

Viscosidade aparente da polpa de manga espada

Apparent viscosity of espada mango pulp

Relyson Gabriel Medeiros de Oliveira^{1*}, Carlos Cesar Bezerra Lopes², João Carlos Soares de Melo³, Carlos Helaídio Chaves da Costa⁴, Adair Divino Silva Badaró⁵

¹Técnico em eletrotécnica, Instituto Federal do Rio Grande do Norte, *Campus* Caicó, Caicó, 84 998809385, relysonrn@gmail.com; ²Técnico em informática, Instituto Federal do Rio Grande do Norte, *Campus* Caicó, carloscesarlopes@gmail.com; ³Doutor em Engenharia de Processos, Instituto Federal do Rio Grande do Norte *Campus* Caicó, carlos.soares@ifrn.edu.br; ⁴Mestre em Ensino de Ciência e Matemática, Instituto Federal do Rio Grande do Norte *Campus* Caicó, carlos.chaves@ifrn.edu.br; ⁵Mestrando em Engenharia Têxtil, Instituto Federal do Rio Grande do Norte, *Campus* Caicó, adair.badaro@ifrn.edu.br.

ARTIGO

Recebido: 21/05/2018
 Aprovado: 07/12/2018

Palavras-chave:

Fluido pseudoplástico
 Viscosidade aparente
 Energia de ativação

Key words:

Pseudoplastic fluid
 Apparent viscosity
 Activation energy

INTRODUÇÃO

A manga apresenta-se como uma excelente fonte de compostos bioativos, dos quais a vitamina C se destaca junto com os carotenoides, que são compostos que contribuem para a melhora da saúde (SOARES; SÃO JOSÉ, 2013). Por ser um fruto de regiões tropicais e subtropicais, esse fruto é procurado (*in natura*) pelas indústrias para fazer seus derivados: néctares, sucos, sorvetes e sobremesas (VIDAL et al., 2006). As propriedades reológicas de fluidos são importantes no desenvolvimento de novos produtos, em projetos de equipamentos e processos, no transporte e no controle de qualidade, dentre outras operações.

RESUMO

O conhecimento das propriedades reológicas dos produtos alimentares é fundamental para os processos de concepção e avaliação de equipamentos. A viscosidade aparente das polpas, por exemplo, varia bastante durante o seu processamento a ponto de inviabilizar o seu processamento com maiores concentrações. Logo, o objetivo deste trabalho foi estudar o comportamento da viscosidade aparente da polpa de manga espada nas temperaturas de 15, 25, 35, 45 e 55 °C e nas concentrações de 20 e 16 °Brix. As medidas das viscosidades aparentes das polpas foram determinadas utilizando um viscosímetro rotativo analógico, em diferentes velocidades de rotação do equipamento (0,6, 1,5, 3,0; 6,0; 12; 30 e 60 rpm). Todos os experimentos foram realizados em triplicatas e, para o cálculo, foi utilizada a média dos valores obtidos. A viscosidade aparente da polpa de manga espada tendeu a diminuir com o aumento da velocidade de rotação e temperatura (nas concentrações estudadas). As polpas de manga espada apresentaram comportamento de um fluido não-newtoniano do tipo pseudoplástico. As equações ajustadas aos dados experimentais das viscosidades aparentes da polpa de manga espada podem ser usadas para estimar a viscosidade aparente da polpa de manga espada.

ABSTRACT

The rheological properties knowledge about food products is vital to the processes of equipment design and evaluation. The apparent viscosity of the pulps, for example, varies a lot during its processing, and it can preclude this processing with higher concentrations. Therefore, the objective of this work is to study the apparent viscosity behavior of espada mango pulp at temperatures of 15, 25, 35, 45 and 55° C and at concentrations of 20 and 16° Brix. The pulps apparent viscosity measurements were determined using an analog rotational viscometer, at different rotation speeds of the equipment (0,6; 1,5; 3,0; 6,0; 12; 30 and 60 rpm). All experiments were carried out in triplicate and, for calculation, it was used the average of the obtained values. The apparent viscosity of espada mango pulp tended to decrease with the increasing of rotation speed and temperature (in the studied concentrations). The espada mango pulp presented a behavior of a non-Newtonian fluid, of a pseudoplastic fluid. The equations adjusted to the experimental data of the espada mango pulp apparent viscosity can be used to estimate their apparent viscosity.

