



Comportamento reológico de méis das floradas de angico e marmeleiro em diferentes temperaturas

Rheological behavior of the angico and marmeleiro honeys in different temperatures

Elisabete Píancó Sousa¹

Alexandre José de Melo Queiroz²

Rossana Maria Feitosa Figueirêdo³

Francisco de Assis Cardoso Almeida⁴

Josivanda Palmeira Gomes⁵

Resumo: A região da Chapada do Araripe no sul do estado do Ceará é uma grande produtora de mel, diante disso o presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento reológico de méis de abelha das floradas de angico e marmeleiro em diferentes temperaturas (20, 25 e 30 °C). As medidas experimentais foram realizadas em viscosímetro Brookfield e os modelos reológicos de Ostwald-de-Waelle, Casson, Herschel-Bulkley e Newton foram ajustados aos valores da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação. Verificou-se que os méis foram classificados como fluidos newtonianos com a viscosidade aparente diminuindo com aumento da temperatura. Todos os modelos reológicos testados podem ser utilizados para estimar o comportamento reológico dos méis das floradas de marmeleiro e angico. Constatou-se que a influência da temperatura sobre a viscosidade aparente pode ser representada por uma equação do tipo Arrhenius.

Palavras-chave: *Apis mellifera* L., *Anadenanthera colubrina*, *Croton sonderianus*, viscosidade.

¹ UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

² UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

³ UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

⁴ UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

⁵ UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

Abstract: The region of the Araripe in the southern of Ceará state is a major producer of honey. The aim of this work was to evaluate the rheological behavior of angico (*Anadenanthera colubrina*) e marmeleiro (*Croton sonderianus* Müll. Arg.) honeys bees at different temperatures (20, 25 and 30 °C). The experimental measurements were performed in a Brookfield viscometer and rheological models of Ostwald-de-Waele, Casson, Herschel-Bulkley and Newton were fitted to the values of shear stress as a function of strain rate. It was found that the honeys were classified as Newtonian fluids and the apparent viscosity decreases with increasing temperature. All rheological models tested can be used to estimate the rheological behavior of angico and marmeleiro honeys. It was found that the influence of temperature on the apparent viscosity may be represented by an Arrhenius equation.

Keywords: *Apis mellifera* L., *Anadenanthera colubriana*, *Croton sonderianus*, viscosity.

1. Introdução

Nas últimas décadas a apicultura tem apresentado notável crescimento, em especial no Nordeste do Brasil, no qual se destaca o Estado do Ceará que tem regiões favoráveis para apicultura por ter como características períodos de chuvas curtos e irregulares, grandes áreas com solos de baixa fertilidade e pouco profundos, mas na sua maior parte coberta por matas silvestres com intensas floradas (Marchini e Souza, 2006). Nesse contexto, a flora apícola do estado do Ceará é bastante diversificada, onde a grande maioria dos méis produzidos nessa região é silvestre (poliflorais), sendo que alguns possuem predominância de tipo de florada existente nessa localidade, os quais as mais comuns são angico, cipó-uva, aroeira e marmeleiro.

O mel é um produto natural proveniente do néctar das flores e outras partes extraflorais que as abelhas coletam, e depois de maturado é denominado mel de abelha. No entanto, existem vários tipos de méis, sendo que estes estão relacionados conforme a flora apícola que a abelha visita para coletar o néctar, a exemplo o mel floral, assim denominado quando a matéria-prima é o néctar das flores; e o mel de melato quando a matéria prima é proveniente de exudatos das plantas ou secreções de insetos sugadores. Devido à diversidade da flora apícola existem vários tipos de méis (Brasil, 2000).

O mel é um produto amplamente consumido devido ao seu sabor agradável e pelos seus constituintes, dentre eles os ácidos orgânicos, aminoácidos, açúcares e vários compostos biologicamente ativos que apresentam benefícios medicinais (Ahmed *et al.*, 2007; Alves *et al.*, 2009; Brasil, 2000). A sua produção é de elevada importância, uma vez que o mel apresenta inúmeras aplicações.

Devido à grande aplicabilidade do mel no segmento alimentício e farmacêutico, as características sensoriais e físico-químicas são avaliadas, haja vista que as variações dessas características refletem na sua comercialização (Santos *et al.*, 2009). Dentre, elas uma das que mais reflete no âmbito comercial são as características físico-químicas. Sendo que, umas das características físicas primordiais são as propriedades reológicas.

As propriedades reológicas do mel são muito importantes em termos de aplicações relacionadas ao manuseio, armazenamento, processamento e no controle de qualidade, sendo um parâmetro que pode apresentar variações de acordo com a florada, temperatura e o teor de sólidos solúveis totais (Ahmed & Safa, 2008; Yoo, 2004). Estas propriedades influenciam no projeto de tubulações, bombas, trocadores de calor, evaporadores, esterilizadores, misturadores e outros equipamentos. O estudo reológico é importante para identificar o comportamento do alimento sob diferentes condições de processamento (Ahmed *et al.*, 2005).

