) foi argüido(a) pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho APROVADO.

Prof^a. Dr^a. Charles Windson Isidoro Haminiuk

Orientador

Profa. Dr^a. Alberto Cavalcanti Vitória

Membro da banca

Profa. Dr^a. Bogdan Demczuk Junior

Membro da banca

Nota: O documento original e assinado pela Banca Examinadora encontra-se na Coordenação do Curso de Engenharia de Alimentos da UTFPR *Campus* Campo Mourão.

AGRADECIMENTOS

Queria começar agradecendo a Deus, por ter me dado saúde e competência para atingir meus objetivos.

Ao meu pai Rogério, por ter me ensinado valores que carregarei para a vida toda, de como ser trabalhador e honesto, de como amar um filho, de como ser um grande homem. Pai, eu te amo!

Agradeço à minha avó Alzira, minha tia Tere e minha tia Maci, pessoas que eu amo tanto, e sempre estiveram ao meu lado, para que eu enfrentasse todas as dificuldades que a vida me proporcionou.

Agradeço às minhas irmãs Amanda e Mariana por serem estas pessoas tão especiais e tão importantes na minha vida. Vocês são meus amores, eu amo vocês imensamente, e obrigado por tudo!

Minha namorada Rhayana, que acompanhou minha caminhada pela graduação, sempre me incentivando, e ajudando a não desanimar nos momentos difíceis. Te amo linda, obrigado por ser essa pessoa incrível, e me dar o privilégio de estar ao seu lado.

Ao vô Iracy, vó Ana, minha mãe Rosana, e todos da minha família, por terem me dado apoio, e terem me incentivado e me apoiado nas decisões que tomei.

Meu tio Chico, minha tia Lene, que infelizmente não está mais entre nós, mas está nos olhando de onde estiver, e meus primos (Thales, Clóvis, Thiago e Priscila) que considero irmãos.

Agradeço aos meus colegas de classe por serem pessoas maravilhosas, independente de nossas diferenças. Em especial ao André Lemes, Gustavo Makimori e Fernanda Rubio, que são pessoas que além de dividirem os horários de classe comigo, estiveram presente em boas partes dos meus dias pessoais durante o período da graduação. Aos meus amigos do Santa Cecília (China, Muga, Galana, Valdir, Eduardo, Igor, Luan), que sobretudo, formaram uma família comigo em Campo Mourão, e são pessoas que levarei no meu coração para resto da vida.

Ao professor Charles Haminiuk, por ter sido a pessoa que orientou na vida acadêmica científica.

Ao Marcos Vieira da Silva por ter colaborado com tanta experiência e competência nos dias de laboratório.

A UTFPR por todos os recursos fornecidos para meu crescimento profissional.

RESUMO

GUAZELLI, R.M. Estudo do comportamento reológico de polpa de frutas. 2015. 33f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos), **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. Campo Mourão, 2015.

O estudo do comportamento reológico de polpa de frutas é de essencial importância na indústria alimentícia, pois todo o sistema industrial depende destas características para que se possa fazer o dimensionamento correto do processamento. Este estudo buscou avaliar o comportamento reológico de onze tipos de polpas de frutas comerciais. Os valores das viscosidades aparentes foram determinados pela relação dos parâmetros tensão de cisalhamento (Pa) e taxa de cisalhamento (s^{-1}). Os dados reológicos foram ajustados ao modelo reológico Lei da Potência. Em função do ajuste não-linear dos dados ao modelo matemático, obteve-se os parâmetros reológicos índice de comportamento e coeficiente de consistência. A maioria das polpas apresentou comportamento não-newtoniano pseudoplástico, com exceção das polpas de caju e laranja que chegaram a um comportamento próximo ao newtoniano. Com o aumento da taxa de cisalhamento a tensão de cisalhamento tendeu a um aumento, ao contrário da viscosidade que diminuiu com este fator. Dessa forma foi verificado que o modelo de Lei da Potência ajustou-se bem aos dados reológicos experimentais para polpas de frutas.

Palavras-chave: Polpa de frutas, Reologia, Lei da Potência.

ABSTRACT

GUAZELLI, R.M. Estudo do comportamento reológico de polpa de frutas. 2015. 32f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Alimentos), **Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. Campo Mourão, 2015.

The study of the rheological behavior of fruit pulp is very important in the food industry, for the whole industrial system depends on these features so you can make the correct scaling processing. This study aimed to evaluate the rheological behavior of eleven types of commercial fruit pulps. The values of the apparent viscosities were determined by the ratio of shear stress parameters (Pa) and shear rate (s^{-1}). The rheological data were adjusted to rheological model Law of Power. Due to the non-linear fit of the data to the mathematical model, the rheological parameters were obtained behavior index and consistency coefficient. Most pulps presented non-Newtonian shear thinning behavior, except for cashew and orange pulp that reached a near Newtonian behavior. With increasing shear rate to shear stress tended to increase, unlike the viscosity decreased with this factor. Thus it was found that the power law model set well to the experimental rheological data for fruit pulp.

Key-words: Pulp fruits, Reology, Law of Power.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Parâmetros reológicos das polpas de frutas obtidos pelo modelo Lei da Potência	24
---	----

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Classificação dos fluidos com relação ao seu comportamento reológico. Fonte: Oliveira (1999).....	15
Figura 2. Reograma para diferentes tipos de fluidos não newtonianos.....	17
Figura 3. Curvas de fluxo para as polpas na faixa de taxa de cisalhamento de 0,01 a 55 s ⁻¹	20
Figura 4. Curvas de viscosidade para as polpas na faixa de taxa de cisalhamento de 0,01 a 55 s ⁻¹	21
Figura 5. Curvas de fluxo para as polpas na faixa de taxa de cisalhamento de 0,01 a 70 s ⁻¹	21
Figura 6. Curvas de viscosidade para as polpas na faixa de taxa de cisalhamento de 0,01 a 70 s ⁻¹	22
Figura 7. Curvas de fluxo para as polpas na faixa de taxa de cisalhamento de 0,01 a 85 s ⁻¹	22
Figura 8. Curvas de viscosidade para as polpas na faixa de taxa de cisalhamento de 0,01 a 85 s ⁻¹	23

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	11
2 OBJETIVOS.....	12
2.1 OBJETIVO GERAL.....	12
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	12
3 REVISÃO DE LITERATURA.....	13
3.1 POLPA DE FRUTA.....	13
3.2 REOLOGIA.....	14
4 METODOLOGIA.....	18
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	20
6 CONCLUSÕES.....	27
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	28

1 INTRODUÇÃO

As polpas de frutas são consideradas como suspensões, onde as partículas sólidas são dispersas numa fase aquosa. A estabilidade desta suspensão depende de inúmeros fatores, e é um aspecto que determina a qualidade da polpa analisada, já que é um fator importante quando se relaciona com o controle de processo. Os aspectos que influenciam na estabilidade da polpa são inúmeros, sendo os mais influentes o conteúdo total de sólidos, o tamanho das partículas, o formato das partículas. Esses aspectos estão diretamente ligados às propriedades reológicas da polpa (FERGUSON e KEMBLOWSKI, 1991; SERVAIS *et al.*, 2002).

