

PREDIÇÃO DO COEFICIENTE DE EXPANSÃO TÉRMICA DO ÓLEO DE GIRASSOL ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DA ANÁLISE DE REGRESSÃO LINEAR

PREDICTION OF THE THERMAL EXPANSION COEFFICIENT OF THE SUNFLOWER OIL THROUGH THE APPLICATION OF LINEAR REGRESSION ANALYSIS

César Augusto Canciam¹

¹ Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Ponta Grossa – Brasil canciam@utfpr.edu.br

Resumo

*O coeficiente de expansão térmica é uma propriedade termodinâmica que fornece uma medida da variação da densidade em resposta à variação da temperatura, mantendo a pressão constante. O conhecimento dessa grandeza é importante no estudo da dilatação térmica e na transferência de calor em tubulações. O objetivo deste trabalho é prever o coeficiente de expansão térmica do óleo de girassol (*Helianthus annuus* L.) através da aplicação da análise de regressão linear de dados experimentais da densidade em função da temperatura. O valor obtido para o coeficiente de expansão térmica do óleo de girassol é de $6,9858 \times 10^{-4} \text{ }^\circ\text{C}^{-1}$, com um coeficiente de correlação superior a 0,99. Embora não tenha sido encontrado um valor experimental, o valor obtido neste trabalho apresenta-se próximo ao de outros óleos vegetais.*

Palavras-chave: dilatação, óleo de girassol, predição.

1 Introdução

O girassol (*Helianthus annuus* L.) é uma cultura que apresenta características desejáveis do ponto de vista agrônomo: ciclo curto, ampla adaptabilidade às diferentes condições edafoclimáticas, maior resistência ao frio e ao calor que a maioria das culturas; opção nos sistemas de rotação e sucessão de culturas (FERRARI; SOUZA, 2009; EVANGELISTA; LIMA, 2012).

Dentre as oleaginosas, a cultura do girassol é a que possui um dos maiores índices de crescimento mundial, ocupando a segunda colocação como fonte de óleo vegetal comestível e a quarta colocação como fonte de proteínas vegetais (SMIDERLE et al., 2005).

Segundo Heckler (2002), para cada tonelada de grãos de girassol são produzidos 400 kg de óleo, 250 kg de casca e 350 kg de torta com 45 a 50% de proteína bruta.

Comparando o girassol com a soja, de acordo com Bellaver e Snizek Júnior (2012), cerca de 18% do grão de soja corresponde ao óleo. Dessa maneira, para cada tonelada de grãos de soja são

produzidos 180 kg de soja. Nota-se a vantagem do girassol em relação à soja, quanto à produção de óleo.

O óleo de girassol, assim como todos os óleos vegetais, é constituído predominantemente por triglicerídeos. Estão presentes, em menores quantidades, fosfolipídeos, cerídeos, constituintes insaponificáveis, clorofilas, antioxidantes (tocoferóis) e produtos de alteração (FERRARI, 2001; IHA, 2010).

De acordo com a Tabela Brasileira de Composição de Alimentos - TACO (2012), os principais ácidos graxos encontrados em 100 g de óleo de girassol são: linoleico (62,22 g), oleico (25,15 g), palmítico (6,10 g), esteárico (3,42g), vacênico (1,14g) e behênico (0,67g).

O óleo de girassol, segundo Heckler (2002), apresenta propriedades organolépticas de excelente qualidade industrial e nutricional, com uma alta relação de ácidos graxos poliinsaturados/saturados, 65,3%/11,6%, em média.

Segundo Brock e colaboradores (2008), atualmente tem se verificado um aumento na demanda de mercado em relações aos óleos vegetais, onde destacam-se as aplicações em derivados alimentícios, transformação e obtenção de ésteres a partir de triacilglicerídeos (biodiesel) e a formulação de combustíveis minerais. Neste sentido, qualquer que seja a forma de obtenção ou aplicação dos óleos vegetais, o conhecimento das propriedades termofísicas é de fundamental importância no projeto de equipamentos e de processos, assim como, na especificação do produto. Dentre as propriedades termofísicas, encontram-se: a densidade, a viscosidade, a condutividade térmica e a difusividade térmica.

