

Estudo do efeito da temperatura sobre o comportamento reológico das polpas de gabioba e goiaba

Ricardo Cardoso de Oliveira*, Robson Marcelo Rossi e Sueli Teresa Davantel de Barros

Departamento de Engenharia Química, Universidade Estadual de Maringá, Av. Colombo, 5790, 87020-900, Maringá, Paraná, Brasil. *Autor para correspondência. E-mail: oliveira.rc@hotmail.com

RESUMO. Neste trabalho um estudo sobre o comportamento reológico das polpas de gabioba e goiaba foi estudado na faixa de temperatura de 20 – 35°C. As medidas reológicas foram feitas em reômetro Brookfield equipados com cilindro coaxial. Os reogramas foram ajustados a partir dos dados experimentais para os modelos de Ostwald de Waale, Bingham e Herschell-Buckley pela metodologia Bayesiana. Para ambas as polpas foram verificadas o comportamento pseudoplástico e sendo a pseudoplasticidade maior em baixas temperaturas. Considerando o modelo de Ostwald de Waale, a viscosidade aparente e o índice de consistência diminuíram com o aumento da temperatura ao passo que índice de comportamento aumentou com o aumento de temperatura.

Palavras-chave: reologia, polpa, gabioba, goiaba.

ABSTRACT. Study of temperature effect on rheological behavior of gabioba and guava pulps. In this work a study on the rheological behavior of the guava and gabioba pulp were studied in temperature range from 20 – 35°C. The rheological measurements were made in Brookfield rheometer equipped with coaxial cylinder. The rheograms were adjusted from the experimental data for the models of Ostwald de Waale, Bingham and Herschell-Buckley by Bayesian methodology. For both the pulps the pseudo plastic behavior was found, and pseudo plasticity was bigger at low temperatures. Considering the Ostwald de Waale model, the viscosity and consistency index decreased with the rising of the temperature while index of behavior increased with the rising of the temperature.

Keywords: rheological, pulp, gabioba, guava.

Introdução

As questões relacionadas ao manuseio de frutas em escala industrial têm como uma das soluções mais práticas a transformação da matéria-prima em polpa, 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). 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).

A gabiobeira pertence à família *Myrtaceae*, a mesma da goiabeira, e ao gênero *Campomanesia*, que apresenta 25 espécies distribuídas do México à Argentina, sendo 15 delas nativas do Brasil. Os frutos são bagas arredondadas de sabor adocicado

com diâmetros entre 15 e 20 centímetros. A planta é rica em vitamina C e seus frutos e folhas são utilizados no combate à gripe. As cascas possuem substâncias adstringentes que são indicadas no tratamento de diarreias, câibras e males do trato urinário.

A goiaba é o fruto produzido pela goiabeira. Possui alto valor nutritivo, pois apresenta grande quantidade de vitamina A, vitamina B1, vitamina C, cálcio, fósforo, ferro e fibras solúveis. Apresenta formatos diferentes, coloração da casca verde-amarela variável de acordo com a maturação do fruto, polpa de coloração variável podendo ser branca, rosada ou vermelha e interior preenchido por sementes. A goiaba é um fruto de alto benefício ao organismo humano, pois além de não conter muito açúcar, gordura e calorias, ela auxilia no combate a infecções e hemorragias, fortifica os ossos, os dentes e o músculo cardíaco.

A polpa para suco de frutas é rica em partículas insolúveis e em materiais insolúveis suspensos constituídos, principalmente, por substâncias

pécticas, polissacarídeos, proteínas, taninos, metais e microorganismos. Segundo Costell e Duran (1982), todos os líquidos derivados de frutas são sistemas bifásicos, compostos por partículas sólidas dispersas em um meio aquoso. Alguns apresentam escoamentos newtonianos, embora a maioria flua com características pseudoplásticas mostrando, por vezes, uma resistência inicial ao fluir e/ou uma dependência do tempo. A variabilidade está relacionada com a alteração estrutural provocada pelo cisalhamento.

Em geral, o comportamento reológico dos sucos de frutas não pode ser descrito por uma equação newtoniana. De acordo com a literatura, os fluidos não Newtonianos são classificados conforme os aspectos do reograma, representação gráfica da tensão de cisalhamento (τ) em função da taxa de deformação ($\dot{\gamma}$) e a viscosidade dos mesmos não é única e varia com a magnitude da taxa de cisalhamento.

