

Comportamento reológico de mel da abelha urucu (*Melipona scutellaris*, L.)

Edimir Andrade Pereira¹

Escola de Química - UFRJ
21949-900, Rio de Janeiro - RJ

Alexandre José de Melo Queiroz²

e

Rossana Maria Feitosa de Figueirêdo³

DEAg/CCT/UFCG
58109-970 Campina Grande - PB

(Recebido: 11 de setembro de 2003)

Resumo: *Este trabalho foi realizado com o objetivo de determinar o comportamento reológico de mel de urucu (*Melipona scutellaris*, L.), produzido em Campina Grande, Paraíba. As análises reológicas foram conduzidas em um viscosímetro rotativo da marca Brookfield, modelo RVT, nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50°C. Os resultados experimentais foram ajustados pelos modelos de Newton, Ostwald-de-Waele (Lei da Potência) e Herschel-Bulkley na faixa de deformação de 0,13 - 38,12 s⁻¹. As amostras apresentaram comportamento pseudoplástico a 10°C, aproximadamente newtoniano a 20°C e dilatante a 30, 40 e 50°C. O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente foi adequadamente representado pela equação de Arrhenius. O valor da energia de ativação obtido foi de 0,8456 kJ/g·mol.*

Palavras-chave: reologia, mel, temperatura

Abstract: *The objective of this work was to characterize the rheological behavior of *Melipona scutellaris* L. honey, produced in Campina Grande, Paraíba, Brazil. The rheological analyses was driven in a rotary viscometer made by Brookfield, RVT model at 10, 20, 30, 40 and 50°C. Rheograms were fitted with models by Newton, Ostwald-de-Waele, and Herschel-Bulkley for*

¹edimir@eq.ufrj.br

²alex@deag.ufcg.edu.br

³rossana@deag.ufcg.edu.br

the shear rate within the range $0,13 - 38,12 \text{ s}^{-1}$. The samples presented pseudoplastic behavior at 10°C approximately newtonian at 20°C and dilatant at $30, 40$ and 50°C . The temperature effect about the apparent viscosity was appropriately represented by Arrhenius equation. The value of activation energy was $0,8456 \text{ kJ/g}\cdot\text{mol}$.

Key words: *rheology, honey, temperature*

1 Introdução

O mel, sendo composto de carboidratos, é considerado um alimento de alto valor energético para o organismo humano. Possui vários minerais, proteínas, ácidos orgânicos, vitaminas, hormônios, enzimas e pigmentos vegetais (CRANE, 1987). Pode-se dizer que o mel é composto de glicose (80%), água (17%) e outras substâncias (3%). O mel é, portanto, um alimento complexo do ponto de vista biológico e também analítico, pois sua composição varia muito em função de sua origem floral geográfica e de safra para safra, envolvendo condições climáticas (BASTOS, 1995).

A viscosidade é uma importante propriedade do mel e, segundo White (1978), citado por BHANDARI *et al.* (1999), suas propriedades de escoamento são influenciadas por vários fatores tais como composição, temperatura, quantidade e tamanho dos cristais presentes.

Rao (1977a), estudando a reologia de alimentos líquidos, afirma que alguns méis apresentam comportamento de um fluido newtoniano, enquanto Sherman (1999) diz que méis são considerados tixotrópicos. Dada a grande diversidade da flora apícola e levando em consideração que o mel de abelha tem suas características dependentes da florada de origem, explicam-se os diferentes comportamentos reológicos descritos por tais autores (SILVA, 2001). Os méis variam grandemente conforme a espécie de abelha produtora, a começar da característica sensorial conferida pela viscosidade.

Os modelos reológicos são úteis para relacionar propriedades reológicas de um fluido com grandezas práticas, como concentração, temperatura, pH, índice de maturação, etc. Esse conhecimento é indispensável no controle de qualidade, no controle intermediário em linhas de produção e no projeto e dimensionamento de equipamentos e processos. Esses modelos podem ser isotérmicos ou não. No primeiro caso, descrevem comportamento do fluido numa temperatura fixa, no último, incluem relações específicas, como funções da temperatura. Dependendo do modelo utilizado, possuem ou não tensão inicial (VIDAL, 2000).

