

ESTUDO DA ESTABILIDADE, COMPORTAMENTO REOLÓGICO E EFEITO DA TEMPERATURA DA POLPA DE CUPUAÇU (*THEOBROMA GRANDIFLORUM*) EM DIFERENTES CONCENTRAÇÕES

S.F.BORGES¹, V.P. PIRES¹, H.A.VILLA-VELEZ¹, A.A.SANTANA¹, R.M.SAMPAIO¹

¹ Universidade Federal do Maranhão, Departamento de Engenharia Química
E-mail para contato: simara_f.borges_@hotmail.com

RESUMO – O cupuaçu (*Theobroma grandiflorum*) é uma fruta com alta demanda comercial nas Regiões Norte e Nordeste do Brasil. No entanto, sua industrialização é recente e pouco se conhece sobre as características físicas da polpa e de seus coprodutos. Assim, este trabalho de pesquisa tem como objetivo estudar o comportamento reológico da polpa de cupuaçu em função do teor de sólidos solúveis totais (2, 6 e 12 °Brix) e temperatura (10, 35 e 60 °C). As medidas experimentais foram realizadas em viscosímetro Brookfield e o modelo reológico de Ostwald-de-Waele foi ajustado aos dados experimentais de viscosidade aparente e taxa de deformação. O modelo utilizado teve um bom ajuste aos dados experimentais. A polpa de cupuaçu apresentou tendência de diminuição da viscosidade aparente com o aumento da taxa de deformação, comportando-se como fluido não-newtoniano com caráter pseudoplástico. Além disso, analisou-se ainda a energia de ativação comprovando-se que a equação de Arrhenius pode ser utilizada no estudo da influência da temperatura da polpa em questão. Finalmente, fez-se o estudo de estabilidade da polpa *in natura*.

1. INTRODUÇÃO

As frutas tropicais vêm trazendo grande destaque na indústria de alimentos, em grande parte, pelas características de sabor, aroma e possibilidades de utilização doméstica e agroindustrial da sua polpa. Nesse contexto, o cupuaçuzeiro (*theobroma grandiflorum*), que tem como fruto o cupuaçu, nativo da Amazônia Oriental, tem sido destaque dentre tais frutas (Godim *et al.*, 2001).

Sabendo da enorme importância econômica do cupuaçu, fica evidente a necessidade de se conhecer ainda mais sobre suas propriedades reológicas a fim de se melhorar os futuros empreendimentos agroindustriais. A Reologia é a ciência que estuda a resposta de um material à aplicação de uma tensão ou deformação externa (Toledo, 1991). Sendo assim para a indústria de alimentos, o estudo reológico é de grande utilidade na determinação de cálculos em processos de engenharia, tais como cálculo de vazões, seleção de bombas, determinação de perda de carga em tubulações, em operações unitárias como evaporação e esterilização entre outros, determinação da funcionalidade de um ingrediente no desenvolvimento de um produto, testes de tempo-de-prateleira, avaliação da textura dos alimentos para correlacioná-la à análise sensorial (Holdsworth, 1993).

Mediante o exposto, neste trabalho objetivou-se estudar o comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*theobroma grandiniflorum*), com diferentes teores de sólidos solúveis totais e em diferentes temperaturas e assim caracterizá-la como newtoniana ou não-newtoniana o que será feito observando a forma como sua viscosidade se comporta quando submetida a diferentes deformações, e ainda a estabilidade da polpa. Assim, tal estudo contribuirá para complementar os estudos já relatados sobre polpa de cupuaçu e em consequência, com a melhora em seu processamento.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Matéria prima e preparação das amostras

Na pesquisa foi utilizada polpa de cupuaçu adquirida em um mercado local da cidade de São Luís - MA. Assim, a polpa *in natura* sem adição de água ou de conservantes foi medida inicialmente com um refratômetro para determinar a concentração de sólidos solúveis (12°Brix). A partir desse valor definiu-se o teor de água das polpas concentradas utilizadas no estudo, que foram de 50 e 75%, correspondentes, respectivamente, ao teor de sólidos solúveis totais de 2 e 6 °Brix.

2.2. Estudo reológico e modelagem matemática

A polpa de cupuaçu às diferentes concentrações de sólidos solúveis totais (2, 6 e 10 °Brix) foram submetidas a análise do comportamento nas temperaturas de 10, 35 e 60 °C e taxas de deformação na faixa de 0, 333 a 3, 333 s⁻¹. Na experimentação utilizou-se um viscosímetro BROOKFIELD (modelo DV-II + Pro, Brookfield, USA), utilizando um spindle LV3(63) e acoplado a um banho termostático (modelo ALB 250 C, Tecnal, Brasil).

