

RELATO DE EXPERIÊNCIA: DESENVOLVIMENTO DE ATIVIDADES EXPERIMENTAIS PARA AS DISCIPLINAS DE TERMODINÂMICA DOS SÓLIDOS E FENÔMENOS DE TRANSFERÊNCIA DO CURSO DE ENGENHARIA DE MATERIAIS DA UFCA

ALVES, Breendon¹

Centro de Ciências e Tecnologia,
Universidade Federal do Cariri
breendon.victor@aluno.ufca.edu.br

VIEIRA, Caroline²

Centro de Ciências e Tecnologia,
Universidade Federal do Cariri
caroline.vieira@ufca.edu.br

Resumo

A coexistência entre as atividades teóricas e práticas permite uma melhor aprendizagem do aluno, principalmente quando vinculado ao uso de ferramentas computacionais. Tendo em vista o período especial da pandemia, a maioria das atividades foram realizadas longe do ambiente da universidade, através de pesquisas na web. A monitoria contribuiu para a elaboração de roteiros referentes a cada prática, desenvolvendo experimentos, enfatizando a importância dos fenômenos e estimulando os alunos a refletirem sobre o processo. A pesquisa a respeito de um determinado tema foi organizada na forma de roteiro experimental, possuindo objetivo, fundamentação teórica, materiais utilizados e procedimento experimental. Foram criados doze roteiros experimentais, cada um abordando um tema específico sobre as disciplinas objeto da monitoria. Dois desses guias foram escolhidos para testes no Laboratório de Química da UFCA: um referente a disciplina de Termodinâmica dos Sólidos e outro, a Fenômenos de Transferência. Para a primeira, tem-se o tema: Equilíbrio de Fases Sólido-Líquido e, para a segunda, Transferência de Calor. Ademais, o uso de *softwares* foi de grande ajuda para a integralização do ensino remoto e realização de atividades online propostas pela disciplina de Termodinâmica dos Sólidos. Foram utilizados programas para cálculos de equilíbrio de fase global em sistemas binários, utilizando princípios termodinâmicos para criação de diagramas de fases binários *VLE (Vapor-Liquid Equilibrium)* e *LLE (Liquid-Liquid Equilibrium)*, denominados *ThermoSolver* e *GPEC*, respectivamente. Para integrar esses programas nesse período especial, foi necessário a criação de tutoriais objetivos com o intuito de fornecer ao aluno um suporte eficaz.

Palavras-chave: Diagrama de fase sólido-líquido, coeficiente convectivo de calor, tutoriais GPEC e ThermoSolver.

1 INTRODUÇÃO

A web é uma ferramenta de grande auxílio em períodos de distanciamento social; principalmente na pesquisa e organização de roteiros experimentais. Especialmente nas disciplinas de Termodinâmica dos Sólidos e Fenômenos de Transferência, foram selecionados alguns temas, tais como: experimento de Reynolds, equilíbrio de fases sólido-líquido, diagramas eutéticos simples, tensão superficial, radiação do corpo negro, radiação

¹ Apoiado financeiramente com uma bolsa da UFCA no Programa de Aprendizagem Cooperativa em Células Estudantis/PROGRAD.

térmica, isoterma de adsorção através do modelo de Freundlich e Langmuir, equilíbrio de adsorção, cinética de adsorção, transferência de massa por convecção e transferência de calor por convecção. Outro instrumento importante foram os *softwares ThermoSolver* e *GPEC*, disponíveis gratuitamente na internet. O *ThermoSolver* é um programa educacional de termodinâmica, projetado com o intuito de ser fácil e útil; pois permite realizar cálculos termodinâmicos não triviais relacionados ao equilíbrio líquido-vapor e acompanha o livro “Termodinâmica para Engenharia Química” do Milo. D. Koretsky. O *GPEC* foi desenvolvido por Cismondi e Michelsen (2006), permitindo a criação de diagramas de fases líquido-líquido e o cálculo de propriedades das misturas. Cada tutorial foi desenvolvido através da leitura do guia do usuário e da investigação de cada função do programa através de testes e pesquisas na web. A utilização desses recursos permitiu uma maior integração das atividades acadêmicas no período especial da Universidade. Em virtude das limitações de circulação no Laboratório de Química da UFCA, apenas dois esquemas experimentais foram selecionados: um para a disciplina de Termodinâmica dos Sólidos (equilíbrio de fases sólido-líquido) e outro para a disciplina de Fenômenos de Transferência (transferência de calor por convecção) com o intuito de serem testados. No estudo do tema “equilíbrio de fases sólido-líquido”, objetivou-se a determinação de um diagrama de fases sólido-líquido na mistura água-açúcar, através da técnica de Ebulioscopia.