Apesar da importância da abelha urucu (*Melipona scutellaris*, L.) como produtora de mel de excelente qualidade e de alto valor comercial, não são encontrados estudos a respeito das características reológicas desse produto. Este trabalho foi realizado com o objetivo de caracterizar reologicamente o mel da abelha urucu nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50°C .

2 Material e métodos

As amostras de méis de urucu, com 73°Brix determinado por refratometria, foram coletadas no município de Campina Grande, Estado da Paraíba, Brasil

(7°13'50" S, 35°52'52" W e 551m de altitude) no mês de novembro de 2001 e acondicionadas em recipientes de vidro e armazenadas à temperatura e luminosidade ambiente. Foi estudado o comportamento reológico do mel nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50 °C, controladas em banho termostático com agitador mecânico. Os dados experimentais, em unidades de torque nas velocidades de 0,5, 1, 2,5, 5, 10, 20, 50 e 100 rpm, a partir de um volume de 500 ml, foram obtidos em triplicata, utilizando-se um viscosímetro da marca Brookfield, modelo RVT, com precisão de leituras de $\pm 1,0$ % e faixa de medição (*range*) de 100 mPa.s a 8.000 Pa.s. A seguir, foi utilizada a metodologia de MITSCHKA (1982) para a transformação das leituras em medidas reológicas (tensão de cisalhamento versus taxa de deformação). Os resultados foram processados com o *software* STATISTICA, versão 5.0, através de regressão não-linear e os reogramas foram ajustados pelos modelos de Newton, Ostwald-de-Waelle (Lei da Potência) e Herschel-Bulkley na faixa de medição de 0,13 - 38,12 s⁻¹, os quais foram avaliados quanto aos parâmetros estatísticos coeficiente de determinação (R^2) e qui-quadrado (χ^2). O efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente foi correlacionado utilizando-se a equação de Arrhenius.

Os modelos de Newton, Ostwald-de-Waelle, Herschel-Bulkley e Arrhenius estão apresentados nas Equações 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

Modelo de Newton

$$\tau = \eta \dot{\gamma} \quad (1)$$

em que: τ - tensão de cisalhamento (Pa)

η - viscosidade newtoniana

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s⁻¹)

Modelo de Ostwald-de-Waelle

$$\tau = K \dot{\gamma}^n \quad (2)$$

em que: τ - tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s⁻¹)

K - índice de consistência (Pa.s ^{n})

n - índice de comportamento do fluido (adimensional)

Modelo de Herschel-Bulkley

$$\tau - \tau_{OH} = K_H \dot{\gamma}^{n_H} \quad (3)$$

em que: τ - tensão de cisalhamento (Pa)

$\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s⁻¹)

τ_{OH} - tensão de cisalhamento inicial (Pa)

K_H - índice de consistência (Pa.s ^{n})

n_H - índice de comportamento do fluido (adimensional)

2.1 Equação de Arrhenius

$$\eta = \eta_0 \exp(E_a / RT) \quad (4)$$

em que: η - viscosidade aparente (Pa·s)

η_0 - parâmetro de ajuste (Pa·s)

E_a - energia de ativação para viscosidade (J/g·mol)

R - constante universal dos gases (8,314 J/g·mol·K)

T - temperatura (K)

3 Resultados e discussão

Na Tabela 1 são apresentados os valores dos parâmetros dos modelos de Newton, Ostwald-de-Waele e Herschel-Bulkley para o mel de urucu nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50°C, obtidos através do ajuste aos dados experimentais.

