

**Influência da temperatura no comportamento reológico de geleias comerciais de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*)****Temperature influence on behavior jellies rheological cupuaçu commercials (*Theobroma grandiflorum*)**

DOI:10.34119/bjhrv3n3-109

Recebimento dos originais: 25/04/2019

Aceitação para publicação: 29/05/2020

**Luzimary de Jesus Ferreira Godinho Rocha**

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Maranhão, Campus São Luís- Monte Castelo (IFMA), Brasil.

**Ocilene Maria Correia Ferreira**

Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos pela UNESP-Campus de São José do Rio Preto

Instituição: IFMA-Campus São Luís - Maracanã

**Valdênia Cristina Mendes Mendonça**

Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos pela UNESP-Campus de São José do Rio Preto

Instituição: IFMA-Campus São Luís - Maracanã

**Rachel Fernandes Torquato**

Doutora em Engenharia e Ciência de Alimentos pela UNESP-Campus de São José do Rio Preto

Instituição: IFMA-Campus São Luís - Maracanã

**Francisco José da Conceição Lima**

Doutor em Engenharia e Ciência de Alimentos pela UNESP-Campus de São José do Rio Preto

Instituição: IFMA-Campus São Luís - Maracanã

**Javier Telis-Romero**

Doutor em Engenharia de Alimentos – UNICAMP, Universidade Estadual Paulista - Campus de São José do Rio Preto (UNESP), Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos

**José Francisco Lopes Filho**

Doutorado em Engenharia Agrícola pela University of Illinois, Estados Unidos, Universidade Estadual Paulista - Campus de São José do Rio Preto (UNESP), Departamento de Engenharia e Tecnologia de Alimentos.

**RESUMO**

A Reologia é a ciência que estuda as propriedades mecânicas dos materiais que determinam seu escoamento quando solicitadas por forças externas. As frutas nativas da Amazônia Brasileira despertam um grande interesse mundial quanto à sua composição nutricional e valor comercial. Com o cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) não é diferente, pois tal fruta, além de exótica,

apresenta inúmeras formas de ser consumida, tais como: doces, geleias, sucos, sorvete, mousse e até em forma de licores. O cupuaçu pode, ainda, ser usado em produtos cosméticos, utilizando a parte gordurosa do fruto, suas sementes contém alto valor proteico e servem para incorporar vários tipos de alimentos. As geleias são doces semitransparentes, contendo polpa do fruto em partes de açúcar, que são cozidos até obter uma consistência viscosa, a pectina das frutas garante essa propriedade física. Objetivos: Determinar o comportamento reológico de uma geleia comercial de cupuaçu nas temperaturas de 20°C, 30°C, 40°C, 50°C e 60°C e identificar o modelo mais adequado para descrever o comportamento reológico desse tipo de alimento, a fim de se obter parâmetros para a produção deste tipo de produto. Material e métodos: As geleias foram adquiridas no comércio local da cidade de São Luís, no estado do Maranhão. As análises reológicas foram determinadas por um reômetro rotacional do tipo cone e placa, localizado no DETA/UNESP. Resultados: Os dados experimentais foram ajustados aos modelos de Newton, Ostwald-de-Waelle e Bingham, sendo que o modelo mais adequado para descrever o comportamento reológico do produto estudado foi o de Ostwald-de-Waelle, pois apresentou coeficientes de determinação ( $R^2$ ) superiores a 0,99 e menores valores de erro em todas as temperaturas estudadas. O tempo para formação dos géis foi de aproximadamente 50 minutos (300s). Conclusão: As amostras apresentaram comportamento não newtoniano e caráter pseudoplástico.

