

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NA MASSA ESPECÍFICA DE BIODIESEIS METÁLICOS DE DIFERENTES ORIGENS

César Augusto Canciam (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) ccanciam@gmail.com

Resumo: A massa específica é um importante parâmetro físico-químico usado na caracterização dos materiais, sendo dependente da temperatura e da pressão. O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência da temperatura sobre a massa específica dos biodieseis metálicos de algodão, coco, dendê, girassol, gordura de frango, mamona, sebo bovino e soja. Para cada biodiesel, foi encontrada uma relação do tipo Arrhenius. Os valores encontrados para a energia de ativação variaram de 658,835 a 788,001 J.mol⁻¹. O biodiesel metílico de coco apresentou uma maior sensibilidade da massa específica em virtude da variação da temperatura, em comparação aos demais biodieseis estudados.

Palavras-chave: massa específica; temperatura; biodiesel; efeito; energia de ativação.

INFLUENCE OF TEMPERATURE ON SPECIFIC WEIGHT OF METHYL BIODIESELS FROM DIFFERENT SOURCES

Abstract: The specific weight is an important physic-chemical parameter used for characterization of materials, being dependent on temperature and pressure. The objective of this work was to evaluate the influence of temperature on specific weight of methyl biodieseels from cotton, coconut, palm, sunflower, chicken fat, castor, beef tallow and soybeans. For each biodiesel, an Arrhenius-type relationship was found. The values found for the activation energy ranged from 658.835 to 788.001 J.mol⁻¹. The coconut methyl biodiesel showed a higher sensitivity of specific weight due to temperature variation in comparison to other biodieseels studied.

Keywords: specific weight; temperature; biodiesel; effect; activation energy.

1. INTRODUÇÃO

O biodiesel é classificado como uma mistura de alquilésteres de cadeia linear, obtida pela reação de transesterificação dos triglicerídeos presentes em óleos vegetais e gorduras com álcoois de cadeia curta, catalisada por ácidos, bases ou enzimas.

Dentre os álcoois de cadeia curta, os mais utilizados na obtenção dos biodieseis são o metanol e o etanol. O metanol, em comparação com o etanol, é mais reativo, implicando em menores temperaturas e tempos de reação. Já o etanol é consideravelmente menos tóxico, renovável e produz um biodiesel com maior índice de cetano e lubricidade (COSTA NETO *et al.*, 2000; LÓBO; FERREIRA; CRUZ, 2009).

A massa específica está intimamente relacionada com a temperatura e com a pressão, sendo considerada uma das mais fundamentais propriedades de um material. A massa específica, segundo Chung, Thiessen e Rhim (1996) está intrinsecamente relacionada com outras propriedades termofísicas.

Dados da massa específica são importantes para inúmeras unidades de Engenharia Química. Por exemplo, nas indústrias oleoquímicas, dados da massa específica são usados no projeto de reatores, em unidades de destilação, tanques de estocagem e instalações de bombeamento (CAVALCANTE, 2010).

No caso de biocombustíveis, a massa específica é de fundamental importância, pois a bomba injetora e os injetores são construídos para dosar volumes predeterminados de um combustível-padrão. Assim, mudanças na massa específica do combustível produzem efeitos sobre a combustão, tais como, variações nas características das emissões, no poder calorífico e na taxa de energia equivalente (MACHADO, 2008).

Penteado (2005) comenta que um biocombustível de baixa massa específica acarreta em aumento do consumo, perda de potência e dirigibilidade. Já um biocombustível de alta massa específica libera material particulado, podendo gerar fumaça negra.

De maneira geral, a massa específica de um combustível influencia a partida, a pressão de injeção e a pulverização do combustível, interferindo no desempenho do moto de combustão e na emissão de poluentes (GARCIA, 2006; CAVALCANTE, 2010).