As características reológicas de méis ainda são consideradas como um fator de aceitação por parte do consumidor, que associa o comportamento viscoso do produto com a sua qualidade (Freitas *et al.*, 2004). Desse modo, estudos que deem informação sobre o comportamento reológico do mel

quando este é sujeito a diferentes temperaturas, são de extrema utilidade de forma a melhor prever o comportamento deste alimento quando submetido a tratamentos térmicos.

Portanto, o presente estudo objetivou-se avaliar o comportamento reológico de méis de abelha *Apis mellifera* com predominância da florada de angico (*Anadenanthera colubrina*) e marmeleiro (*Croton sonderianus*), e o efeito da temperatura sobre a viscosidade aparente.

2. Materiais e Métodos

Os méis *Apis mellifera* com predominância da florada de angico (*Anadenanthera colubrina*) e marmeleiro (*Croton sonderianus*) foram colhidos na região da Chapada do Araripe, localizada no sul do Estado do Ceará.

Os sólidos solúveis totais (oBrix) e o teor de água foram determinados segundo as normas técnicas descritas pelo Laboratório Nacional de Referência Animal (Lanara, 1981).

A determinação do comportamento reológico das amostras dos méis foi feita em viscosímetro Brookfield DV-II+PRO, com geometria de cilindros concêntricos, provido de reservatório encamisado para pequenas amostras, que fornece leituras diretas de viscosidade aparente, tensão de cisalhamento e taxa de deformação. As leituras foram realizadas nas temperaturas de 20, 25 e 30 °C, nas taxas de deformação de 10; 12,5; 15; 17,5; 20; 22,5; 25 e 30 s⁻¹, com o spindle número 29 e com as leituras feitas depois de transcorridos os primeiros 30 segundos de cisalhamento.

Para avaliação dos dados da viscosidade aparente dos méis utilizou-se o programa computacional Assistat versão 7.6 em esquema fatorial 3x6x3 (temperatura, taxa de deformação, repetições), com a comparação entre as médias pelo teste de Tukey..

Os valores experimentais da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação foram ajustados aos modelos reológicos de Ostwald-de-Waelle, Casson, Herschel-Bulkley e Newton (Tabela 1) com auxílio do programa Statistica 5.0.

Tabela 1. Modelos reológicos ajustados aos dados experimentais.

Modelos	Equações
Ostwald-de-Waelle	$\tau = K \cdot (\dot{\gamma})^n$ (1)
Casson	$\tau^{0,5} = k_{oc} + k_c \dot{\gamma}^{0,5}$ (2)
Herschel-Bulkley	$\tau - \tau_{oH} = K_H \dot{\gamma}^{n_H}$ (3)
Newton	$\eta = \frac{\sigma}{\dot{\gamma}}$ (4)

Em que: τ - tensão de cisalhamento (Pa); $\dot{\gamma}$ - taxa de deformação (s⁻¹); K - índice de consistência (Pa sⁿ); n - índice de comportamento do fluido (adimensional); τ_{oH} - tensão de cisalhamento inicial (Pa); K_H - índice de consistência (Pa sⁿ); n_H - índice de comportamento do fluido (adimensional); K_c - viscosidade plástica de Casson (Pa s)^{0,5}; K_{oc} = tensão inicial (Pa) τ - tensão de cisalhamento inicial (Pa)^{0,5}; η = viscosidade newtoniana; σ -tensão de cisalhamento

Foram utilizados, como critério para determinação do melhor ajuste dos modelos aos dados experimentais, o coeficiente de determinação (R²) e o desvio percentual médio (P), calculado conforme a Equação 5:

$$P = \frac{100}{n} \sum_{t=1}^n \left| \frac{X_{exp} - X_{teor}}{X_{exp}} \right| \quad (5)$$

sendo:

P - desvio percentual médio (%)

X_{exp} - valores obtidos experimentalmente

X_{teor} - valores preditos pelo modelo

n - número de dados experimentais

Para avaliar o efeito da temperatura sobre os valores das viscosidades aparentes dos méis foi utilizada a equação de Arrhenius (Equação 6). Os valores da viscosidade aparente em função do inverso da temperatura, correspondente a cada taxa de deformação (10 a 30 s⁻¹) foram graficados com auxílio do programa computacional Origin 6.0, fazendo-se a regressão linear desses dados e obtendo-se os coeficientes da equação, de onde se calculou a energia de ativação.

$$\eta = \eta_0 \exp \left[-\frac{E_a}{RT} \right] \quad (6)$$

em que:

η - viscosidade aparente (mPa s)

η₀ - viscosidade aparente inicial (mPa s)

T - temperatura absoluta (K)

R - constante universal dos gases (0,008314kJ/mol.°C)

E_a - energia de ativação (kJ/mol)

3. Resultados e discussão

Os méis de angico e marmeleiro apresentaram teores de água de 18,7 e 18,5% e teores de sólidos solúveis totais de 70 e 72 °Brix, respectivamente.