Modelo de Newton					
T (°C)	10	20	30	40	50
η	1,1380	0,4671	0,2363	0,1670	0,0864
χ^2	1,1782	0,0083	0,2431	0,0400	0,2774
R^2	0,9994	0,9997	0,9967	0,9828	0,9731
Modelo de Ostwald-de-Waele (Lei da Potência)					
T (°C)	10	20	30	40	50
K	1,3625	0,4745	0,1483	0,0642	0,0221
n	0,9415	0,9951	1,1473	1,3044	1,3972
χ^2	0,2818	0,0070	0,3980	0,0375	0,0081
R^2	0,9996	0,9995	0,9990	0,9983	0,9994
Modelo de Herschel-Bulkey					
T (°C)	10	20	30	40	50
K_H	1,4354	0,4612	0,1274	0,0500	0,0183
n_H	0,9269	1,0031	1,1914	1,3736	1,4502
τ_{OH}	-0,1508	0,0301	0,0766	0,0760	0,0391
χ^2	0,2279	0,0047	0,0214	0,0162	0,0015
R^2	0,9997	0,9999	0,9995	0,9993	0,9999

Tabela 1. Parâmetros de ajuste do modelo de Newton, Ostwald-de-Waele e Herschel-Bulkey para o mel de urucu.

Pode-se observar na Tabela 1 a variação dos índices de comportamento de fluido (n e n_H), onde o aumento gradativo da temperatura resulta numa alteração do padrão de comportamento dos materiais. Constata-se um comportamento pseudo-plástico a 10°C, aproximadamente newtoniano a 20°C e crescentemente dilatante de 30 a 50°C. De forma inversa, os aumentos de temperatura resultaram em conseqüentes reduções nos valores dos parâmetros K e K_H . Todos os modelos utilizados para descrever o comportamento reológico do mel de urucu, apresentaram bons ajustes aos dados experimentais. Do modelo de Herschel-Bulkley foram obtidos os

melhores parâmetros de controle de ajuste, com os valores de R^2 próximos de um e os resultados de χ^2 próximos de zero. A utilização da equação de Newton, apesar de resultar em coeficientes de determinação (R^2) pouco inferiores aos obtidos com as demais equações, mostrou-se insuficiente para a interpretação completa do comportamento das amostras por não contar com um parâmetro de interpretação de fuga do comportamento linear, ao contrário dos modelos de Ostwald-de-Waelle e de Hershel-Bulkley, que contam com um índice de comportamento de fluido. Silva (2001), estudando o mel elaborado a partir de flores de camaratuba (*Cratylia mollis*), e Muller (1997) relatando sobre méis de florada de eucalipto (*Eucalyptus ficifolia*), revelam que os méis citados apresentam comportamento não-newtoniano, com características, respectivamente, pseudoplásticas e reopéticas. Rao (1977b), citando méis derivados de florada de eucalipto e Holdsworth (1993), sem especificar a origem floral, mencionaram comportamento dilatante para estes materiais na faixa de temperaturas entre 20 e 40°C. De acordo com RAO (1977b), isto pode ser atribuído à presença de dextrana. Esse comportamento em méis é citado também em RAO e RIZVI (1994), e em STEFFE (1996), entre 6,5 e 48°C.

Na Figura 1, são representadas as curvas de escoamento obtidas em diferentes temperaturas para o mel de urucu, descritas pelo modelo de Herschel-Bulkley nas taxas de deformação entre 0,13 e 38,12 s⁻¹ e nas temperaturas de 10, 20, 30, 40 e 50°C.

Na Figura 1, tem-se que para taxas de deformação fixas, a tensão de cisalhamento diminui à medida em que aumenta a temperatura, demonstrando reduções de viscosidade aparente com o decorrer do processo de aquecimento. Observa-se que o conjunto formado pelas curvas referentes às temperaturas de 10 e 20°C se distanciam das curvas de 30 a 50°C.