Frequentemente no processamento de sucos e polpas de frutas, são utilizados tratamentos térmicos, os quais são influenciados por inúmeros fatores, como a quantidade de sólidos solúveis e insolúveis, a distribuição do tamanho de partículas, temperatura, pressão, que influenciarão no comportamento da viscosidade aparente desses produtos (MIRANDA et al., 2011; BRAGA et al., 2013).

O conhecimento das propriedades reológicas dos alimentos torna-se necessário nas aplicações de controle de qualidade, conhecimento da estrutura física e, principalmente, nos processos de concepção e avaliação de equipamentos, refletindo-se no projeto de tubulações, bombas, trocadores de

calor, evaporadores, esterilizadores e misturadores (MOURA et al., 2005; SOUSA et al., 2014).

A viscosidade aparente das polpas de frutas depende de suas características físico-químicas e estrutura e pode ser utilizada como parâmetro de qualidade e correlacionada com a textura e análise sensorial (FEITOSA et al., 2015). A determinação dos valores da viscosidade aparente é de grande importância prática nas especificações da polpa quando é comprada ou vendida e nos testes de qualidade de um produto (PEREIRA, 2007).

Muitos fluidos alimentícios, principalmente polpas e sucos de frutas, são classificados como não-newtoniano e apresentam comportamento pseudoplástico. Entre eles, podem-se citar a polpa de murta, pequi, graviola, melancia, jabuticaba, manga centrifugada e manga (FEITOSA et al., 2015; SOUSA et al., 2014; MIRANDA et al., 2011; GUEDES et al., 2010; SATO et al., 2007; VIDAL et al., 2006; VIDAL et al., 2004).

Geralmente, no processamento de polpa de frutas, utilizam-se tratamentos térmicos e/ou resfriamento, o que faz com que o estudo da influência da temperatura e concentração sobre o comportamento reológico destes produtos seja de grande importância. O objetivo deste trabalho foi determinar experimentalmente a viscosidade aparente da polpa de manga espada nas temperaturas de 15, 25, 35, 45 e 55 °C e nas concentrações de 20 e 16 °Brix, avaliando a influência da temperatura e concentrações nas propriedades físicas da polpa da manga espada.

MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida no laboratório de Química do Instituto Federal do Rio Grande do Norte, *Campus Caicó*, na cidade de Caicó, Rio Grande do Norte.

As frutas foram adquiridas no comércio da cidade de Caicó, Rio Grande do Norte e transportadas para o Laboratório de Química onde foram processadas e analisadas. Foram escolhidas as maduras e com uma textura firme, sem doenças nem bolores. Posteriormente, foram lavadas em água corrente e depois imersas em uma solução de hipoclorito de sódio a 50 ppm, durante 15 minutos; em seguida, foram enxaguados e despulpados (remoção da pele e semente) utilizando um multiprocessador. Foi utilizada, inicialmente, a polpa de manga integral com 20 °Brix, enquanto a concentração de 16 °Brix foi preparada por diluição com água destilada. Todos os experimentos foram realizados em triplicatas e, para o cálculo, foi utilizado a média dos valores obtidos. A concentração de sólidos solúveis (°Brix) da polpa de manga foi realizada através de leitura direta com auxílio de um refratômetro portátil modelo RT-30ATC com escala de 0

a 32 °Brix, devidamente calibrado e ajustado a 20°C com água destilada, e os resultados expressos em °Brix.

As medidas das viscosidades aparentes da polpa de manga foram determinadas utilizando um viscosímetro rotativo analógico da marca QUIMIS, modelo Q860A24, em diferentes velocidades de rotação (0,6, 1,5, 3,0; 6,0; 12; 30 e 60 rpm) e nas temperaturas de 15, 25, 35, 45 e 55 °C.