Reologia é a ciência que estuda a deformação e o fluxo de uma matéria. O comportamento reológico de uma substância é, na maioria das vezes, apresentado traçando-se um gráfico de taxa de cisalhamento por tensão de cisalhamento (reograma). Em geral, a substância pode apresentar comportamento newtoniano ou não-newtoniano, sendo que este abrange os fluidos dilatantes, plástico, pseudo-plástico e comportamento de Bingham. Um fluido newtoniano apresenta crescimento linear da tensão de cisalhamento em função da taxa de cisalhamento (BARNES, 1999).

Entender o comportamento reológico de produtos alimentícios é importante para o desenvolvimento do produto, e interfere diretamente na linha de produção industrial, alterando posições e modelos de equipamentos como bombas, tubulações, trocadores de calor, evaporadores, esterilizadores e misturadores. O conhecimento das propriedades reológicas dos alimentos pode mostrar qual o comportamento do fluido sob diferentes condições de processamento. Existem inúmeros trabalhos que avaliam as propriedades reológicas de polpa e purês de frutas. (RAO, 1977; IBARZ *et al.*, 1995; BHATTACHARYA, 1999; AHMEDE RAMASWAMY, 2004).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar o comportamento reológico de polpas de onze tipos de frutas comercializadas na cidade de Campo Mourão.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar as curvas de fluxos das amostras;
- Obter as curvas de viscosidade das polpas de frutas;
- Obtenção dos parâmetros reológicos pelo ajuste dos dados ao modelo Lei da Potência;

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 POLPA DE FRUTA

A maior facilidade no transporte, e no controle de qualidade faz com que a maior prática realizada em escala industrial seja a produção de polpas congeladas, viabilizando a utilização de inúmeros processos. O crescimento da indústria frutícola brasileira tem se baseado, em grande parte, na produção de polpas de frutas congeladas em fábricas de pequeno e médio porte (FERREIRA et al., 2002).

A polpa de fruta é o produto obtido pelo esmagamento da fruta limpa, ou seja, sem suas partes não comestíveis como sementes e cascas. É um produto comum na indústria alimentícia e atende vários ramos do setor alimentício, dentre eles podemos citar o ramo de sucos, iogurtes, doces, balas, sorvetes, etc. (FEITOSA, 1996).

Segundo Franco & Landgraf (1996) é um produto não fermentado, não concentrado, não diluído, obtida pelo esmagamento das partes comestíveis de frutas carnosas, sadias, limpas e isenta de parasitas e de outros detritos animais e vegetais, através de processos tecnológicos adequados. Tal produto não poderá conter substâncias estranhas à sua composição normal, exceto àquelas previstas na legislação específica.

A procura pelas polpas de frutas teve um aumento significativo nos últimos anos. Este fato ocorreu devido as polpas terem uma maior vida de prateleira do que a fruta propriamente dita, cerca de seis meses, e possibilita ser matéria prima para outros tipos de produtos. (HAMINIUK, 2007).

A indústria de polpa de frutas tem como objetivos a obtenção de produtos com características sensoriais e nutricionais próximas da fruta *in natura*, segurança microbiológica e qualidade, visando não apenas a atender aos padrões exigidos pela legislação brasileira, como também às exigências do consumidor (AMARO et al., 2002).

A indústria de polpas congeladas de frutas tem se expandido bastante nos últimos anos, notadamente no Nordeste brasileiro, sendo que unidades fabris são compostas, em sua maioria, de pequenos produtores, onde grande parte deles utilizam processos artesanais, sem a devida observação das técnicas adequadas de

processamento. A polpa congelada, por apresentar características de praticidade, vem ganhando grande popularidade, não só entre as donas de casa, mas também em restaurantes, hotéis, lanchonetes, etc., a qual é utilizada principalmente na elaboração de sucos (OLIVEIRA et al., 1999).

De acordo com a Resolução - CNNPA nº 12, de 1978 da ANVISA, o produto deve ser preparado com frutas sãs, limpas e isentas de parasitos e de detritos animais ou vegetais. Não deve conter fragmentos das partes não comestíveis da fruta, nem substâncias estranhas à sua composição normal, exceto as previstas nesta Norma. Será tolerada a adição de sacarose em proporção a ser declarada no rótulo. Quanto às características organoléticas, devem apresentar:

- Aspecto: pasta mole;
- Cor: própria;
- Cheiro: próprio;
- Sabor: próprio.

A polpa é formada por duas fases distintas, a fase líquida e a fase sólida. Na fase líquida estão presentes compostos solúveis, como por exemplo vitaminas, sais minerais, carboidratos e água. Por outro lado, a fase sólida é composta de sólidos insolúveis, e por células trituradas ou não.

3.2 REOLOGIA

Reologia é definida como a ciência de deformação e de fluxo. Envolve o estudo de materiais com propriedades descritas por relações entre força e deformação. Como a reologia mostra como é o comportamento do fluido quando o mesmo é submetido a estresse e pressão aplicados, é uma área que tem aplicações em diversas regiões de estudo, tais como desenvolvimento de produtos, cálculos de engenharia de processos, controle de qualidade, estudos de estabilidade, e as correlações de dados sensoriais. Muitos alimentos processados são formulados para exibir comportamento reológico desejado sob condições de estresse específico, como a gravidade, escoamento, a sensação na boca.(CULLEN, 2011).