De acordo com Tsen e King (2002), equações do tipo Arrhenius permitem modelar matematicamente um determinado parâmetro físico-químico, bem como verificar o efeito da temperatura sobre esse parâmetro. A Equação (1) é exemplo de uma equação do tipo Arrhenius e expressa a massa específica (ρ) em termos da temperatura absoluta (T).

$$\rho = \rho_{\infty} \cdot \exp\left(\frac{E_a}{R \cdot T}\right) \quad (1)$$

Em que E_a corresponde à energia de ativação para a massa específica; R , à constante universal dos gases ideais e ρ_{∞} , à massa específica quando a temperatura tende ao infinito.

Considerando a equação do tipo Arrhenius, Tsen e King (2002) comenta que o aumento da temperatura absoluta tem efeito de diminuir a massa específica do material. Já a ordem de grandeza da energia de ativação para a massa específica (E_a) indica a dependência da massa específica com a temperatura absoluta. Dessa forma, materiais com alta energia de ativação para a massa específica apresentam grande variação na massa específica em função da temperatura absoluta e vice-versa.

O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência da temperatura sobre a massa específica dos biodieseis metílicos de algodão, coco, dendê, girassol, gordura de frango, mamona, sebo bovino e soja, a partir dos valores da energia de ativação para a massa específica. Esses valores foram obtidos através da aplicação da análise de regressão linear de dados experimentais da massa específica em função da temperatura.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

As Tabelas 1, 2, e 3 relacionam os valores experimentais da massa específica dos biodieseis metílicos estudados em função do inverso da temperatura absoluta. A faixa de temperatura considerada foi de 15 a 90°C para os biodieseis metílicos de algodão, coco, dendê, gordura de frango, mamona, sebo bovino e soja. Para o biodiesel metílico de girassol, a faixa de temperatura foi de 10 a 70°C.

A Tabela 1 refere-se aos dados experimentais dos biodieseis metílicos de algodão, coco, dendê e mamona.

A Tabela 2 refere-se aos dados experimentais do biodiesel metílico de girassol. Enquanto que a Tabela 3, aos dados experimentais dos biodieseis metílicos de gordura de frango, sebo bovino e soja.

Os dados experimentais do biodiesel metílico de girassol foram adaptados do trabalho de Canciam (2012). Os dados experimentais dos demais biodieseis foram adaptados do trabalho de Cavalcante (2010).

Tabela 1 – Valores experimentais da massa específica dos biodieseis metílicos de algodão, coco, dendê e mamona em função do inverso da temperatura absoluta.

| $1/T$ (10^{-3} K^{-1}) | Algodão | Coco | Dendê | Mamona |
|------------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| | ρ (kg.m^{-3}) | ρ (kg.m^{-3}) | ρ (kg.m^{-3}) | ρ (kg.m^{-3}) |
| 3,47 | 890,52 | 881,65 | 877,35 | 924,94 |
| 3,41 | 886,86 | 877,77 | 873,67 | 921,32 |
| 3,35 | 883,20 | 873,90 | 870,00 | 917,68 |
| 3,30 | 879,55 | 870,04 | 866,34 | 914,04 |
| 3,24 | 875,89 | 866,18 | 862,68 | 910,37 |
| 3,19 | 872,25 | 862,32 | 859,04 | 906,71 |
| 3,14 | 868,59 | 858,46 | 855,38 | 903,04 |
| 3,09 | 864,94 | 854,59 | 851,73 | 899,36 |
| 3,05 | 861,29 | 850,73 | 848,09 | 895,67 |
| 3,00 | 857,63 | 846,87 | 844,43 | 891,97 |
| 2,96 | 853,98 | 843,01 | 840,78 | 888,26 |
| 2,91 | 850,33 | 839,14 | 837,13 | 884,55 |
| 2,87 | 846,67 | 835,28 | 833,49 | 880,82 |
| 2,83 | 843,00 | 831,39 | 829,83 | 877,10 |
| 2,79 | 839,34 | 827,51 | 826,18 | 873,37 |
| 2,75 | 835,70 | 823,64 | 822,53 | 869,66 |

Fonte – Cavalcante (2010).