A influência da temperatura sobre a viscosidade aparente da polpa de manga espada foi avaliada utilizando-se a equação de Arrhenius (Eq. 1). Para tanto, as temperaturas em graus Celsius foram transformadas para Kelvin (K) e em seguida calculados o inverso da temperatura. Os gráficos dos valores inversos em Kelvin, juntamente com a viscosidade aparente (Pa s) correspondentes a cada velocidade de rotação. Fez-se a regressão linear destes dados obtendo-se os coeficientes da equação de onde se calculou a energia de ativação.

$$\eta = \eta_0 \exp(-E_a/RT) \quad (\text{Eq. 1})$$

Em que: η – Viscosidade aparente (Pa s); η_0 – Viscosidade aparente inicial (Pa s); E_a – Energia de ativação (KJ/g mol); R – Constante universal dos gases (0,008314 kJ/mol K). T – Temperatura (K)

Foi aplicado um modelo matemático (Equação 2) para verificar a dependência da viscosidade aparente (pa.s) da polpa da manga espada em relação à velocidade de rotação (rpm), através da regressão linear, utilizando-se o programa Statistica 5.0.

$$\eta = a.v^b \quad (\text{Eq. 2})$$

Em que: η – viscosidade aparente (Pa s); v – velocidade de rotação; a e b – constantes da equação.

Os resultados obtidos foram submetidos a análise de variância (Teste F), logo, caso significativo, as médias dos valores das viscosidades aparentes da polpa de manga espada foram comparadas por meio do teste de Tukey com significância de 5% de probabilidade através do software estatístico ASSISTAT versão 7.7 Beta (SILVA; AZEVEDO, 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas Tabelas 1 e 2, verifica-se os valores das viscosidades aparentes (Pa s) da polpa de manga espada nas concentrações de 20 e 16 °Brix, respectivamente, em função das velocidades de rotação, nas temperaturas de 15, 25, 35, 45 e 55 °C. Observa-se que o aumento da velocidade de rotação ocasionou uma tendência de diminuição dos valores médios de viscosidade aparente da polpa de manga espada em todas as temperaturas estudadas. No entanto, na Tabela 1, nas velocidades de 30 e 60 rpm, os valores de viscosidade tenderam permanecer constante, de acordo com o teste de Tukey ($P < 0,05$).

Tabela 1. Viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de manga com 20 °Brix em função da velocidade de rotação e temperatura

Velocidade de rotação	Temperatura (°C)				
	15	25	35	45	55
0,6	146,67 aA	131,67 aB	116,67 aC	105,00 aD	68,33 aE
1,5	104,67 bA	80,00 bB	60,00 bC	55,33 bD	29,33 bE
3	56,33 cA	49,67 cB	35,00 cC	33,33 cC	19,33 cD
6	31,67 dA	29,33 dA	21,00 dB	19,83 dB	15,00 dC
12	17,83 eA	17,50 eA	12,67 eB	12,33 eBC	9,08 eC
30	8,57 fA	8,60 fA	6,17 fAB	6,37 fAB	4,23 fB
60	5,30 fA	5,17 fA	3,63 fA	3,85 fA	2,77 fA

** DMS colunas = 3,65; DMS para linhas = 3,37; MG = 38,64 Pa s; CV = 3,81%; MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo. Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Tabela 2. Viscosidade aparente (Pa.s) da polpa de manga com 16 °Brix em função da velocidade de rotação e temperatura.

