



TAREFAS

- Medição dos tempos de queda de uma esfera em uma solução aquosa de glicerina em dependência da temperatura.
- Determinação da viscosidade dinâmica e comparação com dados de literatura.
- Comparação da dependência da temperatura da viscosidade dinâmica com a relação Arrhenius-Andrade e determinação da energia de troca de lugar.

OBJETIVO

Determinação da viscosidade dinâmica de uma solução aquosa de glicerina

RESUMO

A viscosidade dinâmica, o fator de proporcionalidade entre o gradiente de velocidade e tensão de cisalhamento em um líquido caracteriza a resistência de um líquido. Ela pode ser medida com um viscosímetro de queda de esfera segundo Höppler. Em conexão com um termostato circulador, também são possíveis medições dependentes de temperatura. Elas são realizadas, na experiência, em uma solução aquosa de glicerina. Aqui, a dependência da temperatura da viscosidade pode ser descrita pela relação Arrhenius-Andrade.

APARELHOS NECESSÁRIOS

Número	Instrumentos	Artigo Nº
1	Viscosímetro de queda livre (esfera)	U14260
1	Cronômetro digital	U11902
1	Banho e termostato de circulação (230 V; 50/60 Hz)	U144002-230 ou
	Banho e termostato de circulação (115 V; 50/60 Hz)	U144002-115
2	Mangueira de silicone 6 mm	U10146
1	Glicerina, 85%, 250 ml	U8496816
1	Funil	U8634700
Adicionalmente recomendado:		
1	Conjunto de 10 copos, forma baixa	U14210
2	Cilindro de medição, 100 ml	U14205
	Água destilada, 5l	



FUNDAMENTOS GERAIS

A resistência de um líquido pode ser derivada da ligação recíproca das partículas do líquido. Com força crescente da ligação, a mobilidade das partículas diminui. Para formação de um gradiente de velocidade em um perfil de fluxo, é necessária uma tensão de cisalhamento maior. O fator de proporcionalidade entre o gradiente de velocidade e a tensão de cisalhamento é uma medida para a resistência do líquido e é denominado viscosidade dinâmica. Líquidos cuja viscosidade dinâmica não depende da tensão de cisalhamento são denominados líquidos newtonianos.

A viscosidade dinâmica η da maioria dos líquidos diminui com o aumento da temperatura. A redução pode frequentemente ser descrita com a relação Arrhenius-Andrade.

$$(1) \quad \eta = \eta_0 \cdot \exp\left(\frac{E_A}{R \cdot T}\right)$$

E_A : Energia de ativação ou de troca de lugar das partículas do líquido
 T : Temperatura absoluta

$$R = 8,314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} : \text{Constante geral do gás}$$

Para a medição da viscosidade dinâmica, frequentemente é observada uma esfera que desce sob influência da gravidade no líquido. Sua queda é freada pela força de atrito de Stokes

$$(2) \quad F_1 = \eta \cdot 6\pi \cdot r \cdot v$$

r : Raio da esfera

por isto, ela cai com velocidade constante v . A influência da força da gravidade é reduzida pela flutuabilidade da esfera no líquido:

$$(3) \quad F_2 = \frac{4\pi}{3} \cdot r^3 \cdot (\rho_0 - \rho) \cdot g$$

ρ_0 : Densidade da esfera
 ρ : Densidade do líquido analisado
 g : Aceleração da gravidade

Daí se conclui, a partir do equilíbrio entre as forças F_1 e F_2 :

$$(4) \quad \eta = \frac{2}{9} \cdot r^2 \cdot g \cdot (\rho_0 - \rho) \cdot \frac{t}{s}$$

s : Percurso de medição,

t : Tempo de queda para o percurso de medição dado

A equação (2) descreve, de fato, a força de atrito sobre a esfera somente para os casos em que o diâmetro do tubo de medição preenchido com o líquido de teste for substancialmente maior que o diâmetro da esfera. Isto exigiria, porém, uma grande quantidade de líquido de teste. Na prática, se utiliza, por isto, para a medição da viscosidade, um viscosímetro de queda de esfera segundo Höppler com um tubo de medição inclinado contra a vertical, em que a esfera desliza e rola pela parede do tubo. A equação de determinação para a viscosidade dinâmica é, neste caso,

$$(5) \quad \eta = t \cdot (\rho_0 - \rho) \cdot K$$

O fator de calibragem K é informado individualmente para cada esfera fornecida pelo fabricante. Para evitar eventuais erros sistemáticos, o tubo de medição pode ser girado e o tempo de queda também pode ser medido para a volta.

Na experiência, é analisada glicerina comum, que, observada mais precisamente, é uma solução aquosa de glicerina com teor de glicerina de aprox. 85%. A diluição é utilizada de forma orientada, pois a viscosidade de

glicerina pura é alta demais para muitas aplicações. A viscosidade é medida em dependência da temperatura. Para tanto, o viscosímetro de queda de esfera é ligado a um termostato circulador. Através da diluição orientada da solução de glicerina com água destilada, a dependência da concentração da viscosidade também pode ser analisada.

ANÁLISE

Uma comparação da viscosidade medida com dados da literatura confirma os dados de concentração do fabricante. A equação (1) pode ser transcrita para a forma

$$\ln \eta = \ln \eta_0 + E_A \cdot \frac{1}{R \cdot T}$$

Assim, aplica-se $y = \ln \eta$ contra $x = \frac{1}{R \cdot T}$ e se determina o intervalo

entre bandas E_A a partir da inclinação da reta resultante.

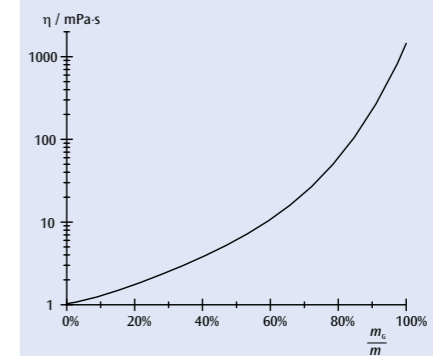


Fig. 1: Viscosidade dinâmica de solução aquosa de glicerina a 20 °C em dependência da concentração de massa (dados interpolados da literatura)

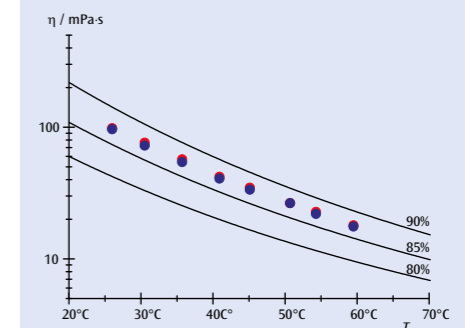


Fig. 2: Viscosidade dinâmica de solução aquosa de glicerina em dependência da temperatura (comparação de dados de medição com dados interpolados da literatura)

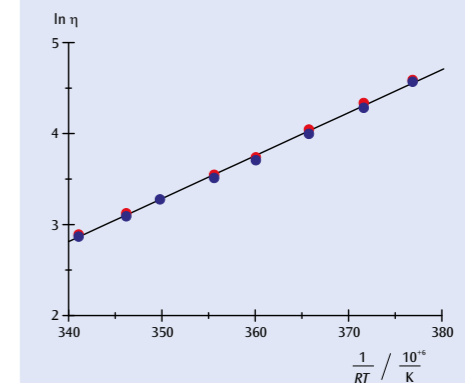


Fig. 3: Representação para confirmação da relação Arrhenius-Andrade e para determinação da energia de troca de lugar ($E_A = 47 \text{ kJ/mol}$)