Os reogramas obtidos foram ajustados com o modelo reológico de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência), de acordo com a Eq. (1):

$$\mu = k\dot{\gamma}^{(\eta-1)} \quad (1)$$

Onde, μ é a viscosidade dinâmica (Pa.s), η é o índice de comportamento (adimensional), $\dot{\gamma}$ é a taxa de deformação (s⁻¹) e k é o índice de consistência (Pa.s) (Steffe, 1996; Genovese *et al.*, 2007).

O modelo foi ajustado aos valores experimentais de viscosidade aparente em função da taxa de deformação, utilizando-se para a modelagem matemática a ferramenta Solver do software Microsoft Excel (Microsoft, Redmond, EUA). Foram utilizados como critério de determinação de melhor ajuste do modelo aos dados experimentais o coeficiente de determinação (R^2) e o Erro Relativo Médio (MRE, %) Eq.(2).

$$MRE = \frac{100}{n} \sum_{i=1}^m \frac{|Y_i - Y_i^*|}{Y_i^*} \quad (2)$$

Onde, Y e Y^* representam os valores experimentais e calculados, respectivamente e m é o número de valores experimentais.

Para a avaliação do efeito da temperatura sobre os valores da viscosidade aparente da polpa de cupuaçu foi utilizada a equação de Arrhenius (Eq. (3)), onde tem-se o valor da viscosidade aparente (Pa.s) em função do inverso da temperatura (1/T).

$$\eta = A_0 \exp\left(\frac{E_a}{R(T + 273.15)}\right) \quad (3)$$

2.3. Estabilidade física

A polpa de cupuaçu foi diluída na proporção de 1:4 e homogeneizada a 25 °C em homogeneizador Ultra Turrtec (modelo TE-102, Tecnal, Brasil), usando rotações de 0 a 2000 rpm durante 10 minutos. Em seguida foi submetida à centrifugação durante 10 min. A absorbância do sobrenadante foi determinada a 660 nm utilizando o espectrofotômetro. A turbidez foi determinada pela quantidade de luz absorvida pelas partículas suspensas, assim, maiores leituras de absorbância correspondem a uma maior turbidez (Okoth *et al.*, 2000).

3. RESULTADOS, TRATAMENTO ESTATÍSTICO E DISCUSSÕES

3.1. Reologia da polpa

Na tabela 1 têm-se os valores dos parâmetros do modelo reológico de Ostwald-de-Waele, ajustados aos dados experimentais nos teores de sólidos solúveis totais (2, 6 e 12 °Brix) e nas temperaturas de 10,35 e 60 °C. Para a polpa de cupuaçu obteve-se valores de R^2 acima de 0,91 e MRE inferiores a 10%, indicando que o modelo em questão pode ser utilizado para estimar os dados reológicos da polpa de cupuaçu nos Brix e nas temperaturas do estudo. Ao fazer a análise reológica da polpa de cupuaçu de 0,3 a 100 rpm e em temperaturas de 20 a 70 °C, Ferreira *et al.* (2008) constatou que o modelo que melhor se ajustou aos dados experimentais foi também o de Ostwald-de-Waele, apresentando valores de R^2 acima de 0,94.

Tabela 1 – Parâmetros do modelo de Ostwald-de-Waele.

°Brix	Temperatura (°C)	k (Pa.s)	η	R^2	MRE (%)
2	10	82,28	0,306	0,97	3,57
	35	69,70	0,303	0,97	4,11
	60	73,45	0,087	0,99	7,83
6	10	1139,90	0,296	0,99	3,09
	35	1244,00	0,107	0,99	2,48
	60	859,60	0,295	0,99	3,95
12	10	7900,00	0,216	0,99	7,49
	35	6583,34	0,246	0,99	1,42
	60	4801,40	0,210	0,99	1,88

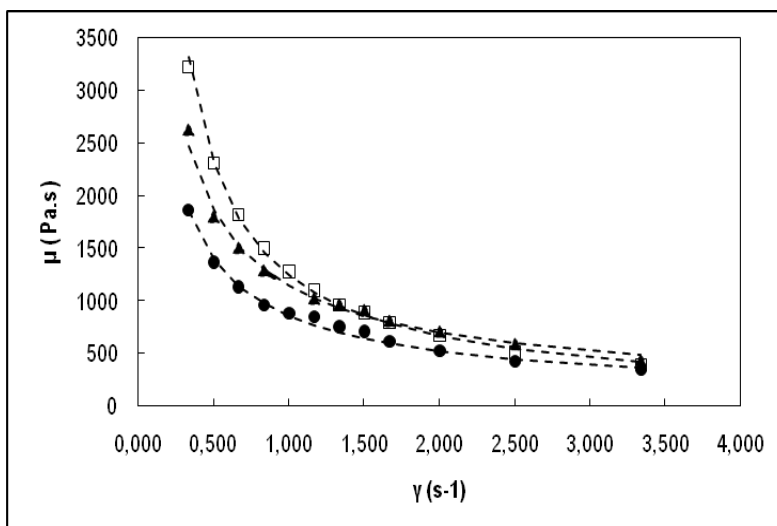
O índice de comportamento (η) mostrou valores de $0,05 < \eta < 0,59$, caracterizando à polpa como fluido pseudoplástico. Ferreira *et al.* (2008) também trabalhando com polpa de