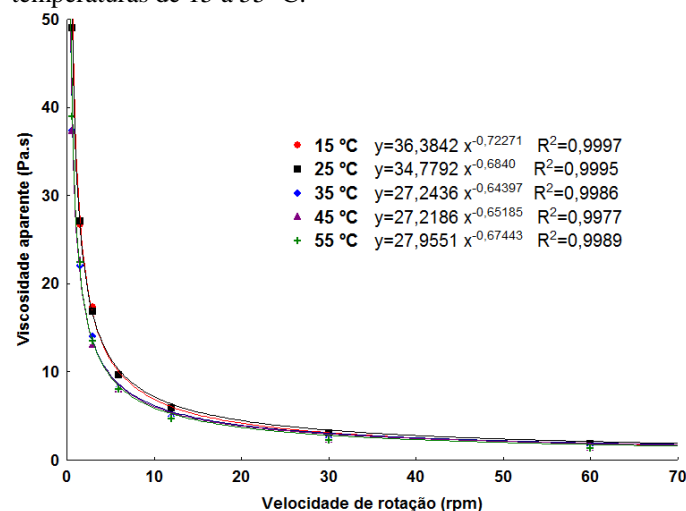
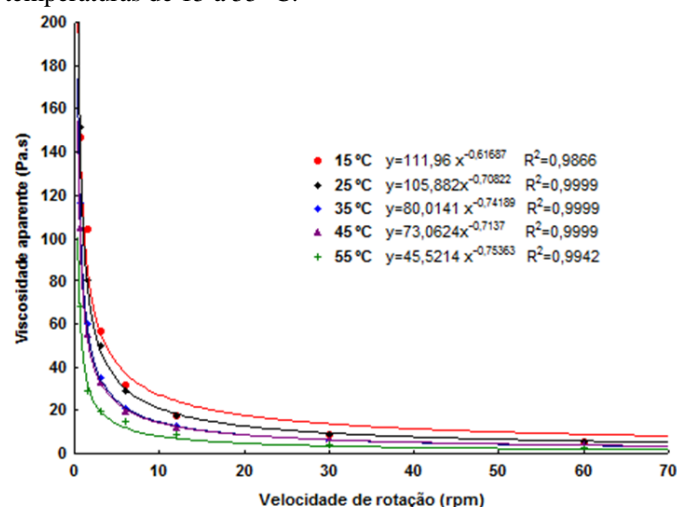
Velocidade de rotação	Temperatura (°C)				
	15	25	35	45	55
0,6	52,67 aA	49,00 aB	37,37 aD	37,33 aD	39,00 aC
1,5	26,67 bA	27,07 bA	22,00 bC	22,67 bB	22,40 bBC
3	17,40 cA	16,87 cA	14,00 cB	13,07 cC	13,47 cBC
6	9,70 dA	9,67 dA	8,07 dB	7,97 dB	8,03 dB
12	5,78 eA	5,87 eA	4,88 eB	4,92 eB	4,62 eB
30	2,95 fAB	3,02 fA	2,45 fABC	2,31 fBC	2,27 fC
60	1,81 gA	1,85 gA	1,48 gA	1,40 gA	1,35 gA

** DMS colunas = 3,65; DMS para linhas = 3,37; MG = 38,64 Pa s; CV = 3,81%; MG: Média geral; CV: Coeficiente de variação e DMS: Desvio mínimo significativo. Obs.: Médias seguidas das mesmas letras minúsculas nas colunas e maiúsculas nas linhas não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

Lima et al. (2014) também verificaram que a viscosidade aparente da polpa de abacaxi diminuiu com o aumento da velocidade de rotação (1,5 a 60 rpm), nas temperaturas de 30 e 40°C. Segundo Vidal et al (2006), esse comportamento deve-se em razão do aumento da temperatura diminuir a viscosidade na fase líquida, aumentando a mobilidade das partículas em suspensão, diminuindo consequentemente a viscosidade da polpa

Verifica-se, ainda em ambas as Tabelas, que os valores das viscosidades aparentes da polpa de manga espada, tenderam a diminuir com o aumento da temperatura, para a mesma velocidade de rotação, embora na velocidade de 60 rpm, nas Tabelas 1 e 2, os valores da viscosidade parente não apresentaram diferença estatística. Porém, nas velocidades de rotação de 0,6 e 1,5 rpm da Tabela 2, os valores da viscosidade aparente da polpa de manga apresentaram tendência de aumento. Miranda et al. (2011) verificaram que a viscosidade aparente da polpa de graviola, nas concentrações de 12, 17 e 25 °Brix, diminuíram com o aumento da temperatura de 10 a 50 °C.

Observa-se, nas Figuras 1 e 2, que a polpa da manga espada, nas concentrações de 20 e 16 °Brix, apresentaram comportamento de um fluido não-newtoniano do tipo pseudoplástico, pois ocorreu a diminuição da viscosidade aparente das polpas com o aumento da velocidade de rotação. Sousa et al. (2017), estudando o comportamento reológico da polpa de noni (*Morinda citrifolia* L.) integral e concentradas a 30 e 50°Brix, observaram que a polpa de noni eram fluidos não-newtonianos com comportamento pseudoplástico.

Figura 1. Viscosidade aparente em função da velocidade de rotação da polpa de manga espada com 16 °Brix nas temperaturas de 15 a 55 °C.**Figura 2.** Viscosidade aparente em função da velocidade de rotação da polpa de manga espada com 20 °Brix nas temperaturas de 15 a 55 °C.

Nota-se, ainda, nas Figuras 1 e 2, que as equações das regressões da viscosidade da polpa de manga espada em função da velocidade de rotação para diferentes temperaturas podem ser usadas para estimar a viscosidade aparente da polpa de manga espada em função da velocidade de rotação, pois o menor coeficiente de determinação encontrado foi superior a 0,98.