Na literatura há diversas equações que descrevem o comportamento não-newtoniano, entre elas as mais utilizadas são: modelo de Ostwald de Waale, modelo de Bingham e modelo de Herschell-Buckley, apresentados na Tabela 1.

Tabela 1. Modelos usados para o estudo do comportamento reológico das polpas de frutas.

Modelo	Equação
Ostwald de Waale	$\tau = K \left(\dot{\gamma} \right)^n$ (1)
Bingham	$\tau = \tau_o + K_B \cdot \dot{\gamma}$ (2)
Herschell-Buckley	$\tau = \tau_o + K_h \left(\dot{\gamma} \right)^{n_h}$ (3)

Em que:

τ é a tensão de cisalhamento (dyna cm⁻²);

K é o índice de consistência (dyna cm⁻² sⁿ) para a

Lei da Potência;

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

n é o índice de comportamento de fluido para a

Lei da Potência;

τ_o é a tensão residual (dyna cm⁻²);

K_B é índice de consistência para o modelo de Bingham (dyna cm⁻² sⁿ);

K_h é índice de consistência para o modelo de Herschell-Buckley (dyna cm⁻² sⁿ);

n_h é o índice de comportamento de fluido para modelo de Herschell-Buckley.

A temperatura é um parâmetro relacionado com a energia interna da substância ou mistura. A

experiência tem mostrado que a viscosidade de um líquido é altamente influenciada por mudanças da temperatura. A viscosidade dos líquidos incompressíveis varia inversamente com a temperatura absoluta, apresentando um comportamento exponencial conforme a equação estatística (4), semelhante à equação de Arrhenius:

$$Y = A.e^{\frac{B}{T}} \quad (4)$$

em que Y é o parâmetro do modelo (listados na Tabela 1) a ser ajustado, A e B são constantes que dependem da natureza de cada líquido e T é a temperatura absoluta, em kelvin (K).

Linearizando a equação (4), tem-se a equação (5) a partir da qual se pode obter os valores das constantes A e B.

$$\ln Y = \ln A + \frac{B}{T} \quad (5)$$

Este trabalho tem como objetivos: (a) realizar o estudo reológico das polpas de gabioba e goiaba em diferentes temperaturas; (b) avaliar a aplicabilidade de alguns modelos reológicos.

Material e métodos

Medidas reológicas

As medidas reológicas foram feitas em reômetro Brookfield – Model DV-III – Programmable Rheometer, equipados com cilindro coaxial. Um banho termostaticado de água foi usado para o controle das temperaturas de ensaio: 20, 25, 30 e 35°C. A taxa de deformação variou 0,068 até 0,68 s⁻¹ para a polpa de goiaba e de 1,70 até 44,5 s⁻¹ para a polpa de gabioba. Estas faixas de taxa de deformação utilizadas foram fixadas mediante um estudo prévio da sensibilidade do equipamento. Os experimentos foram feitos em duplicata, utilizando-se para cada repetição, uma nova amostra. A média aritmética dos valores obtidos em cada condição experimental foi usada para fazer o ajuste dos dados aos modelos listados na Tabela 1. Os pontos de deformação foram coletados metade em escala ascendente e, a outra metade, em escala descendente.

Ajuste dos dados aos modelos

As estimativas dos parâmetros das curvas analisadas foram obtidas por meio de um procedimento Bayesiano. Alternativamente às técnicas frequentistas, tal metodologia apresenta vantagens, principalmente nas obtenções de

estimativas de parâmetros do modelo que será ajustado a pequenas amostras de dados. Foi assumido que as respostas dos parâmetros estudados têm características de uma distribuição Normal, isto é:

$$y \sim N(\mu, \sigma^2)$$

Para todos os parâmetros dos modelos foram consideradas *a priori* distribuições Gama não-informativas, também truncadas do intervalo (0,1), isto é: parâmetros $\sim \text{Gama}(10^{-3}; 10^3)I_{(0,1)}$.

A obtenção das distribuições marginais *a posteriori*, para os parâmetros, foi por meio do pacote BRugs do programa R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2007).