O teor de água é indicativo da qualidade que influencia diretamente na viscosidade do mel. Méis com teor de água elevado (19 a 20%) são menos viscosos. Os sólidos solúveis totais influenciam na viscosidade dos méis, quando este constituinte se encontra em torno de 60 °Brix o mel apresenta-se mais fluido e quanto maior o teor de sólidos solúveis totais maior a viscosidade do mel. Conforme Abu (2002) a viscosidade é um fator complementar para utilização na caracterização do produto, podendo ser influenciada pela composição e a temperatura, sendo que um dos fatores de maior importância para a viscosidade é o conteúdo de água.

Valores de teores de água superiores ao desse estudo foi reportado por Santos et al. (2011) estudaram sete amostras de méis de *Apis mellifera* comercializadas na cidade de Russas-CE, cujos teores de água foi entre 18,12 e 22,00% e sólidos solúveis totais entre 73,46 e 81,26 °Brix. Resultados de teor de água com valores dentro da faixa encontrada nesse estudo foi mencionado por Santos & Oliveira (2013) para méis de *Apis mellifera* L. provenientes de entrepostos da região do Vale do Jaguaribe, CE, com teores de água entre 16,94 e 19,9%.

Valores de sólidos solúveis totais bastante superior foi encontrado por Almeida Filho et al. (2011) estudando a qualidade do mel de abelha *Apis mellifera* L, com valores mínimo e máximo que variaram de 75,09% e 80,15%.

Nota-se que os resultados encontrados para o teor de água desse referido estudo estão de acordo com a legislação vigente, na qual a mesma recomenda que para méis de flores ou de melato o teor de água máximo permitido é de 20%.

Com relação aos sólidos solúveis totais, designados também como °Brix, são constituídos principalmente por açúcares, variam com a florada e o clima e tem tendência de aumento com a maturação (Gois et al. 2013). A legislação não apresenta nenhuma especificação quanto a esse constituinte.

3.1. Modelos reológicos

Tabela 2 tem-se os valores dos parâmetros dos modelos reológicos de Ostwald de-Waelle, Casson, Herschel-Bulkley e Newton ajustados aos dados experimentais das curvas de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação dos méis nas diferentes temperaturas (20, 25 e 30 °C), os coeficientes de determinação (R^2) e os desvios percentuais médios (P).

Tabela 2. Parâmetros dos modelos reológicos, coeficientes de determinação (R^2) e desvios percentuais médios (P) dos dois tipos de méis em diferentes temperaturas.

Ostwald-de-Waelle						
Mel	Temp. (°C)	Parâmetro		R^2	P (%)	
		K	n			
Angico	20	6,62	1,00	0,99	0,10	
	25	3,38	1,00	1,00	0,05	
	30	2,03	1,00	0,99	0,09	
Marmeleiro	20	6,69	0,99	0,99	0,13	
	25	3,51	1,00	0,99	0,08	
	30	2,04	0,99	0,99	0,12	
Casson						
Mel	Temp. (°C)	Parâmetro		R^2	P (%)	
		K_{oc}	K_c			
Angico	20	0,01	2,57	0,99	0,05	
	25	0,02	1,88	1,00	0,02	
	30	0,03	1,41	0,99	0,04	
Marmeleiro	20	0,07	2,54	0,99	0,08	
	25	0,01	0,53	0,99	0,03	
	30	0,05	1,40	0,99	0,05	
Herschel-Bulkley						
Mel	Temp. (°C)	Parâmetro			R^2	P (%)
		\square_{OH}	K_H	n_H		
Angico	20	-0,92	6,82	0,99	0,99	0,07
	25	-0,30	3,64	0,99	1,00	0,03
	30	0,23	1,98	1,00	0,99	0,07
Marmeleiro	20	-2,65	7,27	0,97	1,00	0,08
	25	-0,93	3,71	0,99	1,00	0,02
	30	0,71	1,89	1,01	1,00	0,05

Newton				
Mel	Temp. (°C)	Parâmetro η	R²	P (%)
Angico	20	0,15	0,99	0,11
	25	0,28	0,99	0,11
	30	0,50	0,99	0,15
Marmeleiro	20	0,15	0,99	0,23
	25	0,28	0,99	0,10
	30	0,50	0,99	0,29

Verifica-se que todos os modelos utilizados apresentaram bons ajustes, em razão de ter apresentado coeficientes de determinação (R^2) acima de 0,98 e desvios percentuais médios (P) inferiores a 10%, indicando que os modelos testados podem ser utilizados para estimar os dados reológicos dos dois tipos de méis analisados nesse estudo. No entanto, os modelos de Casson e de Herschel-Bulkley apresentaram os menores desvios percentuais médios (P).