Na reologia de sólidos, a propriedade de maior interesse é a elasticidade, ao passo que, em líquidos, a viscosidade é a propriedade física dos fluídos que

caracterizam a sua resistência ao escoamento. A viscosidade é a propriedade física de um líquido de resistir ao fluxo induzido pela tensão aplicada (cisalhamento). Ela é dependente da natureza físico-química da substância, da temperatura, da pressão, da taxa de cisalhamento e do tempo e para definir a viscosidade em função de um desses fatores os outros devem ser mantidos constantes e bem definidos (CASTRO, 2007).

A Figura 1 mostra a classificação dos fluidos conforme seu comportamento reológico.

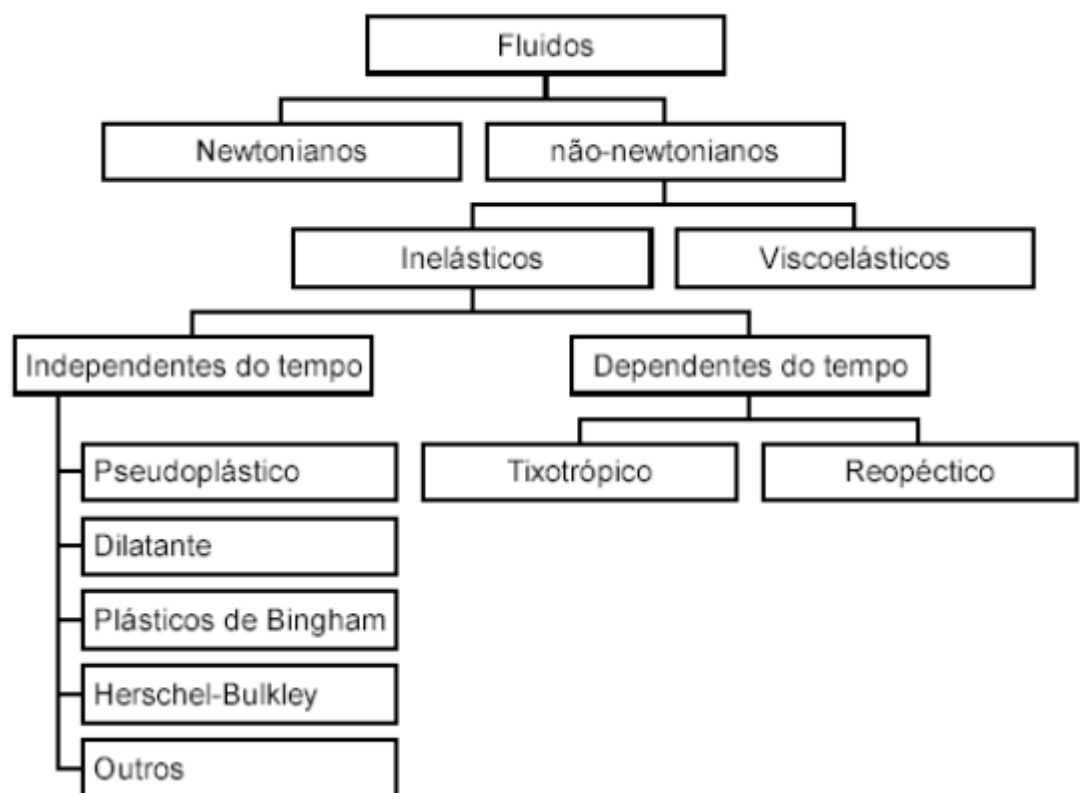


Figura 1. Classificação dos fluidos com relação ao seu comportamento reológico. **Fonte:** Oliveira (1999)

O comportamento reológico dos fluidos está dividido em newtonianos e não – newtonianos, onde os newtonianos apresentam reograma (tensão de cisalhamento x taxa de cisalhamento) com relações lineares, que dependem da composição do fluido e da temperatura. Os fluidos não – newtonianos são considerados inelásticos, dependem ou não do tempo, e os que independentes de tempo, não são afetados pelo histórico anterior de deformação (pseudoplásticos). O comportamento reológico

é importante e deve ser utilizados nos parâmetros de qualidade, de avaliação, e operação dos equipamentos processadores de alimentos. (MASCOSO, 1994).

Estudos mostram que sucos e purês de frutas são fluidos pseudoplásticos, sendo o afastamento do comportamento newtoniano determinado pelo teor de polpa, onde os sucos totalmente despulpados se comportam como newtonianos. A reologia do fluido é alterada pelo teor de sólidos da polpa, pela ação enzimática ou mecânica, desde que altere a estrutura da polpa. (TRIFIRÓ et al, 1987).

Os sucos clarificados e despectinizados apresentam comportamento newtoniano, ao passo que os sucos concentrados e as polpas não seguem a lei da viscosidade de Newton (HOLDSWORTH, 1971; MIZRAHI et al, 1971). Segundo Holdsworth (1971), a maioria dos alimentos fluidos derivados das frutas apresenta comportamento pseudoplástico, onde a viscosidade aparente decresce com o aumento da taxa de deformação.

O comportamento reológico de polpas de frutas, cuja composição é constituída basicamente de água, além da presença de variados sólidos, solúveis e insolúveis, resulta da interação entre estes elementos que contribuem de forma isolada ou potencializada, quando combinados (QUEIROZ, 1998).

Dentre as propriedades físico-químicas que caracterizam as polpas de frutas, o comportamento reológico é de grande importância para a indústria e ciência, entretanto existe escassez de dados reológicos a respeito das frutas brasileiras (VIDAL & GASPARETTO, 2000). A matéria-prima produzida no Brasil apresenta características diferentes das matérias-primas fabricadas no resto do mundo, por isso é importante o estudo sobre caracterização reológica de produtos brasileiros, considerando a influência dos muitos fatores que afetam as propriedades ligadas ao escoamento (BEZERRA, 2000).

O modelo reológico mais simples é o newtoniano, que apresenta uma relação linear entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação. No entanto, a maioria dos alimentos fluidos não apresenta esse tipo de comportamento e requer modelos mais complexos para sua caracterização (HOLDSWORTH, 1971; TABILO-MUNIZAGA; BARBOSA-CÁNOVAS, 2005). A escolha do modelo a ser utilizado é uma função das características do fluido (RAO; ANANTHESWARAN, 1982). Os modelos mais comumente utilizados são: Ostwald-de Waele, Plástico de Bingham, Hershel-Bulkley e Casson. A Figura 2 mostra o reograma de fluidos não-

newtonianos, que segundo Holdsworth (1971), é o comportamento da maioria das polpas de frutas.