Foram gerados 10.000.000 de valores em um processo MCMC (*Monte Carlo Markov Chain*), considerando um período de descarte amostral de 10% valores iniciais. A amostra final tomada com saltos de 200 contém 5000 valores gerados. A convergência das cadeias foi verificada por meio do programa CODA (BEST et al., 1995), pelos critérios de Geweke (1992) e de Heidelberger e Welch (1983).

Baseados na amostra final foram obtidos as estatísticas de interesse *a posteriori*: média, desvio-padrão e intervalo de credibilidade em nível de 95% para a média. Foi utilizado o Critério de Informação da Deviance (DIC) para a escolha do modelo. O DIC pode ser utilizado tanto para a comparação, quanto para seleção de (co)variáveis em modelos. Spiegelhalter et al. (2002) sugerem utilizar o seguinte critério para o módulo da diferença entre os valores de DIC de dois modelos, A e B analisados. Esse critério é apresentado pela equação 6.

$$D = |\text{DIC}_A - \text{DIC}_B| \quad (6)$$

assim,

se $D < 5$, conclui-se que a diferença é não-significativa;

se $5 \leq D \leq 10$, conclui-se que a diferença é significativa;

se $D > 10$, conclui-se que a diferença é altamente significativa.

Resultados e discussão

Características físico-químicas da goiaba e da gabioba

Na Tabela 2 são apresentados alguns parâmetros físico-químicos avaliados para a polpa de goiaba e gabioba. Estas análises físico-químicas foram realizadas segundo a metodologia da AOAC (1992).

Tabela 2. Características físico-químicas das polpas.

Análise	Goiaba	Gabioba
pH	3,90	3,94
Sólidos solúveis (°Brix)	5,50	14,5
Acidez titulável (%)	0,853	*

*não-avaliado.

O valor do pH está compatível ao encontrado por Lima et al. (2001) quando caracterizou goiabas na região do Submédio São Francisco, onde obtiveram pH na faixa de 3,72 a 4,22. Argenta et al. (1995), caracterizando frutos de goiabeira, que acharam uma acidez titulável de goiabas maduras, variando de 0,40 a 1,04%. Entretanto, ITAL (1978), caracterizando goiabas vermelhas em três diferentes estádios de maturação achou valores de 0,39; 0,38 e 0,30%.

Comportamento reológico das polpas de gabioba e goiaba

Nas Figuras 1 e 2 têm-se os reogramas das polpas estudadas para as quatro temperaturas. Nestes reogramas, os dados de Tensão de Cisalhamento estão em (dyna cm^{-2}) enquanto que os de Taxa de deformação em (s^{-1}).

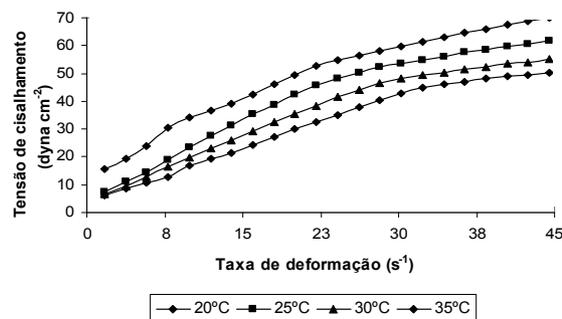


Figura 1. Reogramas da polpa de gabioba a 20, 25, 30 e 35°C.

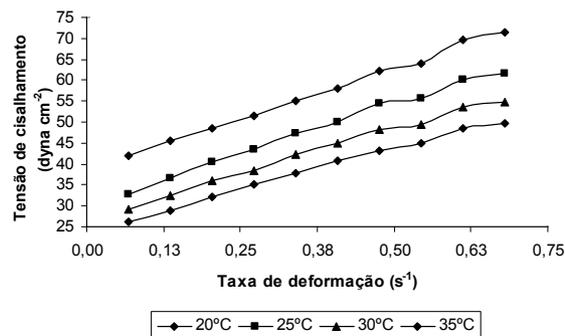


Figura 2. Reogramas da polpa de goiaba a 20, 25, 30 e 35°C.