Tabela 2 – Valores experimentais da massa específica do biodiesel metílico de girassol em função do inverso da temperatura absoluta.

| $1/T$ (10^{-3} K^{-1}) | ρ (kg.m^{-3}) |
|------------------------------------|-------------------------------|
| 3,53 | 881,56 |
| 3,47 | 877,65 |
| 3,41 | 873,82 |
| 3,35 | 870,06 |
| 3,30 | 866,38 |
| 3,25 | 862,77 |
| 3,19 | 859,24 |
| 3,14 | 855,78 |
| 3,09 | 852,40 |
| 3,05 | 849,09 |
| 3,00 | 845,89 |
| 2,96 | 842,70 |
| 2,91 | 839,62 |

Fonte – Canciam (2012).

Tabela 3 – Valores experimentais da massa específica dos biodieseis metílicos de gordura de frango, sebo bovino e soja em função do inverso da temperatura absoluta.

| $1/T$ (10^{-3} K^{-1}) | Gordura de frango ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) | Sebo bovino ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) | Soja ρ ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-3}$) |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 3,47 | 880,18 | 873,92 | 880,59 |
| 3,41 | 876,53 | 870,24 | 876,91 |
| 3,35 | 872,87 | 866,58 | 873,27 |
| 3,30 | 868,00 | 862,91 | 869,60 |
| 3,24 | 864,34 | 859,26 | 865,97 |
| 3,19 | 860,70 | 855,62 | 862,33 |
| 3,14 | 857,05 | 851,98 | 858,69 |
| 3,09 | 853,41 | 848,32 | 855,05 |
| 3,05 | 849,77 | 844,68 | 851,41 |
| 3,00 | 846,12 | 841,05 | 847,78 |
| 2,96 | 842,47 | 837,40 | 844,15 |
| 2,91 | 838,82 | 833,75 | 840,52 |
| 2,87 | 835,17 | 830,11 | 836,88 |
| 2,83 | 831,53 | 826,46 | 833,24 |
| 2,79 | 829,09 | 822,81 | 829,60 |
| 2,75 | 825,45 | 819,15 | 825,98 |

Fonte – Cavalcante (2010).

Para a obtenção dos valores da energia de ativação para a massa específica (E_a) foi empregado o método de linearização de curvas proposto por Freund (2004), na qual a Equação (1) é reescrita na forma de:

$$\ln \rho = \ln \rho_{\infty} + \left(\frac{E_a}{R} \right) \cdot \frac{1}{T} \quad (2)$$

O gráfico $\ln \rho$ versus $\frac{1}{T}$ fornece uma reta, em que o coeficiente angular corresponde à razão $\frac{E_a}{R}$ e o coeficiente linear, à $\ln \rho_{\infty}$.

A partir dos dados experimentais das Tabelas 1, 2 e 3, os valores da razão $\frac{E_a}{R}$ e $\ln \rho_{\infty}$ foram obtidos através da análise de regressão linear dos valores de $\ln \rho$ em função de $\frac{1}{T}$ para cada biodiesel metílico. A Equação (3) obtém a razão $\frac{E_a}{R}$; enquanto que a Equação (4), o valor de $\ln \rho_{\infty}$.

$$\frac{E_a}{R} = \frac{\left\{ n \cdot \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T} \right) \cdot \ln \rho \right] - \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T} \right) \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n \ln \rho \right] \right\}}{\left\{ n \cdot \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T} \right)^2 \right] - \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T} \right) \right]^2 \right\}} \quad (3)$$

$$\ln \rho_\infty = \frac{\left\{ \left(\sum_{i=1}^n \ln \rho \right) - \left(\frac{E_a}{R} \right) \cdot \left(\sum_{i=1}^n \frac{1}{T} \right) \right\}}{n} \quad (4)$$

A Equação (5) determina o valor do coeficiente de correlação linear (r^2) para a análise de regressão linear dos dados emparelhados de $\ln \rho$ e $\frac{1}{T}$.