**Palavras-chave:** cupuaçu; modelos; reogramas.

#### **ABSTRACT**

Rheology is the science that studies the mechanical properties of materials that determine their flow when requested by external forces. The native fruits of the Brazilian Amazon are of great interest worldwide as to their nutritional composition and commercial value. Cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) is no different, as this fruit, in addition to being exotic, has numerous ways to be consumed, such as: sweets, jellies, juices, ice cream, mousse and even in the form of liqueurs. Cupuaçu can also be used in cosmetic products, using the fatty part of the fruit, its seeds contain a high protein value and serve to incorporate various types of food. Jellies are semitransparent candies, containing fruit pulp in parts of sugar, which are cooked until obtaining a viscous consistency, the pectin of the fruits guarantees this physical property. Objectives: To determine the rheological behavior of a commercial cupuaçu jelly at temperatures of 20°C, 30°C, 40°C, 50°C and 60°C and to identify the most appropriate model to describe the rheological behavior of this type of food, in order to obtain parameters for the production of this product type. Material and methods: The jellies were purchased from local businesses in the city of São Luís, in the state of Maranhão. The rheological analyzes were determined by a cone and plate rotational rheometer, located at DETA / UNESP. Results: The experimental data were adjusted to the models of Newton, Ostwald-de-Waelle and Bingham, and the most appropriate model to describe the rheological behavior of the product studied was that of Ostwald-de-Waelle, as it presented coefficients of determination ( $R^2$ ) greater than 0.99 and lower error values at all temperatures studied. The time for formation of the gels was approximately 50 minutes (300s). Conclusion: The samples showed non-Newtonian behavior and a pseudoplastic character.

**Keywords:** cupuaçu; models; schedules.

## 1 INTRODUÇÃO

As frutas representam quase 60% da dieta mundial. Ao usá-las, muitas vezes, ocorre desperdícios de várias partes das mesmas que poderiam consideravelmente reduzir desperdícios e agregar valor. De acordo com Zubem (2008), o resíduo sólido urbano brasileiro ainda possui concentração muito elevada de matéria orgânica constituída em maior proporção por resíduos de alimentos.

As medidas ou predições das propriedades reológicas de alimentos são muito importantes em cálculos de engenharia de processos, controle de qualidade e determinação das propriedades de ingredientes, entre outros (CASTRO, 2004).

A Reologia é definida como a ciência do escoamento e da deformação dos materiais, é fundamental e interdisciplinar, pois vem ganhando importância dentro da engenharia de processos, na qual inclui o estudo das deformações e do escoamento das matérias-primas, dos produtos intermediários e finais das indústrias alimentícias (GABAS et al., 2012). O conhecimento dos parâmetros reológicos obtidos com o ajuste das equações matemáticas às propriedades de fluxo é fundamental nos cálculos para dimensionamento de equipamentos e processos, além de ser de grande interesse no controle de qualidade (CAPELLI, 2012).

A maioria dos alimentos fluidos requer modelos complexos para sua caracterização (TABILO-MUNIZAGA e BARBOSA-CÁNOVAS, 2005). Para caracterizar um fluido, existem vários modelos e os mais comumente utilizados são: Ostwald-de-Waele de Waele, Plástico de Bingham, Hershel-Bulkley, Casson e Newton (STEFFE, 1996). A função de viscosidade de Ostwald-de-Waele – Lei da Potência é uma das utilizadas para adequar os dados de viscosidade dos materiais viscoplásticos (GUEDES, *et al.*, 2010).

O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) é uma fruta típica da Amazônia. No gênero *Theobroma*, o cupuaçu é o que apresenta maior tamanho. Sua polpa é utilizada na elaboração de sucos, sorvetes, picolés, geleias, iogurtes, doces e compotas. Análises da polpa dessa fruta revelam excelentes características e teores médios de P (fósforo), K (potássio), Ca (cálcio) e 33 mg de vitamina C em 100 g de polpa (SOUZA et al., 2007). As geleias são doces simples e rápidos que podem ser elaborados com diversas partes das frutas, até aquelas que normalmente são desperdiçadas, como cascas, talos, etc.

Neste trabalho as geleias de cupuaçu utilizadas foram adquiridas no comércio local em São Luís do Maranhão que serviram de teste para elaboração da tabela 1, onde se encontram os modelos reológicos de Newton, Ostwald-de-Waele (Os-W) e Bingham.

**2 MATERIAL E MÉTODOS**

A matéria-prima utilizada para este estudo foi geleia de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*), adquirida no comércio local em São Luís - MA.

O comportamento reológico da geleia de cupuaçu foi determinado por meio de um reômetro rotacional AR-G2, (marca TA Instruments, New Castel, DE) e estudado nas temperaturas de 20°C, 30°C, 40°C, 50°C e 60°C, de forma a identificar o modelo reológico mais adequado para descrever o comportamento reológico deste produto, a fim de se obter parâmetros para a produção de geleia.