Cavalcante (2010) comenta que nas indústrias oleoquímicas, dados de densidade de lipídios e seus ácidos graxos são usados no projeto de reatores para a separação ou conversão dos mesmos em seus derivados. São utilizados também em unidades de destilação, no projeto de tanques de estocagem e no processo de transporte em tubulações.

A densidade é uma propriedade da matéria intimamente relacionada com a temperatura e a pressão. De acordo com Chung e colaboradores (1996), a densidade é uma das mais fundamentais propriedades de um material e está intrinsecamente vinculada a outras propriedades termofísicas. Uma dessas propriedades é o coeficiente de expansão térmica (β).

Com relação à densidade dos óleos vegetais, Iha (2010) comenta que a densidade é uma grandeza que está relacionada com as interações intermoleculares. Estas interações são decorrentes do tamanho da cadeia carbônica e do número e conformação das insaturações (ligações pi). A variação é pequena, mas geralmente a densidade aumenta com o aumento do número de átomos de carbono presentes na cadeia carbônica e decresce com o aumento do número de insaturações do tipo cis.

De acordo com Callister (2008), são consideradas propriedades térmicas dos materiais as

grandezas: capacidade calorífica, condutividade térmica e coeficiente de expansão térmica. Isto porque estas grandezas estão relacionadas com a resposta ou reação dos materiais em virtude da aplicação de calor.

O coeficiente de expansão térmica (β) indica a variação do volume (V) provocada pela variação da temperatura (T), enquanto que a pressão (P) permanece constante. A equação (1) representa matematicamente esta definição (CALLISTER, 2008).

$$\beta = \left(\frac{1}{V} \right) \cdot \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \quad (1)$$

O sistema termodinâmico mais simples consiste em uma massa constante de um fluido isotrópico, sem reações químicas e campos externos. Esse sistema pode ser descrito em termos da pressão, volume e temperatura, caracterizando-se como um sistema PVT . Entretanto, dados experimentais demonstram que essas três coordenadas não são totalmente independentes, uma vez que, ao se fixar duas delas quaisquer, a terceira é determinada. Dessa forma, deve existir uma Equação de Estado que relacione as três coordenadas para estados de equilíbrio. Essa Equação de Estado pode ser expressa na forma funcional dada pela equação (2) (VAN NESS et al., 2007).

$$f(P, V, T) = 0 \quad (2)$$

Uma Equação de Estado pode ser resolvida, explicitamente, com qualquer uma das três coordenadas em função das outras duas. Escrevendo o volume como uma função da pressão e da temperatura e derivando essa expressão, obtém-se a equação (3) (VAN NESS et al., 2007).

$$dV = \left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P \cdot dT + \left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T \cdot dP \quad (3)$$

As derivadas parciais indicadas na equação (3) apresentam significados físicos definidos (SONNTAG et al., 1998):

$$\left(\frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = \beta \cdot V \quad (4)$$

$$\left(\frac{\partial V}{\partial P} \right)_T = -\kappa \cdot V \quad (5)$$

Em que κ corresponde à compressibilidade isotérmica. Esta grandeza indica a variação do volume provocada pela variação da pressão, quando a temperatura permanece constante (VAN NESS et al., 2007).

A combinação das equações (3), (4) e (5) leva à equação (6).

$$\frac{dV}{V} = \beta \cdot dT - \kappa \cdot dP \quad (6)$$

Nos líquidos reais, o coeficiente de expansão térmica e a compressibilidade isotérmica são funções pouco sensíveis à temperatura e à pressão, assim introduz-se um pequeno erro se forem

tomadas como constantes. Dessa maneira, a equação (6) pode ser integrada, resultando na equação (7) (VAN NESS et al., 2007).

$$\ln\left(\frac{V}{V_0}\right) = \beta \cdot (T - T_0) - \kappa \cdot (P - P_0) \quad (7)$$

Em que P corresponde à pressão final e P_0 , à pressão inicial.