As Equações (3), (4) e (5) são adaptadas do trabalho de Triola (2008).

$$r^2 = \frac{\left\{ n \cdot \sum_{i=1}^n \left\{ \left(\frac{1}{T} \right) \cdot (\ln \rho) \right\} - \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T} \right) \right] \cdot \left[\sum_{i=1}^n \ln \rho \right] \right\}}{\left\{ \left[\left[n \cdot \sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T} \right)^2 \right] - \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{1}{T} \right) \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \cdot \left[\left[n \cdot \sum_{i=1}^n (\ln \rho)^2 \right] - \left[\sum_{i=1}^n \ln \rho \right]^2 \right]^{\frac{1}{2}} \right\}} \quad (5)$$

Nas Equações (3), (4) e (5), n corresponde ao número de dados emparelhados de $\ln \rho$ em função de $\frac{1}{T}$. Para as Tabelas 1 e 3, n equivale a 16; enquanto que na Tabela 2, esse parâmetro assume valor igual a 13.

A energia de ativação para a massa específica (E_a) foi determinada pela multiplicação da razão $\frac{E_a}{R}$ por R . Para esse cálculo, foi considerado que a constante dos gases ideais (R) é igual a $8,314 \text{ J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 ilustra o gráfico de $\ln \rho$ versus $\frac{1}{T}$ para os biodieseis metílicos de algodão, coco, dendê e mamona. Enquanto que a Figura 2 ilustra o gráfico de $\ln \rho$ versus $\frac{1}{T}$ para o biodiesel metílicos de girassol. Já a Figura 3 ilustra o gráfico de $\ln \rho$ versus $\frac{1}{T}$ para os biodieseis metílicos de gordura de frango, sebo bovino e soja.

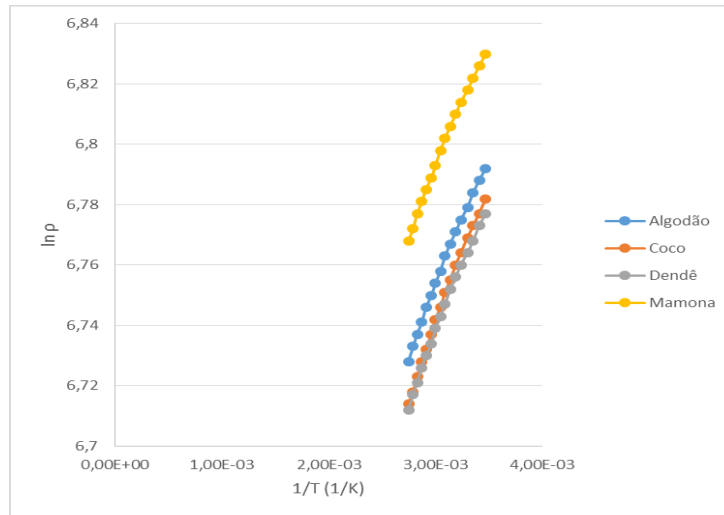


Figura 1 – Gráfico de $\ln \rho$ versus $\frac{1}{T}$ para os biodieseis metlicos de algodão, coco, dendê e mamona.

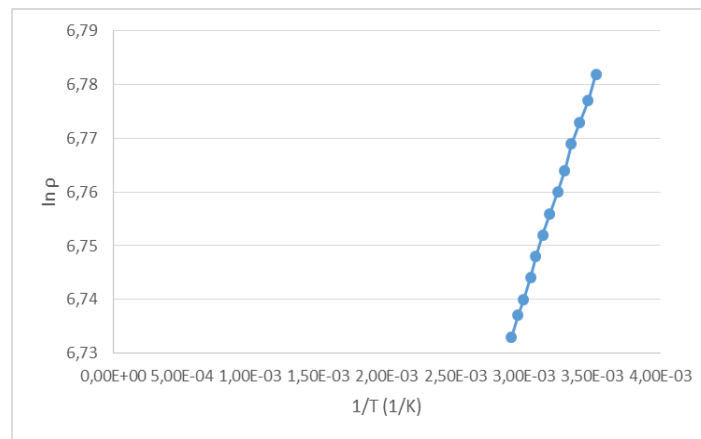


Figura 2 – Gráfico de $\ln \rho$ versus $\frac{1}{T}$ para o biodiesel metlico de girassol.