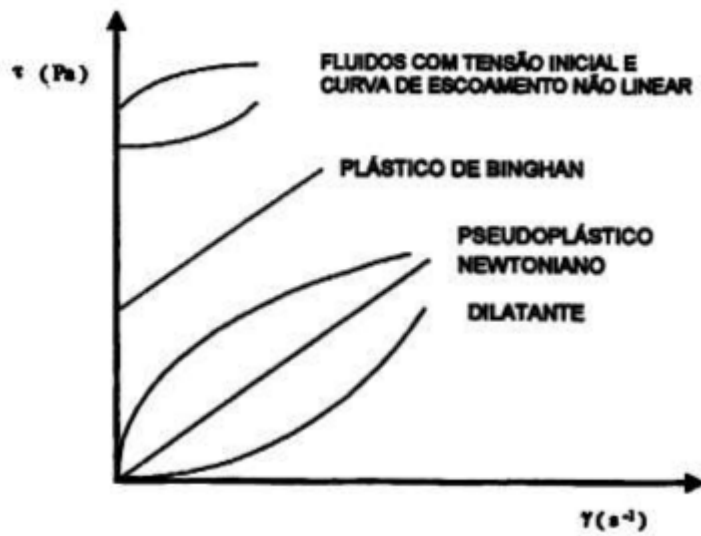


Figura 2. Reograma para diferentes tipos de fluidos não newtonianos.

4 METODOLOGIA

As análises foram realizadas nos laboratórios da UTFPR Câmpus Campo Mourão.

4.1 AMOSTRAS

Para este estudo, as seguintes amostras de polpa de fruta foram obtidas no comercio de Campo Mourão: goiaba, morango, cupuaçu, coco, acerola, uva, maracujá, caju, abacaxi, açaí, laranja. As amostras foram mantidas a temperatura de $-18\text{ }^{\circ}\text{C}$, adequado para evitar alterações do produto até o momento da análise.

4.2 ANÁLISE REOLÓGICA

O comportamento reológico foi estudado com as polpas de fruta em sua forma integral e mantidas a temperatura de $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ com auxílio de um banho termostático acoplado ao reômetro.

O reômetro Brookfield, modelo DV-III foi utilizado (Brookfield Engineering Laboratories, Massachussets, EUA), variando o rotor (spindle), SC4-25 para amostras aparentemente mais viscosas, SC4-31 para as de viscosidade intermediaria e SC4-34 para as amostras menos viscosas. Testes prévios foram realizados para saber qual spindle era mais adequado e que melhor representava o comportamento da amostra.

Tensão de cisalhamento (τ), taxa de cisalhamento ($\dot{\gamma}$) e viscosidade aparente (η_{ap}) foram os dados obtidos por meio do software Rheocalc (versão V2.3, Brookfield Engineering Laboratories, EUA).

O volume de amostra utilizado foi o necessário para encher o cilindro amostradore cobrindo o spindle, dessa forma o volume variou de acordo com o spildle utilizado, pois estes possuem diâmetros diferentes. As análises foram realizadas em duplicata e após cada uma, as amostras foram descartadas para evitar desvios devido a mudanças no comportamento reológico que possam ter ocorrido durante a análise.

As corridas experimentais tiveram duração de 1,7 minutos para as curvas ascendentes (correspondente a 5,1 segundos x 20 pontos) e 1,7 minutos para as

curvas descendentes (correspondente a 5,1 segundos x 20 pontos). Para cada spindle utilizado, foi feita uma programação da faixa da taxa de cisalhamento, 0,01 a 55⁻¹ para o spindle SC4-25, 0,01 a 70⁻¹ para o SC4-34 e 0,01 a 85⁻¹ para o SC4-31.

Para ambas as curvas (ascendente e descendente), obtiveram-se 20 pontos de tensão de cisalhamento versus taxa de cisalhamento, resultando em 40 pontos, dos quais foi calculado o valor médio da tensão de cisalhamento para cada taxa de cisalhamento.

4.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

O modelo reológico de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) foi utilizado no ajuste dos dados experimentais, utilizando o software ORIGIN 7.0 (OriginLab Corporation, Massachussets, USA) e a análise desse ajuste foi feita através dos parâmetros estatísticos coeficiente de determinação, onde

R^2 mede a proporção da variação total da média explicada pela regressão, definido como a soma quadrática total:

$$R^2 = \frac{SQR}{SQT} = \pm \frac{\sum(y_{\text{pred}} - \bar{y})^2}{\sum(y_{\text{obs}} - \bar{y})^2}$$

onde:

\bar{y} = média amostral;

SQR = Soma quadrática devido à regressão;

SQT = soma quadrática total.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As curvas de fluxo (tensão de cisalhamento x taxa de cisalhamento), assim como as curvas de viscosidade (viscosidade aparente x taxa de cisalhamento) são apresentadas nas Figuras 3,4,5,6,7 e 8 em cada respectiva faixa de taxa de cisalhamento.

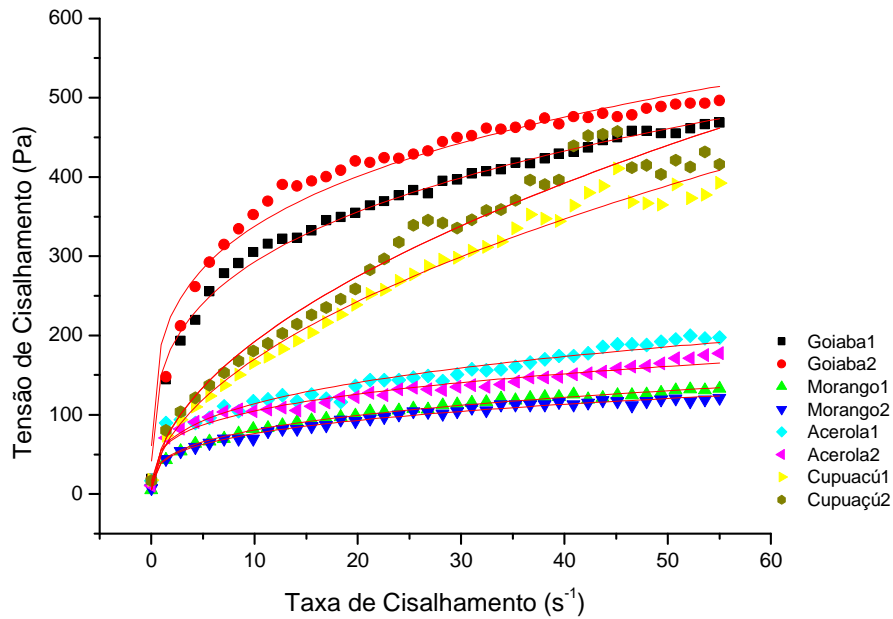


Figura 3. Curvas de fluxo para as polpas na faixa de taxa de cisalhamento de 0,01 a 55 s⁻¹

