



MÓDULO DIDÁTICO PARA DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE DINÂMICA EM FLUIDOS NEWTONIANOS APLICADOS EM UM MANCAL DE DESLIZAMENTO

Marcos Tadeu Tavares Pacheco - marcttadeu@unisanta.br

Carlos Alberto Amaral Moino – moino@unisanta.br

José Carlos Morilla – morilla@unisanta.br

Luiz Renato Bastos Lia – bastos@unisanta.br

Yago Reitz de Castro – yago.reitz@hotmail.com

Universidade Santa Cecília – Engenharia Mecânica
Endereço Rua Oswaldo Cruz, 266 - Boqueirão
CEP 11045-907 – Santos – SP

Resumo: *Este trabalho propõe o uso de um módulo didático nas aulas de mecânica dos fluidos para o estudo de algumas importantes propriedades, determinando os efeitos da ação viscosa em um mancal de deslizamento. Foi desenvolvido um módulo didático portátil utilizando um eixo e um mancal, feitos em acrílico, permitindo o cálculo da viscosidade dinâmica de um fluido. Mede-se também a densidade do fluido com um Becker graduado e uma balança. Tendo valores de viscosidade dinâmica e de densidade, podem ser determinados o peso específico e a viscosidade cinemática. Os ensaios com água e glicerina demonstram que o módulo apresenta-se didaticamente mais eficaz quando utilizamos fluido de viscosidade mais elevada, como a glicerina. Ensaios realizados no módulo demonstram a próspera ação didática para as aulas de laboratório de mecânica dos fluidos.*

Palavras chave: *Viscosidade dinâmica, viscosidade cinemática, densidade, fluido Newtoniano.*

1. INTRODUÇÃO

A disciplina de mecânica dos fluidos apresenta-se como uma das principais nos ciclos básicos de formação de um engenheiro. Com o objetivo de realizar ensaios no laboratório de mecânica dos fluidos, o presente trabalho apresenta o desenvolvimento de um módulo didático portátil que com a variação da geometria de um eixo, permite o estudo da ação da viscosidade em um mancal de deslizamento, relacionando-a com outras propriedades de um fluido.

A viscosidade é uma propriedade que representa a resistência do fluido ao movimento (ÇENGEL, 2007). O seu conhecimento é importante para diversos projetos de engenharia, sendo utilizada na seleção de um lubrificante, no projeto de instalações de recalque e em muitas outras aplicações.

Os chamados fluidos Newtonianos não resistem à ação das forças tangenciais (FOX, McDONNARD, 2001), ou seja, haverá deslocamento com o aumento da velocidade até encontrar uma condição de equilíbrio onde a força que atua produzindo o movimento é igual a força de resistência ao escoamento produzida pela ação viscosa na seção de fluido.

Ainda, pelo princípio da aderência, um fluido em contato com um sólido terá a velocidade do sólido. Aplicada uma força em uma das placas surge no fluido a ação das forças tangenciais colocando a camada de fluido entre as placas em movimento. Considerando uma placa estática e uma placa móvel, há a formação de um gradiente de velocidades ao longo da espessura de fluido. A viscosidade dinâmica mede o grau de interferência que a resistência ao escoamento terá sobre a velocidade, ou seja, mede a resistência ao escoamento. Para os cálculos de viscosidade dinâmica em pequenas espessuras de fluido utiliza-se a simplificação prática da lei de Newton da viscosidade (BRUNETTI, 2008).

Calculando-se a viscosidade dinâmica e medindo-se a densidade do fluido, determina-se a viscosidade cinemática e o peso específico. Para a demonstração do potencial de uso didático do módulo, este trabalho desenvolve ensaios para a verificação dos efeitos da temperatura na viscosidade de um fluido.

Este módulo didático foi inserido nas aulas de laboratório de mecânica dos fluidos, mas por ser um módulo pequeno e móvel, pode ser utilizado em aulas de teoria.

2. DESENVOLVIMENTO

A bancada utilizada para analisar a viscosidade dos fluidos é relativamente pequena e de fácil locomoção, podendo ser apresentada em qualquer lugar, como em uma sala de aula, e é composta por dois mancais e um eixo. As peças são de acrílico para visualização da área de fluido dentro dos mancais e evitar a falta de lubrificação. A “Figura 1” ilustra a bancada, os mancais e o eixo.



Figura 1 – Bancada utilizada no ensaio e mancais acoplados ao eixo.

O eixo possui, de forma intercambiável, buchas que se adaptam e permitem a variação do diâmetro no ponto de enrolamento do cabo. Este recurso é apresentado na “Figura 2”.

