

# Estudo do efeito da temperatura nas propriedades reológicas da polpa de morango (*Fragaria ananassa*)

## A study of the effect of temperature upon the rheological behavior of strawberry pulp (*Fragaria ananassa*)

José Raniere Mazile Vidal Bezerra<sup>1</sup>  
Maurício Rigo<sup>2</sup>  
Bogdan Demczuk Junior<sup>3</sup>  
Katielle Rosalva Voncik Córdova<sup>4</sup>

### Resumo

O comportamento reológico de polpas de frutas é útil não só como medida de qualidade, mas também em projetos, avaliação e operação dos equipamentos processadores de alimentos tais como as bombas, sistemas de agitação e tubulações. O objetivo deste trabalho foi estudar o efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de morango (*Fragaria ananassa*), na forma integral. A polpa integral foi produzida em planta piloto e refinada num *finisher* com peneira de 1,6 mm. Os dados experimentais dos reogramas para polpa de morango foram bem ajustados pelos modelos de Herschell-Bulkley, Casson e Ostwald-de-Waelle. O melhor ajuste se deu pelo modelo de Herschell-Bulkley. Para a polpa de morango, observou-se que a viscosidade diminuiu com o aumento da temperatura até 60°C e obteve-se índice de comportamento menor que 1 (um) para todas as temperaturas investigadas, o que caracteriza comportamento pseudoplástico da polpa. Neste trabalho os parâmetros reológicos foram obtidos com o sistema de medidas de cilindros

- 
- 1 Dr.; Engenheiro de Alimentos; Professor do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual do Centro Oeste-UNICENTRO; E-mail: raniere@unicentro.br
  - 2 Dr.; Engenheiro de Alimentos; Professor do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual do Centro Oeste-UNICENTRO; E-mail: mauriciorigo@yahoo.com.br
  - 3 MSc.; Engenheiro de Alimentos; Doutorando em Tecnologia de Alimentos na Universidade Federal do Paraná; Professor Colaborador do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual do Centro Oeste-UNICENTRO; E-mail: bdjunior@gmail.com
  - 4 Msc.; Engenheira de Alimentos; Doutoranda em Tecnologia de Alimentos na Universidade Federal do Paraná; Professora Colaboradora do Departamento de Engenharia de Alimentos da Universidade Estadual do Centro Oeste-UNICENTRO; E-mail: kvcordova@ig.com.br

Recebido para publicação em 21/12/2007 e aceito em 26/08/2008

Ambiência Guarapuava, PR v.5 n.1 p.37 - 47 Jan./Abr. 2009 ISSN 1808 - 0251

concêntricos e a viscosidade aparente diminuiu com o aumento da temperatura e da taxa de deformação. O modelo de Arrhenius apresentou uma boa descrição do efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente da polpa de morango.

**Palavras-chave:** reologia; polpa de morango; temperatura.

## **Abstract**

Knowledge regarding the rheological behavior of fruit pulps is useful not only as a quality indicator, but also in projects, assessment and operation of food processing equipments such as pumps, shaker systems and tubes. This paper presents a study of the effects of temperature upon the rheological behavior of whole strawberry pulp (*Fragaria ananassa*). Whole pulp was produced in a pilot plant and finished with a 1,6 mm mash sieve. The fluid was measured in a 10-60°C temperature range. Rheometry was conducted in a Haake-Rotovisco RV-20 rheometer with concentric cylinders. Temperature effect on rheological parameters of consistency was fitted to the Ostwald-de-Waele (Power Law), Herschel-Bulkley and Casson model. With this work it was checked that the behavior index was lower than 1 (one) for whole strawberry pulp in the studied temperature range, showing that pseudoplastic behavior is independent of processing. The flow behavior index and the consistency coefficient were significantly affected by temperature. Apparent viscosity decreased with an increase in temperature. The Arrhenius model provided a good description of temperature effect upon the strawberry pulp's apparent viscosity.

