

COMPORTAMENTO REOLÓGICO DE SUCO MISTO TROPICAL À BASE DE UMBU

Meire Jéssica Azevedo Ferreira¹, Leilson de Oliveira Ribeiro¹, Virgínia Martins da Matta^{2*}, Suely Pereira Freitas¹

¹ Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

² Embrapa Agroindústria de Alimentos, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

*Autor para correspondência: virginia.matta@embrapa.br

RESUMO

Neste trabalho foi avaliado o comportamento reológico de um suco misto tropical de umbu, manga e água de coco, formulado nas proporções de 53, 27 e 20%, respectivamente, de cada matéria-prima. Para tal, rampas de cisalhamento foram aplicadas variando-se a taxa de deformação de 0 a 600 s⁻¹ nas temperaturas de 10 °C, 30 °C e 50 °C. Os dados obtidos foram ajustados aos modelos Lei da Potência e *Herschel-Bulkley*. O suco misto tropical foi caracterizado como um fluido não-Newtoniano com características pseudoplásticas, uma vez que o índice de comportamento foi sempre < 1. Pelo modelo *Herschel-Bulkley*, o índice de consistência reduziu com o aumento da temperatura. Neste caso, o aumento da temperatura levou a uma maior desorganização das camadas moleculares do fluido reduzindo sua viscosidade. Os modelos ajustaram-se bem aos dados experimentais, apresentando valores de coeficiente de determinação superiores a 0,98. As propriedades reológicas do suco misto tropical à base de umbu favorecem o seu processamento, que pode contribuir para agregar valor à cadeia produtiva desta fruta, ainda pouco explorada.

Palavras-chave: *Spondia Tuberosa*; manga; água de coco; modelos matemáticos.

1. INTRODUÇÃO

O Brasil ocupa a terceira posição no *ranking* dos maiores produtores mundiais de frutas. Além das suas principais *comodities*, o país também produz uma grande variedade de frutas regionais de importante valor econômico (CNA, 2017; Rufino *et al.*, 2010). Dentre estas pode-se destacar o umbu, fruta do semiárido do Nordeste brasileiro, conhecida por seu sabor agridoce, suculência e qualidade nutricional. Estima-se que sua produção alcançou, em 2015, cerca de 8 mil toneladas. No entanto, a fruta apresenta período sazonal curto e alta perecibilidade e, fora da região produtora, apresenta baixa aceitação em função da sua elevada acidez. Deste modo, esta fruta tem sido utilizada como ingrediente para diferentes produtos tais como doce em massa e suco (IBGE, 2015; Martins *et al.*, 2007; Ribeiro *et al.*, 2017).

Uma vez que a busca por alimentos mais saudáveis e práticos tem apresentado importante crescimento, a elaboração de bebidas mistas de frutas se torna uma alternativa importante para agregar valor a frutas pouco exploradas como o umbu, pois a combinação destas pode minimizar os efeitos sensoriais de atributos indesejáveis para o consumidor (ABIR, 2016; Bhardwaj & Pandey, 2011).

Para a indústria de sucos, é fundamental conhecer o comportamento reológico das bebidas mistas, uma vez que são sistemas complexos, compreendendo polissacarídeos, proteínas, compostos bioativos e outras moléculas que podem aumentar o consumo energético do processo, principalmente nas etapas que necessitam de bombeamento como pasteurização e envase (Steffe, 1996; Gouvêa *et al.*, 2017).

Deste modo, o objetivo deste trabalho foi avaliar o comportamento reológico de um suco misto tropical formulado a partir das polpas de umbu, manga e água de coco.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1 Matérias-primas e formulação do suco misto tropical

Este trabalho foi desenvolvido nos laboratórios e plantas pilotos da Embrapa Agroindústria de Alimentos e da Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Para elaboração do suco misto tropical foram utilizadas polpas comerciais congeladas, não pasteurizadas, de umbu e manga da marca Itiúba (Itamari, BA) e água de coco recém extraída comercializada pela rede *Hortifruti* (Rio de Janeiro, RJ). Na formulação do suco foram utilizados 53% de polpa de umbu, 27% de polpa de manga e 20% de água de coco. As polpas foram pesadas e homogeneizadas juntamente com a água de coco em um homogeneizador Ultra-Turrax (T25, Ika Works Inc.) a 300 RPM por cinco minutos.

2.2 Caracterização físico-química do suco misto

O produto formulado foi caracterizado quanto às suas características físico-químicas segundo metodologias da AOAC (2006). A densidade foi medida em densímetro (Anton Paar) por meio de leitura direta; o teor de sólidos solúveis (°Brix) medido diretamente em um refratômetro digital portátil (PAL-1, Atago); o pH e a acidez foram determinados utilizando um titulador automático (Metrohm, Modelo 785 DMP - Titrino) calibrado com soluções tampão pH 4,0 e 7,0. Os valores obtidos para a acidez foram expressos em equivalente de ácido cítrico.

