

PRÁTICA 12: VISCOSIDADE DE LÍQUIDOS

Viscosidade é uma característica dos líquidos que está relacionada com a sua habilidade de fluir. Quanto maior a viscosidade de um líquido (ou de uma solução) mais difícil o líquido flui e diz-se ele “viscoso”.

A viscosidade é uma propriedade inerente do líquido devido à sua relação profunda com as forças intermoleculares. Quanto maiores estas forças, mais as moléculas permanecem unidas, não as permitindo fluir com facilidade.

Com base neste raciocínio, podemos explicar e comparar, de forma qualitativa, a viscosidade de determinados líquidos. Por exemplo, a água tem maior viscosidade que o benzeno. As forças intermoleculares que atuam na água são basicamente as ligações de hidrogênio, que é a forma mais forte entre as forças intermoleculares. Desta forma, para que as moléculas de água possam fluir, elas precisam vencer estas fortes interações, quebrando-as. Por outro lado, o benzeno possui interações do tipo de forças de London, mais fracas que as ligações de hidrogênio, podendo, desta forma, fluir mais facilmente. Convém ressaltar, entretanto, que as forças de London podem ser fortes o suficiente para tornar um líquido viscoso, especialmente aqueles formados por longas cadeias e ramificações em sua estrutura molecular. Essas cadeias longas, presentes em hidrocarbonetos oleosos e gorduras, por exemplo, se parecem com um emaranhado de fios, o que dificulta a movimentação relativa entre si e, portanto, sua fluidez.

A viscosidade geralmente diminui com o aumento de temperatura, uma vez que, em altas temperaturas, as moléculas possuem maior energia de translação e rotação, permitindo vencer as barreiras energéticas de interações intermoleculares com maior facilidade. Por exemplo, a viscosidade da água a 100 °C é de apenas 1/6 de seu valor a 0°C, ou seja, a mesma quantidade de líquido flui seis vezes mais rapidamente na temperatura mais elevada. Entretanto, nem sempre essa característica ocorre. Dependendo do material, o aumento da temperatura pode alterar a sua estrutura de forma a aumentar a viscosidade. Esse é o caso do enxofre rômico que aumenta a viscosidade quando é aquecido, pois, a partir de uma determinada temperatura, seus anéis S_8 rompem-se, abrindo em cadeias que se emaranham, tendo por consequência o aumento da viscosidade. Se continuássemos o seu aquecimento, perceberíamos que a sua viscosidade cairia quando a sua característica visual mudasse de líquido de cor palha para marrom avermelhado. Neste caso, os anéis se quebram em moléculas de S_2 e S_3 , menores e mais móveis.

Nesta prática, determinaremos a viscosidade de dois líquidos (detergente e solução de sacarose 30%) utilizando o viscosímetro de Stokes. Neste viscosímetro, uma esfera (geralmente de alumínio), de diâmetro (D), volume (V_e) e densidade (d_e) conhecidos, é solta, a partir do repouso, dentro de um tubo contendo o líquido sendo estudado. Quando isso acontece, a partir de certo instante, sua velocidade passa a ser constante (velocidade terminal), evidenciando a inexistência de uma força resultante diferente de zero atuando na esfera. Em outras palavras, a força gravitacional (\vec{F}_g) se equilibra com a força de empuxo (\vec{F}_E) e com a força resistente, ou viscosa (\vec{F}_R), relacionada com a dificuldade da esfera em fluir pelo meio líquido (Figura 1).

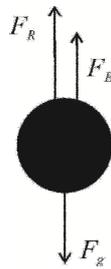


Figura 1. Forças atuantes na esfera em queda no meio líquido. Detalhes no texto.

Matematicamente, podemos escrever para essa situação de equilíbrio:

$$F_E + F_R = F_g \quad (1)$$

A força gravitacional da esfera (em dina, $g \text{ cm s}^{-2}$), ou força peso, pode ser obtida bastando multiplicar a sua massa em gramas ($m_e = V_e d_e = \pi D^3 d_e / 6$) pela aceleração da gravidade ($g = 980 \text{ cm s}^{-2}$):

$$F_g = m_e g = V_e d_e g = \pi D^3 d_e g / 6 \quad (2)$$

A força de empuxo pode ser deduzida a partir do princípio de Arquimedes, que diz que *Quando um corpo está total ou parcialmente submerso em um fluido, o fluido ao redor exerce uma força de empuxo \vec{F}_E sobre o corpo. Essa força está dirigida para cima e possui intensidade igual ao peso do fluido ($m_f g$) que foi deslocado pelo corpo.* Como o volume deslocado do fluido é exatamente igual ao volume da esfera, podemos calcular a força de empuxo por:

$$F_E = m_f g = d_f V_e g = \pi D^3 d_f g / 6 \quad (3)$$

A dedução da força viscosa parte da equação geral de Newton para a força resistente:

$$F_D = C_D \left(\frac{\pi}{8} \right) d_f D^2 v^2 \quad (4)$$

Sendo:

C_D : o coeficiente de arrasto (constante definida de acordo com a forma do corpo e número de Reynolds, Re).

d_f : a densidade do fluido

D : o diâmetro da esfera

v : a velocidade relativa entre a esfera e o líquido (a velocidade terminal).