Para identificação de modelos reológicos é importante conhecer os parâmetros relacionados ao fluxo do fluido: a tensão de cisalhamento ( $\tau$ ) e a taxa de deformação ( $\dot{\gamma}$ ), que depende de uma correlação entre si. O primeiro a descrever uma lei que representasse a relação entre esses dois parâmetros para fluidos ideais foi Isaac Newton (Equação 1): onde  $\eta$  representa a viscosidade dinâmica, constante, se mantidas as condições de temperatura e pressão.

O Modelo de Ostwald-de-Waele (Equação 2), na qual:  $K$  é o índice de consistência do fluido,  $\gamma$  é a inclinação da curva. Para o Modelo de Bingham (Equação 3), na qual:  $\tau_0$  é a tensão de cisalhamento inicial,  $\eta_B$  é uma constante análoga à viscosidade de fluidos newtonianos. Nesse caso, os modelos de Ostwald-de-Waele (Equação 2) e de Bingham (Equação 3), tornam-se análogos aos modelos de Newton (Equação 1). Se o parâmetro  $n$  assume valor entre 0 e 1, o fluido apresenta comportamento pseudoplástico e se o parâmetro é maior que 1, o comportamento reológico é dilatante (CAPELLI, 2012).

Tabela 1. Modelos reológicos utilizados nos ajustes das análises

Modelo	Tensão de cisalhamento	Equação
Newton	$\tau = \eta \cdot \dot{\gamma}$	(1)
Os-W	$\tau = \kappa \cdot \dot{\gamma}^n$	(2)
Bingham	$\tau = \tau_0 + \eta_B \cdot \dot{\gamma}$	(3)

Onde  $\tau$  é a tensão de cisalhamento (Pa);  $\dot{\gamma}$  é a taxa de deformação ( $s^{-1}$ );  $\kappa$  (mPa·s), e o índice de consistência; dos modelos e  $n$  e  $\eta_B$  (adimensionais) são os índices de comportamento reológico.

**3 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os valores experimentais obtidos em relação a tensão de cisalhamento e taxa de deformação foram ajustados, através de regressão não linear, aos modelos de reológicos de Bingham (Equação 1), Herschel-Bulkley (Equação 2) e Ostwald-de-Waele (Equação 3). Os ajustes foram realizados com o auxílio do software Statistica 8.0 (StatSoft®). A tabela 2 apresenta os dados obtidos: tensão de cisalhamento, taxa de deformação e viscosidades.

Tabela 2- Parâmetros reológicos para os ajustes ao modelo de Newton, Ostwald-de-Waele (Os-W) e Bingham para a geleia de Cupuaçu, nas temperaturas de 20°C a 60°C

Temperatura	Modelo Newton	Modelo Os-W	Modelo Bingham
20°C	$\eta = 0,34611$	$K = 4,22468$	$\eta_B = 0,27079$
	$\gamma^2 = 0,72703$	$\gamma^2 = 0,99991$	$\tau_0 = 10,57708$
		$\eta = 0,50549$	$\gamma^2 = 0,93301$
30°C	$\eta = 0,27833$	$K = 3,83871$	$\eta_B = 0,21264$
	$\gamma^2 = 0,67205$	$\gamma^2 = 0,99966$	$\tau_0 = 9,22479$
		$\eta = 0,48091$	$\gamma^2 = 0,92404$
40°C	$\eta = 0,23113$	$K = 0,78017$	$\eta_B = 0,21330$
	$\gamma^2 = 0,96718$	$\gamma^2 = 0,99960$	$\tau_0 = 2,50492$
		$\eta = 0,76150$	$\gamma^2 = 0,98653$
50°C	$\eta = 0,10455$	$K = 0,71980$	$\eta_B = 0,08946$
	$\gamma^2 = 0,88540$	$\gamma^2 = 0,99990$	$\tau_0 = 2,11935$
		$\eta = 0,62015$	$\gamma^2 = 0,96302$
60°C	$\eta = 0,09305$	$K = 0,56562$	$\eta_B = 0,08083$
	$\gamma^2 = 0,90620$	$\gamma^2 = 0,99993$	$\tau_0 = 1,71578$
		$\eta = 0,64492$	$\gamma^2 = 0,96882$

Observando os resultados apresentados na Tabela 2 percebe-se que o modelo de Ostwald-de-Waele foi o que representou de forma mais satisfatória os dados experimentais, por ter apresentado os maiores valores de  $\gamma^2$  em todas as temperaturas analisadas, resultado também encontrado por

Rodrigues et. al. (2014), pesquisando a caracterização reológica da polpa de araticum (*Annona crassiflora Mart*), identificou que os modelos que melhor representaram o seu comportamento reológico foram os modelos de Herschel-Bulckey e Ostwald-de-Waelle.