**Key words:** rheology; strawberry pulp; temperature.

## **Introdução**

O morango é um fruto de clima temperado, com sabor e aroma agradáveis e textura suculenta sendo, por isso, muito apreciado e valorizado. Em conjunto com as excelentes características organolépticas, o morango apresenta também alta perecibilidade, podendo apenas ser estocado por períodos curtos de tempo. Dessa forma, o processamento apresenta-se como a alternativa mais adequada de ampliar a sua disponibilidade

conservando as características nutricionais e sensoriais (NEVES FILHO, 1986).

Na fabricação de produtos derivados de frutas é fundamental o conhecimento das propriedades físicas e químicas da polpa submetida aos processos de industrialização. Dentre essas propriedades o comportamento reológico ocupa posição de grande destaque, sendo útil não só como medida de qualidade, mas também em projetos, avaliação e operação dos equipamentos da linha de processos de alimentos, uma vez

que o escoamento determina a concepção e o desenvolvimento de equipamentos tais como bombas, sistemas de agitação e tubulações (IBARZ et al., 1996; QUEIROZ et al., 1996).

Os principais fatores responsáveis pelo comportamento reológico dos produtos derivados de frutas são: o tipo de fruta, temperatura e o teor de sólidos (açúcares, pectinas e fibras). Uma vez que os sucos, polpas e néctares de frutas são sistemas bifásicos constituídos por partículas sólidas dispersas em meio aquoso, o seu comportamento reológico também será influenciado pela concentração, composição química, tamanho, forma e distribuição das partículas que compõem a fase dispersa (COSTELL e DURÁN, 1982).

O objetivo deste trabalho foi estudar experimentalmente o efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa de morango (*Fragaria ananassa*), na forma integral. Neste estudo foi utilizado reômetro rotacional Haake Rotovisco RV 20 e os ensaios foram conduzidos com o sistema de medidas de cilindros concêntricos ZA-30 (sistema Couette).

## **Materiais e Métodos**

### **Preparo da amostra**

O morango, da variedade *Chandler*, utilizado neste trabalho foi selecionado de um único lote proveniente da cidade de Guarapuava, região centro-oeste do estado do Paraná, e foi processado em despulpadeira com tela de 1,6 mm de abertura para a obtenção do máximo rendimento de extração da polpa.

A polpa foi acondicionada em sacos de polietileno e armazenada a  $-18^{\circ}\text{C}$ , visando a um congelamento rápido do material para evitar a formação de grandes cristais de gelo na superfície e danificação das estruturas celulares, além de inibir ações enzimáticas. Antes do uso, a amostra foi descongelada à temperatura ambiente.

### **Reometria**

O comportamento reológico da polpa integral de morango foi descrito em termos dos modelos de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), Herschel-Bulkley e Casson na faixa de temperatura de  $10^{\circ}\text{C}$  a  $60^{\circ}\text{C}$ , considerando  $10^{\circ}\text{C}$  como a temperatura de descongelamento de polpas de frutas, e  $60^{\circ}\text{C}$  correspondendo à temperatura industrial de pasteurização. Neste trabalho, esses modelos foram analisados de forma a avaliar qual deles representa melhor o comportamento reológico experimental da polpa de morango e que possa levar à melhor parametrização em função da temperatura. A vantagem dessa estratégia é a conveniência no uso do modelo reológico em algoritmos de cálculos para processos e equipamentos.

O efeito da temperatura no comportamento reológico da polpa integral de morango foi estudado nas temperaturas de 10, 20, 30, 40, 50 e  $60^{\circ}\text{C}$ . As medidas reológicas foram feitas no reômetro Haake Rotovisco modelo RV – 20 e os ensaios foram conduzidos com o sistema de medida de cilindros concêntricos ZA-30 (sistema Couette). A escolha desse reômetro deve-se à possibilidade de obter um controle eficiente da temperatura de ensaio uma

vez que a quantidade da amostra é pequena.