A análise dos reogramas verifica que o aumento da taxa de deformação provoca diminuição na inclinação das curvas de escoamento para polpa de gabioba e goiaba, evidenciando, assim, uma diminuição da viscosidade aparente, com o aumento da taxa de deformação. Isto demonstra visualmente

o comportamento pseudoplástico das amostras. Ferreira et al. (2002) relata comportamento similar no estudo reológico das polpas de caju e goiaba.

Trifiró et al. (1987) afirmam que os sucos e polpas são considerados fluidos pseudoplásticos e o afastamento do comportamento Newtoniano é determinado pela quantidade do teor de polpa no produto. Aumentando o teor de polpa aumenta-se o caráter pseudoplástico. Oliveira et al. (2009) afirmam que o comportamento não Newtoniano, segundo a teoria molecular coloidal, é devido ao atrito entre as partículas dispersas e as próprias moléculas do líquido dispersante, e ainda devido às forças eletrostáticas interpartícula. Sendo esses fatores a causa responsável pelo aumento na resistência ao escoamento. Os sistemas pseudoplásticos, apesar da aparência homogênea, na verdade possuem partículas dispersas com formas irregulares, tais como filamentos e placas planares.

Parâmetros reológicos

Para confirmar o caráter pseudoplástico os dados foram ajustados ao Modelo de Ostwald de Waale, Modelo de Bingham e o Modelo de Herschell-Buckley, respectivamente. A obtenção das estimativas dos parâmetros dos modelos foi por meio da metodologia Bayesiana.

As Tabelas de 3 a 6 apresentam as estimativas Bayesianas (médias, desvios-padrão, e intervalos de credibilidade ($P_{2,5}$ e $P_{97,5\%}$)) para os parâmetros dos modelos citados na Tabela 1, para a polpa de gabioba a 20, 25, 30 e 35°C, respectivamente.

Tabela 3. Estimativas Bayesianas para os parâmetros dos modelos propostos para polpa de gabioba a 20°C.

Modelo	Estimativas Bayesianas				DIC	
	Médias	Desvio-padrão	$P_{2,5\%}$	$P_{97,5\%}$		
(1)	K	11,08	0,3706	10,36	11,82	75,76
	n	0,4919	0,0100	0,4700	0,5110	
(2)	τ_0	20,61	1,835	17,69	23,53	123,9
	K_B	1,231	0,06600	1,122	1,341	
(3)	τ_0	0,1701	0,8300	$3,700 \times 10^{-6}$	1,575	75,50
	K_h	10,94	0,5530	9,945	11,71	
	n_h	0,4946	0,01800	0,4760	0,5181	

(1) Ostwald de Waale; (2) Bingham; (3) Herschell-Buckley.

Tabela 4. Estimativas Bayesianas para os parâmetros dos modelos propostos para polpa de gabioba a 25°C.

Modelo	Estimativas Bayesianas				DIC	
	Médias	Desvio-padrão	$P_{2,5\%}$	$P_{97,5\%}$		
(1)	K	6,085	0,5104	5,138	7,148	106,6
	n	0,6273	0,02461	0,5789	0,6762	
(2)	τ_0	11,47	1,697	8,100	14,78	130,9
	K_B	1,288	0,06390	1,163	1,415	
(3)	τ_0	0,06943	0,3010	$2,723 \times 10^{-8}$	0,7742	109,9
	K_h	6,051	0,4943	$5,108 \times 10^0$	7,070	
	n_h	0,6283	0,0242	$5,857 \times 10^{-1}$	0,6753	

(1) Ostwald de Waale; (2) Bingham; (3) Herschell-Buckley.

Tabela 5. Estimativas Bayesianas para os parâmetros dos modelos propostos para polpa de gabioba a 30°C.

Modelo	Estimativas Bayesianas				DIC	
	Médias	Desvio-padrão	$P_{2,5\%}$	$P_{97,5\%}$		
(1)	K	4,664	0,3762	3,949	5,430	98,45
	n	0,6683	0,02374	0,6230	0,7153	
(2)	τ_0	8,763	1,363	6,066	11,40	119,8
	K_B	1,183	0,005080	1,086	1,283	
(3)	τ_0	0,06308	0,2698	$2,094 \times 10^{-8}$	0,7187	98,35
	K_h	4,603	0,3754	$3,687 \times 10^0$	5,335	
	n_h	0,6716	0,02360	$6,275 \times 10^{-1}$	0,7287	

(1) Ostwald de Waale; (2) Bingham; (3) Herschell-Buckley.