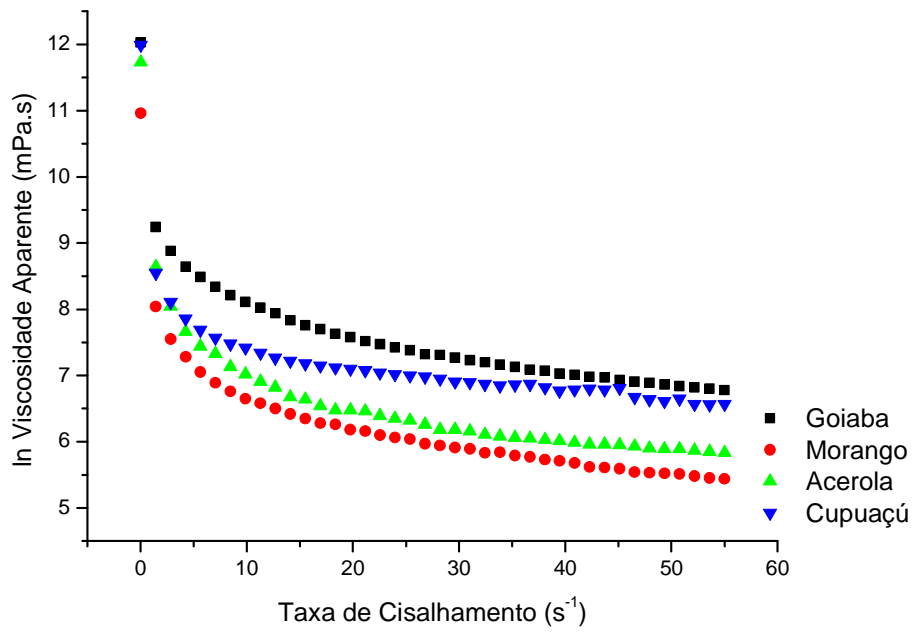


Figura 4. Curvas de viscosidade para as polpas na faixa de taxa de cisalhamento de 0,01 a $55 s^{-1}$

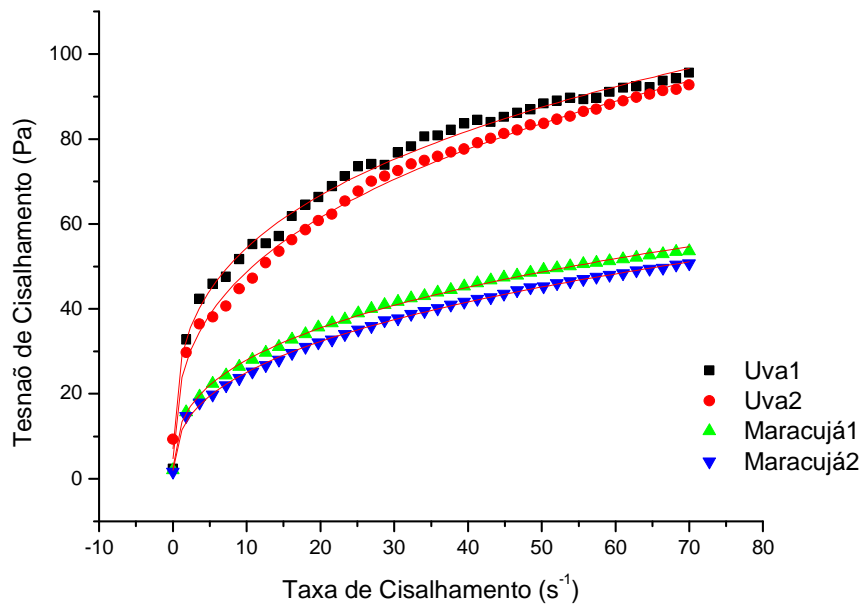


Figura 5. Curvas de fluxo para as polpas na faixa de taxa de cisalhamento de 0,01 a $70 s^{-1}$

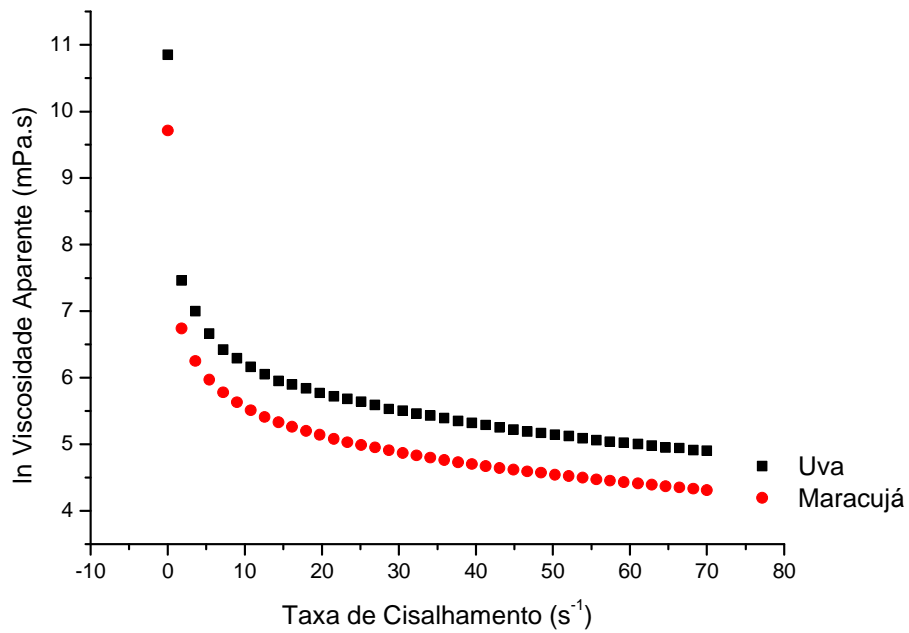


Figura 6. Curvas de viscosidade para as polpas na faixa de taxa de cisalhamento de 0,01 a 70 s⁻¹