A uma temperatura suficientemente elevada, a tendência para as moléculas escaparem do corpo líquido se torna tão grande que ocorre o fenômeno da ebulição; o qual consiste na formação de bolhas de vapor (gás) no corpo do líquido, quando a pressão externa da atmosfera se torna igual à pressão de vapor do líquido (SILBEY et al., 2004, apud ALBINO, 2013, p.11).

Para aumentar a temperatura de ebulição, que é provocada pela presença de um soluto não-volátil, depende-se exclusivamente do número de moléculas do soluto não-volátil dispersa numa certa quantidade de solvente (BARROW, 1992, apud ALBINO, 2013, p.10).

Quanto mais saturada for a solução (maior número de moléculas do soluto em uma certa quantidade de solvente), mais elevada será a temperatura inicial de ebulição do solvente. O valor desse aumento é denominado efeito Ebulioscópico (RODRIGUES et al., 2009, apud ALBINO, 2013, p.11).

Dois líquidos miscíveis ou a solubilidade de um sólido em um líquido, podem variar com a temperatura, elevando ou diminuindo, dependendo das propriedades de cada reagente. Em sistemas em que a miscibilidade aumenta com o aumento da temperatura é chamado de temperatura crítica superior (TCS). Em sistemas em que a solubilidade decresce com o aumento de temperatura, a menor temperatura que permite a total miscibilidade e solubilidade é a temperatura crítica inferior (TCI). (GUIMARÃES, et al., 2013, apud FERREIRA, et al, 2017).

No estudo do tema “transferência de calor por convecção”, objetivou-se determinar o coeficiente de transferência de calor por convecção do álcool dentro do bulbo de um termômetro.

A transmissão de energia pela ação combinada da condução de calor, energia armazenada e movimento de mistura chama-se convecção. Neste processo a energia em forma de calor é transferida pelo movimento da massa entre áreas do fluido (VILAR, 2012 apud HENRIQUE, 2018).

A convecção é usada para descrever o fluxo de energia entre uma superfície e um fluido em movimento em contato com esta superfície. A

convecção engloba o transporte de energia pela movimentação global do fluido, chamada de advecção, e pela aleatoriedade do movimento das moléculas do fluido, difusão (INCROPERA e DEWITT, 2008 apud HENRIQUE, 2018).

Inúmeras variáveis tem influência no cálculo do h , uma vez que não existem tabelas para se obter o coeficiente convectivo. Geralmente, na maior parte das aplicações da engenharia, o h é obtido experimentalmente (MIRANDA JR., 2010; MIRANDA JR.; GONÇALVES, 2012).

2 DESENVOLVIMENTO

Nos processos ministrados na parte experimental foram propostas análises físico-químicas da chamada Ebulioscopia, que se baseia no teste das propriedades de compostos em função da temperatura; em outras palavras, elevar a temperatura do sistema. Os materiais utilizados na primeira prática foram: 8 tubos de ensaios, 1 béquer de 1L, termômetro, cronômetro, balança, água, açúcar e agitador magnético. Inicialmente, realizou-se a pesagem das amostras contidas em cada tubo de ensaio. Em seguida, preparou-se o banho-maria, aquecendo-se um béquer, contendo uma pequena quantidade de água, em um agitador magnético de aquecimento. Antes de colocar os tubos de ensaio no interior do béquer, mediu-se a temperatura da mistura. Quando em contato com a água quente e submetido à agitação a mistura se torna um xarope de cor amarela; quando então o tubo de ensaio foi retirado do interior do béquer e mediu-se a temperatura máxima (temperatura de solubilidade) com o auxílio de um termômetro. Calcula-se então a temperatura média em cada um dos tubos de ensaio, obtendo-se oito valores. Por meio dessas temperaturas foi possível obter o diagrama de fases sólido-líquido para a mistura água-açúcar, relacionando a temperatura média e os valores de fração molar obtidos, os quais foram organizados em tabelas utilizando o Excel. Também foi utilizado a regra de fase de Gibbs para determinar os graus de liberdade. No experimento para determinar o coeficiente global de calor por convecção foi-utilizado uma estufa, um termômetro e um cronômetro. O termômetro foi colocado em um lugar próprio para medir a temperatura e, a cada 20s, foi anotado a temperatura até a estabilização do mesmo em aproximadamente 87°C. O bulbo do termômetro tem as seguintes dimensões: 13 mm de comprimento e 5 mm de diâmetro. Com os valores de temperatura, área, volume e tempo, é possível determinar (h) por meio das relações abaixo:

$$\theta = \frac{T_S - T_\infty}{T_S - T_\infty} \quad (1) \quad \ln(\theta) = \frac{-h \cdot A}{\rho \cdot C_p \cdot V} \cdot t \quad (2) \quad h = \sigma \cdot \rho \cdot C_p \cdot \frac{V}{A} \quad (3)$$

Onde: h é o coeficiente global convectivo de calor; ρ , densidade do líquido, C_p , calor específico do fluido; V , volume do bulbo; A , área do bulbo e t , tempo. As equações (1) e (2) representam um parâmetro adimensional para os valores de temperatura. Como a equação (2) prevê uma linearização do parâmetro adimensional θ com o tempo (t), a equação (3) define um ajuste linear para obter o valor do coeficiente convectivo de calor.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Abaixo na figura 1 estão representados partes dos tutoriais, a esquerda relacionada ao *ThermoSolver* e a direita ao *GPEC*, relacionadas à função de criar diagramas de fases.