Tabela 6. Estimativas Bayesianas para os parâmetros dos modelos propostos para polpa de gabioba a 35°C.

Modelo	Estimativas Bayesianas				DIC	
	Médias	Desvio-padrão	$P_{2,5\%}$	$P_{97,5\%}$		
(1)	K	3,308	0,2608	2,817	3,851	86,69
	n	0,7346	0,02300	0,6891	0,7806	
(2)	τ_0	6,136	0,9832	4,191	8,057	97,40
	K_B	1,111	0,03747	1,037	1,185	
(3)	τ_0	0,06990	0,2972	$6,246 \times 10^{-8}$	0,8142	86,38
	K_h	3,278	0,2754	$2,770 \times 10^0$	3,906	
	n_h	0,7367	0,02330	$6,858 \times 10^{-1}$	0,7816	

(1) Ostwald de Waale; (2) Bingham; (3) Herschell-Buckley.

Para a polpa de gabioba, quando se compara os três modelos neste trabalho, segundo o critério apresentado pela equação 6, apura-se que há diferença não-significativa entre os modelos de Ostwald de Waale e de Herschell-Buckley e diferença altamente significativa quando se procede a comparação dos modelos de Ostwald de Waale e Herschell-Buckley com o modelo de Bingham. Isso porque, o modelo de Herschell-Buckley é uma extensão do modelo de Ostwald de Waale devido a adição do termo τ_0 , denominado tensão residual. Segundo a metodologia Bayesiana, o modelo que melhor se adéqua aos dados obtidos nas corridas experimentais é o que apresenta menor DIC. Nesse sentido, os modelos de Ostwald de Waale e de Bingham são os mais indicados. Devido a sua simplicidade, o modelo de modelo de Ostwald de Waale, foi selecionado para proceder ao estudo do efeito da temperatura sobre a reologia das polpas de fruta.

As Tabelas de 7 a 10 apresentam as estimativas Bayesianas (médias, desvios-padrão, erros-padrão, mediana, e intervalos de credibilidade ($P_{2,5}$ e $P_{97,5\%}$)) para os parâmetros dos modelos citados na Tabela 1, para a polpa de goiaba a 20, 25, 30 e 35°C, respectivamente.

Tabela 7. Estimativas Bayesianas para os parâmetros dos modelos propostos para polpa de goiaba a 20°C.

Modelo	Estimativas Bayesianas				DIC	
	Médias	Desvio-padrão	$P_{2,5\%}$	$P_{97,5\%}$		
(1)	K	75,97	1,832	72,47	79,73	50,43
	n	0,2618	0,02160	0,2204	0,3058	
(2)	τ_0	38,50	0,4343	37,63	39,37	22,49
	K_B	48,83	1,038	46,78	50,90	
(3)	τ_0	37,70	0,9899	35,38	39,10	24,61
	K_h	48,66	1,174	46,22	50,97	
	n_h	0,9491	0,04940	0,8219	0,9981	

(1) Ostwald de Waale; (2) Bingham; (3) Herschell-Buckley.

Tabela 8. Estimativas Bayesianas para os parâmetros dos modelos propostos para polpa de goiaba a 25°C.

Modelo		Médias	Desvio-padrão	P _{2,5%}	P _{97,5%}	DIC
(1)	K	68,10	1,385	65,49	70,99	42,61
	n	0,3121	0,01860	0,2760	0,3495	
(2)	τ_0	30,28	0,5562	29,14	31,35	27,87
	K _B	48,12	1,31	45,53	50,78	
(3)	τ_0	26,82	1,697	22,96	29,64	23,19
	K _h	48,32	1,158	46,18	50,69	
	n _h	0,8038	0,07226	0,6522	0,946	

(1) Ostwald de Waale; (2) Bingham; (3) Herschell-Buckley.

Tabela 9. Estimativas Bayesianas para os parâmetros dos modelos propostos para polpa de goiaba a 30°C.