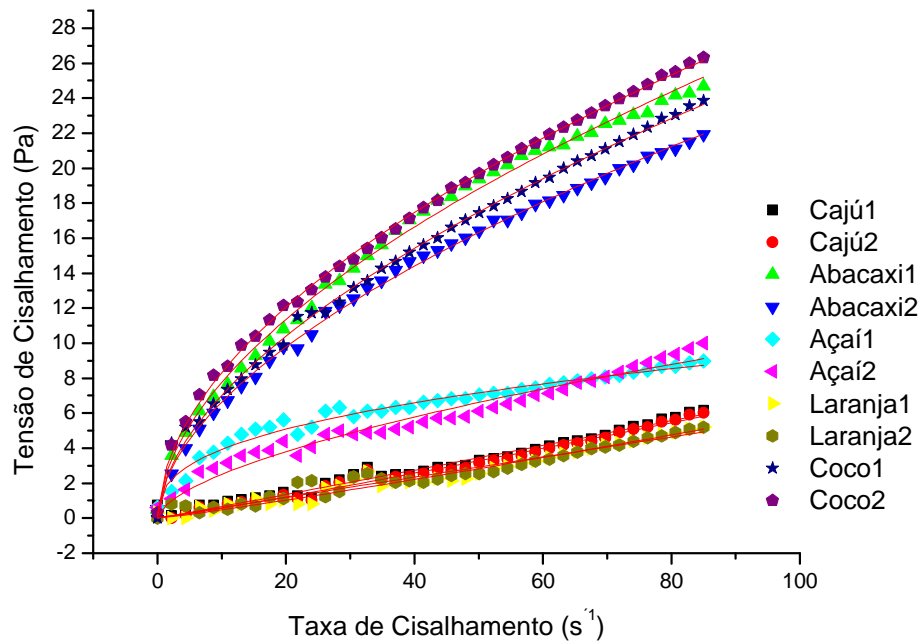


Figura 7. Curvas de fluxo para as polpas na faixa de taxa de cisalhamento de 0,01 a 85 s⁻¹

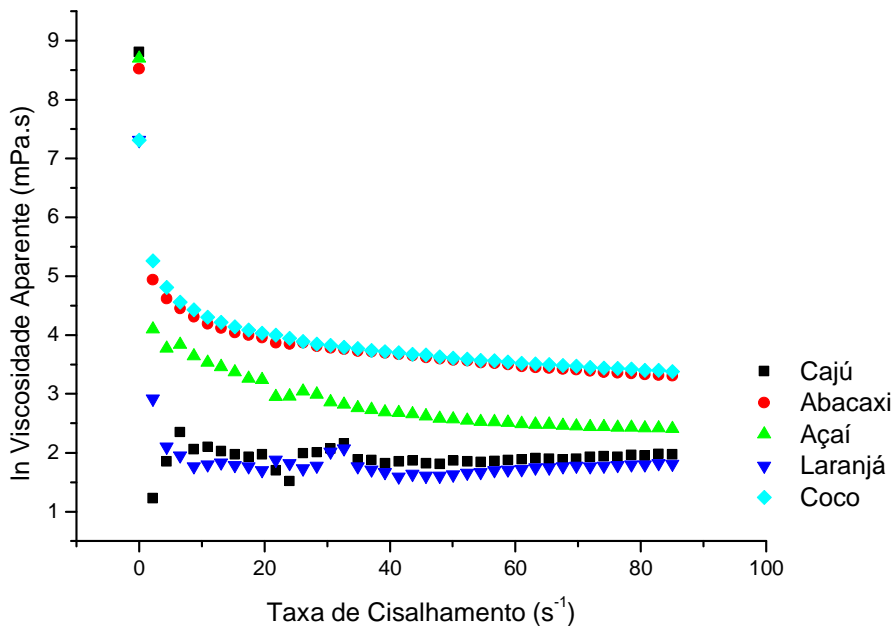


Figura 8. Curvas de viscosidade para as polpas na faixa de taxa de cisalhamento de 0,01 a 85 s⁻¹

De acordo com as Figuras 3, 5, e 7, pode-se observar um comportamento típico de um fluido não-newtoniano pseudoplástico devido ao fato de que para uma taxa de cisalhamento, têm-se diferentes valores de tensão de cisalhamento, com exceção das amostras de polpa de caju e laranja. Esses resultados correlacionam-se com os valores de viscosidade aparente obtida dessas amostras. Nestas figuras os pontos representam os dados experimentais médios obtidos pelo reômetro e as linhas contínuas são resultados do ajuste não-linear dos dados ao modelo Lei da Potência.

Já nos gráficos de viscosidade aparente pela taxa de cisalhamento a diferença destas amostras (caju e laranja) é mais perceptível, pois mesmo com o aumento da taxa de cisalhamento, a viscosidade aparente manteve-se quase que constante, sendo que o mesmo não foi observado para as outras amostras. Para fluidos não-newtonianos, os valores de viscosidade aparente e taxa de cisalhamento ficam em tendências opostas, onde observa-se uma redução acentuada nos valores de viscosidade com o aumento da taxa de cisalhamento.

De acordo com Sugai (2002), as polpas de frutas, dispersões de moléculas ou partículas assimétricas, apresentam no repouso um estado desordenado e quando submetidas a uma tensão de cisalhamento, suas moléculas ou partículas tendem a

orientar-se na direção da força aplicada. Quanto maior a força aplicada, maior será a ordenação, e conseqüentemente, menor a viscosidade aparente. Como a viscosidade aparente das polpas de frutas decresce com o aumento da tensão de cisalhamento, estas são classificadas como fluidos pseudoplásticos.

