

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE AS MASSAS ESPECÍFICAS DA ÁGUA E DA ÁGUA DE COCO

César Augusto CANCIAM¹

Fernanda Schubert Marques dos REIS²

Camila Schubert Marques dos REIS³

¹Mestre em Engenharia Química, professor no Departamento Acadêmico de Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Câmpus Ponta Grossa, canciam@utfpr.edu.br

²Acadêmica do curso de Agronomia na Faculdade Ingá, Uningá, Maringá, fersmr95@hotmail.com

³Acadêmica do curso de Medicina Veterinária no Centro Universitário Cesumar, UniCesumar, Maringá, camilasmr97@hotmail.com

Recebido em: 26/08/2016 - Aprovado em: 12/12/2017 - Disponibilizado em: 30/12/2017

RESUMO:

A massa específica é uma propriedade termofísica usada na caracterização dos materiais, dependente da pressão e da temperatura. O conhecimento dessa propriedade é importante em muitas aplicações nas áreas da Ciência e da Engenharia. O objetivo desse trabalho foi avaliar a influência da temperatura sobre as massas específicas da água e da água de coco, entre 278,15 e 353,15K e pressão de 1 atm. Utilizando uma relação do tipo Arrhenius, os valores encontrados para as energias de ativação foram de 309,256 J.mol⁻¹ (para a água) e de 276,017 J.mol⁻¹ (para a água de coco). Na literatura, não foram encontrados valores experimentais das energias de ativação para a massa específica desses materiais, o que dificultou a comparação.

PALAVRAS-CHAVE: Temperatura. Efeito. Massa específica. Água. Água de coco.

INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE DENSITIES OF WATER AND COCONUT WATER

ABSTRACT:

The density is a thermophysical property used for characterization of materials, dependent on the pressure and temperature. The knowledge of this property is important in many applications in the fields of Science and Engineering. The objective of this work was to evaluate the influence of temperature on the densities of water and coconut water, between 278.15 and 353.15K and pressure of 1 atm. Using a relationship of Arrhenius type, the values found for the activation energies were 309.256 J.mol⁻¹ (for water) and 276.017 J.mol⁻¹ (for coconut water). In the literature, there are no experimental values of the activation energies for the density of these materials, which complicated the comparison.

KEYWORDS: Temperature. Effect. Density. Water. Coconut water.

INTRODUÇÃO

O conhecimento das propriedades termofísicas é essencial para um projeto eficiente e econômico de operações de

processamento que envolvem a transferência de calor. Falhas em equipamentos ou no projeto de processos podem ser atribuídas à falta dessas informações quando da seleção inadequada de valores das propriedades termofísicas usadas na análise inicial dos

sistemas em estudo (INCROPERA e DEWITT, 1998).

São consideradas como propriedades termofísicas dos materiais: a massa específica, a capacidade calorífica, a difusividade térmica, a viscosidade e a condutividade térmica (MAGERROMOV *et al.*, 2008).

A massa específica é definida como sendo a razão entre a massa do material e o volume que é ocupado. Dados sobre essa propriedade são necessários para projetar e avaliar equipamentos como evaporadores, bombas, filtros e misturadores, e servem ainda como índice de qualidade do produto final (ALVARADO e ROMERO, 1989).

No caso de substâncias na fase líquida, a massa específica reflete o grau de empacotamento de suas espécies químicas, que é decorrência da intensidade das interações entre elas. Como o volume e a massa específica são grandezas inversamente proporcionais, quanto mais fortes são as interações, mais empacotadas estão as espécies químicas. O volume será menor e, por consequência, a massa específica será maior. Dessa forma, interações mais intensas tendem a se relacionar com massas específicas maiores (BROWN e HOLME, 2009).

Equações do tipo Arrhenius permitem verificar o efeito da temperatura sobre um determinado parâmetro físico-químico, além de permitir sua modelagem matemática (TSEN e KING, 2002; GIAP, 2010).

A Equação (1) corresponde a uma equação do tipo Arrhenius e relaciona a massa específica (ρ) com a temperatura absoluta (T) (TSEN e KING, 2002).

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

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

Para se obter os valores de ρ_{∞} e E_a pode ser 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 de $\ln \rho$ versus $\frac{1}{T}$ fornece uma reta, em que o coeficiente angular corresponde à razão da energia de ativação para a massa específica com a constante universal dos gases ideais e o coeficiente linear, ao logaritmo neperiano da massa específica quando a temperatura tende ao infinito (CANCIAM, 2014).

Com relação à energia de ativação para a massa específica (E_a), essa grandeza indica a sensibilidade da massa específica devido à variação da temperatura. Ou seja,

valores elevados da energia de ativação para a massa específica indicam uma mudança mais rápida na massa específica com a variação de temperatura (TSEN e KING, 2002).