No caso de sistemas com a pressão constante, a equação (7) fica reduzida a (SONNTAG et al., 1998):

$$\ln\left(\frac{V}{V_0}\right) = \beta \cdot (T - T_0) \quad (8)$$

Em que V e V_0 correspondem, respectivamente, ao volume final na temperatura final (T) e ao volume inicial na temperatura inicial (T_0).

Como a densidade de um material corresponde à razão da massa pelo volume (LEWIS, 1993) e considerando que a massa permanece constante com a variação da temperatura, a equação (8) pode ser reescrita na forma dada pela equação (9).

$$\ln\left(\frac{d_0}{d}\right) = \beta \cdot (T - T_0) \quad (9)$$

Em que d_0 e d correspondem, respectivamente, à densidade na temperatura inicial e à densidade na temperatura final.

Assim, com base nos dados da densidade em função da temperatura, consegue-se determinar o coeficiente de expansão térmica (SANTOS; VIEIRA, 2010).

Segundo Canciam (2010b), a equação (9) corresponde a uma função afim, ou seja, o gráfico de $\ln\left(\frac{d_0}{d}\right)$ versus $(T - T_0)$ fornece uma reta, em que o coeficiente angular é igual, numericamente, ao coeficiente de expansão térmica (β).

O conhecimento do coeficiente de expansão térmica permite estudar o comportamento da dilatação térmica de um material, avaliar os impactos no sistema de medição volumétrico decorrentes da variação da temperatura, servir de dado no projeto de instalações e equipamentos, estimar outras propriedades físico-químicas (dentre elas, a entalpia de vaporização) e estudar a convecção livre que influencia na transferência de calor em tubulações (CANCIAM, 2005; INCROPERA; DEWITT, 2008; SANTOS; VIEIRA, 2010).

O objetivo deste trabalho é prever o coeficiente de expansão térmica do óleo de girassol (*Helianthus annuus* L.), a partir de dados experimentais da densidade em função da temperatura.

2 Material e Métodos

A Tabela 1 indica os dados experimentais da densidade do óleo de girassol em função da temperatura. Estes dados foram obtidos por Tschubik; Maslow (1973) e citado por Lewis (1993).

Tabela 1 – Efeito da temperatura sobre a densidade do óleo de girassol

Temperatura (°C)	Densidade (kg.m ⁻³)
-20	944
-10	937
0	930
10	923
20	916
40	903
60	899
80	876

Fonte: LEWIS, 1993

O coeficiente de expansão térmica (β) foi obtido através da equação (10), adaptada de Triola (1999).

$$\beta = \frac{\left\{ n \cdot \left\{ \sum \left[(T - T_0) \cdot \ln \left(\frac{d_0}{d} \right) \right] \right\} - \left[\sum (T - T_0) \right] \cdot \sum \ln \left(\frac{d_0}{d} \right) \right\}}{\left\{ n \cdot \left[\sum (T - T_0)^2 \right] - \left[\sum (T - T_0) \right]^2 \right\}} \quad (10)$$

Em que n representa o número de dados amostrais emparelhados, que na Tabela 1 corresponde a oito.

Nos cálculos, a temperatura inicial (T_0) e a densidade inicial (d_0) equivalem, respectivamente, a -20 °C e 944 kg.m⁻³.

O coeficiente de correlação (R^2) foi obtido através da equação (11), adaptada de Triola (1999).