Foi Reynolds que, ao estudar como e quando ocorre o escoamento laminar ou turbulento em uma tubulação, encontrou uma relação entre C_D e Re , sendo Re definido como:

$$Re = vD/\nu \quad (5)$$

Sendo:

D : o diâmetro da esfera, em cm

v : a velocidade relativa entre a esfera e o líquido (a velocidade terminal), em cm/s.

ν : viscosidade cinemática, em Stokes (St).

Para uma esfera, a relação entre C_D e Re é linear quando $Re < 1$ (Figura 2), e obedece a relação:

$$C_D = \frac{24}{Re} = \frac{24\nu}{Dv} \quad (6)$$

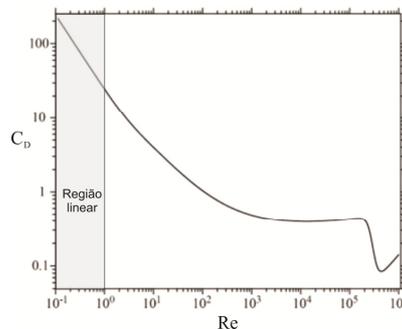


Figura 2. Coeficiente de arrasto em função do número de Reynolds. A parte sombreada destaca a região de dependência linear

Foi Stokes que particularizou a relação geral de Newton para condições em que $Re < 1$. Para isso, basta substituir a relação (6) na (4), obtemos a força resistente que o fluido exerce sobre a esfera durante a queda (Equação de Stokes):

$$F_D = 3\pi D v d_f \nu \quad (7)$$

Sabendo que a viscosidade cinemática representa a viscosidade absoluta (η) de um líquido relacionada à sua densidade ($\nu = \eta/d_f$), podemos reescrever (7) como:

$$F_D = 3\pi D \eta v \quad (8)$$

Por meio da substituição das relações (2), (3) e (8) na (1), e isolando a viscosidade absoluta η encontramos a relação:

$$\eta = \frac{D^2 g (d_e - d_f)}{18v} \quad (9)$$

Ou seja, conhecendo-se o diâmetro da esfera (D , em cm), a aceleração da gravidade (g , em $cm\ s^{-2}$), as densidades do líquido (d_f , em $g\ cm^{-3}$) e da esfera (d_e , em $g\ cm^{-3}$), e a velocidade terminal da esfera (v , em $cm\ s^{-1}$), podemos calcular a viscosidade absoluta (η , em poise, P) do fluido.

Entretanto, a velocidade terminal da esfera é influenciada pelas paredes laterais do tubo, já que ela, ao se deslocar pelo fluido, causa um movimento que afeta a força viscosa. Neste caso, a velocidade terminal pode ser corrigida (v') utilizando o fator de Ladenburg (k):

$$v' = vk; k = \left(1 + \frac{2,4R}{A}\right)\left(1 + \frac{3,3R}{B}\right) \quad (10)$$

Sendo:

R o raio da esfera (cm), A o raio do tubo (cm) e B (cm) a altura do fluido no tubo.

Neste caso, η (em poise, P) será dado pela relação:

$$\eta = \frac{D^2 g (d_e - d_f)}{18v'} \quad (11)$$

Procedimento

Preparação da solução de sacarose:

- a) Com auxílio de uma balança analítica, meça a massa de açúcar necessário para preparar 500 mL de solução de sacarose a 30%, m/v.

Procedimento para montar o viscosímetro de Stokes

- b) Monte o viscosímetro de Stokes. Posicione o primeiro sensor fotoelétrico na marca de 160 mm, o segundo na marca de 260 mm, o terceiro em 360 mm, o quarto em 460 mm e o quinto em 560 mm. Ligue o primeiro sensor na entrada S0 do multicronômetro e o segundo na S1. Proceda de forma semelhante com os demais sensores.
- c) Ligue o multicronômetro e calibre, utilizando o espelho, suas posições (**Nota.** Peça ajuda ao professor ou ao técnico no laboratório).
- d) Coloque o líquido a ser estudado no tubo e conecte posicionador para largada.
- e) Configure o multicronômetro (**Nota.** Peça ajuda ao professor ou ao técnico no laboratório).

Procedimento para determinar a viscosidade absoluta (η), viscosidade cinemática (ν) e o número de Reynolds (Re).