Observa-se para os modelos de Ostwald-de-Waele e Herschel-Bulkley que os parâmetros K e KH, que representam o índice de consistência dos fluidos, diminuíram com o aumento da temperatura nos dois méis. Este comportamento era esperado, e é indicativo de que os méis se tornam mais fluidos com o aumento da temperatura. Esta redução dos índices de consistência, nesta faixa de temperatura avaliada, geralmente não exerce influência na qualidade físico-química dos méis, apenas tendem a ter um teor de água mais baixo. Com isso, pode-se aumentar a temperatura dos méis com o propósito desta redução facilitar o escoamento dos mesmos. Comparando-se os valores destes parâmetros entre os dois méis na mesma temperatura, verifica-se que foram próximos.

Com relação aos índices de comportamento dos fluidos (n e nH), constata-se que os méis apresentaram em todas as temperaturas valores aproximadamente iguais a 1 (um), indicando que podem ser considerados como fluidos newtonianos. Os índices de comportamento dos fluidos indicam as tendências dos mesmos. Conforme Toneli et al. (2005) quando $n = 1$, o fluido é newtoniano, n diferente da unidade indica fisicamente o grau de desvio ou o afastamento do fluido do comportamento newtoniano, sendo que se $n < 1$ o comportamento é pseudoplástico e se $n > 1$, é dilatante.

O que define um fluido como newtoniano é quando os valores encontrados apresentam uma relação fixa entre as taxas de deformação e as tensões de cisalhamento. A característica newtoniana simplifica o cálculo de massas e volumes movimentados durante o processamento, uma vez que indica uma resposta linear a diferentes taxas de deformação.

Os méis analisados apresentaram tendência de fluido newtoniano nas temperaturas estudadas, conforme os modelos de Ostwald de-Waele e Herschel-Bulkley. Pereira; Queiroz e Figueirêdo (2003) também verificaram comportamento newtoniano para o mel da abelha uruçú na temperatura de 20 °C (nH = 1,00). Resultados inferiores ao encontrados nesse estudo para o modelo de Herschel-Bulkley foram reportados por Queiroz et al. (2007) ao estudarem o comportamento reológico de méis de florada silvestre nas temperaturas de 20, 25 e 30 °C em que o índice de

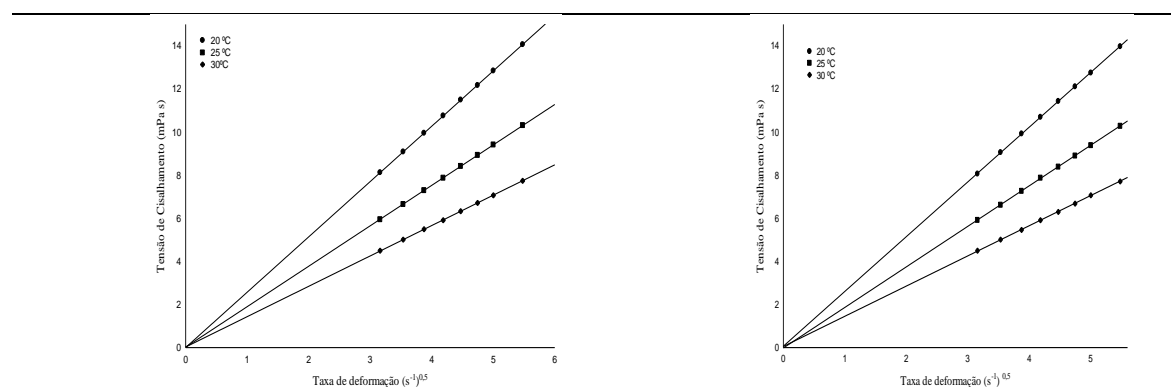
comportamento do fluido foi entre 0,99 a 0,92. Freitas et al. (2004) ao estudarem o comportamento reológico de mel integral nas mesmas temperaturas desse estudo (20, 25 e 30 °C) observaram valores entre 0,95 a 1,05 para o parâmetro n_H . Resultados estes aproximados dos encontrado para os méis de angico e marmeleiro.

Para o modelo de Casson o parâmetro K_c que representa a viscosidade plástica de Casson (Pa s)^{0,5} diminuiu com aumento da temperatura nos dois méis avaliados. Conforme Silva et al. (2012), este foi desenvolvido para descrever um fluido com partículas em suspensão interagindo em um meio newtoniano. A tensão inicial representa uma tensão que deve ser ultrapassada para que o fluido escoe. A viscosidade de plástica Casson representa o grau de resistência do fluido ao escoamento.