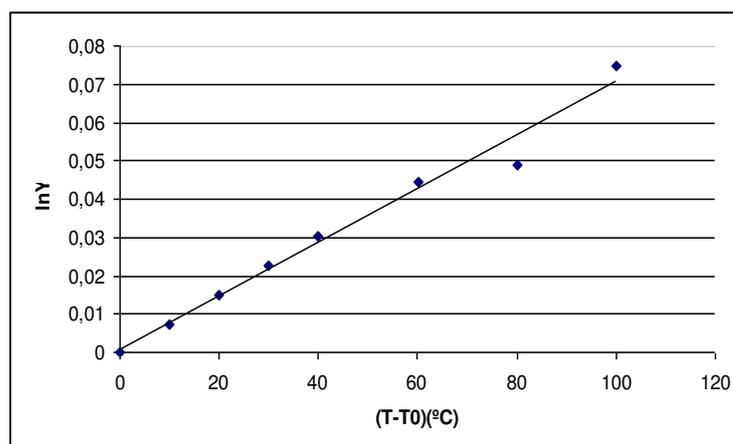
$$R^2 = \frac{\left\{ n \cdot \left[\sum (T - T_0) \cdot \ln \left(\frac{d_0}{d} \right) \right] - \left[\sum (T - T_0) \right] \cdot \left[\sum \ln \left(\frac{d_0}{d} \right) \right] \right\}^2}{\left\{ n \cdot \left[\sum (T - T_0)^2 \right] - \left[\sum (T - T_0) \right]^2 \right\} \cdot \left\{ n \cdot \left[\sum \left[\ln \left(\frac{d_0}{d} \right) \right]^2 \right] - \left[\sum \ln \left(\frac{d_0}{d} \right) \right]^2 \right\}} \quad (11)$$

As equações (10) e (11) fazem parte da análise de regressão linear.

3 Resultados e Discussão

A Figura 1 ilustra o gráfico de $\ln \left(\frac{d_0}{d} \right)$ versus $(T - T_0)$ para os dados indicados na Tabela 1.

Figura 1 – Gráfico de $\ln\left(\frac{d_0}{d}\right)$ versus $(T - T_0)$ para o óleo de girassol



A análise de regressão linear (equação (10) e equação (11)) forneceu como resultado para o coeficiente de expansão térmica (β) do óleo de girassol o valor de $6,9858 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, com um coeficiente de correlação igual a 0,9901.

Com o objetivo de comparar o valor predito, foi realizada uma pesquisa na literatura a fim de encontrar um valor experimental para o coeficiente de expansão térmica do óleo de girassol. Não foi encontrado nenhum valor experimental para este. Foram encontrados na literatura, valores do coeficiente de expansão térmica para os óleos vegetais de algodão, gergelim, mamona, milho, oliva e soja. Os valores encontrados para estes óleos vegetais encontram-se indicados na Tabela 2.

Tabela 2 – Coeficientes de expansão térmica de alguns óleos vegetais

Óleo vegetal	Coeficiente de expansão térmica ($^\circ\text{C}^{-1}$)	Fonte
Algodão	$7,4355 \times 10^{-4}$	CANCIAM, 2005
Gergelim	$7,46 \times 10^{-4}$	CANCIAM, 2010b
Mamona (cultivar BRS-149 Nordeste)	$5,2745 \times 10^{-4}$	CANCIAM, 2011
Mamona (cultivar BRS-188 Paraguaçu)	$5,2705 \times 10^{-4}$	CANCIAM, 2011
Milho	$7,4216 \times 10^{-4}$	CANCIAM, 2010a
Oliva	$7,20 \times 10^{-4}$	CABRAL e LAGO, 2002
Soja	$7,4676 \times 10^{-4}$	CANCIAM, 2008

Os valores do coeficiente de expansão térmica estão relacionados com a energia de ligação química entre as partículas. Santos e Vieira (2010) comentam que entre o coeficiente de expansão térmica e a energia de ligação química existe uma boa correlação, de maneira que materiais em que as ligações químicas são fortes apresentam baixos coeficientes de expansão térmica. Isto porque a dilatação térmica está associada à variação assimétrica da energia de ligação com a distância entre as partículas. Ou seja, durante o aquecimento as partículas do material aumentam a frequência e a amplitude de vibração e como as forças de repulsão são sempre maiores que as forças de atração, a distância média entre as partículas também aumenta (PADILHA, 1997).