- f) Meça o diâmetro (D) da esfera com um paquímetro (anote o valor em centímetros). Determine o seu volume ($V_e = \pi D^3/6$), em cm^3 .
- g) Meça a massa da esfera, em gramas.
- h) Calcule a densidade da esfera ($d_e = m/V$), em $g\ cm^{-3}$.
- i) Calcule a densidade dos líquidos A (Detergente) e B (Solução de Sacarose a 30%, m/v) que serão utilizados no experimento (em $g\ cm^{-3}$).
- j) Encontre o raio do tubo (A) e a altura do líquido (B) no tubo. Calcule o coeficiente de Ladenburg para corrigir a velocidade terminal (**Nota.** Utilize a Tabela 1 para auxiliá-lo na coleta e organização de dados).
- k) Após configurar a multicronômetro conectado aos sensores fotoelétricos (item e), solte a esfera de 10 mm pelo posicionador para largada.
- l) Observe o comportamento da esfera quando ele desce pelo fluido. Comente as suas observações.

- m) No final do experimento, colete os dados de tempo em que a esfera passou por cada sensor. Monte o gráfico de espaço x tempo (considerando o tempo $t=0$ no primeiro sensor). Que comportamento de curva (reta, parábola, etc.) é obtida?
- n) Estime a velocidade média pelo MMQ. (*Sabendo que a partir de dado ponto a velocidade passa a ser constante, velocidade terminal, classifique o tipo de movimento da esfera, no interior do líquido, a partir do instante que atinge a velocidade terminal*).
- o) Calcule a viscosidade absoluta (também conhecida como viscosidade dinâmica) utilizando a relação (11). (**Nota.** Não se esqueça de utilizar a correção de Ladenburg para corrigir a velocidade terminal antes de calcular a viscosidade).
- p) Refaça o experimento mais quatro vezes para se obter o desvio-padrão da viscosidade do líquido A.
- q) Por meio da relação $\nu = \eta/d_f$, encontre a viscosidade cinemática do Líquido A com o seu desvio (propague o erro em η). A unidade de ν no S.G.S é o Stokes (St).
- r) Utilizando a relação $Re = v'D/\nu$, encontre o valor médio e o desvio do número de Reynolds. (**Nota 1:** não se esqueça de que a velocidade ν deve estar em cm s^{-1} , o diâmetro D em centímetros e a viscosidade cinemática em Stokes, St. **Nota 2.** Neste caso, o desvio será obtido apenas pelo desvio padrão). O número de Reynolds é um parâmetro que permite inferir se a esfera se movimenta no seio do líquido por um regime laminar ou turbulento. Para valores menores que 1, o regime é laminar e a equação de Stokes pode ser utilizada.
- s) Refaça os procedimentos de $f-t$ para o líquido B. (**Nota.** Utilize a Tabela 1 para auxiliá-lo na coleta e organização de dados).

Tabela 1. Dados coletados para o Líquido A: _____ . Densidade (g cm^{-3}): _____

Medida	Constante de Ladenburg	Velocidade terminal v (cm s^{-1})	Velocidade terminal corrigida v' (cm s^{-1})	Viscosidade absoluta η , (P)	Viscosidade cinemática (St)	Número de Reynolds
1						
2						
3						
4						
5						
Média						
Desvio-padrão						

Tabela 2. Dados coletados para o Líquido B: _____ Densidade (g cm^{-3}): _____

Medida	Constante de Ladenburg	Velocidade terminal v (cm s^{-1})	Velocidade terminal corrigida v' (cm s^{-1})	Viscosidade absoluta η , (P)	Viscosidade cinemática (St)	Número de Reynolds
1						
2						
3						
4						
5						
Média						
Desvio-padrão						

Responda as questões, que deverão ser utilizadas na discussão e conclusão de seus resultados:

1. Qual é o comportamento do movimento da esfera após um certo tempo em que ele flui pelo líquido (velocidade acelerada ou constante)?
2. Explique o comportamento anotado em 1.
3. Qual líquido apresentou maior viscosidade?
4. Explique por que um líquido apresenta maior viscosidade do que o outro em termos de forças intermoleculares.

5. No caso do detergente, o padrão de qualidade exige que a sua viscosidade não deva ser menor do que 100 cP (centiPoise). Essa exigência foi atendida?
6. O número de Reynolds encontrado para cada caso permite utilizar a equação de Stokes para estimar a viscosidade dos líquidos utilizados?

Referências

Halliday, Renick, Walker. Fundamentos de Física, v. 1 e 2. Editora LTC, 6ª edição
Livro de atividades experimentais (Física Experimental – Mecânica dos fluidos – Viscosímetro de Stokes) Cidepe.

E. L. Silva Vaz, H. A. Acciari, A. Assis, E. N. Codaro. Uma experiência didática sobre viscosidade e densidade. Química Nova na Escola 34 (3) 155-158. 2012.