À vista disso, o objetivo desse trabalho foi avaliar a influência da temperatura sobre as massas específicas da água e da água de coco, a partir da análise de regressão linear de dados experimentais da massa específica de cada um dos materiais em função da temperatura.

MATERIAIS E MÉTODOS

A Tabela 1 relaciona os dados experimentais das massas específicas em função da temperatura para a água e a água de coco. Os dados experimentais da água foram encontrados no trabalho de Perry e Green (2007), enquanto que os dados experimentais da água de coco foram de Prades *et al.* (2011).

Tabela 1. Efeito da temperatura sobre as massas específicas da água e da água de coco

Temperatura (°C)	Massa específica (kg.m ⁻³) da água	Massa específica (kg.m ⁻³) da água de coco
5	999,964	1021,72
20	998,204	1016,75
35	994,032	1011,33
50	988,037	1007,12
65	980,557	1000,03
80	971,799	996,72

Fonte: Perry e Green (2007) e Prades *et al.* (2011).

As Equações (3), (4) e (5) fazem parte da análise de regressão linear dos dados emparelhados de $\ln \rho$ e $\frac{1}{T}$.

As Equações (3) e (4) determinam, respectivamente, os valores da razão da energia de ativação para a massa específica com a constante dos gases ideais e o logaritmo neperiano da massa específica quando a temperatura tende ao infinito. Enquanto que a Equação (5), o valor do coeficiente de determinação (r^2). Essas equações foram adaptadas do trabalho de Triola (2008).

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

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

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

A avaliação da influência da temperatura sobre as massas específicas da água e da água de coco consistiu na aplicação

dos dados indicados na Tabela 1 nas Equações (3), (4) e (5). Com relação a temperatura, esta foi convertida para a escala Kelvin.

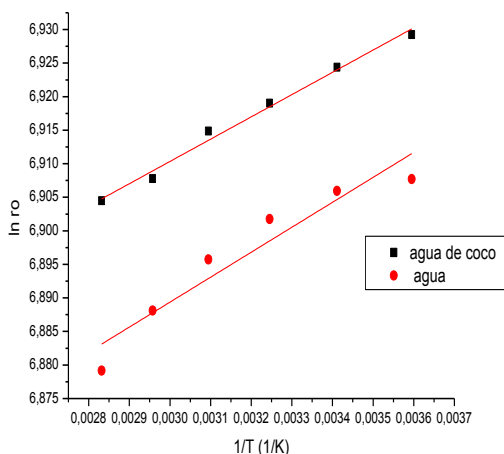
Nas Equações (3), (4) e (5), n corresponde ao número de dados emparelhados de $\ln \rho$ em função de $\frac{1}{T}$, que de acordo com a Tabela 1, equivale a 6.

No cálculo para a determinação do valor da energia de ativação para a massa específica, considerou-se que o valor da constante universal dos gases ideais equivale a $8,314 \text{ J.mol}^{-1}.\text{K}^{-1}$ (NETZ e ORTEGA, 2008).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Figura 1 ilustra o gráfico do logaritmo neperiano da massa específica em função do inverso da temperatura absoluta para os materiais estudados.

Figura 1: Gráfico do logaritmo neperiano da massa específica em função do inverso da temperatura absoluta para a água e a água de coco



Fonte: Autores.

A Tabela 2 relaciona os resultados obtidos através das Equações (3), (4) e (5).

Tabela 2. Resultados da análise de regressão linear

Parâmetros	Água	Água de coco
$\left(\frac{E_a}{R}\right)$ (K)	37,197	33,199
$\ln \rho_\infty$	6,778	6,811
r^2	0,918	0,990

Fonte: Autores.

Triola (2008) sugere comparar o valor encontrado do coeficiente de determinação com o valor crítico do coeficiente de correlação de Pearson. Se o módulo do valor encontrado for maior que o valor crítico, pode-se concluir que existe uma correlação linear significativa. Em caso contrário, não há evidência suficiente para apoiar a existência de uma correlação linear significativa.

Considerando uma amostra composta por 6 pares de dados emparelhados e um grau de confiança de 99%, o valor crítico do coeficiente de correlação de Pearson equivale a 0,917 (TRIOLA, 2008).

Como os valores do coeficiente de determinação foram maiores que 0,917, pode-se concluir que existe uma correlação linear significativa.

Com relação ao coeficiente de determinação, Pinheiro *et al.* (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 determinação for da unidade, melhor o ajuste da reta em relação aos pontos da dispersão.