2.3 Medidas reológicas

As análises reológicas do suco misto tropical foram realizadas em Reômetro TA Instruments, modelo Discovery HR-3, com geometria placa-placa de 60 mm, sendo obtidos valores de tensão de cisalhamento relativos às taxas de deformação aplicadas que variaram de 0 a 600 s⁻¹. Os ensaios foram realizados nas temperaturas de 10 °C, 30 °C e 50 °C.

Os dados obtidos de tensão de cisalhamento *versus* taxa de deformação foram ajustados aos modelos da Lei de Potência (Equação 1) e *Herschel-Bulkley* (Equação 2), por meio de regressão não linear com auxílio do *software* TA Instruments Trios Version 3.3.0.4055.

$$\tau = k\gamma^n \quad (1)$$

$$\tau = \tau_0 + k\gamma^n \quad (2)$$

Onde: τ = Tensão de cisalhamento (Pa); k = Índice de consistência (Pa.sⁿ); γ = Taxa de deformação (s⁻¹); n = Índice de comportamento (adimensional); e τ_0 = Tensão de cisalhamento inicial (Pa). A análise do ajuste dos modelos foi feita com base no coeficiente de determinação R^2 , o qual mede a variação total da média explicada pela regressão, definido pela equação 3. Quanto menor o valor de R^2 , maior a distância dos pontos experimentais ao modelo ajustado. Logo, o modelo que melhor se ajusta é aquele com altos valores de R^2 (máximo = 1).

$$R^2 = \frac{\Sigma(y_{\text{pred}} - \bar{y})^2}{\Sigma(y_{\text{med}} - \bar{y})^2} \quad (3)$$

Onde: $y_{pred.}$ é o valor previsto pelo modelo; y_{med} é o valor médio experimental; \bar{y} = média amostral. Os ensaios foram realizados em triplicata, sendo os resultados expressos em média \pm desvio padrão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A mistura das polpas de frutas com a água de coco possibilitou a obtenção de um produto com maior teor de sólidos solúveis e menor acidez (Tabela 1) quando comparado com a polpa de umbu, a qual, segundo Ribeiro *et al.* (2017), apresenta acidez superior a 1,70 g/100g ácido cítrico e teor de sólidos solúveis menor que 5 °Brix. O maior *ratio* do suco, definido como a razão entre os sólidos solúveis e a acidez, provavelmente, favorecerá a sua aceitação sensorial.

Tabela 1 – Características físico-químicas do suco misto tropical de umbu, manga e água de coco.

Parâmetros	Suco Misto Tropical
Acidez total titulável (% ácido cítrico)	1,51 \pm 0,00
Sólidos solúveis (°Brix a 20 °C)	7,80 \pm 0,00
pH	2,77 \pm 0,00
Densidade (g/cm ³)	1,02 \pm 0,00

As curvas de fluxo do suco misto tropical nas diferentes temperaturas avaliadas estão ilustradas na Figura 1 e representam os reogramas ajustados ao modelo reológico da Lei de Potência. Pode-se observar que não existe uma relação linear entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação das amostras em todas as temperaturas avaliadas, indicando o comportamento não-Newtoniano do produto (Steffe, 1996).

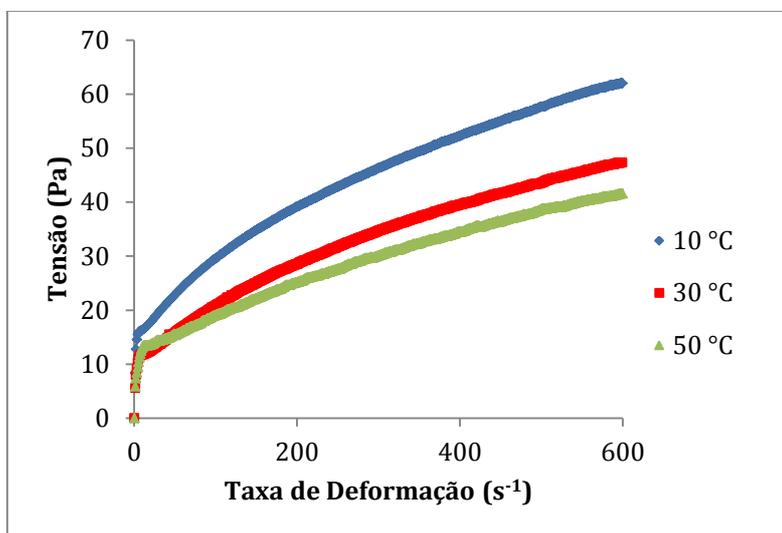


Figura 1 – Curvas de fluxos do suco misto tropical à base de umbu, manga e água de coco ajustadas ao modelo da Lei de Potência em diferentes temperaturas.