Modelo		Estimativas Bayesianas				DIC
		Médias	Desvio-padrão	P _{2,5%}	P _{97,5%}	
(1)	K	60,60	1,188	58,29	62,99	39,23
	n	0,3127	0,01810	0,2764	0,3496	
(2)	τ_0	26,89	0,5387	25,82	27,97	27,21
	K _B	42,83	1,280	40,25	45,37	
(3)	τ_0	23,11	1,644	19,40	25,91	20,54
	K _h	43,26	1,102	41,29	45,59	
	n _h	0,7960	0,07210	0,6199	0,9143	

(1) Ostwald de Waale; (2) Bingham; (3) Herschell-Buckley.

Tabela 10. Estimativas Bayesianas para os parâmetros dos modelos propostos para polpa de goiaba a 35°C.

Modelo		Estimativas Bayesianas				DIC
		Médias	Desvio-padrão	P _{2,5%}	P _{97,5%}	
(1)	K	54,96	1,111	52,81	57,20	37,57
	n	0,3179	0,01880	0,2818	0,3566	
(2)	τ_0	24,05	0,4557	23,12	24,96	22,98
	K _B	39,23	1,098	36,95	41,42	
(3)	τ_0	20,96	1,256	18,05	23,06	15,07
	K _h	39,45	0,8450	37,91	41,29	
	n _h	0,7876	0,06310	0,6543	0,9098	

(1) Ostwald de Waale; (2) Bingham; (3) Herschell-Buckley.

Para a polpa de goiaba quando é feita a comparação entre os três modelos, de acordo com critério apresentado pela equação 6, verifica-se que há diferença muito significativa entre o modelo de Ostwald de Waale com os modelos de Bingham e de Herschell-Buckley. Por outro lado, ao fazer a comparação entre os modelos de Bingham com o modelo de Herschell-Buckley constata-se diferença não-significativa entre os modelos nas temperaturas de 20 e 25°C, porém, diferença significativa é observada nas temperaturas de 30 e 35°C. Assim, o modelo que melhor se adéqua aos dados é o de Herschell-Buckley por apresentar menor DIC.

Efeito da temperatura na viscosidade aparente e no índice de consistência

A pseudoplasticidade foi maior em baixas temperaturas, comportamento este, similar ao observado por Toralles et al. (2006) para o purê de pêssego, Vitali e Rao (1984) para o purê de goiaba, Ahmed e Ramaswamy (2004) para o purê de mamão, Oliveira et al. (2009) para o suco de uva.

Para a goiaba, e considerando o modelo de Herschell-Buckley, nota-se que o aumento da

temperatura de 20 para 35°C provocou uma diminuição de aproximadamente 44% no valor da tensão residual, τ_0 , uma redução de 17% no índice de comportamento e também uma diminuição de 19% no índice de consistência.

Considerando o modelo de Ostwald de Waale para as polpas de goiaba e gabioba, o aumento da temperatura (de 20 para 35°C) causou uma diminuição no índice de consistência (K) e um aumento do índice de comportamento (n) como previsto pela literatura. O índice de comportamento manteve-se abaixo da unidade para todas as temperaturas, mostrando o caráter pseudoplástico das polpas.

Para o modelo de Bingham, o aumento da temperatura (de 20 para 35°C) provocou uma diminuição na tensão residual, ao passo que a viscosidade plástica, μ_p , não sofreu alterações muito significativas em seus valores. Já para o modelo de Herschell-Buckley, o aumento de temperatura alterou significativamente os parâmetros K_h e n_h, da mesma forma como foi alterado para o modelo de Ostwald de Waale.

As Figuras 3 e 4 representam os gráficos da viscosidade aparente para a polpa de gabioba e goiaba, nas diversas temperaturas de estudo, respectivamente. A equação de Arrhenius linearizada (equação 5) foi aplicada para quantificar o efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente das polpas de gabioba e goiaba, a taxa de deformação de 45 s⁻¹ e 0,680 s⁻¹, respectivamente usando regressão linear. Para a polpa de gabioba, na taxa de deformação mencionada, foi verificado uma redução de aproximadamente 28% na viscosidade aparente quando a temperatura é alterada de 20 para 35°C, ao passo que para a polpa de goiaba essa redução foi de 30%.