Nos óleos vegetais, é comum a interação intermolecular do tipo dipolo instantâneo-dipolo induzido ou forças de Van der Waals, que são classificadas como interações fracas (USBERCO e SALVADOR, 1999; BROWN e HOLME, 2009).

De acordo com Teixeira e colaboradores (2001), as forças de Van der Waals são originadas a partir da rápida flutuação da densidade eletrônica de cada partícula, que induz a formação de um momento elétrico entre as partículas vizinhas, fazendo com que estas se atraiam.

Uma molécula apolar possui uma nuvem de elétrons em contínuo movimento. Se durante uma pequena fração de segundo essa nuvem eletrônica estiver um pouco mais deslocada para um dos extremos da molécula, pode-se assim dizer que foi criado um dipolo instantâneo, isto é, por um instante apareceram dois pólos na molécula. A extremidade positiva desse dipolo atrai os elétrons da molécula vizinha, na qual, por sua vez, também aparece um dipolo (dipolo induzido), ou seja, provocado pela primeira molécula. Esses dois dipolos (instantâneo e induzido) se atraem (de maneira fraca) por uma pequena fração de segundo. Assim ocorrem as forças de Van der Waals (BROWN e HOLME, 2009).

Segundo Morrison e Boyd (1996), as forças de Van der Waals apresentam raio de ação curto, atuando unicamente entre regiões de uma e outra molécula, que se encontram em contato mútuo, ou seja, atuam apenas entre as superfícies das moléculas. Dessa forma, quanto maior o tamanho da molécula, maior a área superficial de contato e maior a atuação das forças de Van der Waals.

O óleo de mamona é um óleo vegetal que se diferencia dos demais óleos vegetais pela quantidade de grupos hidroxila encontrados no ácido ricinoleico (componente de maior concentração no óleo de mamona). Os grupos hidroxila conferem ao triglicerídeo do ácido ricinoleico certa estabilidade em uma larga faixa de temperatura, decorrente da formação de ligações de hidrogênio entre as suas moléculas. As ligações de hidrogênio são interações intermoleculares mais fortes, quando comparadas às forças de Van der Waals. Em virtude disso, o coeficiente de expansão térmica do óleo de mamona é menor em relação aos demais óleos vegetais (CANCIAM, 2011).

Na Tabela 2, pode-se observar que o coeficiente de expansão térmica do óleo de girassol está próximo ao coeficiente de expansão térmica do azeite de oliva. A provável explicação para tal observação encontra-se na interação intermolecular, que está associada com a composição desses óleos vegetais.

A Tabela 3 relaciona a composição dos óleos vegetais de algodão, girassol, milho, oliva e soja em termos de ácidos graxos saturados e insaturados. Os valores são expressos em gramas (g) e determinados a partir de 100 g de cada tipo de óleo.

Tabela 3 – Composição dos óleos vegetais em termos da saturação de seus ácidos graxos

Óleo vegetal	Ácidos graxos saturados (g)	Ácidos graxos insaturados (g)
Algodão	25,50	72,60
Girassol	10,85	89,57
Milho	15,85	82,94
Oliva	14,77	83,71
Soja	16,40	82,76

Fonte: ADAPTADO DE TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS – USP, 2012

Comparando as Tabelas 2 e 3, pode-se observar que quanto maior é a quantidade de ácidos graxos insaturados, menor é o valor do coeficiente de expansão térmica.

Essa observação é seguida para o óleo de girassol que apresentou um coeficiente de expansão térmica igual a $6,9858 \times 10^{-4} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$, com uma quantidade de ácidos graxos insaturados equivalente a 89,57 g.