Na Figura 2, são apresentadas as curvas de viscosidade aparente do suco misto tropical nas diferentes temperaturas de estudo. Em todas as temperaturas, a viscosidade aparente decresceu com o aumento da taxa de deformação, caracterizando todas as amostras como pseudoplásticas. A redução de viscosidade de um fluido submetido a diferentes taxas de deformação ocorre pela quebra das estruturas moleculares causada pelas forças hidrodinâmicas geradas e pelo alinhamento dos constituintes moleculares. Esta alteração

estrutural das moléculas do material não ocorre a baixas taxas de deformação, por serem insuficientes para causar a separação dos agregados e reduzir a viscosidade (Rao, 1999).

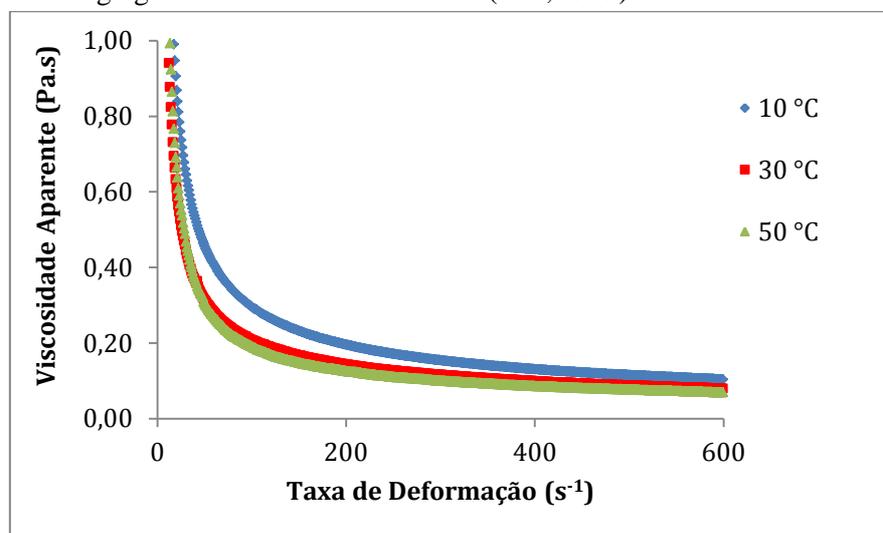


Figura 2 – Rampa de cisalhamento do suco misto tropical obtidas em diferentes temperaturas.

Na Tabela 2, estão apresentados os valores médios de viscosidade aparente do suco misto tropical na taxa de deformação de 100 s^{-1} . Este é o valor médio da taxa de deformação que, segundo Steffe (1996), é aplicada nos principais processos conduzidos na indústria de sucos. Os resultados indicam que o produto, como esperado, apresentou menor viscosidade quando os ensaios foram conduzidos a 50 °C . Com o aumento da temperatura, é esperada a redução da viscosidade aparente de fluidos como os sucos de frutas, uma vez que esta variável enfraquece interações entre os constituintes do produto, principalmente constituintes macromoleculares como pectinas e outros polissacarídeos. Tal comportamento em termos de processamento é desejado, pois facilita o escoamento e, conseqüentemente, reduz o custo energético.

Tabela 2 – Viscosidade aparente e parâmetros dos modelos da Lei de Potência e *Herschel-Bulkley* obtidos pelos ajustes dos dados reológicos do suco misto tropical.

Lei de Potência			
	10 °C	30 °C	50 °C
$V_{\text{aparente a } 100 \text{ s}^{-1}} \text{ (Pa.s)}$	$0,29 \pm 0,01$	$0,21 \pm 0,01$	$0,19 \pm 0,00$
$k \text{ (Pa.s}^n\text{)}$	$4,78 \pm 0,22$	$2,82 \pm 0,38$	$2,94 \pm 0,06$
n	$0,40 \pm 0,00$	$0,44 \pm 0,02$	$0,41 \pm 0,00$
R^2	$0,99 \pm 0,00$	$0,99 \pm 0,00$	$0,98 \pm 0,00$
<i>Herschel-Bulkley</i>			
	10 °C	30 °C	50 °C
$\tau_0 \text{ (Pa)}$	$9,48 \pm 0,47$	$6,31 \pm 0,21$	$9,38 \pm 1,11$
$k \text{ (Pa.s}^n\text{)}$	$1,73 \pm 0,26$	$1,09 \pm 0,25$	$0,48 \pm 0,17$
n	$0,53 \pm 0,03$	$0,57 \pm 0,04$	$0,66 \pm 0,05$
R^2	$0,99 \pm 0,00$	$0,99 \pm 0,00$	$0,99 \pm 0,00$

V – viscosidade; R^2 – coeficiente de determinação; k – índice de consistência; n – índice de comportamento; τ_0 – tensão inicial.