O tempo de corrida, para cada ensaio foi programado para quatro minutos sendo que, nos dois minutos iniciais, a taxa de deformação variou de maneira crescente até o valor máximo, próximo de  $300 \text{ s}^{-1}$ , devido ao aumento da tensão de cisalhamento. Em seguida, a taxa de deformação variou de maneira decrescente durante dois minutos até o valor mínimo próximo de  $0 \text{ s}^{-1}$ , com o espaço anular entre os cilindros medindo  $1,0 \text{ mm}$ .

Tanto na corrida ascendente quanto na descendente foram obtidos vinte pontos de taxa de deformação *versus* tensão de cisalhamento, resultando num total de quarenta pontos, dos quais foi tomado o valor médio da tensão de cisalhamento para cada taxa de deformação. Os experimentos foram realizados em triplicata onde, para cada repetição, utilizou-se uma nova amostra, igual a anterior, para evitar possíveis efeitos de tempo.

As curvas de taxa de deformação *versus* tensão de cisalhamento foram ajustadas pelos modelos de Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) - (Equação 1), Herschel-Bulkley (Equação 2) e Casson (Equação 3), por se tratarem dos modelos mais simples empregados para descrever a maioria dos comportamentos não newtonianos pseudoplásticos de sucos, néctares e polpas.

(1) Ostwald-de-Waelle (Lei da potência)

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

(2) Casson

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

(3) Herschell-Bulkley

$$\tau = \tau_{OH} + K_H \cdot (\dot{\gamma})^n$$

Onde:

$\tau$  = tensão de cisalhamento (Pa);

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

$K$  = índice de consistência ( $\text{Pa s}^n$ );

$n$  = índice de comportamento (adimensional);

$\tau_{OH}$  = tensão de cisalhamento inicial de Herschell-Bulkley (Pa);

$K_H$  = índice de consistência de Herschell-Bulkley ( $\text{Pa s}^n$ );

$K_{OC}$  = Tensão inicial de Casson ( $\text{Pa}^{0,5}$ );

$K_C$  = Viscosidade plástica de Casson ( $\text{Pa s}^{0,5}$ ).

Os resultados experimentais obtidos foram ajustados aos modelos reológicos de Ostwald-de-Waelle, Casson e Herschell-Bulkley usando-se o software ORIGIN 7.0. Os resultados dos ajustes foram expressos com seus desvios padrão e com o  $X^2$  (qui-quadrado), que expressa a diferença entre os valores previstos pelo modelo e os valores obtidos experimentalmente. Segundo Bender et al. (1982), a definição de  $X^2$ , conforme a Equação 4 é:

$$X^2 = \sum (y_{obs} - y_{pre})^2 \quad (4)$$

Onde:

$X^2$  = teste do Qui-quadrado;

$Y_{obs}$  = valor experimental;

$Y_{pre}$  = valor previsto pelo modelo.

Quanto maior for o valor de  $X^2$  maior será a discrepância entre as frequências observadas e esperadas. Portanto, o modelo que melhor se ajusta é aquele com baixos valores de  $X^2$ .

### Caracterização físico-química da polpa integral de morango

Na polpa de morango integral foram realizadas as seguintes análises físico-químicas: pH, acidez titulável, teor de umidade e teor de sólidos solúveis, conforme metodologia adotadas pelo Instituto Adolf Lutz (1985) e Cecchi (1999).

### Efeito da temperatura sobre a viscosidade

O modelo de Arrhenius relaciona o efeito da temperatura na viscosidade de diversos alimentos líquidos (Equações 5 e 6) (GRIGELMO-MIGUEL et al., 1999).

$$\ln(\eta) = \left(\frac{E_a}{R}\right) \cdot T^{-1} + B \quad (5)$$

$$\eta = B \cdot \exp\left(\frac{E_a}{R \cdot T}\right) \quad (6)$$

Onde:

$\eta$  = viscosidade aparente (Pa.s);

$E_a$  = energia de ativação (J/mol);

$R$  = constante universal dos gases (8,314 J/mol K);

$T$  = temperatura absoluta (K);

$B$  = parâmetro de ajuste.