A tensão de cisalhamento inicial (τ_0H) para o modelo de Herschel-Bulkley não apresentou uma tendência definida com aumento da temperatura, além de ter valores negativos o que faz com que perca o significado físico, em razão de que τ_0H é a tensão mínima necessária para o fluido começar a escoar. No parâmetro índice de consistência (KH), os valores encontrados apresentaram uma variação de 1,89 a 6,82 Pa sn, sendo que apresentou uma diminuição com aumento da temperatura. Comportamento semelhante foi encontrado por Ahmed et al. (2007) ao estudar o comportamento reológico de sete amostras de méis, onde a tensão de cisalhamento inicial (τ_0H) foi de 0,005 a 0,01 Pa e índice de consistência (KH) foi de 0,47 a 15,98 Pa sn.

No modelo de newton foi encontrado para viscosidade newtoniana (η) valores entre 0,15 e 0,50 Pa s nas temperaturas de 20 a 30 °C. Valores aproximados foram encontrados por Pereira; Queiroz e Figueirêdo (2003) ao estudarem o comportamento reológico de mel da abelha urucu nas temperaturas de 20 e 30 °C, cujo valores da viscosidade newtoniana para essas temperaturas apresentou valores na faixa de 0,23 a 0,46 Pa s.

Na Figura 1 tem-se os gráficos dos valores da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação dos méis de angico e marmeleiro nas diferentes temperaturas 20, 25 e 30 °C, com ajustes pelo modelo de Casson e Herschel-Bulkley. Observa-se que os méis nas temperaturas de 20 °C apresentaram os maiores valores tensão de cisalhamento e taxa de deformação, os pontos das curvas mostram o bom ajuste dos dados aos modelos mencionados. Portanto, à medida que se aumentou a temperatura a cada 5 °C menor foi a tensão de cisalhamento do méis.



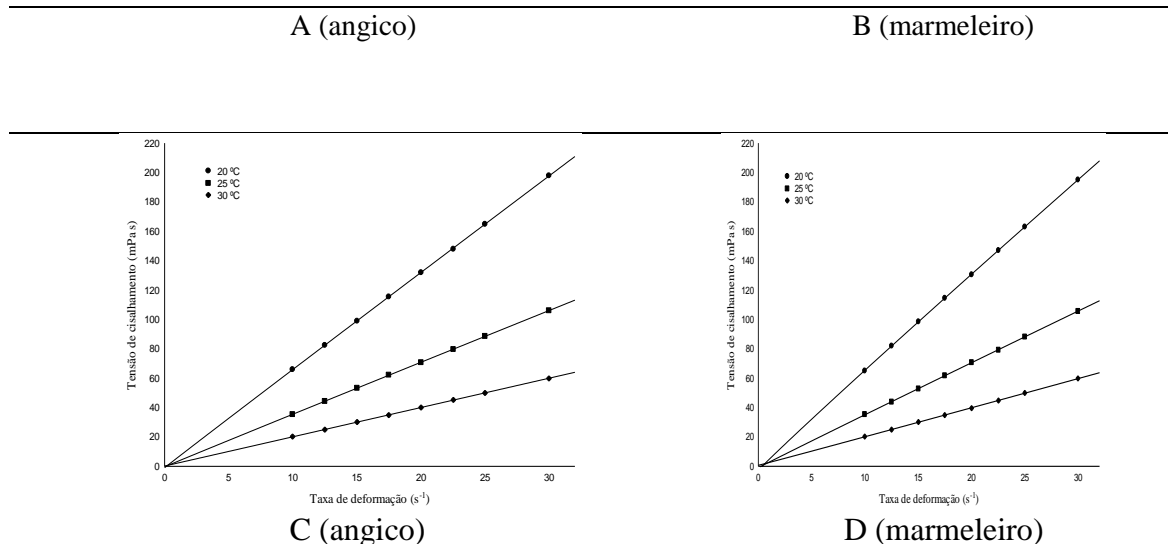


Figura 1. Relação da tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação dos diferentes méis com ajustes pelo modelo de Casson e Herschel-Bulkley (A- mel de angico modelo de Casson, B- mel de marmeleiro, C- mel de angico modelo de Herschel-Bulkley e D- mel de marmeleiro modelo de Herschel-Bulkley)

3.2 . Viscosidade aparente

Na Tabela 3 tem-se os resultados da viscosidade aparente do mel de angico e do mel de marmeleiro em diferentes taxas de deformação e temperaturas. Em todas as amostras a viscosidade aparente manteve-se constante com o aumento da taxa de deformação em todas as temperaturas estudadas, comportamento característico de fluidos newtonianos. Estatisticamente, houve uma diminuição, de acordo com o teste de Tukey a 5% de probabilidade, dos valores das viscosidades aparentes com o aumento da temperatura, tornando-se menos viscosos. A diminuição da viscosidade com o aumento da temperatura afeta tanto as etapas de processamento como a aceitação sensorial por parte do consumidor. Reduções de viscosidade exigem menos gasto energético e de tempo em operações como centrifugações, transferências e combinações. Do ponto de vista do consumidor, menores viscosidades costumam ser associadas a menor teor de sólidos e qualidade inferior, podendo exigir o esclarecimento dessa característica na elaboração da rotulagem.