Na Tabela 3, têm-se os valores dos parâmetros da equação de Arrhenius, os quais são: viscosidade inicial (η), energia de ativação (E_a) e coeficiente de determinação (R^2), obtidos através da equação de Arrhenius ao se ajustar aos dados experimentais da viscosidade aparente em função do inverso da temperatura. Segundo Bezerra et al. (2009), a energia de ativação indica a sensibilidade da viscosidade aparente em relação à alteração da temperatura, pois quanto maior for o valor da energia de ativação, mais sensível torna-se a viscosidade da amostra à mudança da temperatura.

Na Tabela 3, tem-se a energia de ativação (E_a) das polpas de manga espada, nas concentrações de 20 e 16°Brix, o qual se encontra no limite de 12,459 a 22,753 kJ g⁻¹mol⁻¹, e 4,1793 a 6,9827 kJg⁻¹mol⁻¹, respectivamente. Quintana et al. (2015) determinaram valores de energia de ativação na faixa de 5,39 a 10,58kJ / mol para a polpa de manga Tommy, nas concentrações de 15 a 30 °Brix. Giraldo et al. (2017) ao aplicar a equação de Arrhenius à viscosidade do suco de uchuva (*Physalis peruviana*), obtiveram valor de energia de ativação igual a 17,62 kJ/mol na concentração de 20 °Brix.

Tabela 3. Viscosidade aparente teórica (η_0) e energia de ativação (E_a) das polpas de manga espada calculados a partir da equação de Arrhenius

Conc. da polpa da manga espada (°Brix)	Veloc. de rotação (rpm)	η_0 (Pa s)	E_a (KJ g ⁻¹ mol ⁻¹)	R ²
20 °Brix	0,6	0,5345	13,620	0,93
	1,5	0,0083	22,753	0,96
	3,0	0,0157	19,802	0,95
	6,0	0,0695	14,781	0,97
	12	0,0747	13,280	0,95
	30	0,0357	13,333	0,92
	60	0,0308	12,459	0,93
16 °Brix	0,6	2,7752	6,9827	0,86
	1,5	4,6921	4,1793	0,83
	3,0	1,3746	6,0851	0,92
	6,0	1,4688	4,5333	0,88
	12	0,7593	4,9137	0,91
	30	0,2251	6,2362	0,92
	60	0,1092	6,8060	0,93

Nota-se, na Tabela 3, que os valores da viscosidade teórica inicial (η_0) são inversamente proporcionais aos valores da energia de ativação, ou seja, quando aumenta o da viscosidade teórica inicial, o valor da energia de ativação diminui. Quanto ao comportamento desses parâmetros em relação à velocidade de rotação, não foi possível observar um comportamento definido. Feitosa et al. (2015) observaram que a viscosidade aparente inicial teórica (η_0) da polpa de Murta elevou a medida que a energia de ativação diminuiu ao aumentar a velocidade de rotação de 20 a 100 rpm, e obtiveram efeito contrário a partir da velocidade de rotação a 120 rpm, diminuindo a constante (η_0) e aumentando a energia de ativação.

Os valores dos coeficientes de determinação (R²) obtidos no ajuste da equação de Arrhenius aos dados experimentais da viscosidade aparente da polpa da manga espada foram superiores a 0,83, indicando um bom ajuste. Feitosa et al. (2015) obtiveram valores de coeficientes de determinação (R²) superiores a 0,78 e próximos a 1,0, indicando que a equação de Arrhenius apresenta bom ajuste aos dados de viscosidade aparente da polpa da Murta.

CONCLUSÕES

A viscosidade aparente da polpa de manga espada nas concentrações de 20 e 16 °Brix são influenciadas pelas velocidades de rotação e temperatura. As polpas de manga espada têm comportamento de um fluido não-newtoniano do tipo pseudoplástico. A equação de Arrhenius se ajustou aos dados experimentais com coeficientes de determinação (R²) superiores a 0,83.