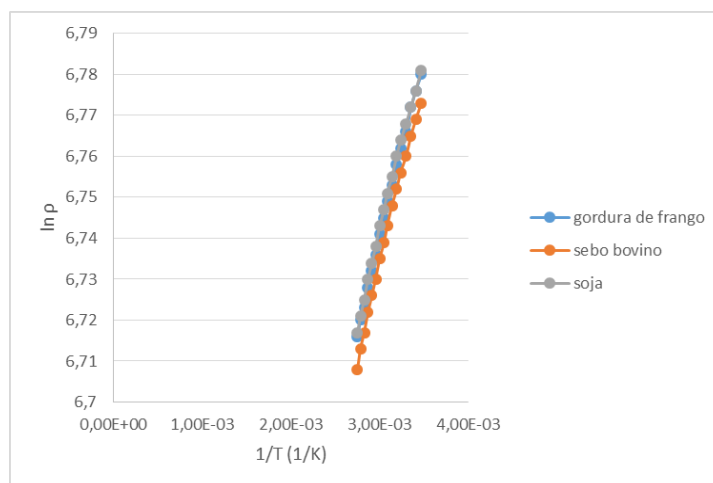


Figura 3 – Gráfico de $\ln \rho$ versus $\frac{1}{T}$ para os biodieseis metlicos de gordura de frango, sebo bovino e soja.

A Tabela 4 indica os resultados obtidos da análise de regressão linear dos dados de $\ln \rho$ versus $\frac{1}{T}$ para os biodieseis metílicos estudados. Enquanto que a Tabela 5 indica os valores da energia de ativação para a massa específica (E_a) e do parâmetro ρ_∞ .

Tabela 4 – Resultados da análise de regressão linear para os biodieseis metílicos estudados.

| Biodiesel metílico | $\frac{E_a}{R}$ (K) | $\ln \rho_\infty$ | r^2 |
|--------------------|---------------------|-------------------|--------|
| algodão | 88,759 | 6,487 | 0,9975 |
| coco | 94,780 | 6,456 | 0,9971 |
| dendê | 89,763 | 6,468 | 0,9974 |
| girassol | 79,244 | 6,503 | 0,9996 |
| gordura de frango | 90,043 | 6,470 | 0,9988 |
| mamona | 86,875 | 6,531 | 0,9970 |
| sebo bovino | 90,100 | 6,463 | 0,9973 |
| soja | 88,839 | 6,475 | 0,9976 |

Tabela 5 – Valores da energia de ativação para a massa específica e do parâmetro ρ_∞ para os biodieseis metílicos estudados.

| Biodiesel metílico | E_a (J.mol ⁻¹) | ρ_∞ (kg.m ⁻³) |
|--------------------|------------------------------|-------------------------------------|
| algodão | 737,942 | 656,551 |
| coco | 788,001 | 636,510 |
| dendê | 746,290 | 644,194 |
| girassol | 658,835 | 667,140 |
| gordura de frango | 748,618 | 645,484 |
| mamona | 722,279 | 686,084 |
| sebo bovino | 749,091 | 640,981 |
| soja | 738,607 | 648,719 |

Pode-se observar na Tabela 5 que o biodiesel metílico de coco apresenta a maior energia de ativação para a massa específica (E_a). Dessa forma, os resultados sugerem que para esse biodiesel metílico é maior a sensibilidade da massa específica devido à variação da temperatura, em comparação aos demais biodieseis metílicos estudados.

Ramos e coautores (2003) comentam que a composição e as propriedades dos óleos vegetais e gorduras interferem na composição e nas propriedades dos biodieseis.