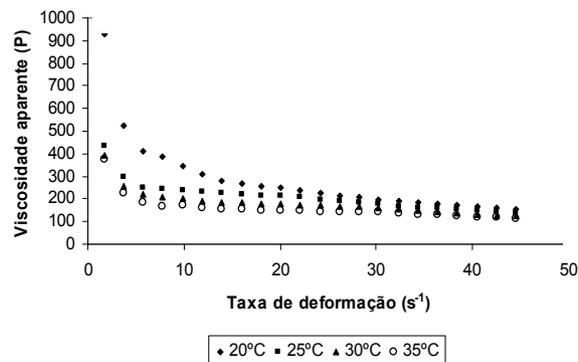


Figura 3. Viscosidade aparente da polpa de gabioba em diferentes temperaturas.

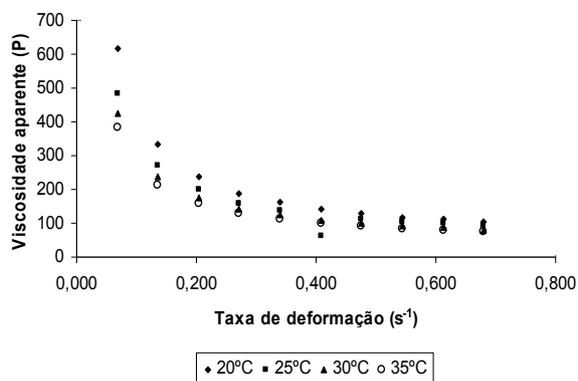


Figura 4. Viscosidade aparente da polpa de goiaba em diferentes temperaturas.

Devido à menor quantidade de parâmetros a serem ajustados, o modelo de Ostwald de Waale foi usado para estudar a influência da temperatura sobre os parâmetros. O efeito da temperatura sobre o parâmetro K (índice de consistência) do modelo foi verificado mediante um ajuste linear dos parâmetros por meio da equação 5 usando regressão linear no Microsoft Excel[®]. Esses parâmetros foram ajustados para as temperaturas de 20, 25, 30 e 35°C. A Figura 5 apresenta o gráfico de Arrhenius para a viscosidade aparente e para o índice de consistência (K) para as polpas de Gabiroba e Goiaba.

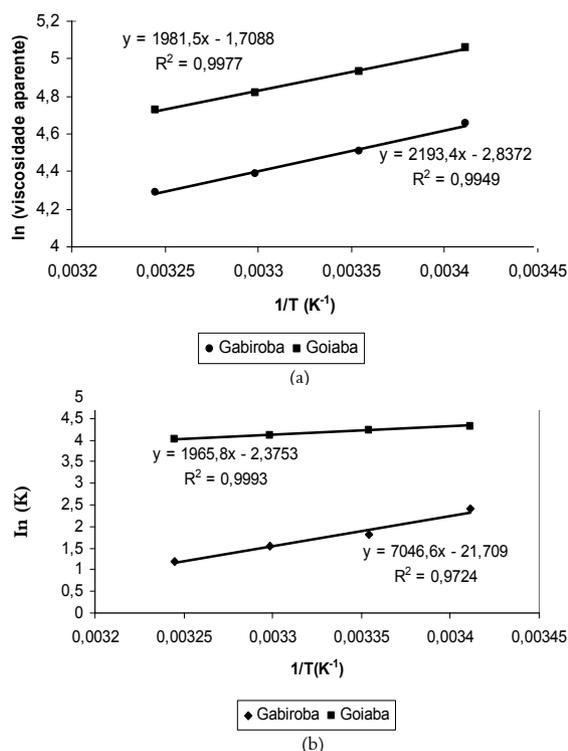


Figura 5. Gráfico de Arrhenius: (a) Viscosidade aparente e (b) índice de consistência para as polpas de Gabiroba e Goiaba nas temperaturas de 20, 25, 30 e 35°C.

A análise da Figura 5a permite constatar que a viscosidade aparente para as polpas de gabiroba e de goiaba, calculadas a taxa de deformação de 45 s⁻¹ e 0,680 s⁻¹, respectivamente, diminui com o aumento da temperatura. Isto porque, a elevação de temperatura reduz a viscosidade, pois nesta condição a rapidez de movimentação das partículas é mais acentuada enquanto que as forças de interação enfraquecem e as partículas ficam mais livres para escoar. Análise análoga pode ser feita para o índice de comportamento (K), ilustrado na Figura 5b.