REFERÊNCIAS

BRAGA, A. C. C.; RODRIGUES, A. M. C.; SILVA, L. H. M.; ARAÚJO, L. A. Avaliação da influência da temperatura e do tratamento enzimático no comportamento reológico do suco de abacaxi pérola (merr). Revista Brasileira de Fruticultura, v.35, n.1, p.226-237. 2013. 10.1590/S0100-29452013000100026

BEZERRA, J. R. M. V.; RIGO, M.; DEMCZUK JUNIOR, B.; CÓRDOVA, K. R. V. Estudo do Efeito da Temperatura

nas Propriedades Reológicas da Polpa de Morango (*Fragaria ananassa*). Revista Ambiência, v. 5, n. 1, p. 37-47, 2009.

FEITOSA, R. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; QUEIROZ, A. J. M.; SOUZA, E. P.; SILVA, V. M. Viscosidade aparente da polpa de murta integral em diferentes temperaturas. Revista Caatinga, v.28, n.4, p. 235-243, 2015. 10.1590/1983-21252015v28n426rc.

GIRALDO, G. I., CRUZ, C. D.; SANABRIA, N. R. Propiedades físicas del jugo de uchuva (*Physalis peruviana*) clarificado en función de la concentración y la temperatura Información Tecnológica. v. 28, p. 133-142, 2017. 10.4067/S0718-07642017000100013.

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, p. 279-285, 2010. 10.4260/BJFT2010130400037.

LIMA, F. C. S.; MELO, J. C. S.; PEREIRA, E. D.; COSTA, C. H. C.; MIRANDA, V. A. M. Estudo da viscosidade aparente da polpa de abacaxi integral. In: LIV Congresso Brasileiro De Química, 54, Natal, 2014. Anais Natal: Associação Brasileira de Química.

MIRANDA, V. A. M.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SANTOS, D. C. Viscosidade aparente de polpas de graviola com diferentes concentrações. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, v.13, n. Especial, p.363-374, 2011. 10.15871/1517-8595/rbpa.v13n4p363-374.

MOURA, S. C. S. R.; FRANCA, V. C. L.; LEAL, Á. M. C. B. Propriedades termofísicas de soluções-modelo similares a sucos: parte II. Ciência Tecnologia Alimentos, v. 25, n. 3, p. 454-459, 2005. 10.1590/S0101-20612005000300011.

QUINTANA, F. A. O.; GALVAN, E. S.; RIVERO, R. A.; GALLO, R. T. Efecto de la temperatura y concentración sobre las propiedades reológicas de la pulpa de mango variedad Tommy Atkins. Revista Ion. v. 28, n. 2, 2015. 10.18273/revion.v28n2-2015007.

- PEREIRA, S. Processamento de tomate (*Lycopersicon esculentum* Mill), cv. Débora cultivados de forma tradicional e orgânica, para obtenção de extrato. 2015. 463f. Dissertação de mestrado, Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Instituto de Tecnologia, Seropédica. 2007.
- SATO, A. C. K.; CUNHA, R. L. Influência da Temperatura no Comportamento Reológico da Polpa de Jabuticaba. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, v. 27, n. 4, p. 890-896, 2007. 10.1590/S0101-20612007000400033.
- SILVA, F. A. S.; AZEVEDO, C. A. V. Principal components analysis in the software assistat-statistical. In: **WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE**, 7, Reno-NVUSA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009. 10.13031/2013.29066.
- SOARES, L. P.; SÃO JOSÉ, L. R. Compostos bioativos em polpas de mangas 'rosa' e 'espada' submetidas a branqueamento e congelamento. *Revista Brasileira de Fruticultura*. v. 35, n. 2, p. 579-586, 2013. 10.1590/S0100-29452013000200029.
- 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. *Brazilian Journal Food Technology*, v. 17, n. 3, p. 226-235, 2014. 10.1590/1981-6723.1214.
- SOUSA, S. F.; QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; SILVA, F. B. Comportamento reológico das polpas de noni integral e concentradas. *Brazilian Journal of Food Technology*, v. 20, e2016067, 2017. 10.1590/1981-6723.6716.
- VIDAL, J. R. M. B. Comportamento da polpa de manga (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) integral. *Revista Ciências Exatas e Naturais*, v. 6, n. 2, p. 217-222, 2004.
- VIDAL, J.R.M.B.; SIERAKOWSKI, M.R.; HAMINIUK, C.W.I.; MASSON, M.L. Rheological properties of centrifuged mango (*Mangifera indica* L. cv. Keitt) pulp. *Ciência e Agrotecnologia*, v. 30, n. 5, p. 955-960, 2006. 10.1590/S1413-70542006000500020.