Os parâmetros reológicos, coeficiente de consistência, índice de comportamento, viscosidade aparente e coeficiente de determinação estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros reológicos das polpas de frutas obtidos pelo modelo Lei da Potência

Lei da Potência				
Polpas	K (Pa.sⁿ)	n*	R²	η (mPa.s)
Goiaba	172,100 ± 9,20	0,264 ± 0,024	0,980	932,56 ± 31,25
Morango	39,620 ± 0,76	0,291 ± 0,009	0,991	247,43 ± 3,45
Acerola	56,615 ± 0,05	0,285 ± 0,025	0,960	360,75 ± 11,45
Cupuaçu	55,520 ± 4,78	0,513 ± 0,001	0,975	769,33 ± 23,49
Uva	24,995 ± 3,56	0,315 ± 0,028	0,994	171,11 ± 9,54
Maracujá	11,735 ± 1,31	0,355 ± 0,015	0,998	94,07 ± 4,56
Caju	0,090 ± 0,04	1,045 ± 0,049	0,980	6,46 ± 0,21
Abacaxi	2,005 ± 0,25	0,554 ± 0,006	0,997	35,71 ± 1,21
Açaí	1,135 ± 0,10	0,489 ± 0,016	0,971	13,12 ± 0,021
Laranja	0,045 ± 0,02	1,045 ± 0,078	0,960	5,09 ± 0,05
Coco	2,160 ± 0,37	0,545 ± 0,021	0,998	37,03 ± 0,91

K – Coeficiente de consistência

n – Índice de Comportamento

η - Viscosidade Aparente

*Adimensional

De acordo com os dados obtidos pode-se notar que o modelo de Lei da Potência apresentou um bom ajuste para todas as amostras com altos valores de coeficiente de determinação. De maneira geral, todas as amostras apresentaram R^2 maior que 0,95. As amostras de caju e laranja apresentaram comportamento newtoniano com o índice de comportamento (n) bem próximo de 1. Para a polpa de caju, Conceição e Gasparetto (2002) obtiveram um k de 3,5949, e n^* a 0,35 a 20°C, entretanto os próprios autores concluíram que os dados não foram representativos e precisos devido a quantidade de fibras terem interferido na análise apresentando um R^2 de 0,4676. Silva et al (2012) encontraram para a polpa de caju os seguintes parâmetros reológicos: $k = 2,29$, $n^* = 0,3391$ e $R^2 = 0,8437$. Estes

valores mostraram próximos a este trabalho, e como as características físico químicas das polpas analisadas são próximas, a tendência dos valores dos parâmetros está correta.

Para a polpa de laranja, Vandressen (2007) encontrou valores semelhantes aos obtidos como índice de comportamento de 0,9907, confirmando que esta amostra possui um comportamento newtoniano.

As demais amostras demonstraram comportamento não-newtoniano pseudoplástico com $n < 1$, sendo que a amostra de polpa de goiaba apresentou viscosidade significativamente maior que as outras (932,56 mPa.s), seguido da polpa de cupuaçu (769,33 mPa.s).

Nestes fluidos a tendência é de que a viscosidade aparente diminua com o aumento da taxa de cisalhamento. Neste tipo de fluido, a curva tensão de cisalhamento/ taxa de cisalhamento não começa na origem, e é côncava para baixo (AHMED *et al.*, 2007; CANET *et al.*, 2005).

As amostras que menores valores de viscosidade aparente (Caju e Laranja) apresentaram índice de comportamento $n^* > 1$, isto indica que são fluidos com comportamentos newtonianos.

Fluidos com esta característica de comportamento tendem a ter uma maior dificuldade de escoamento, exigindo uma maior demanda de força e energia para o deslocamento durante uma produção industrial, tendo também uma maior perda de carga durante o processo, gerando um maior desgaste e requerindo um dimensionamento de equipamentos mais robustos. Dessa forma, para este tipo de amostra, uma alternativa para melhorar o fluxo do material seria um aumento de temperatura, onde segundo estudos como os de Maceira *et al.* (2007); Haminiuk *et al.* (2006); Canet *et al.* (2005), demonstraram que a viscosidade tende a diminuir com o aumento de temperatura. O mesmo tende a acontecer com o índice de consistência (K) segundo Silva *et al.* (2005) que analisou o comportamento da polpa de acerola em diferentes concentrações e temperaturas.

Em um estudo feito por Haminiuk (2007) que avaliou o comportamento de polpas de frutas vermelhas integrais, foi verificado que no seu estado integral as polpas possuíam um comportamento pseudoplástico, assim como a maioria das amostras deste trabalho e pode-se notar que o conteúdo de fibras que compõe cada amostra influencia diretamente no comportamento reológico das polpas, onde em

outras palavras significa que quanto maior a quantidade de fibras, maiores são os valores de tensão de cisalhamento e viscosidade aparente.

Quanto ao coeficiente de consistência (K), os dados demonstraram a mesma tendência de valores da viscosidade aparente, o que já era esperado. Pereira *et al.* (2014) e Silva *et al.* (2005) que estudaram o comportamento reológico de polpa de acerola em diferentes temperaturas e concentrações verificaram que houve uma diminuição dos valores de coeficiente de consistência com o aumento destas variáveis.

6 CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que para polpas de frutas, o modelo de Lei da Potência foi adequado e descreveu bem o comportamento reológico, tendo em vista os altos valores de coeficiente de determinação.

A maioria das polpas apresentou comportamento pseudoplástico, com exceção das amostras de polpa de caju e laranja de obtiveram o índice de comportamento próximo a um, representando um comportamento newtoniano.

Como esperado para este tipo de comportamento, a viscosidade das amostras decresceu com o aumento da taxa de cisalhamento e em estudos de outros autores foi visto que o aumento de temperatura a tendência é de que a viscosidade diminua mais, o que industrialmente falando é uma vantagem, já que fluidos com características mais próximas ao comportamento newtoniano são mais fáceis de promover o escoamento, exigindo menos força e energia, evitando também uma maior perda de carga durante o processo.

Sugere-se que em outros trabalhos seja estudado o efeito da temperatura e concentração da polpa de fruta nas características reológicas, além de comparar outros modelos reológicos.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHMED, J.; RAMASWAMY, H.S. Response surface methodology in rheological characterization of papaya puree. **International Journal of Food Properties**, v. 7, p.45–58, 2004.

AHMED, J.; RAMASWAMY, K. C.; SASHIDHAR, K. C. Rheological characteristics of tamarind (*Tamarindus indica* L.) juice concentrates. **LWT - Food Science and Technology**, v. 40, p.225-231, 2007.

AMARO, A. P.; BONILHA, P. R. M.; MONTEIRO, M. Efeito do tratamento térmico nas características físico-químicas e microbiológicas da polpa de maracujá. **Alimentos e Nutrição**, São Paulo, v. 13, p. 151-162, 2002.

BEZERRA, J.R.M.V. Comportamento reológico da polpa de manga (*Mangifera indica* L-Keitt). 2000. 157 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos. Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

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

BRASIL, Leis, Decretos etc. Ministério de Estado da Agricultura e do Abastecimento. Aprova os regulamentos técnicos para a fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade para polpa das frutas. 7 de janeiro de 2000.