De acordo com Bueno (2007), ácidos graxos saturados apresentam cadeias carbônicas apenas com ligações simples (sigma) ou hibridação sp^3 entre os átomos de carbono. Constituem-se, sobretudo, de glicerídeos derivados do ácido láurico. Já os ácidos graxos insaturados apresentam cadeias carbônicas com ligações simples (sigma) ou hibridação sp^3 entre os átomos de carbono e também apresentam ligações duplas (pi) ou hibridação sp^2 entre os átomos de carbono. Essas ligações duplas podem aparecer somente uma vez por cadeia carbônica (ácidos graxos monoinsaturados) ou mais de uma vez por cadeia carbônica (ácidos graxos poliinsaturados).

A hibridação sp^3 confere à molécula uma geometria tetraédrica, cujo ângulo entre os orbitais híbridos é de $109^\circ28'$. Já a hibridação sp^2 confere à molécula uma geometria trigonal plana ou triangular, cujo ângulo entre os orbitais híbridos é de 120° (BARBOSA, 2004).

De acordo com Barbosa (2004), a geometria molecular interfere na força de Van der Waals. Para que a força de Van der Waals tenha o máximo de eficiência é preciso que as moléculas “encostem-se” através de uma boa parte de suas superfícies.

Cadeias carbônicas que apresentam ligações duplas (pi) agem como pontos de imobilidade, restringindo o movimento de rotação e o dobramento da cadeia em virtude de uma maior interação entre suas moléculas (BUENO, 2007).

Dessa forma, quanto maior a quantidade de ácidos graxos insaturados, maior é a interação entre suas moléculas e conseqüentemente, menor o coeficiente de expansão térmica. Motivo pelo qual justifica o comportamento para o coeficiente de expansão térmica do óleo de girassol em relação aos demais óleos vegetais.

Com relação ao coeficiente de correlação (R^2), Triola (1999) e Toledo e Ovalle (1985) comentam que o coeficiente de correlação mede o grau de relacionamento linear entre os valores emparelhados das variáveis dependente e independente em uma amostra, avaliando assim, a

“qualidade” do ajuste. Ou seja, quanto mais próximo for da unidade, melhor é a “qualidade” do ajuste da função aos pontos do diagrama de dispersão.

Callegari-Jaques (2003), citado por Lira (2004), comenta que para valores do coeficiente de correlação maiores ou iguais a 0,90 e menores que 1,0, a correlação linear é classificada como muito forte.

Dessa forma, considerando o coeficiente de correlação encontrado neste trabalho, pode-se classificar a correlação linear como muito forte.

O estudo da dilatação térmica permite determinar a variação do volume com a variação da temperatura (CANCIAM, 2010a). Assim, para um aumento de temperatura de 10 °C em 1000 litros de óleo de girassol, a ordem de aumento de volume é de aproximadamente 7,0 litros.

A Tabela 4 indica a ordem de aumento de volume para alguns óleos vegetais, considerando um volume de 1000 litros de cada óleo e um aumento de temperatura de 10 °C.

Tabela 4 – Ordem de aumento de volume de alguns óleos vegetais

Óleo vegetal	Ordem de aumento de volume (L)	Fonte
Algodão	7,4	CANCIAM, 2005
Gergelim	7,5	CANCIAM, 2010b
Mamona (cultivar BRS-149 Nordeste)	5,3	CANCIAM, 2011
Mamona (cultivar BRS-188 Paraguaçu)	5,3	CANCIAM, 2011
Milho	7,4	CANCIAM, 2010a
Oliva	7,2	CANCIAM, 2005
Soja	7,5	CANCIAM, 2008

Na Tabela 4, os óleos de gergelim e soja apresentam uma maior ordem de aumento de volume em decorrência de um maior coeficiente de expansão térmica.

Assim, a partir do conhecimento do coeficiente de expansão térmica de qualquer óleo vegetal, os impactos no sistema de medição volumétrico decorrentes da variação da temperatura podem ser avaliados.