cupuaçu integral de 0,3 a 300 s⁻¹, encontrou valores de η entre 0,23 e 0,42 em temperaturas de 10 a 60 °C. Cabral *et al.* (2002) em seu estudo com polpa de cupuaçu peneirada também obteve comportamento não-newtoniano de caráter pseudoplástico.

Para o índice de consistência k também se obteve variação com a concentração de sólidos solúveis totais e com a temperatura. Observou-se que o k diminuiu com o aumento da temperatura tendo os maiores valores para a temperatura de 10 °C. O índice de consistência também aumentou com a concentração de sólidos solúveis totais, assim obteve-se o maior índice para a concentração de 12°Brix. Sousa *et al.* (2014) também obteve a mesma tendência do índice de consistência ao fazer a análise reológica da polpa de pequi nos teores de sólidos solúveis totais de 6, 8, 10 e 12 °Brix, e nas temperaturas de 25, 30, 35, 40, 45 e 50 °C.

Para todas as temperaturas e concentrações houve um decréscimo da viscosidade com o aumento da taxa de deformação (Figura 1). Estes resultados podem ser atribuídos ao maior alinhamento das partículas na direção da tensão aplicada que tornam a resistência ao movimento cada vez menor. Além disso, percebeu-se ainda uma diminuição da viscosidade com o aumento da temperatura e um aumento da viscosidade com o aumento no teor de sólidos solúveis totais. Assim, obtiveram-se as maiores viscosidades, experimentais e teóricas, para a concentração de 12°Brix e temperatura de 10°C. Autores como Ferreira *et al.* (2008), Cepeda e Villarán (1991), Ferreira *et al.*, (2002) e Assis *et al.*, (2006) também obtiveram resultados semelhantes em relação ao efeito da temperatura e da concentração na viscosidade aparente de polpas de frutas.

Figura 1 – Resultados experimentais da viscosidade aparente para as temperaturas de 10°C (▲), 35°C (□) e 60°C (●) e concentração 6 °Brix, Linhas (---) indicam valores calculados pelo modelo Lei da Potência.



As energias de ativação mostraram tendência de redução com o aumento dos sólidos solúveis totais como mostrado na Tabela (2). Os valores de energia de ativação encontrados nesse estudo foram similares aos encontrados por Alexandre (2002), que ao analisar o comportamento reológico da polpa de açaí integral, encontrou o valor igual a 6,28 kJ/mol, Ferreira *et al.* (2002), que estudou o comportamento reológico da polpa de goiaba integral (6,11 kJ/mol) e Pereira *et al.* (2008) que analisou a polpa de umbu (6,15 kJ/mol).

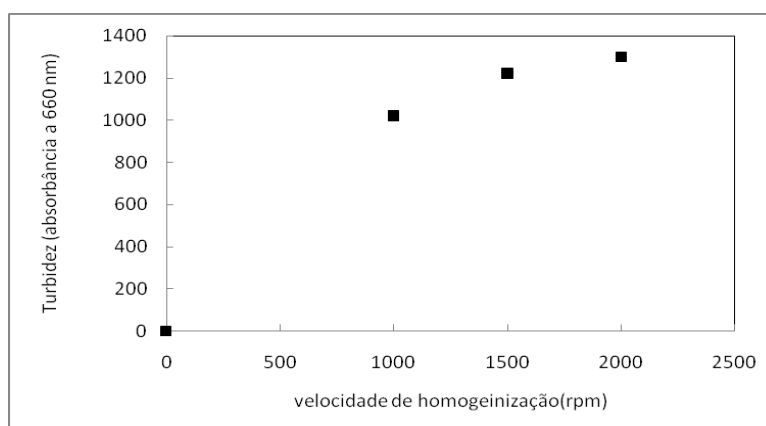
Tabela 2 - Energias de ativação para a polpa de cupuaçu.