Tabela 3 - Viscosidade aparente (mPa s) em função da taxa de deformação de diferentes méis em diferentes temperaturas.

Mel de Angico			
Taxa de deformação (s⁻¹)	Temperatura		
	20 °C	25 °C	30 °C
10	8275,00aA	4425,00 aB	2516,66 aC
12,5	8273,33 aA	4440,00 aB	2513,33 aC
15	8266,66 aA	4433,33 aB	2505,66 aC
17,5	8282,66 aA	4433,33 aB	2509,66 aC

20	8254,00 aA	4425,33 aB	2508,33 aC
22,5	8248,00 aA	4425,66 aB	2500,00 aC
25	8263,33 aA	4426,66 aB	2503,33 aC
30	8247,00 aA	4419,66 aB	2502,66 aC

Mel de Marmeleiro

Taxa de deformação (s ⁻¹)	Temperatura		
	20 °C	25 °C	30 °C
10	8200,00 aA	4366,66 aB	2533,33 aC
12,5	8193,33 aA	4396,66 aB	2533,33 aC
15	8194,33 aA	4388,66 aB	2483,33 aC
17,5	8186,00 aA	4390,66 aB	2485,66 aC
20	8175,00 aA	4396,00 aB	2479,33 aC
22,5	8163,00 aA	4392,66 aB	2481,33 aC
25	8163,33 aA	4396,66 aB	2483,33 aC
30	8141,66 aA	4397,33 aB	2480,33 aC

As médias seguidas pela mesma letra minúscula nas colunas e maiúscula nas linhas, não diferem estatisticamente pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade

A explicação usual para a redução de viscosidades com o aumento da temperatura é que este aumento induz um incremento nas distâncias intermoleculares, proporcionando menor frequência nas colisões entre partículas e por consequência menor resistência ao escoamento.

Os valores médios da viscosidade aparente do mel de angico foi entre 8.275,00 a 2.502,66 mPa s e para o mel de marmeleiro uma variação de 8.200,00 a 2.480,33 mPa s para temperaturas de 20 à 30 °C. Resultados de viscosidades aparentes próximos foram reportados por Queiroz et al. (2007) ao estudarem o comportamento reológico de méis da florada silvestre nas temperaturas de 20 a 40 °C e taxas de 0 a 70 s⁻¹ com valores entre 12.500 e 8.000 mPa s, com reduções nas viscosidades com o aumento de temperatura e aumento da taxa de deformação. Valores inferiores foram encontrados por Silva et al. (2009) para méis da florada da vassourinha de botão do município de Limoeiro do Norte, na faixa entre 4.081,7 mPa s a 1.310,0 mPa s nas temperaturas de 20 a 30 °C. As viscosidades aparentes do mel de angico são próximas as encontradas por Silva et al. (2010) para méis da florada da vassourinha de botão do município de Tabuleiro do Norte que de 10.200, 4.900 e 2.520 mPa nas temperaturas de 20, 25 e 30 °C, respectivamente.

Valores de viscosidade aparente na faixa dos encontrado no estudo em questão foram encontrados por Sabato (2004) ao estudar o comportamento reológico de méis oriundos da região do Paraná, sob diferentes irradiações (0, 5 e 10 kGy), temperaturas (30, 35 e 40 °C), e taxas de deformação aproximadamente entre 0 e 3,5 s⁻¹, para as diversas condições os valores de viscosidade aparente obtidos variaram de 2.000 a 8.000 mPa s.

3.3. Energia de ativação

Na Tabela 4 têm-se os valores das energias de ativação (E_a) dos méis em função da taxa de deformação, observa-se que os valores foram muito próximos, não havendo uma influencia do aumento da taxa de deformação. A energia de ativação é uma medida da sensibilidade de uma reação à temperatura, que pode se calcular a partir de ajustes lineares para determinadas temperaturas. A variação da temperatura pode ocorrer durante o processamento e armazenamento dos alimentos, tendo influência nas propriedades reológicas dos mesmos (Steffe, 1996).

Tabela 4 - Valores da energia de ativação (E_a) de diferentes méis em diferentes taxas de deformação

Mel de Angico			Mel de marmeleiro	
Taxa de deformação (s^{-1})	E_a ($kJ\ g^{-1}\ mol^{-1}$)	R^2	E_a ($kJ\ g^{-1}\ mol^{-1}$)	R^2
10	87,87	0,99	86,72	0,99
12,5	87,95	0,99	86,65	0,99
15	88,11	0,99	88,13	0,99
17,5	88,14	0,99	87,98	0,99
20	87,92	0,99	88,07	0,99
22,5	88,11	0,99	87,90	0,99
25	88,10	0,99	87,85	0,99
30	88,03	0,99	87,74	0,99