4 Conclusão

Para a predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de girassol foram utilizados dados experimentais da densidade em função da temperatura associados a alguns conceitos da Termodinâmica.

Embora não tenha sido encontrado na literatura um valor experimental para este, com o objetivo de compará-lo com o predito, o valor obtido neste trabalho apresentou-se próximo a outros óleos vegetais.

A análise de regressão linear forneceu um coeficiente de correlação próximo da unidade, indicando “qualidade” do ajuste da função aos pontos do diagrama de dispersão e uma correlação linear classificada como muito forte.

Abstract

*The thermal expansion coefficient is a thermodynamic property that provides a measure of the density variation in response to temperature variation, keeping the pressure constant. The knowledge of this greatness is important in the study of thermal expansion and heat transfer in pipes. The objective of this study is to predict the thermal expansion coefficient of sunflower oil (*Helianthus annus L.*) by applying the linear regression analysis of experimental data on the density as a function of temperature. The value obtained for the thermal expansion coefficient of sunflower oil is $6.9858 \times 10^{-4} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, with a correlation coefficient greater than 0.99. Although not found an experimental value, the value obtained in this work is presented next to other vegetable oils.*

Key-words: dilatation, sunflower oil, prediction.

Referências

- BARBOSA, L. C. A. **Introdução à Química Orgânica**. São Paulo: Pearson Education do Brasil Ltda., 2004.
- BELLAVER, C.; SNIZEK JÚNIOR, P. N. **Processamento da soja e suas implicações na alimentação de suínos e aves**, disponível em: < http://www.cnpsa.embrapa.br/sgc/sgc_publicacoes/publicacao_x5k97v3r.pdf>. Acesso em 10 jan. 2012.
- BROCK, J.; NOGUEIRA, M. R.; ZAKRZEWSKI, C.; CORAZZA, F. C.; CORAZZA, M. L.; OLIVEIRA, J. V. Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais. **Revista Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 28, n 3, p. 564-570, 2008. <http://dx.doi.org/10.1590/S0101-20612008000300010>
- BROWN, L. S.; HOLME, T. A. **Química geral aplicada à Engenharia**. São Paulo: Cengage Learning, 2009.
- BUENO, L. S. R. **Estudo da influência da composição do óleo vegetal sobre algumas propriedades do biodiesel**. Curitiba, 2007. 103 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas – Pontifícia Universidade Católica do Paraná.
- CABRAL, F.; LAGO, A. **Física 2**. São Paulo: Harbra Ltda., 2002.
- CALLISTER, W. D. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC Ltda., 2008.
- CANCIAM, C. A. Predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de algodão. **Revista Publicatio UEPG–Ciências Exatas e da Terra, Ciências Agrárias e Engenharias**, v. 11, n. 3, p. 27-31, 2005.
- CANCIAM, C. A. Predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de soja (*Glicine max*). **Revista Tecnológica**, v. 17, p. 13-18, 2008.
- CANCIAM, C. A. Predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de milho. **Revista CIATEC –UPF**, v. 02, n. 02, p. 15-21, 2010a.
- CANCIAM, C. A. Predição do coeficiente de expansão térmica do óleo de gergelim (*Sesamum indicum L.*) através da aplicação de regressão linear. **Revista e-xacta**, v. 03, n. 1, 2010b.
- CANCIAM, C.A. Predição do coeficiente de expansão térmica e da energia de ativação do óleo de mamona através da aplicação da análise de regressão linear. **Revista e-xacta**, v. 04, n. 3, p. 7-18, 2011.
- CAVALCANTE, R. M. **Predição da densidade de biodiesel proveniente de diferentes matérias-primas**. Rio de Janeiro, 2010. 80 f. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CHUNG, S. K.; THIESSEN, D. B.; RHIM, D. B. A non contact measurement technique for the density and the thermal expansion coefficient of solid and liquid material. **Review of Scientific Instruments**, v. 67, n. 09, p. 3003-3381, 1996. <http://dx.doi.org/10.1063/1.1147584>

EVANGELISTA, A. R.; LIMA, J. A. **Utilização de silagem de girassol na alimentação animal**, disponível em: <<http://www.nupel.uem.br/girassol.pdf>> . Acesso em 08 jan. 2012.