Os parâmetros relativos aos modelos da Lei de Potência e *Herschel-Bulkley*, obtidos por meio do

ajuste dos dados experimentais do suco misto tropical, também são mostrados na Tabela 2. Os modelos adequaram-se muito bem aos dados experimentais em todas as temperaturas avaliadas, apresentando valores para o coeficiente de determinação (R^2) superiores a 0,98 para o modelo da Lei de Potência e 0,99 para o modelo *Herschel-Bulkley*.

O índice de comportamento (n), em todas as temperaturas avaliadas, foi menor que 1, confirmando o comportamento não-Newtoniano típico de um fluido pseudoplástico para o suco misto tropical (Steffe, 1996). Comportamento semelhante foi observado para derivados de frutas e vegetais em geral, por exemplo, no purê de tomate (Augusto, Ibarz, Cristianini, 2012; Tan & Kerr, 2015) e nas polpas de açaí e umbu (Tonon *et al.*, 2009; Pereira *et al.*, 2008).

O índice de consistência (k), descrito pelo modelo *Herschel-Bulkley*, diminuiu com o aumento da temperatura, ratificando os resultados reportados por Bezerra *et al.* (2013) na avaliação reológica de um néctar misto tropical. A diminuição da viscosidade com o aumento da temperatura tem impacto direto no índice de consistência da amostra, pela redução do grau de empacotamento das partículas do suco.

4. CONCLUSÕES

Os resultados indicaram que a mistura das polpas de umbu e manga com a água de coco favoreceu a obtenção de um produto com maior teor de sólidos solúveis em comparação com a polpa de umbu *in natura*. O produto em todas as temperaturas avaliadas comportou-se como um fluido não-Newtoniano com características pseudoplásticas, típicas de produtos à base de frutas.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Capes pelo suporte financeiro e às instituições Universidade Federal do Rio de Janeiro e Embrapa Agroindústria de Alimentos.

5. REFERÊNCIAS

- AOAC (2006). Official methods of analysis (14th ed.). Gaithersburg: Association of Official Analytical Chemists.
- Augusto, P. E. D., Ibarz, A., & Cristianini, M. (2012). Effect of high pressure homogenization (HPH) on the rheological properties of tomato juice: Time- dependent and steady-state shear. *Journal of Food Engineering*, 111, 570–579.
- Bezerra, C. V., Silva, L. H. M. da, Costa, R. D. S. da, Mattietto, R. de A., & Rodrigues, M. da C. (2013). Rheological properties of tropical juices. *Brazilian Journal of Food Technology*, 16, 155–162.
- Bhardwaj, R. L., & Pandey, S. (2011). Juice blends- A way of utilization of under-utilized fruits, Vegetables, and spices: A review. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*, 51, 563–570.
- CNA – Confederação da Agricultura e Pecuária do Brasil. Fruticultura: Balanço 2016|Perspectivas 2017. Disponível em: http://www.cnabrazil.org.br/sites/default/files/sites/default/files/uploads/10_fruticultura.pdf
- Gouvêa, R. F., Ribeiro, L. O., Souza, É. F., Penha, E. M., Matta, V. M., & Freitas, S. P. (2017). Effect of enzymatic treatment on the rheological behavior and vitamin C content of *Spondias tuberosa* (umbu) pulp. *Journal of Food Science and Technology*, 54, 2176- 2180.
- Martins, M. L. A.; Borges, S. V.; Deliza, R.; Castro, F. T. C.; Cavalcante, N. B. (2007). Características de doce em massa de umbu verde e maduro e aceitação pelos consumidores. *Pesq. agropec. bras.*, 42, 1329-1333.

- Rao, M.A. (1999). *Rheology of Fluid and Semisolid Foods: Principles and Applications*. Aspen Publishers, Gaithersburg.
- Ribeiro, L. O., Pontes, S. M., Ribeiro, A. P. O., Pacheco, S., Freitas, S. P., & Matta, V. M. (2017). Avaliação do armazenamento a frio sobre os compostos bioativos e as características físico-químicas e microbiológicas do suco de umbu pasteurizado. *Brazilian Journal of Food Technology*, 20, e2015095.
- Rufino, M. do S. M., Alves, R. E., de Brito, E. S., Pérez-Jiménez, J., Saura-Calixto, F., & Mancini-Filho, J. (2010). Bioactive compounds and antioxidant capacities of 18 non- traditional tropical fruits from Brazil. *Food Chemistry*, 121, 996–1002.
- Steffe, J.F. (1996). *Rheological Methods in Food Process Engineering* (2nd ed). Freeman Press, East Lansing.
- Tan, J., & Kerr, W. L. (2015). Rheological properties and microstructure of tomato puree subject to continuous high pressure homogenization. *Journal of Food Engineering*, 166, 45–54.