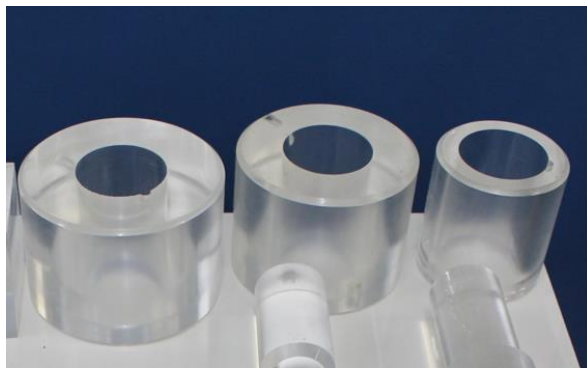


Figura 2 – Buchas de encaixe para variar o diâmetro do eixo.

Para a execução do ensaio, inicialmente o estudante deverá obter as dimensões dos componentes que serão utilizados para os cálculos, ou seja, o furo no mancal, o diâmetro do eixo que fica em contato com o lubrificante e o diâmetro do eixo onde atua a força peso responsável pelo movimento, conforme “Figura 3”.



Figura 3 – Medições no eixo e mancais.

Com o eixo posicionado nos mancais, um cabo com um corpo de massa 443,8 g em sua extremidade é fixado e enrolado no eixo e os mancais são preenchidos com o fluido de teste. O ensaio consiste em soltar o corpo, cronometrar o tempo da queda do mesmo até o chão (“Figura 4”) e efetuar os cálculos necessários para se obter a viscosidade do fluido.

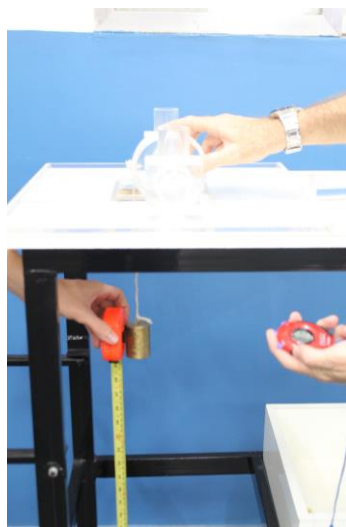


Figura 4 – Medição da altura e tempo de queda do corpo.

O cálculo da viscosidade é feito de acordo com a Lei de Newton da Viscosidade simplificada para pequenas espessuras de filme de lubrificante, apresentada na Equação (1).

$$\mu = \frac{Ft \times y}{A \times v_{p2}} \quad (1)$$

Sendo: Ft = força tangencial que atua na superfície de fluido;
 y = espessura de fluido;
 A = área molhada móvel;
 v_{p2} = velocidade periférica do eixo na área de contato com o fluido.

O eixo possui diâmetros diferentes no encaixe do mancal e na área de enrolamento do cabo, por isso é necessário calcular a velocidade periférica no enrolamento do cabo v_{p1} e multiplica-la pela relação dos raios R_2 e R_1 para encontrar a velocidade periférica no encaixe do mancal v_{p2} (Equação (2)).

$$\omega_1 = \omega_2 = \frac{v_{p1}}{R_1} = \frac{v_{p2}}{R_2} \rightarrow v_{p2} = v_{p1} \times \frac{R_2}{R_1} \quad (2)$$

Com a altura do corpo fixada, cronometra-se o tempo de queda e calcula-se a velocidade de queda do corpo, que é também a velocidade periférica do eixo no enrolamento do cabo (v_{p1}).

$$V_{queda} = V_{p1} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \quad (3)$$

Calcula-se também a força tangencial no fluido, levando em consideração a variação do diâmetro conforme apresentado na “Figura 5”.

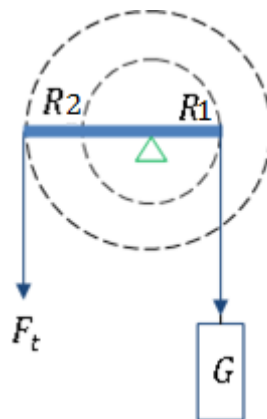


Figura 5 – Vista lateral do eixo com os pontos de aplicação das forças ilustrado.

A força tangencial exercida pelo fluido vai ser o peso exercido pelo corpo multiplicado pela relação dos raios do eixo, como mostra a Equação (4).

$$F_t \times R_2 = G \times R_1 \rightarrow F_t = G \times \frac{R_1}{R_2} \quad (4)$$

Calcula-se a viscosidade conhecendo-se a área de contato com o fluido e a espessura do fluido (Equação (1)). As medidas dos componentes da bancada são dispostas na “Tabela 1”.