Para fluidos não-newtonianos, a viscosidade aparente a uma determinada taxa de deformação pode ser utilizada na relação de Arrhenius.

## Resultados e Discussão

### Caracterização da polpa integral de morango

Os valores de pH, acidez titulável, teor de umidade, teor de sólidos solúveis e teor de ácido ascórbico da polpa integral de morango estão apresentados na tabela 1.

A figura 1 mostra a relação entre tensão de cisalhamento e taxa de deformação a diferentes temperaturas

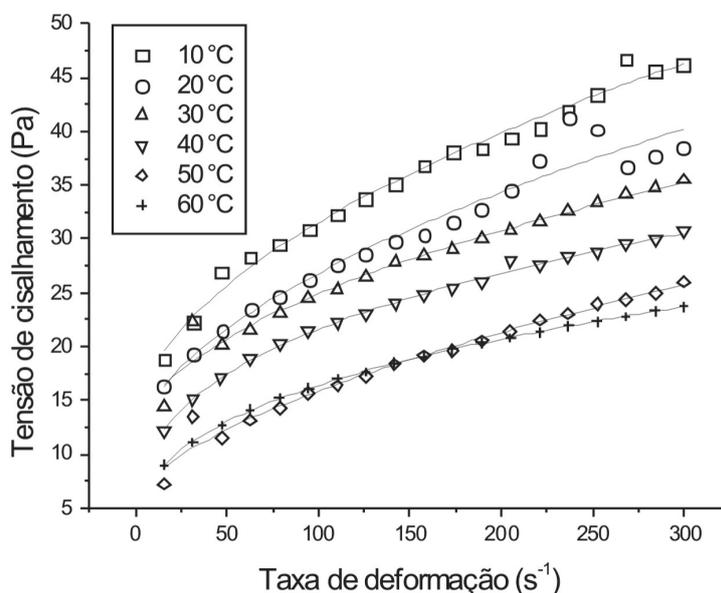
**Tabela 1.** Características físico-químicas da polpa integral de morango

Parâmetros	Médias
pH	3,42±0,40
Sólidos solúveis °Brix	8,35±0,20
Acidez titulável (g/100g) *	0,89±0,17
Ácido ascórbico (mg/100g)	74,00±3,85
Umidade (%)	89,4±1,90

Nota: \* Expresso em ácido cítrico.

Fonte: Os autores

**Figura 1.** Relação entre a taxa de deformação e a tensão de cisalhamento para a polpa integral de morango descrita pelo modelo de Herschell-Bulkley. Sistema de medida: cilindros concêntricos ZA-30



Fonte: Os autores

para polpa integral de morango, empregando-se o sistema de medida cilindros concêntricos ZA-30. Os dados experimentais são representados pelos símbolos, enquanto que as linhas contínuas são os ajustes pelo modelo de Herschell-Bulkley. Este modelo foi o que proporcionou os melhores parâmetros de ajuste para a polpa estudada, apresentando os menores valores para o ( $X^2$ ) em todas as temperaturas, investigadas (Tabela 3). À medida que a temperatura aumentou, os dados experimentais se ajustaram melhor aos dados do modelo, devido à tendência do fluido a apresentar comportamento próximo ao de um fluido newtoniano.

Nenhuma mudança significativa foi observada entre a tendência da curva de subida da taxa de cisalhamento de 0 a 300 s<sup>-1</sup> e a tendência de descida dessa curva para taxa de cisalhamento

de 300 a 0 s<sup>-1</sup>; dessa forma, os valores médios dos parâmetros reológicos foram considerados para a obtenção do gráfico da taxa de deformação versus a tensão de cisalhamento (Figura 1).