Lira (2004) argumenta que a correlação linear é classificada como muito forte quando os valores do módulo do coeficiente de determinação são maiores ou iguais a 0,90 e menores que 1,0. Dessa forma, para os materiais estudados, a correlação linear é classificada como muito forte.

A Tabela 3 relaciona os valores da energia de ativação para a massa específica e da massa específica quando a temperatura tende ao infinito.

Tabela 3. Valores da energia de ativação para a massa específica e da massa específica quando a temperatura tende ao infinito

Parâmetros	Água	Água de coco
E_a (J.mol ⁻¹)	309,256	276,017
ρ_∞ (kg.m ⁻³)	878,310	907,778

Fonte: Autores.

Skoog *et al.* (2006) sugerem que a partir de um modelo de regressão linear, pode-se empregar uma análise de variância (ANOVA) para verificar quanto a reta de regressão “explica” os valores observados que foram utilizados para o ajuste.

A Tabela 4 fornece a ANOVA da análise de regressão linear realizada para a água. Nessa tabela, GL corresponde aos graus de liberdade; SQM, à soma dos quadrados médios; QM, ao quadrado médio e Fcalc, ao valor de F calculado.

Tabela 4. ANOVA para a análise de regressão linear da água

Fonte de variação	GL	SQM	QM	Fcalc
Regressão	1	5,643x10 ⁻⁴	5,643x10 ⁻⁴	44,603
Resíduos	4	5,061x10 ⁻⁵	1,265x10 ⁻⁵	
Total	5	6,149x10 ⁻⁴		

Fonte: Autores.

A Tabela 5 fornece a ANOVA da análise de regressão linear realizada para a água de coco.

Tabela 5. ANOVA para a análise de regressão linear da água de coco

Fonte de variação	GL	SQM	QM	Fcalc
Regressão	1	4,495x10 ⁻⁴	4,495x10 ⁻⁴	406,918
Resíduos	4	4,419x10 ⁻⁶	1,105x10 ⁻⁶	
Total	5	4,539x10 ⁻⁴		

Fonte: Autores.

A função do teste F no modelo de regressão linear simples é a de testar a significância do efeito de X sobre Y, neste caso, testar a significância de $\frac{1}{T}$ sobre $\ln \rho$ (TRIOLA, 2008).

Para um nível de significância de 5%, o valor de Ftab (F tabelado) equivale a 7,71. Como nas Tabelas 4 e 5, os valores de F calculado são maiores que o valor de F tabelado, os resultados da ANOVA sugerem que a regressão linear, como um todo, faz sentido, ou seja, a variável explicativa $\frac{1}{T}$ influencia globalmente a variável explicada $\ln \rho$.

A Tabela 6 fornece os valores de p para as análises de regressão linear dos materiais estudados.

Tabela 6. Valores de p para os materiais estudados

Material	Valor de p
Água	2,610x10 ⁻³
Água de coco	3,565x10 ⁻⁵

Fonte: Autores.

Ara *et al.* (2003) comentam que o valor de p varia entre 0 e 1. Admite-se como um valor crítico de p , valores menores ou iguais a 0,05. Dessa forma, assume-se como margem de segurança 5% de chance de erro, ou, 95% de chance de estar certo. Na Tabela 6, pode-se observar que o valor de p é menor que 0,05. Para a água, a chance de estar certo é de 99,739%. Enquanto que para a água de coco, esse valor é de 99,996435%.

Buscando na literatura trabalhos associados à energia de ativação para a massa específica da água e da água de coco, constatou-se a ausência desse estudo, o que dificultou a análise dos resultados obtidos.

Com relação à interação entre as moléculas, as moléculas de água são polares e a interação entre elas é do tipo ligação de hidrogênio (BROWN e HOLME, 2009).

A água de coco apresenta 93% de água, 5% de açúcares (glicose, frutose e sacarose) e o restante em minerais, vitaminas e proteínas. Dos minerais encontrados destacam-se: ferro, cálcio, potássio, magnésio, sódio e fósforo. E em termos de vitaminas, destaca-se a vitamina C (CARVALHO *et al.*, 2006).

Peruzzo e Canto (2010) comentam que moléculas de glicose, frutose e sacarose apresentam em sua estrutura grupamentos hidroxila. Na água, são estabelecidas ligações de hidrogênio entre os grupamentos hidroxila das moléculas de glicose, frutose e sacarose e as moléculas de água, o que garante a

dissolução desses açúcares na água. Entretanto, também são formadas forças intermoleculares do tipo dipolo-dipolo entre as moléculas desses açúcares e a água.