Constata-se que o mel de angico apresentou valores de E_a entre 87,87 e 88,14 $kJ\ g^{-1}\ mol^{-1}$, e o mel de marmeleiro entre 86,72 a 88,13 $kJ\ g^{-1}\ mol^{-1}$. Para ambos os méis os coeficientes de determinação (R^2) foram de 0,99, indicando que a equação de Arrhenius apresentou um bom ajuste aos dados experimentais de viscosidade aparente e pode ser utilizada para mostrar a influencia da temperatura sobre a viscosidade aparente. Esses valores próximos de E_a indicam que a temperatura influencia na viscosidade aparente no mesmo nível nos dois méis. Segundo Bezerra et al. (2013) os valores de E_a podem indicar se a viscosidade do produto é mais ou menos influenciada pela variação de temperatura, em razão de que a energia de ativação está relacionada com a interação entre as moléculas. Quanto maior a E_a maior a influencia da temperatura sobre a viscosidade, que neste caso é representada pela redução da viscosidade com o aumento da temperatura. De acordo com Steffe (1996) altos valores de energia de ativação indicam uma mudança muito rápida na viscosidade com a temperatura.

Resultados de energias de ativação inferiores foram encontrados por Queiroz et al. (2007) para mel silvestre entre 62,16 e 65,25 $kJ\ g^{-1}\ mol^{-1}$; valor próximo foi quantificado por Recondo, Elizalde e Buera (2006) para mel unifloral com E_a de 82,8 $kJ\ g^{-1}\ mol^{-1}$; valores superiores foram verificados por Juszczak e Fortuna (2006) para diferentes tipos de méis poloneses com E_a entre 92,34 e 105,25 $kJ\ g^{-1}\ mol^{-1}$; e dentro da faixa de E_a quantificado por Yoo (2004) para méis coreanos de diferentes floradas com E_a de 87 a 133,8 $kJ\ g^{-1}\ mol^{-1}$ e por Padilha (2006) em méis (*Apis mellifera*)

coletados no município de Rio do Oeste, em Santa Catarina, nas temperaturas de 20, 30 e 40 °C, com E_a entre 82,46 e 88,23 kJ g⁻¹ mol⁻¹.

4. Conclusões

Os méis das floradas de angico e marmeleiro foram classificados como fluidos newtonianos e os modelos de Ostwald-de-Waele, Casson, Herschel-Bulkley e Newton podem ser utilizados para estimar os dados de tensão de cisalhamento em função da taxa de deformação.

A viscosidade aparente dos méis das floradas de angico e marmeleiro apresentaram redução com aumento da temperatura e a equação de Arrhenius pode ser utilizada para estimar a influência da temperatura sobre a viscosidade aparente destes méis quantificando-se a energia de ativação.

5. Referências

- ABU-JDAYIL, B., GHZAWI, A.A.M., AL-MALAH, K.I.M. 2002. Heat effect on rheology of light and darkcolored honey. *Journal of Food Engineering*, 51, 33-38.
- AHMED, J., PRABHU, S. T., RAGHAVAN, G. S. V., NGADI, M. 2007. Physico-chemical, rheological, calorimetric and dielectric behavior of selected Indian honey. *Journal of Food Engineering*, 79, 1207-1213.
- AHMED, J., RAMASWAMY, H. S., HIREMATH, N. 2005. The effect of high pressure treatment on rheological characteristics and colour of mango pulp. *International Journal of Food Science and Technology*, 40, 885–895.
- AHMED, K., SAFA, K. 2008. Rheological and some physicochemical characteristics of selected Turkish honeys. *Journal of Texture Studies*, 39, 17-27.
- ALMEIDA FILHO, J.P., MACHADO, A.V., ALVES, F.M.S., QUEIROGA, K.H., CÂNDIDO, A.F.M. 2011. Estudo físico-químico e de qualidade do mel de abelha comercializado no município de Pombal-PB. *Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável*, 6, 83-90.
- ALVES, E. M., TOLEDO, V. A. A., MARCHINI, L. C., SEREIA, M. J., MORETI, A. C. C. C.; LORENZETTI, E. R., NEVES, C. A., SANTOS, A. A. 2009. Presença de coliformes, bolores e leveduras em amostras de mel orgânico de abelhas africanizadas das ilhas do alto rio Paraná. *Ciência Rural*, 39, 2222-2224.
- BEZERRA, C. V., SILVA, L. H. M., COSTA, R. D. S., MATTIETTO, R. A., RODRIGUES, A. M. C. 2013. Comportamento reológico de suco misto elaborado com frutas tropicais. *Brazilian Journal of Food Technology*, 16, 155-162.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e do Abastecimento. Instrução Normativa nº 11, de 20 de Outubro de 2000. Regulamento Técnico de Identidade e Qualidade do mel. *Diário Oficial da Republica Federativa do Brasil*, 2000. Brasília,. Seção 1, 16-17.
- FREITAS, J. C. O., QUEIROZ, A. J. M., FIGUEIRÊDO, R. M. F., RODRIGUES, A.E. 2004. Combinações de mel e acerola em pó: avaliação reológica. *Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais*, 6,87-95.
- GOIS, G.C., LIMA, C.A.B., SILVA, L.T., RODRIGUES, A.E. 2013. Composição do mel de *Apis mellifera*: requisitos de qualidade. *Revista Acta Veterinaria Brasilica*, 7, 137-147.
- JUSZCZAK, L., FORTUNA, T. 2006. Rheology of selected Polish honeys. *Journal of Food Engineering*, 75, 43-49.
- LANARA. Laboratório Nacional de Referência Animal. Métodos Analíticos Oficiais para o controle de produtos de origem animal e seus ingredientes; – Métodos físicos e químicos. 1981. Brasília, cap. xxv,1-15.
- MARCHINI, L. C., MORETI, A. C. de C. C., OTSUK, I. P. 2005. Análise de agrupamento, com base na composição físico-química, de amostras de méis produzidos por *Apis mellifera* no estado de São Paulo. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, 25,8-17.