Nas tabelas 2, 3 e 4 estão apresentados os valores dos parâmetros obtidos através do ajuste dos dados experimentais dos reogramas, para a polpa integral de morango, descritos pelos modelos de Herschell-Bulkley, Casson e Ostwald-de-Waelle, respectivamente.

Os dados experimentais de tensão de cisalhamento e taxa de deformação para polpa de morango a diferentes temperaturas foram bem ajustados pelos modelos reológicos de Ostwald-de-Waelle, Casson e Herschell-Bulkley, quando se utilizou o reômetro com o sistema de medida de cilindros concêntricos. Todos esses modelos

**Tabela 2.** Parâmetros reológicos para o modelo de Herschel-Bulkley

Temperatura (°C)	$\tau_{0H}$ (Pa)	$K_H$ (Pa s <sup>n</sup> )	n	$X^2$
10	11,82 ± 2,71	1,89 ± 0,87	0,51 ± 0,07	0,763
20	10,23 ± 4,57	1,37 ± 1,32	0,54 ± 0,15	2,67
30	10,63 ± 3,38	1,45 ± 1,13	0,50 ± 0,11	1,09
40	1,06 ± 1,91	4,51 ± 1,08	0,33 ± 0,031	0,079
50	5,34 ± 1,96	0,66 ± 0,46	0,60 ± 0,11	0,704
60	0,42 ± 0,38	3,30 ± 0,20	0,34 ± 0,0081	0,0081

Fonte: Os autores

**Tabela 3.** Parâmetros reológicos para o modelo de Casson

Temperatura (°C)	$K_{OH}$ (Pa) <sup>0,5</sup>	$K_C$ (Pa s) <sup>0,5</sup>	$X^2$
10	3,85 ± 0,066	0,17 ± 0,005	0,854
20	3,45 ± 0,13	0,168 ± 0,0095	2,64
30	3,58 ± 0,083	0,14 ± 0,0063	1,09
40	3,19 ± 0,061	0,14 ± 0,0046	0,50
50	2,41 ± 0,083	0,15 ± 0,0062	0,672
60	2,70 ± 0,052	0,13 ± 0,004	0,28

Fonte: Os autores

**Tabela 4.** Parâmetros reológicos para o modelo de Ostwald-de-Waelle

Temperatura (°C)	K (Pa s <sup>n</sup> )	n	$X^2$
10	7,39 ± 0,42	0,32 ± 0,011	1,06
20	5,80 ± 0,65	0,34 ± 0,022	2,87
30	6,85 ± 0,53	0,28 ± 0,015	1,23
40	5,12 ± 0,11	0,31 ± 0,0044	0,076
50	2,53 ± 0,26	0,40 ± 0,20	0,80
60	3,53 ± 0,023	0,33 ± 0,0013	0,0036

Fonte: Os autores

apresentaram baixos valores de  $X^2$ , o que significa que os dados experimentais estão bem ajustados. O melhor modelo foi o de Herschel-Bulkley, que apresentou os menores valores de  $X^2$ , para as temperaturas investigadas, o que era esperado, pois esse modelo apresenta três parâmetros de ajuste, enquanto os outros dois modelos apresentam dois parâmetros de ajuste. Não foram mostradas as figuras dos reogramas para polpa de morango com o ajuste dos dados experimentais com os modelos

Ostwald-de-Waelle e Casson, pelo fato de que o melhor ajuste foi obtido com o modelo de Herschel-Bulkley.

Nas tabelas 2 e 4 encontram-se os valores do índice de comportamento (n), os quais foram menores do que um (1) para todas as temperaturas investigadas, mostrando que a polpa de morango apresenta comportamento pseudoplástico. Para o modelo de Herschel-Bulkley o aumento da temperatura na polpa de morango promoveu a diminuição do índice de comportamento (n) dentro da faixa de

0,51 a 0,34 e, concomitantemente, houve a diminuição da tensão de cisalhamento inicial de 11,82 para 0,42 Pa (Tabela 2).