Figura 1 – Screenshots das partes dos tutoriais com função de criar diagramas binários.

Diagramas de Fase Binário

Os diagramas de fase binários podem ser produzidos selecionando Cálculos de ponto de bolha e ponto de orvalho no menu principal e clicando no botão Diagramas de fase binários. A janela de diagramas de fase binários é ilustrada na Figura 8. O solucionador de diagrama de fase usa as mesmas equações e fatores de correção que o solucionador de Ponto de Bolha e Ponto de Orvalho, porém o sistema deve conter exatamente duas espécies. Se o botão Graph for clicado, pode-se plotar o gráfico em diferentes variáveis. Em cada caso, a temperatura ou pressão constante é especificada. Novamente, os gráficos criados podem ser impressos.

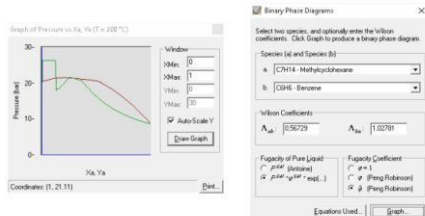
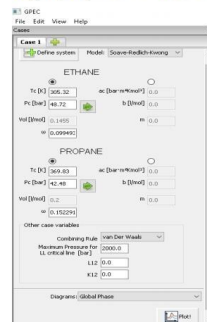


Figura 8: Diagrama de fase binário.

Na janela define system, escolha as espécies que formaram o diagrama de fases. Selecione a espécie que deseja e click na seta para adicionar o elemento ao sistema. Após escolher os dois elementos click em OK. Após esse procedimento os valores das propriedades dos elementos irão aparecer, como mostra a figura 6.

Figura 6: Propriedades dos elementos



Fonte: O(s) autor(es).

O diagrama obtido está representado no gráfico 1 e é possível observar as fases presentes e os graus de liberdade obtidos. A proporção dos elementos usados está mostrada na tabela 1.

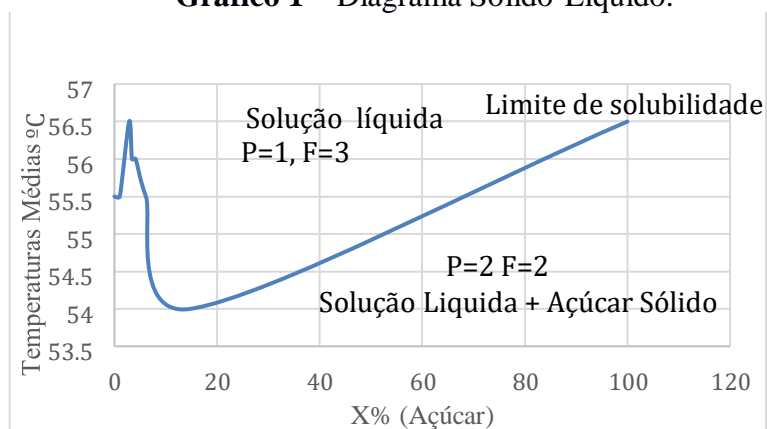
Tabela 1 – Valores de massa dos reagentes

Tubo	Áçúcar (g)	Água (g)
1	5,00	Zero
2	3,84	1,16
3	2,77	2,23
4	2,27	2,73
5	2,02	3,00
6	1,8	3,22
7	0,9	4,14
8	Zero	5,00

Fonte: O(s) autor(es).

Nota: MM da água: 18,01528g/mol; MM do Açúcar comum: 342 g/mol.

