DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE DE FLUIDOS UTILIZANDO BURETA E MODELAGEM MATEMÁTICA

.

Renata Kotovei (PROVIC/ UEPG), Marco Aurélio Praxedes (Co-orientador), Marina Tolentino Marinho (Orientadora), e-mail: mtolentinomarinho@gmail.com.

Ciência e Tecnologia de Alimentos – Engenharia de Alimentos

Palavras-chave: Bureta; Viscosidade; Viscosímetro.

Resumo

Viscosímetros são aparelhos que medem a viscosidade de um fluido. A viscosidade é uma propriedade caracterizada por medir a resistência que um determinado fluido possui ao escoamento. Esses aparelhos são relativamente caros e muitas vezes inacessíveis. Dessa forma, o objetivo deste trabalho foi criar um viscosímetro a partir de uma bureta, uma vidraria de laboratório, para que este funcionasse com a ajuda de modelos matemáticos e programação no Microsoft Office Excel 2007®. Foi empregado modelo matemático a partir da Equação do Balanço de Energia Mecânica, com perda de carga, utilizando também o método de Runge-Kutta. Os testes teóricos obtiveram resultados satisfatórios, porém, na aplicação prática do programa, o modelo mostrou-se inviável, pois apresentou resultados incompatíveis com relação à comparação feita por viscosímetro Brookfield, devido a falta de precisão na medição manual das dimensões da bureta.

Introdução

A viscosidade é uma propriedade caracterizada por medir a resistência que um determinado fluido possui ao escoamento. É relacionada com a força intermolecular que há entre as moléculas do fluído (GONÇAVES et al., 2011). Sendo assim, quanto maior a viscosidade, maior é a força intermolecular e menor será a velocidade com que o fluido irá escoar (GOMES, 2012). Esta propriedade é muito importante, pois avalia o comportamento de um fluido e é medida com o auxílio de um viscosímetro, um aparelho capaz de medir a viscosidade sob uma condição de fluxo (MATOS, 2014).

Existem vários tipos de viscosímetros, que possuem métodos diferentes para medir esta propriedade de maneira precisa. Dentre eles, destaca-se o de Brookfield: simples, custo acessível (comparado a outros) e realiza estudos reológicos avançados com fluidos newtonianos e não-newtonianos (SILVEIRA, 1991).

Este trabalho se dedicou a encontrar uma maneira mais rápida e simples de se medir a viscosidade de um fluido, transformando uma bureta, um instrumento comum de laboratório, em um viscosímetro. Para tal, o escoamento dentro da bureta foi modelado matematicamente, gerando uma equação diferencial ordinária, que foi integrada no tempo através do método de Runge-Kutta de quarta ordem.

O método de Runge-Kutta é um método numérico utilizado para resolução de equações diferenciais, no qual a função resposta depende de uma variável independente (BRITO; AMARAL, 2012). Este método utiliza valores de derivadas em

vários pontos próximos ao ponto em questão para fazer uma estimativa da variável a ser integrada e divide-se em Runge-Kutta de segunda, terceira e quarta ordem.

Levando em consideração que viscosímetros são aparelhos de custo elevado, o objetivo deste trabalho foi calibrar uma bureta a partir de modelagem matemática, a fim de poder utilizá-la como um viscosímetro de simples e fácil acesso, comparando os resultados obtidos com os resultados de um viscosímetro Brookfield.

Material e Métodos

Para o ajuste do modelo matemático, foi utilizada uma bureta de 25 mL. Como amostras, foram utilizados óleo refinado de soja, água e azeite de oliva e para os cálculos, utilizou-se o programa Microsoft Office Excel 2007®.

Afim de possibilitar a comparação com o modelo a ser realizado, utilizou-se o aparelho de Brookfield TC-112P DV-II+PRO. Para tanto, mediu-se a viscosidade do óleo de soja e do azeite de oliva baseando-se na metodologia utilizada por BROCK et al. (2008) com modificações: S*pindle* especial a uma temperatura de 25ºC sob 100 rpm de rotação, no tempo de 30 segundos. As amostras foram analisadas em duplicata.

O modelo matemático a ser utilizado baseou-se na Equação do Balanço de Energia Mecânica, com perda de carga. Este balanço foi realizado entre o menisco (Ponto 1) e a saída (Ponto 2) do líquido da bureta. Desta forma, o índice 1 nas variáveis de referem ao menisco e o índice 2 se refere à saída do líquido. A Equação 1 representa este balanço sem ser simplificada e reorganizada da seguinte forma:

$$\frac{dz_1}{dt} = -\sqrt{\frac{2.g}{[(\frac{A_1}{A_2})^2 - 1]}(z_1 - hr)} \quad (1)$$

Em que:
z_1= altura do menisco da bureta (m);
t= tempo (s);
g= gravidade (m/s²);
A_1= área no ponto 1 (m²);
A_2= área no ponto 2 (m²);
hr= perda de carga (m.c.l).

Na Equação (1) o único termo que depende de forma indireta da viscosidade é a perda de carga (*hr*), que pode ser calculada pela fórmula de Darcy, que utiliza um fator de atrito calculado pela Equação de Churchill, pois a perda de carga depende do fator de atrito, que por sua vez, depende do número de Reynolds, que varia em função da viscosidade.

A Equação (1) é negativa, pois o líquido desce a bureta. Esta equação foi integrada pelo método de Runge-Kutta, para se obter a evolução da altura do líquido dentro da bureta com o decorrer do tempo.

Utilizou-se para os cálculos de ajuste da bureta, um fluido de viscosidade conhecida, a água. Tendo esse valor, puderam-se calcular todos os parâmetros necessários.