FERRARI, R. A. Componentes minoritários de óleos vegetais. **Revista Óleos & Grãos**, v. 9, n. 58, p. 20-28, 2001.

FERRARI, R. A.; SOUZA, W. L. Avaliação da estabilidade oxidativa de biodiesel de óleo de girassol com antioxidantes. **Revista Química Nova**, v. 32, n. 01, p. 106-111, 2009. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422009000100020>

HECKLER, J. C. Sorgo e girassol no outono-inverno, em sistema plantio direto, no Mato Grosso do Sul, Brasil. **Revista Ciência Rural**, v. 32, n. 03, p. 517-520, 2002. <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-84782002000300024>

IHA, O. K. **Produção e análises de bio-óleo e biodiesel utilizando oleaginosas que possam contribuir para o aumento da matriz energética renovável brasileira**. Brasília, 2010. 65 f. Dissertação (Mestrado em Química) – Instituto de Química – Universidade de Brasília.

INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. Rio de Janeiro: LTC Ltda., 2008.

LEWIS, M. J. **Propiedades físicas de los alimentos y de los sistemas de procesado**. Zaragoza: Acribia, 1993.

LIRA, S. A. **Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicação**. Curitiba, 2004. 196 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Curso de Pós-Graduação em Métodos Numéricos em Engenharia – Universidade Federal do Paraná.

MORRISON, R.; BOYD, R. **Química Orgânica**. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 1996.

PADILHA, A. F. **Materiais de Engenharia: microestrutura e propriedades**. São Paulo: Hemus Ltda., 1997.

SANTOS, D. Q.; VIEIRA, D. F. Determinação de coeficiente de expansão térmica do biodiesel e seus impactos no sistema de medição volumétrico. **Revista Eclética Química**, v. 35, n. 04, p. 107-112, 2010. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-46702010000400014>

SMIDERLE, O. J.; MOURÃO JÚNIOR, M.; GIANLUPPI, D. Avaliação de cultivares de girassol em savana de Roraima. **Revista Acta Amazonica**, v. 35, n. 03, p. 331-336, 2005. <http://dx.doi.org/10.1590/S0044-59672005000300004>

SONNTAG, R. E.; BORGNACKE, C.; VAN WYLEN, G. J. **Fundamentos da Termodinâmica**. São Paulo: Edgard Blücher Ltda., 1998.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS – TACO. Disponível em:<http://www.unicamp.br/nepa/taco/contar/taco_4_edicao_ampliada_e_revisada.pdf?arquivo=taco_4_versao_ampliada_e_revisada.pdf>. Acesso em 10 jan. 2012.

TABELA BRASILEIRA DE COMPOSIÇÃO DE ALIMENTOS - USP. Disponível em:<<http://www.fcf.usp/tabela/lista.asp?base=x>>. Acesso em 08 jan. 2012.

TEIXEIRA, V. G.; COUTINHO, F. M. B.; GOMES, A. S. Principais métodos de caracterização de resinas à base de divinilbenzeno. **Revista Química Nova**. V. 24, n. 06, p. 808-818, 2001. <http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422001000600019>

TOLEDO, G. L.; OVALLE, I. I. **Estatística Básica**. São Paulo: Atlas Ltda., 1985.

TRIOLA, M. F. **Introdução à Estatística**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Ltda., 1999.

USBERCO, J.; SALVADOR, E. **Química**. São Paulo: Saraiva Ltda, 1999.

VAN NESS, H. C.; SMITH, J. M.; ABBOT, M. M. **Introdução à Termodinâmica da Engenharia Química**. LTC Ltda.; 2007.

Submetido em 10 jan. 2012, Aceito para publicação em 04 out. 2012.