Neste sentido, Lôbo, Ferreira e Cruz (2009) argumentam que a massa específica de um biodiesel está diretamente ligada com a estrutura molecular de suas moléculas. De maneira que, quanto maior o comprimento da cadeia carbônica do alquiléster, maior é a massa específica. No entanto, esse valor decresce quanto maior for o número de insaturações

presentes na moléculas. A presença de impurezas também pode influenciar na massa específica do biodiesel.

A Tabela 6 indica a composição mássica (em %) dos ésteres encontrados nos biodieseis metílicos estudados. A composição mássica dos biodieseis metílicos de algodão, coco, dendê, gordura de frango, mamona, sebo bovino e soja foram adaptados do trabalho de Cavalcante (2010). Para o biodiesel metílico de girassol, a composição mássica foi obtida do trabalho de Coitinho, Marques e Fontoura (2009).

Tabela 6 – Composição mássica (em %) em termos dos ésteres metílicos.

| Éster metílico | algodão | coco | dendê | girassol | gordura de frango | mamona | sebo bovino | soja |
|------------------------|---------|-------|-------|----------|-------------------|--------|-------------|-------|
| laurato de metila | 0,13 | 69,47 | 1,20 | --- | 0,03 | 0 | 0,04 | 0,06 |
| miristato de metila | 1,02 | 15,60 | 1,12 | --- | 0,67 | 0 | 1,58 | 11,10 |
| palmitato de metila | 10,95 | 5,77 | 39,01 | 6 | 24,78 | 1,54 | 11,28 | 0,06 |
| palmitoleato de metila | 9,94 | 4,04 | 0 | --- | 8,52 | 0,34 | 26,19 | 2,83 |
| estearato de metila | 6,92 | 1,59 | 5,23 | 4 | 5,29 | 0,92 | 12,12 | 23,74 |
| oleato de metila | 56,27 | 3,25 | 38,17 | 32 | 47,80 | 4,61 | 15,28 | 55,56 |
| linoleato de metila | 12,95 | 0,24 | 14,13 | 58 | 11,90 | 5,46 | 33,13 | 5,53 |
| linolenato de metila | 0,83 | 0 | 0,72 | --- | 0,45 | 0,41 | 0,24 | 0,28 |
| ricinoleato de metila | 0 | 0 | 0 | --- | 0 | 86,25 | 0 | 0 |
| Outros ésteres | 0,99 | 0,04 | 0,42 | --- | 0,56 | 0,47 | 0,14 | 0,84 |
| Total | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 | 100 |

Fonte – Coitinho; Marques; Fontoura (2009); Cavalcante (2010).

No caso dos biodieseis metílicos de algodão e soja, em termos de ésteres metílicos, ambos apresentam, como componente em maior concentração, o éster oleato de metila (conforme a Tabela 6). Em termos de energia de ativação para a massa específica (E_a), apresentam valores próximos: $737,942 \text{ J.mol}^{-1}$ para o biodiesel metílico de algodão e $738,607 \text{ J.mol}^{-1}$ para o biodiesel metílico de soja. Ou seja, sugere-se que a composição (em termos dos ésteres) influencia na energia de ativação para massa específica.

O ácido oléico é um ácido graxo monoinsaturado que apresenta 18 átomos de carbono (VIANNI; BRAZ-FILHO, 1996).

Com base na Tabela 6, pode-se observar que o biodiesel metílico de coco apresenta 69,47%, em sua composição, correspondente ao laurato de metila.

Em termos da energia de ativação para a massa específica (E_a), o biodiesel metílico de coco apresentou maior valor para esse parâmetro, em relação aos demais (conforme a Tabela 5).

Segundo Vianni e Braz-Filho (1996), o ácido láurico é um ácido graxo saturado que apresenta 12 átomos de carbono. Ou seja, o éster metílico correspondente a esse ácido graxo (laurato de metila) apresenta comprimento de cadeia carbônica pequeno quando comparado aos demais ésteres.

Dessa forma, pode existir uma correlação entre o comprimento da cadeia carbônica saturada do éster metílico e a energia de ativação para a massa específica. De maneira que,

quanto menor o comprimento da cadeia carbônica saturada, maior é a energia de ativação para a massa específica.