O método de ajuste consiste em utilizar um pequeno incremento no valor de cada variável de forma iterativa, até que o tempo final do escoamento simulado seja igual ao experimental.

Resultados e Discussão

A Equação (1) foi testada com sucesso com dados fictícios, porém quando dados experimentais foram utilizados, o modelo não foi capaz ser ajustado. Após várias tentativas foi possível perceber que os resultados eram muito sensíveis ao valor do diâmetro de escoamento da saída da bureta.

Tendo em vista a questão acima, modificou-se o arranjo da equação diferencial que define o modelo, na tentativa de avaliar esse efeito. O novo modelo foi deduzido da seguinte maneira:

$$v_1 = \sqrt{\frac{z_1 . 2g}{\left(\frac{A^1}{A^2}\right)^2 - 1 + f\left(\frac{L}{D}\right)}} \quad (2)$$

Analisando o denominador da Equação (2), percebe-se que existem dois termos principais: o quadrado da razão entre as áreas de escoamento inicial e final e um termo relativo à perda de carga, que contém o fator de atrito (*f*). Utilizando valores reais pode-se perceber que a perda de carga no final da bureta não é tão significativa quanto o quadrado da razão entre as áreas. Isto pode ser explicado devido à variação de energia cinética entre a superfície do líquido e a saída da bureta ser muito mais expressiva do que a perda de carga. Os valores numéricos do primeiro termo do denominador chegam a ser mais do que 100 vezes maiores do que o último termo. Dessa forma, este efeito é diminuído se a viscosidade do líquido for alta, aumentando o fator de atrito e a importância do termo de perda de carga.

A estratégia de ajuste foi modificada, pois o modelo não era capaz de se ajustar com precisão aos dados experimentais. Ao invés de se ajustar o comprimento equivalente do final da bureta, o diâmetro de saída foi ajustado. Para o cálculo do comprimento equivalente do final da bureta, foi considerado uma válvula de globo, um tubo de vidro e uma redução de diâmetro.

Testando este método, o resultado também não foi satisfatório, ou seja, para medir os diâmetros da bureta a ser utilizada, o valor teria que ser perfeito, sem erros significativos, o que não ocorre, pois, erros humanos são inevitáveis, e podem prejudicar resultados finais.

Os dois métodos utilizados foram comparados com os resultados obtidos no viscosímetro Brookfield, conforme tabela abaixo, que nos mostra que o modelo matemático não foi eficiente:

Tabela 1 – Comparação da medida de viscosidade

	Brookfield		**Modelo**	
Amostra	Óleo de soja	Azeite de Oliva	Óleo de soja	Azeite de Oliva
Viscosidade (kg/m.s)	0,00625	0,00615	0,44996	0,44405

Conclusão

Os três métodos utilizados apresentaram resultados insatisfatórios, por necessitar uma grande precisão na medição das dimensões da bureta, principalmente do diâmetro final. Podendo haver estes pequenos erros, os mesmos tornam-se grandes no resultado final, fazendo com que o modelo seja inviável. A perda de carga, que era um dos termos de ajuste no modelo, também mostrou-se insignificante com relação entre a razão das áreas e, mesmo testando valores teóricos para este termo, ainda assim o modelo apresentou resultados ruins.

Agradecimentos

Quero agradecer aos meus queridos orientadores, que com suas infinitas paciências de ensinar e reensinar, me fizeram aprender algo novo, difícil e útil, que é a utilização de programações no Microsoft Office Excel 2007®. A eles, que passaram sua sabedoria, com suas facilidades em cálculos e deduções, e que estavam sempre dispostos a ajudar, a tirar dúvidas, utilizando exemplos que tornaram tudo mais fácil. Muito obrigada.

Quero agradecer também a Deus, pois sem ele nada é possível, nada se constrói. Ele que estava sempre me mandando forças, sabedoria e calma para prosseguir com o trabalho.

Referências

BRITO, L. G. e AMARAL, T. R. do. **Método de Euler e Runge-Kutta para solução de Equações diferenciais ordinárias**. Anais do Congresso de Matemática Aplicada e Computacional, 2012. Disponível em: <http://www.sbmac.org.br/cmacs/cmac-ne/2012/trabalhos/PDF/109.pdf>. Acesso em: 11 fev. 2017.

BROCK, J. et al. Determinação experimental da viscosidade e condutividade térmica de óleos vegetais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos,** Campinas, v. 3, n, 28, p. 564-570, set. 2008.

GOMES, M. H. R. **Mecânica dos Fluidos.** 2012. Disponível em: <http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/09/Apostila-de-Mecânica-dos-Fluidos.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2016.

GONÇALVES, H. et al. Prospecção Tecnológica de Patentes para Determinação de Massa Específica e Viscosidade de Óleos, Biocombustíveis e Combustíveis por Métodos Óticos. **Cadernos de Prospecção**, Salvador, v. 4, n. 4, p.12-22, 2011.

MATOS, I. Q. SANTOS, J. P. L. e SILVA, G. F. **Cálculo de Viscosidade de Líquidos com a Ede Cubic-Plus-Association Incorporada ao Modelo Eyring**. 2014. Disponível em: <http://pdf.blucher.com.br.s3-sa-east-1.amazonaws.com/chemicalengineeringproceedings/cobeq2014/0637-24641-139268.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2016.

SILVEIRA, Carlos Alberto da. Uso do Viscosímetro Brookfield em Determinações Reológicas. **Polímeros: Ciência e Tecnologia**, nov./dez, 1991.