As viscosidades aparentes (razões entre cada tensão de cisalhamento e a taxa de deformação), obtidas a partir do modelo de Herschel-Bulkley calculado a uma taxa de deformação de 15 s⁻¹, tiveram um valor médio, entre temperaturas em estudo, de 411,6 mPa·s, apresentando diminuições com o aumento da temperatura. A redução da viscosidade com o aumento da temperatura é comum em fluidos alimentícios e isso também foi observado por Silva (2001) em méis de abelha (*Apis mellifera L.*) produzidos no estado do Piauí, e por Junzheng e Changying (1998) em vários méis da China. O valor de viscosidade aparente, na mesma taxa de deformação, aproxima-se do obtido para polpas de frutas pouco viscosas, como de abacaxi, de 308,5 mPa·s a 30°C (QUEIROZ *et al.*, 2000) e é bem inferior ao de polpas mais viscosas, como de manga, de 2.254,9 mPa·s a 30°C (QUEIROZ *et al.*, 1999). Também é bem inferior ao calculado para o mel de *Apis mellifera*, conforme Queiroz *et al.* (2002) a 30°C, igual a 2.400,6 mPa·s.

Por meio de ajuste linear dos valores de viscosidade aparente (η), calculados a uma taxa de deformação de 15 s⁻¹, em função do inverso da temperatura, determinou-se os parâmetros da equação de Arrhenius, obtendo-se um valor para a energia de ativação (E_a) de 0,8456 kJ/g·mol e para a constante (η_0) igual a $2,1365 \times 10^{-11}$ Pa·s para o mel de urucu nas temperaturas entre 10 e 50°C. O valor do coeficiente de de-

terminação (R^2) de 0,9877 indica que a equação representou um bom ajuste aos dados de viscosidade aparente.

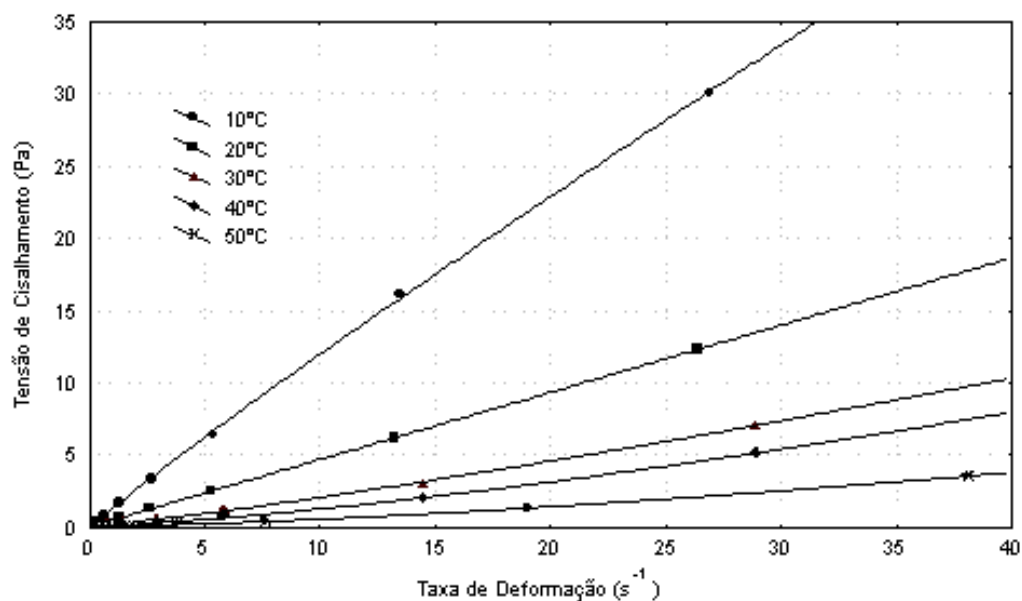


Figura 1. Relação entre a tensão de cisalhamento e a taxa de deformação com ajuste pelo modelo de Herschel-Bulkley para o mel de urucu nas temperaturas entre 10 e 50°C.

A energia de ativação é função do tipo de mel e indica a sensibilidade da viscosidade a mudança da temperatura. Valores altos de E_a significam que a viscosidade do mel é relativamente mais sensível à mudança da temperatura. Bhandari *et al.* (1999) determinaram valores de energia de ativação entre 1,243 e 1,784 kJ/g·mol estudando sete variedades de méis australianos, resultando em um valor médio cerca de 79% superior ao determinado para o mel de urucu. A energia de ativação para o mel de urucu é relativamente pequena quando comparada com a do suco de laranja concentrado que, de acordo com Hernandez *et al.* (1995), variou entre 32,65 e 35,17 kJ/g·mol para a faixa de temperatura de 5 a 45°C.