No caso do biodiesel metílico de girassol, este apresenta, como componente de maior concentração, o linoleato de metila (58%, conforme a Tabela 6). Em termos da energia de ativação para a massa específica, este valor corresponde a $658,835 \text{ J.mol}^{-1}$ (Tabela 5). Em comparação aos demais biodieseis metílicos estudados, o biodiesel metílico de girassol apresenta o menor valor para a energia de ativação para a massa específica.

De acordo com Vianni e Braz-Filho (1996), o ácido linoléico é um ácido graxo insaturado, apresentando 18 átomos de carbono e 2 insaturações.

Dessa forma, sugere-se que quanto maior o número de insaturações presentes na molécula, menor é o valor da energia de ativação para a massa específica.

Com relação ao parâmetro ρ_{∞} , pode-se observar na Tabela 5 que o biodiesel metílico de mamona apresenta maior valor. Em termos de composição do biodiesel metílico de mamona (Tabela 6), este apresenta, como componente de maior concentração, o éster ricinoleato de metila.

Segundo Arias (2012), o ácido ricinoléico é um ácido graxo monoinsaturado com 18 átomos de carbono e que apresenta um grupamento hidroxila no décimo segundo carbono (a partir da carboxila) e ligação dupla no nono carbono (a partir da carboxila).

Galvão (2007) comenta que em virtude das características do ácido ricinoléico, a massa específica e a viscosidade do óleo de mamona são maiores em comparação a outros óleos vegetais.

Comparando as Tabelas 1, 2 e 3, pode-se observar que o biodiesel metílico de mamona apresenta maior massa específica em todas as temperaturas. Isto confirma o comentário feito por Galvão (2007).

Toda essa discussão necessita ser mais estudada e aprofundado o estudo.

Valores da energia de ativação para a massa específica (E_a) e do parâmetro ρ_{∞} de biodieseis metílicos foram pesquisados na literatura e constatou-se a ausência desses valores; dificultando a comparação.

Com relação ao coeficiente de correlação, Pinheiro e coautores (2009) comentam que esse parâmetro mede a interdependência linear entre as variáveis e avalia a qualidade do ajuste, ou seja, quanto mais próximo o coeficiente de correlação for da unidade, melhor o ajuste da reta em relação aos pontos da dispersão.

Lira (2004) fornece uma classificação para as correlações lineares. A autora comenta que a correlação linear é classificada como muito forte quando os valores do coeficiente de correlação são maiores ou iguais a 0,90 e menores que 1,0.

Dessa forma, observa-se na Tabela 4, que para todos os biodieseis metílicos estudados, a correlação linear é classificada como muito forte.

4. CONCLUSÕES

O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência da temperatura sobre a massa específica dos biodieseis metílicos de algodão, coco, dendê, girassol, gordura de frango, mamona, sebo bovino e soja, a partir dos valores da energia de ativação para a massa específica.

Os valores encontrados da energia de ativação para a massa específica variaram de $658,835 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$ (biodiesel metílico de girassol) a $788,001 \text{ J}\cdot\text{mol}^{-1}$ (biodiesel metílico de coco). Indicando que para o biodiesel metílico de coco é maior a sensibilidade da massa específica em virtude da variação da temperatura, em comparação aos demais biodieseis estudados.

Os resultados sugerem que a composição do biodiesel metílico interfere na energia de ativação para a massa específica. De maneira que quanto menor o comprimento da cadeia carbônica saturada, maior é a energia de ativação para a massa específica e; quanto maior o número de insaturações presentes na molécula, menor é o valor da energia de ativação para a massa específica.

Com relação ao parâmetro ρ_{∞} , pode-se observar que o biodiesel metílico de mamona apresentou maior valor em relação aos demais biodieseis metílicos estudados. Em termos de composição do biodiesel metílico de mamona, este apresenta, como componente de maior concentração, o éster ricinoleato de metila.