Tabela 1 – Dimensões dos componentes da bancada

Comprimento do mancal	66,00 mm
Diâmetro molhado do cilindro	40,50 mm
Diâmetro interno do mancal	41,00 mm
Espessura de fluido	0,25 mm
Diâmetro do tambor 1	50,50 mm
Diâmetro do tambor 2	75,85 mm
Diâmetro do tambor 3	103,70 mm
Diâmetro do tambor 4	114,80 mm
Distância do peso ao solo	938,00 mm

Para determinar a densidade do fluido, um volume (V) conhecido é colocado em um Becker graduado e sua massa (m) é determinada em uma balança digital. Assim, temos:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad (5)$$

Determinando-se a densidade (massa específica), calcula-se também o peso específico:

$$\gamma = \frac{G}{V} \Rightarrow \gamma = \frac{m \cdot g}{V} \Rightarrow \gamma = \rho \cdot g \quad (6)$$

A viscosidade cinemática (ν) é dada pelo quociente da viscosidade pela densidade:

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \quad (7)$$

Algumas condições de ensaio podem produzir erros, pois além de certas medições serem de difícil acerto, adotou-se a espessura de fluido constante dentro do mancal, considerou-se que toda a área do eixo dentro mancal estava completamente está coberto com o lubrificante e que a velocidade de descida do peso é constante.

3 – RESULTADOS

Os ensaios foram realizados com água e glicerina, a duas temperaturas, 23°C e 40°C, variando o diâmetro do eixo para cada fluido e temperatura. Sendo assim foram realizados 112 ensaios, como mostra o cálculo da “Figura 6”.

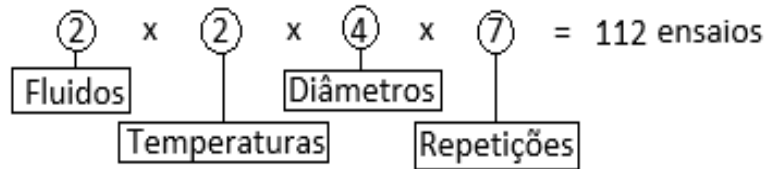


Figura 6 – Cálculo do número de ensaios realizados

A velocidade de descida é constante, pois o momento da força viscosa se equilibra com o momento produzido pelo peso. Esta velocidade é um parâmetro que influi fortemente nos cálculos. Determinou-se que seriam executadas 7 tomadas de tempo para a determinação da velocidade. Adota-se então o descarte de dados com seguinte critério:

$$\bar{t} \pm 2.s \tag{8}$$

Sendo:

\bar{t} → média dos tempos para cada grupo de ensaio,
 s → desvio padrão.

Nenhum dos dados coletados nos 112 ensaios foi descartado, pois todos estavam dentro do intervalo de mais ou menos dois desvios padrão. A “Tabela 2” apresenta os valores de tempo coletados e os respectivos cálculos de viscosidade dinâmica.

Tabela 2 – Valores de viscosidade dinâmica experimental de cada ensaio.

Água (23°C)	t (s)							Média	μ
cilindro 1	0,66	0,52	0,5	0,66	0,69	0,72	0,53	0,611429	0,06568
cilindro 2	0,5	0,47	0,47	0,47	0,44	0,44	0,69	0,497143	0,120475
cilindro 3	0,53	0,59	0,6	0,59	0,5	0,62	0,53	0,565714	0,256247
cilindro 4	0,53	0,59	0,65	0,66	0,75	0,59	0,65	0,631429	0,35052
Água (40°C)	t (s)							Média	μ
cilindro 1	0,65	0,5	0,63	0,41	0,5	0,56	0,56	0,544286	0,058467
cilindro 2	0,57	0,62	0,53	0,59	0,66	0,63	0,59	0,598571	0,145055
cilindro 3	0,57	0,56	0,57	0,57	0,59	0,63	0,6	0,584286	0,264659
cilindro 4	0,53	0,5	0,66	0,62	0,6	0,59	0,65	0,592857	0,329108
Glicerina (23°C)	t (s)							Média	μ
cilindro 1	8,65	8,65	7,88	8,53	7,12	7,6	7,3	7,961429	0,855221
cilindro 2	3,44	3,37	3,25	3,5	3,53	3,66	3,57	3,474286	0,84194
cilindro 3	1,9	2,25	2,47	2,44	2,32	2,44	2,66	2,354286	1,066403
cilindro 4	2,19	2,13	2,1	2,15	1,97	2	2,53	2,152857	1,195098
Glicerina (40°C)	t (s)							Média	μ
cilindro 1	4,93	6,53	6,53	5,34	5,28	5,35	5,75	5,672857	0,609381
cilindro 2	2,81	2,35	2,47	2,37	2,37	2,32	2,32	2,43	0,588874
cilindro 3	1,41	1,41	1,5	1,35	1,25	1,34	1,38	1,377143	0,623794
cilindro 4	1,06	1,13	1,16	1,31	1,22	1,28	1,19	1,192857	0,662181