Conclusão

As polpas de gabiroba e goiaba apresentaram, em todas as faixas de temperatura estudadas, comportamento não-Newtoniano, com características pseudoplásticas.

Dentre os modelos utilizados para descrever o comportamento reológico, o modelo de Ostwald de Waale é o que melhor descreve o comportamento reológico da polpa de gabiroba por apresentar o menor DIC, ao passo que o modelo de Herschell-Buckley é o mais indicado para a polpa de goiaba.

Observou-se ainda que a viscosidade aparente e o índice de comportamento diminuíram com o aumento da temperatura, indicando que as polpas perdem pseudoplasticidade e ficam menos viscosas na medida em que a temperatura é aumentada de 20 para 35°C. Notou-se ainda que ambos, viscosidade aparente e o índice de comportamento, foram satisfatoriamente ajustados segundo a equação de Arrhenius, em função da temperatura.

Referências

- AHMED, J.; RAMASWAMY, H. S. Response surface methodology in rheological characterization of papaya puree. *International Journal of Food Properties*, v. 7, n. 3, p. 45-58, 2004.
- AOAC-Association of Official Analytical Chemists. **Official methods of analysis**. 14th ed. Arlington: Association of Official Analytical Chemists, 1992.
- ARGENTA, L. C.; BENDER, R. J.; KREUS, C. L.; MONDARDO, M. Padrões de maturação índices de colheita de maçãs CVS. gala, golden delicious e fuji. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, v. 30, n. 10, p. 1259-1266, 1995.
- BEST, N. G.; COWLES, M. K.; VINES, K. **CODA**: Convergence diagnostics and output analysis software for Gibbs sampler output. Cambridge: Biostatistics Unit MRC, 1995. (Relatório Técnico).
- COSTELL, E.; DURAN, L. Reogía físico-química del puré de albaricoque – Parte I. *Revista de Agroquímica y Tecnología de Alimentos*, v. 22, n. 3, p. 381-394, 1982.

- 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.
- GEWEKE, J. Evaluating the accuracy of sampling-based approaches to the calculation of posterior moments (with discussion). In: BERNARDO, J. M.; BERGER, J. O.; DAWID, A. P.; SMITH, A. F. M. (Ed.). **Bayesian statistics**. 4th ed. Oxford: Oxford University Press, 1992. p. 169-193.
- HEIDELBERGER, P.; WELCH, P. Simulation run length control in the presence of an initial transient. **Operations Research**, v. 31, p. 1109-1144, 1983.
- ITAL-Instituto de Tecnologia de Alimentos. **Goiaba** - da cultura ao processamento e comercialização. Campinas: Gráfica e Editora Ltda, 1978.
- LIMA, M. A. C.; ASSIS, J. S.; GONZAGA NETO, L. **Caracterização dos frutos de goiabeira e seleção de cultivares na região do Submédio São Francisco**. 2001. Disponível em: <<http://www.scielo.com.br>> Acesso em: abr. 2006.
- 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.
- R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R**: a language and environment for statistical computing. Vienna: R Foundation for Statistical Computing, 2007.
- SPIEGELHALTER, D. J.; BEST, N. G.; CARLIN, B. P.; VAN DER LINDE, A. BUGS – A Bayesian measures of model complexity and fit. **Journal of the Royal Statistical Society**, v. 64, Série B, p. 583-639, 2002.
- 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**, v. 62, n. 1, p. 97-104. 1987.
- TORALLES, R. P.; VENDRUSCOLO, J. L.; VENDRUSCOLO, C. T. Reologia de purê homogeneizado de pêssego: efeito da temperatura e concentração. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 9, n. 1, p. 1-8, 2006.
- VITALI, A. A.; RAO, M. A. Flow Properties of low-pulp concentrated orange juice: effect of temperature and concentration. **Journal of Food Science**, v. 49, n. 3, p. 882-888, 1984.

Received on November 24, 2008.

Accepted on August 24, 2009.

License information: This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License, which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.