BRASIL - Ministério da Agricultura. **Regulamento técnico para fixação dos padrões de identidade e qualidade para polpa de maracujá**. Disponível em: <http://extranet.agricultura.gov.br/sislegis-consulta/servlet/VisualizarAnexo?id=1617>. Acesso em: 19/06/2015.

CANET, W.; ALVAREZ, M. D.; FERNANDEZ, C.; LUNA, P. Comparisons of methods for measuring yield stresses in potato puree: effect of temperature and freezing. **Journal of Food Engineering**, v. 68, p. 143-153, 2005.

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

CASTRO, A. L., Aplicação de conceitos reológicos na tecnologia dos concretos de alto desempenho. 334f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia dos Materiais) - Área de Interinidades em Ciência e Engenharia dos Materiais, Universidade de São Paulo (USP), 2007.

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, p. 175-184, 2002.

CULLEN, P. J. Fluid Rheology in Novel Thermal and Non-Thermal Processes. **Novel Thermal and Non-Thermal Technologies for Fluid Foods**, p. 35-61, Chapter 3, 2011.

FEITOSA, T., MUNIZ, C. R., BASTOS, M. S. R., OLIVEIRA, M. E. B., OLIVEIRA, S. Perfil microbiológico de frutas produzidas e comercializadas no estado do Ceará e Rio Grande do Norte, In: **Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 15, Poços de Caldas, MG, 1996.

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. 177-184, 2002.

FRANCO, B. M., LANDGRAF, M. Microbiologia de Alimentos. São Paulo. Atheneu, 1996.

GONGATTI NETO, A.; ARDITO, E.F.G.; GARCIA, E.E.C.; BLEINROTH, E.W.; FREIRE, F.C.O.; MENEZES, R.E. Acerola exportação: procedimento de colheita e pós-colheita: EMBRAPA – SPJ, 1996.

HAMINIUK, C. W. I. **Estudo do comportamento reológico e colorimétrico das misturas ternárias e sistemas pécticos de polpas de morango, amora-preta e framboesa**. 2007. 147f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

HAMINIUK, C. W. I.; SIERAKOWSKI, M. R.; IZIDORO, D. R.; MASSON, M. L. Rheological Characterization of Blackberry Pulp. **Brazilian Journal Food Technology**, v. 9, p. 291-296, 2006.

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

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (São Paulo). Métodos físico-químicos para análise de alimentos /coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea -- São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008 p. 1020

BARNES, H. A. The yield stress – a review or ‘πανταρει’ – everything flows? **J. Non-Newtonian Fluid Mech**, v.81, p. 133–178, 1999.

FERGUSON, J.; KEMBLOWSKI, Z. **Applied Fluid Rheology**, (first ed.) Elsevier, New York, 323p, 1991.

IBARZ, A., GINER, J., PAGAN, J., GIMENO, V.; GARZA, S. Rheological behavior of kiwi fruit juice concentrates. **Journal of Texture Studies**, v.26, p.137–145, 1995.

OLIVEIRA, M.E.B.; BASTOS, M.S.C.; FEITOSA, T.; BRANCO, M.A.A.C.; SILVA, M.G.G. Avaliação de parâmetros de qualidade físico-químicos de polpas congeladas de acerola, cajá e caju. *Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos*, Campinas, v.19, n.3, 1999.

ONIAS, E., BEZERRA, R. R., SILVA, A. L., COSTA, F., & CHINELATE, G. (2012). Caracterização físico-química de polpa de açaí. **Caderno Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável**, 1(1).

MACEIRAS, R.; ALVAREZ, E.; CANCELA, M. A. Rheological properties of fruit purees: Effect of cooking. **Journal of Food Engineering**, v. 80, p. 763-769, 2007.

MACOSCO, C. W. Rheology: principles, Measurements and applications. Minneapolis, **VCH publishers**, inc., 1994.

MIZRAHI, S.; BERK, Z. Flow behavior of concentrated orange juice: mathematical treatments. *Journal of Texture Studies*, v.3, n.1, p.69-79, 1971.

PEREIRA, C. G.; RESENDE, J. V.; GIAROLA, T. M. O. Relationship between the thermal conductivity and rheological behavior of acerola pulp: Effect of concentration and temperature. **LTW – Food Science and Technology**, v. 58, p. 446-453, 2014.

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

RAO, M. A.; STEFFE, J. F. *Viscoelastic Properties of Foods*. **Elsevier Applied Science**, p. 441, London, 1992.

RAO, M. A.; ANANTHESWARAN, R. C. Rheology of fluids in food processing. **Food Technology**, v. 36, n. 2, p. 116-126, 1982.

RAO, M.A. Rheology of liquid food: a review. **Journal of Texture Studies**, v.8, p.135-168, 1977.

SILVA, M. E. da; ARAÚJO, G. T. de; ALVEZ, J.J.N. Avaliação das características físico-químicas da polpa do pseudofruto do Caju (*Anacardium occidentale* L.) visando obter um fermentado para a produção de etanol hidratado. **Universidade Federal de Campina Grande**, 2012.

SILVA, F. C.; GUIMARÃES, D. H. P.; GASPARETTO, C.A. Reologia do suco de acerola: efeitos da concentração e temperatura. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 25, p. 121-126, 2005.

SILVA, L. M. R. da et al. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 33, n. 1, p. 237-248, jan./mar. 2012

SUGAI, A. Y. Processamento descontínuo de purê de manga (*Mangifera indica* Linn.), variedade Haden: estudo da viabilidade do produto para pronto consumo. 2002. Dissertação de Mestrado (Mestre em Engenharia) – Departamento de Engenharia Química da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. **Universidade de São Paulo**, São Paulo.

TABILO-MUNIZAGA, G.; BARBOSA-CÁNOVAS, G. V. Rheology for the food industry. **Journal of Food Engineering**, v. 67, p. 147-156, 2005.

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

VANDRESSEN, S. **Caracterização físico-química e comportamento reológico de sucos de cenoura e laranja e suas misturas**. 2007. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

VIDAL, J.R.M.B.; GASPARETTO, C.A.; GRANDIN, A. Efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de manga. **Revista de Ciências Exatas e Naturais**, v.1, n.2, p.69–76, 2000.