°Brix	Ea (J/mol)	R ²
2	2393,49	0,98
6	24374,21	0,97
12	3772,19	0,99

3.2. Análise de turbidez

A Figura 2 mostra a relação quase linear da turbidez com a velocidade de homogeneização. A turbidez variou de 0,3 a 1.3 de absorbância. Pode-se inferir a partir do gráfico que a turbidez é diretamente proporcional a velocidade de homogeneização da polpa de cupuaçu em estudo. Tal comportamento pode ser explicado pelas observações de Binner *et al.* 2000, onde a desintegração mecânica das partículas por aplicação de agitação a alta velocidade faz com que aumente a turbidez da polpa. Os valores de turbidez encontrados neste estudo foram próximos aos encontrados por Amstalden (1992) para suco concentrado de laranja.

Figura 2-Gráfico da turbidez da polpa de cupuaçu a 660 nm



4. CONCLUSÃO

A polpa de cupuaçu do estudo apresentou comportamento pseudoplástico o qual foi determinado através do modelo de Ostwald-de-Waele. A equação de Arrhenius na taxa de deformação estudada pode ser utilizada para expressar a influência da temperatura sobre a viscosidade aparente da polpa de cupuaçu. O estudo da estabilidade foi realizado por meio dos testes de turbidez. Os resultados demonstraram que a turbidez aumentou com o aumento da velocidade de homogeneização.

5. REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, D. *Conservação da polpa de açaí através da tecnologia de obstáculos e caracterização reológica*. 149f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentação) – Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, 2002.
- AMSTALDEN, L.C. *Estudo sobre a ação da pectinesterase em suco de laranja*. 200f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, Campinas, 1992.
- ASSIS, M.M. M.; LANNES, SC; TADINI, C.C.; TELIS, V.R.N.; ROMERO, J.T. Influence of temperatura and concentration on thermophysical properties of yellow mombin (*Spondias mombin*, L.). *Eur. Food Res Technol*, v.223, p.585-593, 2006.
- BINNER, S.; JARDINE W.G.; RENARD, C.M.C.G.; JARVIS, M.C. Cell wall modifications during cooking os potatoes and sweet potatoes. *Journal of Science of Food na Agriculture*, v.80, n.2, p.216-218, 2000.
- CABRAL, M.F.P.; QUEIROZ, A.J.M. FIGUEIRÊDO, R.M.F. Comportamento reológico da polpa de cupuaçu (*Theobroma grandiflorum* schum.) peneirada. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, Campina Grande, v.4, n.1, p.37-40, 2002.
- CEPEDA, E.; VILLARÁN, M.C. Density and viscosity of *Malus floribunda* juice as a function of concentration and temperature. *Journal of Food Engineering*, v.41, p.103107, 1991.
- FERREIRA, G. M.; GUIMARÃES, M. J. O. C.; MAIA, M. C. A. Efeito da Temperatura e Taxa de Cisalhamento nas Propriedades de Escoamento da Polpa de Cupuaçu (*T.grandiflorum* Schum) integral. *Revista Brasileira de Fruticultura*, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 385-389, 2008
- 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, p.175-184, 2002.
- GENOVESE, D.B.; LOZANO, J.E.; RAO, M.A. *The rheology of colloidal and noncolloidal food dispersions*. [s.n]. v. 72. *Journal of Food Science*, p. 11-20, 2007.
- GODIM, T.M. S; TOMAZINI, M.J; CAVALCANTE, M.J. B; SOUZA, J.M.L. Aspectos da produção de cupuaçu. *Embrapa*, Rio Branco, dezembro, 2001.
- HOLDSWORTH, S. D. *Rheological models used for the prediction of the flow properties of food products: a literature review*. Trans. I. Chem. E., Part. C, p.139-78, 1993.
- OKOTH, M.W. KAAHWA, A.R. IMUNGI, J.K. The effect of homogenization, stabilizer and amylase on cloudiness of passion fruit juice. [s.n] v. 11, *Food Control*, 2000, p. 305-311. Oscillatory shear behavior of umbu pulp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.1, p.87-90, 2008.
- PEREIRA, E.A.; BRANDÃO, E.M.; BORGES, S.V.; MAIA, M.C.A. Influence of concentration on the steady and oscillatory shear behavior of umbu pulp. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.12, n.1, p.87-90, 2008.
- SOUSA, E. P.; QUEIROZ, A.J.M.; FIGUEIRÊDO, R.M. F. LEMOS D.M. Comportamento reológico e efeito da temperatura da polpa de pequi em diferentes concentrações. *Braz. J. Food Technol.*, Campinas, v. 17, n. 3, p. 226-235, jul./set. 2014.
- STEFFE, F.L. *Rheological methods in food process engineering*. 1 ed. Freeman Press; East Lansing, 1996.
- TOLEDO, R. T. *Fundamentals of Food Process Engineering*. New York: Chapman & Hall, 1991., 602p.