Todas essas constatações necessitam ser mais estudadas e discutidas.

REFERÊNCIAS

ARIAS, E.B. *Biomoléculas: una introducción estructural a la Bioquímica*. Ediciones Universidad de Salamanca, Salamanca. 2012, 581p.

CANCIAM, C.A. *Predição dos coeficientes de expansão térmica de biodieseis de diversas origens através da aplicação da regressão linear*. *E-xacta*, v.5, n.1, p.67-82, 2012.

CAVALCANTE, R.M. *Predição da densidade de biodiesel proveniente de diferentes matérias-primas*. Rio de Janeiro: UFRJ, 2010. 80p. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – UFRJ, 2010.

CHUNG, S.K.; THIESSEN, D.B.; RHIM, W.K. *A non contact measurement technique for the density and the thermal expansion coefficient of solids and liquid material*. *Review of Scientific Instruments*, v.67, n.9, p.3175-3181, 1996.

COITINHO, F.; MARQUES, M.V.; FONTOURA, L.A.M. *Obtenção de biodiesel metílico de óleos de girassol e canola por catálise heterogênea com gliceroxido de cálcio*. In: 2º Simpósio Nacional de Biocombustíveis, Recife, 2009. Disponível em <http://www.abq.org.br/biocom/2009/trabalhos/-26-3980.htm>. Acesso em 22/03/2014.

COSTA NETO, P.R.; ROSSI, L.F.S.; ZAGONEL, G.F.; RAMOS, L.P. *Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras*. *Química Nova*, v.23, n.4, p.531-537, 2000.

FREUND, J.E. *Estatística aplicada – Economia, Administração e Contabilidade*. Artmed, Porto Alegre, 2004, 545p.

GALVÃO, L.P.F.C. *Avaliação termoanalítica da eficiência de antioxidantes na estabilidade oxidativa de biodiesel de mamona*. Natal: UFRN, 2007. 159p. Dissertação (Mestrado em Química) – UFRN, 2007.

GARCIA, C.M. *Transesterificação de óleos vegetais*. Campinas: Unicamp, 2006. 136p. Dissertação (Mestrado em Química) – Unicamp, 2006.

LIRA, S.A. *Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicação*. Curitiba: UFPR, 2004. 196p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – UFPR, 2004.

LÔBO, I.P.; FERREIRA, S.L.C.; CRUZ, R.S. *Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos*. *Química Nova*, v.32, n.6, p.1596-1608, 2009.

MACHADO, P.R.M. *Ésteres combustíveis em motor de ciclo diesel sob condições de pré-aquecimento e variação no avanço de injeção*. Santa Maria: UFSM, 2008. 163p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – UFSM, 2008.

PENTEADO, M.C.P.S. *Identificação dos gargalos e estabelecimento de um plano de ação para o sucesso do programa brasileiro do biodiesel*. São Paulo: USP, 2005. 159p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante em Engenharia Automotiva) – USP, 2005

PINHEIRO, J.I.D.; CUNHA, S.B.; CARVAJAL, S.R.; GOMES, G.C. *Estatística básica: a arte de trabalhar com dados*. Ed. Elsevier, Rio de Janeiro. 2009, 295p.

RAMOS, L.P.; KUCEK, K.T.; DOMINGO, A.K.; WILHELM, H.M. *Biodiesel: um projeto de sustentabilidade econômico e sócio-ambiental para o Brasil*. *Revista Biotecnologia, Ciência & Desenvolvimento*, n.31, p.28-37, 2003.

TRIOLA, M.F. *Introdução à Estatística*. LTC, Rio de Janeiro. 2008, 720p.

TSEN, J.H.; KING, V.A.E. *Density of banana puree as a function of soluble solids concentration and temperature*. *Journal of Food Engineering*, v. 55, n.4, p.305-308, 2002.

VIANNI, R.; BRAZ-FILHO, R. *Ácidos graxos naturais: importância e ocorrência em alimentos*. *Química Nova*, v. 19, n.4, p.400-4007, 1996.