- MARCHINI, L. C., SOUZA, B. de A. Composição físico-química, qualidade e diversidade dos méis brasileiros de abelhas africanizadas. In: Congresso Brasileiro de Apicultura, 2006, Aracaju, 1, 4.
- PADILHA, A.C. 2006. Estudo do comportamento reológico do mel *Apis mellifera* da região de Rio do Oeste/SC. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina.
- PEREIRA, E. A., QUEIROZ, A. J. M., FIGUEIRÊDO, R. M. F. 2003. Comportamento reológico de mel da abelha urucu (*Melipona scutellaris* L.). Revista Ciências Exatas e Naturais, 5, 179-186.
- QUEIROZ, A. J.M., FIGUEIRÊDO, R. M. F., SILVA, C.L., MATA, M. E. R.M.C. 2007. Comportamento reológico de méis de florada de silvestre. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 11,190-194.
- RECONDO, M.P., ELIZALDE, B.E., BUERA, M.P. 2006. Modeling temperature dependence of honey viscosity and of related supersaturated model carbohydrate systems. Journal of Food Engineering, 77, 126-134.
- SABATO, S.F. 2004. Rheology of irradiated honey from Parana region. Radiation Physics and Chemistry, 1,99-102.
- SANTOS, D. C., OLIVEIRA, E. N. A. 2013. Características físico-químicas e microbiológicas de méis de *Apis mellifera* L. provenientes de diferentes entrepostos. Comunicata Scientiae, 4, 67-74.
- SANTOS, D. C., OLIVEIRA, E. N. A., MARTINS, J. N., ALBUQUERQUE, E. M. B. 2011. Qualidade físico-química e microbiológica do mel de *Apis mellifera* comercializado na cidade de Russas -CE. Revista de Tecnologia. & Ciência Agropecuária, 5, 41-45.
- SANTOS, D.C., MOURA NETO, L.G., MARTINS, J.N., SILVA, K.F.N.L. 2009. Avaliação da qualidade físico-química de amostras de méis comercializadas na região do Vale do Jaguaribe-CE. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 4, 21-26.
- SILVA, A. M. R., MAIA, G. A., SOUSA, P. H. M., RAMOS, A. M., AFONSO, M.R.A., FIGUEIREDO, R.W. 2012. Comportamento reológico de néctares mistos de caju, manga e acerola descritos pelo Modelo de Casson. Brazilian Journal of Food Technology, 15, 237-243.
- SILVA, K. F. N. L., SANTOS, D.C., SILVA, C.T.S., QUEIROZ, A.J.M., LIMA, A.O.N. 2009. Aspectos reológicos de amostras de méis de *Apis mellifera* do município de limoeiro do Norte-CE. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 4, 90-95.
- SILVA, K. F. N. L., SANTOS, D.C., SILVA, C.T.S., QUEIROZ, A.J.M., LIMA, A.O.N. 2010. Comportamento reológico do mel de *Apis mellifera* do município de Tabuleiro do Norte-CE. Revista Brasileira de Tecnologia Agroindustrial, 4, 52-57.
- SILVA, R. A., AQUINO, I. S., RODRIGUES, A. E., SOUZA, D. L. 2009. Análise físico-química de amostras de mel de abelhas zamboque (*Frieseomelitta varia*) da região do Seridó do Rio Grande do Norte. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento Sustentável, 4, 70-75.
- STEFFE, J. F. Rheological methods in food process engineering. 2. ed. Michigan: East Lansing, 1996. 418 p.
- TONELLI, J. T. C. L., MURR, F. E. X., PARK, K. J. 2005. Estudo da Reologia de Polissacarídeos Utilizados na Indústria de Alimentos. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, 7, 181-204.
- YOO, B. 2004. Effect of temperature on dynamic rheology of Korean honeys. [Journal of Food Engineering](#), 65, 459-463.