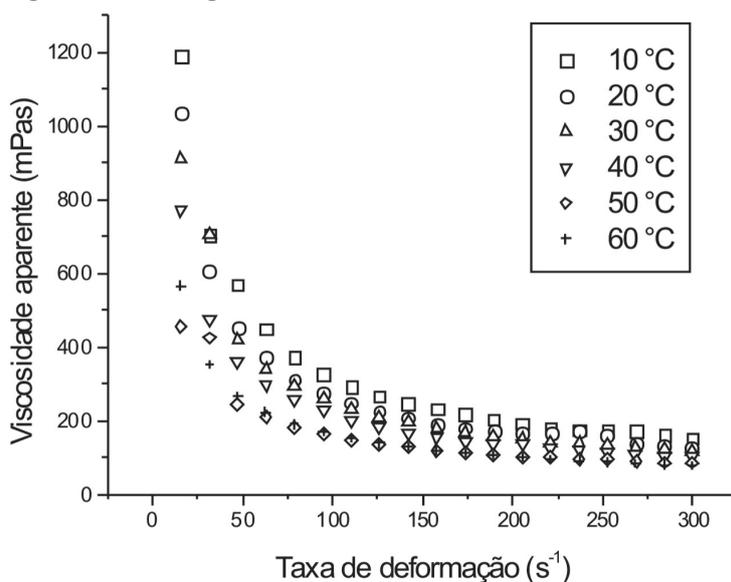
Para o Modelo de Ostwald-de-Waelle o aumento da temperatura na polpa não influenciou o parâmetro índice de comportamento, o qual se manteve por volta de 0,33, mas os valores de índice de consistência sofreram diminuição de 7,39 para 3,53 Pa com o aumento da temperatura da polpa de 10 para 60°C (Tabela 4). Segundo Saravacos e Kostaropoulos (1995), a temperatura tem um efeito relativamente pequeno sobre o valor do índice de comportamento, ao contrário do índice de consistência.

A viscosidade aparente (razão entre cada tensão de cisalhamento e sua correspondente taxa de deformação) diminuiu com o aumento da temperatura da polpa de morango (Figura 2), o que é um comportamento comum para polpas

de frutas, pois a maioria delas apresenta-se na forma de sólidos dispersos em meios líquidos. Neste caso, o aumento da temperatura promove a diminuição da viscosidade na fase líquida devido ao aumento da mobilidade das partículas em suspensão (VIDAL, 2006). A viscosidade aparente decresceu com o aumento da taxa de deformação em todas as temperaturas estudadas, o que é característico do comportamento pseudoplástico. Sabe-se que quanto menor a viscosidade de um fluido, menor é a perda de carga durante o escoamento, diminuindo os custos de potência com o bombeamento e, conseqüentemente, os custos energéticos.

O modelo de Arrhenius foi aplicado para descrever o comportamento de escoamento da polpa de morango em função da temperatura. Os valores experimentais de  $\ln(\text{viscosidade aparente})$

**Figura 2.** Relação entre a viscosidade aparente e a taxa de deformação para a polpa integral de morango. Sistema de medida: cilindros concêntricos ZA-30