4 Conclusões

O mel de urucu apresentou comportamento pseudoplástico a 10°C, aproximadamente newtoniano a 20°C e dilatante a 30, 40 e 50°C, com os valores dos índices de comportamento de fluxo (n e n_H) aumentando com o aumento da temperatura.

Os modelos de Ostwald-de Waelle e Herschel-Bulkley se mostraram adequados para descrever o comportamento reológico do mel de urucu.

A equação de Arrhenius representou adequadamente o efeito da temperatura na viscosidade aparente do mel.

O valor da energia de ativação foi de 0,8456 kJ/g·mol.

Referências

- BASTOS, E. M. Espectro polínico do mel produzido em algumas áreas antrópicas de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Biologia*, 55(4): 789-799, 1995.
- BHANDARI, B., D'ARCY, B., CHOW, S. Rheology of selected Australian honeys. *Journal of Food Engineering*, 41(1): 65-68, 1999.
- CRANE, E. *O livro do mel*. 2ª ed. Nobel, São Paulo: 1987.
- HERNANDEZ, E.; CHEN, C. S.; JOHNSON, J.; CARTER, R. D. Viscosity changes in orange juice after ultrafiltration and evaporation. *Journal of Food Engineering*, 25(3):3 87-396, 1995.
- HOLDSWORTH, S. D. Rheological models used for the prediction of the flow properties of food products: a literature review. *Trans I Chem E.*, 71, Parte C, September, 1993.
- JUNZHENG, P. ; CHANGYING, J. General rheological model for natural honeys in china. *Journal of Food Engineering*, 36(2): 165-168, 1998.
- MITSCSKA, P. Simple conversion of brookfield RVT: readings into viscosity functions. *Rheologica Acta*, 21(2): 207-209, 1982.
- MULLER, H. G. *Introducción a la reologia de los alimentos*. Editora Acribia, Zaragoza: 1997.
- QUEIROZ, A. J. M.; BEZERRA, J. R. M. V.; GASPARETTO, C. A. Influência dos sólidos insolúveis no comportamento reológico do suco de manga. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, v. 1(1): 27-32, 1999.
- QUEIROZ, A. J. M.; BEZERRA, J. R. M. V.; GASPARETTO, C. A. Influência de diferentes teores de sólidos insolúveis suspensos nas características reológicas de sucos de abacaxi naturais e despectinizados. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 4(1): 75-79, 2000.
- QUEIROZ, A. J. M.; FIGUEIRÊDO, R. M. F.; OLIVEIRA, F. M. N. *Influência da adição de extrato de própolis no mel: II - comportamento reológico*. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 31., 2002, Salvador. Anais. CD.
- RAO, M. A. Measurement of flow properties of fluid foods: developments, limitations, and interpretation of phenomena. *Journal of Texture Studies*, 8(3): 257-282, 1977a.
- RAO, M. A. Rheology of liquid foods - a review. *Journal of Texture Studies*, 8(2): 135-168, 1977b.
- RAO, M. A.; RIZVI, S. S. H. *Engineering properties of foods*. Marcel Dekker, New York: 1994.
- SHERMAN, P. *Industrial rheology*. Academic Press, London: 1999.
- SILVA, C. L. *Caracterização reológica e físico-química de méis de abelha (Apis melífera L.) do Estado do Piauí*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) Centro de Ciências e Tecnologia, UFPB, 2001.
- STEFFE, J. F. *Rheological methods in food process engineering*. Freeman Press, Michigan: 1996. 2nd. ed.

VIDAL, J. R. M. B. *Comportamento reológico de polpa de manga (Mangífera indica L-Keitt)*. Dissertação (Doutorado em Engenharia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, UNICAMP, 2000.