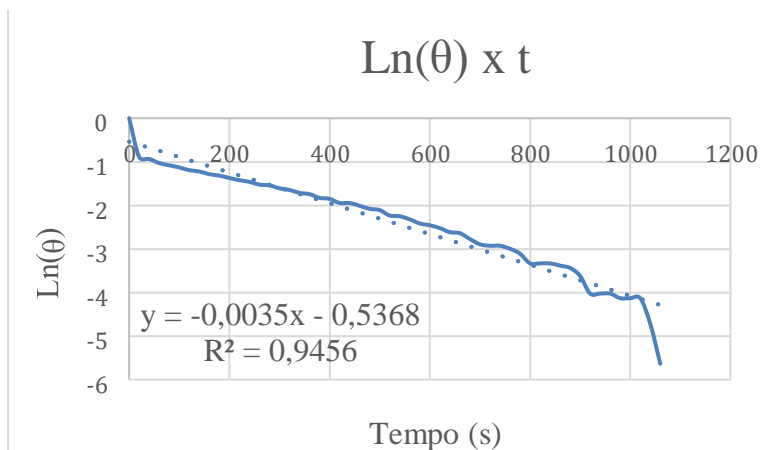
Gráfico 1 – Diagrama Sólido-Líquido.



Fonte: O(s) autor(es).

É possível observar as vantagens dessa prática experimental: aplicabilidade desse método para determinar o diagrama de fases, facilidade de acesso aos materiais envolvidos e também a integração da teoria com a prática experimental.

Gráfico 2 – Gráfico $\text{Ln}\theta$ x t.



Fonte: O(s) autor(es).

Através da relação linear da equação (2), obtém-se o gráfico 2 e, com isso, o coeficiente convectivo (h). A vantagem desse método é a acessibilidade aos materiais utilizados e as informações de densidade e calor específico do material envolvido. Aplicando-se os valores na equação (3) obtemos um valor de aproximadamente $h = 7,2 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$. Esse valor representa o fluxo de calor na área do bulbo do termômetro em graus Celsius.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Portanto, através dos métodos utilizados foi possível realizar os objetivos desejados. Entretanto, como não foram encontrados dados tabelados na literatura sobre os resultados acima mencionados, não foi possível comparar os mesmos. Porém, para experimentos futuros, através do método da Ebulioscopia, será possível testar com tipos diferentes de amostras, tais como: naftaleno e difenilamina; para obter o diagrama sólido-líquido desses elementos e possibilitar a integração do ensino teórico ao prático. Em relação à determinação do coeficiente convectivo global de calor, os métodos demonstraram que o modelo utilizado se ajusta adequadamente aos dados experimentais através do valor do R^2 , e que o valor obtido representa o fluxo de calor por convecção do álcool na área do bulbo do termômetro. É possível mais a frente alcançar os valores do coeficiente convectivo utilizando materiais diferentes com geometrias diferentes.

REFERÊNCIAS

ALBINO, Vicente B. **PROPRIEDADES COLIGATIVAS DE SOLUÇÕES DE ÁGUAS MINERAIS, SAL E AÇÚCARES NACIONAIS**. 2013, p.10-11. Trabalho de licenciatura (Licenciatura em Química) -Faculdade de ciências departamento de química, Universidade Eduardo Mondlane, Maputo, 2013.

BARROW, G.M. (1992). **Físico-química**. Rio de Janeiro, Brasil.

FERREIRA, Íngrede, PATEZ, Naiara, MORAIS, Regina, CÁMBUI, Renner, APARECIDA,

Thais M. **Determinação do equilíbrio líquido-líquido em um sistema binário**. 2017. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/lista/86123372-relatorio/arquivo/47333418relatorio-4-determinacao-do-equilibrio-liquido-liquido-em-um-sistema-binariofin>>. Acesso em: 22 dezembro 2020.

HENRIQUE, Pedro S.M. **Determinação do coeficiente convectivo**. 2018. Disponível em: <<https://www.passeidireto.com/lista/86123372-relatorio/arquivo/56542612-determinacaodo-coeficiente-convectivo>>. Acesso em: 20 dezembro 2020.

INCROPERA, F.P., DE WITT. **Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa**. 6. ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e científicos, 2008.

M. Cismondi, D.N. Nunez, M.S. Zabaloy, E.A. Brignole, M.L. Michelsen, ~ J.M. Mollerup, **GPEC: a program for global phase equilibrium calculations in binary systems**, in: Proceedings of the CD-ROM EQUIFASE 2006, Morelia, Michoacan, Mexico, October 21–25, 2006.

MIRANDA JR., E.J.P.; GONÇALVES, R.S. **Determinação experimental do coeficiente de transferência de calor por convecção**. Em: Anais do VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica, 2012.

RODRIGUES, D., Salvador, K. D., Borges, L. P., Carminati, S.P., Conti, T. (2009). **Propriedades coligativas de soluções líquidas: crioscopia e ebulioscopia**. ARACRUZ SILBEY, R. J., Alberty, R. A., Bawendi, M. G. (2004). **Physical Chemistry**. (4th ed.), Wiley, New York.

VILAR, Samuel Corvello. **ESTUDO QUANTITATIVO DA CONVECÇÃO EMPREGANDO UM MODELO ACESSÍVEL AOS ALUNOS DE FÍSICA GERAL**. Revista da Graduação, v. 5, n.1. 2012.