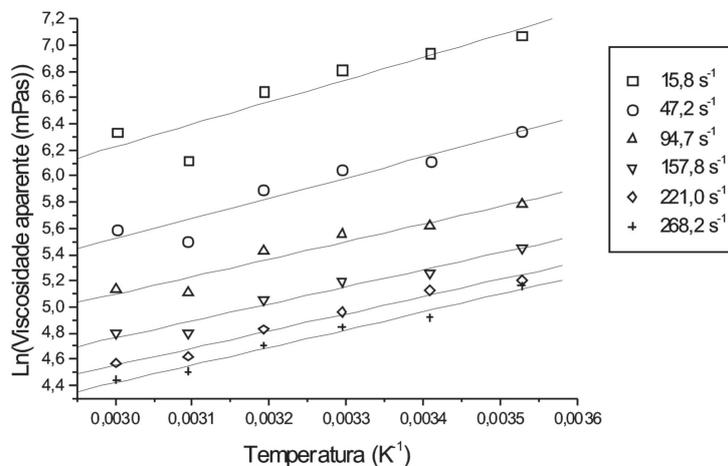
Fonte: Os autores

versus temperatura ( $K^{-1}$ ) a taxas de deformação constantes estão mostrados na figura 3, e a reta que melhor ajustou esses pontos gerou os parâmetros de ajuste da equação de Arrhenius, os quais estão apresentados na tabela 6, onde  $E_a/R$  representa o coeficiente angular e B o linear da reta de ajuste.

A polpa integral de morango apresenta energia de ativação ( $E_a$ ) intermediária (Tabela 5), quando comparada a produtos alimentícios muito fluidos e muito pastosos. A  $E_a$  de suco de maçã com e sem pectina, ambos com 15° Brix é de 14,7 e 22,2 kJ/g-mol, respectivamente (SARAVACOS, 1970).

O purê de pêra e a polpa de açaí, que apresentam um alto teor de sólidos em suspensão, possuem energias de ativação de 7,1 e 6,3 kJ/g-mol, respectivamente (SARAVACOS, 1970; ALEXANDRE, 2002). Os valores da energia de ativação indicam a sensibilidade da viscosidade aparente sobre a alteração da temperatura. Altos valores de energia de ativação significam que a viscosidade da polpa de morango é mais sensível à mudança da temperatura. Os valores do coeficiente de determinação  $R^2$  próximos a 1,0 indicam que a equação de Arrhenius apresentou bom ajuste dos dados de viscosidade aparente.

**Figura 3.** Efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente da polpa de morango a diferentes taxas de deformação



Fonte: Os autores

**Tabela 5.** Parâmetros da equação de Arrhenius para diferentes taxas de deformação

Taxa de deformação (s-1)	$E_a/R$ (K)	B	R2	$E_a$ (kJ/g-mol)
15,8	1716,9 ± 363,65	1,07 ± 1,18	0,92	14,274
47,2	1562,42 ± 234,77	0,83 ± 0,76	0,96	12,999
94,7	1337,37 ± 180,68	1,09 ± 0,59	0,97	11,119
157,8	1303,67 ± 135,53	0,85 ± 0,44	0,98	10,838
221	1311,9 ± 98,35	0,62 ± 0,32	0,99	10,907
268,2	1351,18 ± 93,62	0,37 ± 0,31	0,99	11,234

Fonte: Os autores

**Tabela 6.** Parâmetros da equação de Arrhenius para diferentes taxas de deformação

Taxa de deformação (s <sup>-1</sup> )	Ea/R (K)	B	R <sup>2</sup>	Ea (kJ/g-mol)
15,8	1716,9 ± 363,65	1,07 ± 1,18	0,92	14,274
47,2	1562,42 ± 234,77	0,83 ± 0,76	0,96	12,999
94,7	1337,37 ± 180,68	1,09 ± 0,59	0,97	11,119
157,8	1303,67 ± 135,53	0,85 ± 0,44	0,98	10,838
221	1311,9 ± 98,35	0,62 ± 0,32	0,99	10,907
268,2	1351,18 ± 93,62	0,37 ± 0,31	0,99	11,234

## Conclusões

Para polpa de morango, a viscosidade diminui com o aumento da temperatura até 60°C e obteve-se índice de comportamento menor que 1 (um) para todas as temperaturas investigadas, o que caracteriza comportamento pseudoplástico da polpa. Com o aumento da temperatura observou-se diminuição no índice de comportamento e do parâmetro índice de consistência, indicando que a polpa de morango perde pseudoplasticidade e fica menos viscosa na medida em que a temperatura aumenta, facilitando o escoamento e a troca de calor durante o processamento.