A maioria dos fluidos alimentícios, por exemplo, apresenta comportamento pseudoplástico, em que a viscosidade, que independe do tempo, diminui com o aumento da taxa de deformação. Polpas e sucos concentrados de frutas (RAO e RIZVI, 1995, TELIS ROMERO *et al.*, 1999), gema de ovo (TELIS-ROMERO *et al.*, 2005). Pode-se observar que este modelo empírico do comportamento reológico apresentou um excelente ajuste aos dados experimentais nas temperaturas entre 20° a 60°C. Os valores do índice de fluxo ( $\eta$ ) foram inferiores a 1 ( $0 < \eta < 1$ ), o fluido é considerado não-newtoniano e pseudoplástico. O modelo Lei da Potência deu uma boa descrição dos dados reológicos em todas as temperaturas.

#### 4 CONCLUSÕES

O modelo que melhor representa o comportamento reológico foi o de Ostwald-de-Waelle, pois apresentou maiores valores de  $\gamma^2$  e superiores a 0,99 em todas as temperaturas estudadas. Indica desta forma, que a geleia de cupuaçu apresenta um comportamento não newtoniano, característica pseudoplástica.

#### AGRADECIMENTOS

À UNESP-Campus de São José do Rio Preto-SP nas pessoas dos Professores Doutores José Francisco Lopes Filho e Javier Telis Romero pelos conhecimentos adquiridos durante o Doutorado Interinstitucional em Engenharia e Ciência de Alimentos.

#### REFERÊNCIAS

CASTRO, A. G. A Química e a Reologia no Processamento dos Alimentos. Instituto Piaget, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, 2004. P.32-57.

CAPELLI, A. Influência da faixa de taxas de deformação na precisão de caracterizações reológicas de fluidos. Dissertação de Mestrado em Engenharia e Ciência de Alimentos, área de Engenharia de Alimentos, Instituto de Biociências, Letras e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, São José do Rio Preto. 2012, 89 p.

GABAS, A. L; MENEZES, R. S; TELIS-ROMERO, J. Reologia de Biocombustíveis. Lavras: INDI, 2012. 156p.

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. Campinas – São Paulo, 2010. P.279-285.

RAO, M. A.; RIZVI, S.S.H., *Engineering Properties of Foods*, 2a ed., Marcel Dekker Inc., 1995, p. 531.

RODRIGUES, C. G., DOMINGUES, R. C. C., SILVA, W. A., REIS, M. H. M., CARLOS, L. A. e CALLEGARI, F. C. Caracterização Reológica da Polpa de Araticum (*Annona crassiflora* Mart), vol. 1 num. 2 -**XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química** Florianópolis – SC, fevereiro 2015.

SOUZA, J. M. L. de., REIS, F. S., SOUZA, J. M. L de., LEITE, F.M. N., GONZAGA, D.S. DE O. Geleia de cupuaçu - Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2007. 47 p.; 16 x 22 cm. - (Coleção Agroindústria Familiar). [www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/84219/1/00081290.pdf](http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/84219/1/00081290.pdf), acessado em 12/12/2015

STEFFE, J.F. *Rheological methods in food process engineering*. Freeman Press, 2.ed., Michigan, 1996. P. 418.

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

TELIS-ROMERO, J., TELIS, V. R. N. and YAMASHITA, F., Friction factors and rheological properties of orange juice. *J. Food Eng.*, v.40, 1999. P. 101-106.

TELIS-ROMERO, J., POLIZELLI, M. A., GABAS, A. L. and TELIS, V. R. N., Friction losses in valves and fittings for viscoplastics fluids, *Can. J. Chem. Eng.*, v.83, 2005, P.181-187.

ZUBEM, F. V. *Sustentabilidade é não Desperdiçar Alimentos e Incentivar a Coleta Seletiva*. Planeta Sustentável, Editora Abril S.A., São Paulo, 2008.