Os minerais presentes na água de coco estão na forma de íons. Dessa forma, existe a interação íon-dipolo, entre esses minerais e a água. Que, de acordo, com Brown e Holme (2009) é a mais forte de todas as forças intermoleculares.

Quanto mais forte é a interação espécies químicas, maior é o grau de empacotamento entre elas, menor é o volume ocupado e portanto, maior a massa específica.

Na água existe a interação do tipo ligação de hidrogênio.

Já na água de coco, existem as interações dipolo-dipolo, íon-dipolo e ligações de hidrogênio.

Ou seja, existe mais interações na água de coco em comparação a água, devido a composição da água de coco. Talvez, por esse motivo, é observado na Tabela 1, que em quaisquer uma das temperaturas indicadas, a massa específica da água de coco é maior em comparação à massa específica da água.

CONCLUSÃO

A energia de ativação para a massa específica foi de $309,256 \text{ J.mol}^{-1}$ para a água e $276,017 \text{ J.mol}^{-1}$ para a água de coco.

Na literatura consultada, não foram

encontrados valores experimentais da energia de ativação para a massa específica dos materiais estudados, o que dificultou a análise dos resultados obtidos.

Com relação aos valores encontrados para o coeficiente de determinação pode-se concluir que existe uma correlação linear significativa e que a correlação linear foi classificada como muito forte para os dois materiais estudados.

Os resultados da ANOVA sugerem que a regressão linear, como um todo, faz sentido, ou seja, a variável $\frac{1}{T}$ influencia globalmente a variável explicada $\ln \rho$.

REFERÊNCIAS

- ALVARADO, J. D.; ROMERO, C. H. Physical properties of fruits-I-II: density and viscosity of juices as functions of soluble solids and content and temperature. *Latin American Applied Research*, v.19, p.15-21, 1989.
- ARA, A.; MUSETTI, A. B.; SCHNEIDERMAN, B. Introdução à Estatística. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2003. 152p.
- BROWN, L. S.; HOLME, T. A. Química geral aplicada à Engenharia. Cengage Learning, São Paulo, 2009. 653p.
- CANCIAM, C.A. Influência da temperatura na massa específica de biodiesel metílicos de diferentes origens, *Revista de Engenharia e Tecnologia*, v. 6, n. 2, p. 151-161, 2014.
- CARVALHO, J. M.; MAIA, G. A.; SOUSA, P. H. M.; MAIA JÚNIOR, G. A. Água-de-coco: propriedades nutricionais, funcionais e processamento. *Semina: Ciências Agrárias*, v. 27, n. 3, p. 437-452, 2006.
- FREUND, J. E. Estatística aplicada – Economia, Administração e Contabilidade. Artmed, Porto Alegre, 2004. 545p.
- GIAP, S.G.E. The hidden property of Arrhenius-type relationship: viscosity as a function of temperature. *Journal of Physical Science*, v.21, n.1, p.29-39, 2010.
- INCROPERA, F.P.; DEWITT, D.P. Fundamentos de transferência de calor e massa. Livros Técnicos e Científicos, Rio de Janeiro, 1998, 494p.
- LIRA, S. A. Análise de correlação: abordagem teórica e de construção dos coeficientes com aplicação. Dissertação de Mestrado do Programa de Mestrado em Ciências da Universidade Federal do Paraná, 2004. 196p.
- MAGERRAMOV, M. A.; ABDULAGATOV, A. I.; AZIZOV, N. D.; ABDULAGATOV, I. M. Pressure- and temperature-dependent density change of juices during concentration. *Food Bioprocess Technology*, n.1, p.254-269, 2008.
- NETZ, P. A.; ORTEGA, G. G. Fundamentos de físico-química: uma abordagem conceitual para as ciências farmacêuticas. Artmed, Porto Alegre, 2008. 299p.
- PERRY, R. H.; GREEN, D. W. Perry's Chemical Engineers' Handbook. McGraw-Hill Professional, New York, 2007. 2400p.
- PERUZZO, F. M.; CANTO, E. L. Química na abordagem do cotidiano – volume 1: Química Geral e Inorgânica. Editora Moderna, São Paulo, 2010. 648p.
- PINHEIROS, J. I. D.; CUNHA, S. B.; CARVAJAL, S. R.; GOMES, G. C.

Estatística básica: a arte de trabalhar com dados. Elsevier, Rio de Janeiro, 2009. 295p.

PRADES, A.; DORNIERI, M.; DIOP, N.; PAIN, J. P. Coconut water preservation and processing: a review. *Fruits*, v. 67, n. 3, p. 157-171, 2011.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. *Fundamentos de Química Analítica*. Cengage Learning, São Paulo, 2006. 1124 p.

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, p. 305-308, 2002.