A partir da taxa de deformação de 250 s<sup>-1</sup>, a viscosidade aparente tende a ficar constante para as temperaturas de 10 a 60°C. Os resultados obtidos indicam a diminuição da viscosidade aparente

com o aumento da taxa de deformação e com o aumento da temperatura até 60°C, corroborando para o comportamento pseudoplástico para a polpa de morango, em todas as condições investigadas.

Os dados experimentais dos reogramas para polpa de morango foram bem ajustados pelos modelos de Herschell-Bulkley, Casson e Ostwald-de-Waelle. O melhor ajuste se deu pelo modelo de Herschell-Bulkley o que era esperado, pois esse modelo apresenta três parâmetros de ajuste enquanto os outros apresentam apenas dois. A presença de três parâmetros auxilia no ajuste dos dados, no entanto a presença de mais parâmetros implica maior trabalho no ajuste de cada parâmetro e na interação entre eles.

O modelo de Arrhenius apresenta uma boa descrição do efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente para polpa de morango.

## Referências

- ALEXANDRE, D. *Conservação da polpa de açaí através da tecnologia de obstáculos e caracterização reológica*. 2002, 161 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas.
- BENDER, F. E.; DOUGLASS, L. W.; KRAMER, A. *Statistics in research*. In: *Statistical methods for food and agriculture*. Avi Publishing Company, Inc., 1982. Westport (USA).
- CECCHI, H. M. *Fundamentos teóricos e práticos em análises de alimentos*. Campinas: UNICAMP, 1999.

- COSTELL, E.; DURÁN, L. Reología físico química de los zumos y purés de frutas. Madrid. *Revista de agroquímica y tecnología de alimentos*. v. 22, n. 1, p. 81-94, 1982.
- GRIGELMO-MIGUEL, N.; IBARZ-RIBAS, A.; MARTÍN-BELLOSO, O. Rheology of peach dietary fibre suspensions. *Journal of Food Engineering*, v.39, n.1, p.91-99, 1999.
- INSTITUTO ADOLFO LUTZ. *Determinações e normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz*. 3 ed., v.1, São Paulo, [s.n.]. 1985
- IBARZ, A.; GONÇALES,C.; EXPLUGAS, L. M. Rheology, of clarifield passion fruit juices. *Fruit Processing*, v. 6, n. 8, p. 330-333, 1996.
- NEVES FILHO, L. C. Congelamento de morango. In: SIMPÓSIO SOBRE CULTURA DO MORANGUEIRO. Cabreúva, Casa da Agricultura de Cabreúva. / DIRA, 20 e 21 de junho de 1986. Jaboticabal, Sociedade de Olericultura do Brasil. UNESP, 1986, p. 65-68.
- QUEIROZ, A. J.; VIDAL, J. R. M. B.; GASPARETTO, C. A. Influência dos sólidos suspensos na reologia de suco de abacaxi. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SISTEMAS PARTICULADOS, 14., Uberlândia. *Anais...* [s.n.] Uberlândia, 1996.
- SARAVACOS, G. D. Effect of temperature on viscosity of fruit juices and purees. *Journal of Food Science*, v.35, p.122-125, 1970.
- SARAVACOS, G. D.; KOSTAROPOULOS, A.E. Transport properties in processing of fruits and vegetables. *Food Technology*, v.49, p.99-105, 1995.
- VIDAL, J. R. M. B.; SIERAKOWSKI, M. R.; HAMINIUK, C. W. I.; MASSON, M.L. Propriedades reológicas da polpa de manga centrifugada. *Revista de Ciências Agrotecnológicas*, Lavras, v. 30, n. 5, p. 955 – 960, 2006.