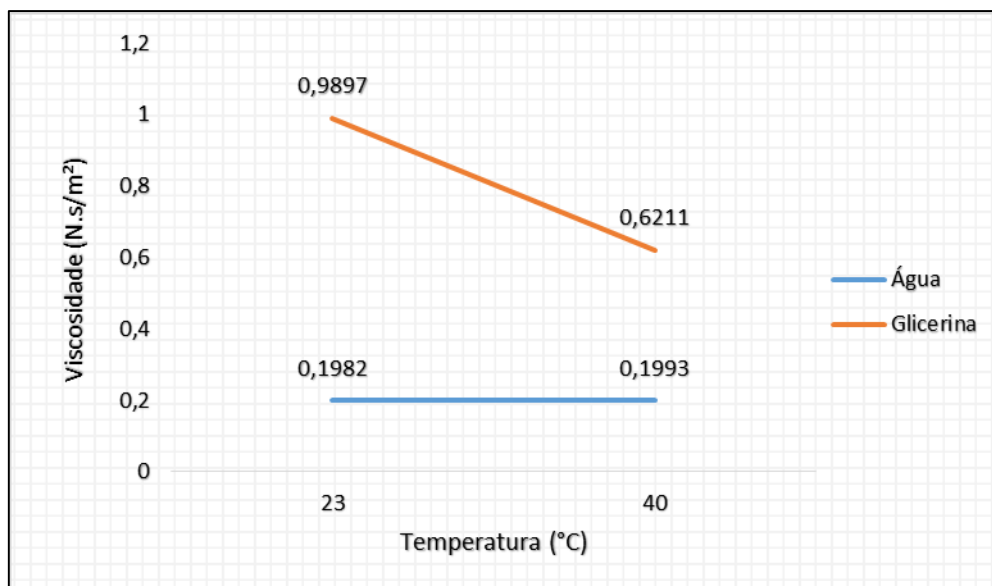


Figura 5 – Viscosidade dinâmica em função da temperatura para água e glicerina.

Ainda, considera-se importante a definição de unidades em outros sistemas além do sistema internacional. Como treinamento, neste experimento os alunos devem calcular os valores de viscosidade dinâmica, cinemática, da densidade e do peso específico em três sistemas de unidades. No roteiro do experimento é fornecida uma tabela que deverá ser preenchida com os valores encontrados.

Conceito	Equação	SI (MKS)	CGS	MK*S (Técnico)
Densidade	$\rho = \frac{m}{V}$	$\frac{kg}{m^3}$	$\frac{g}{cm^3}$	$\frac{utm}{m^3}$
Peso específico	$\gamma = \frac{G}{V} = \rho \cdot g$	$\frac{N}{m^3}$	$\frac{dina}{cm^3}$	$\frac{kgf}{m^3}$
Visc. dinâmica	$\tau = \frac{Ft}{A} = \mu \times \frac{v}{y}$	$Pa \cdot s$	$Poise$	$\frac{kgf \cdot s}{m^2}$
Visc. cinemática	$\nu = \frac{\mu}{\rho}$	$\frac{m^2}{s}$	$Stokes$	$\frac{m^2}{s}$

3. DISCUSSÕES DOS RESULTADOS

O objetivo principal do ensaio é apresentar aos alunos as variáveis envolvidas no estudo de algumas propriedades dos fluidos. Na determinação da velocidade de descida, os valores amostrais de tempo apresentam algumas variações consideráveis, já que foram medidos por acionamento manual de um cronômetro a partir da visualização do início da queda e do toque com o chão, distanciando valores práticos dos valores teóricos de viscosidade. Entretanto, tal problema não representa fator que invalida o valor didático do experimento, pois os estudantes manuseiam o equipamento e observam as variáveis envolvidas na aplicação da lei de Newton da viscosidade na sua forma simplificada, ou seja, para pequenas espessuras de filme de fluido. Pode-se dizer que os tempos de queda não foram corretamente coletados. Porém, ao aumentar a temperatura da glicerina, obteve-se um valor calculado de viscosidade menor que o do ensaio com a temperatura ambiente, atingindo as expectativas do trabalho.

4. CONCLUSÕES

A bancada utilizada no trabalho foi suficiente para analisar a diferença de viscosidade entre dois fluidos, água e glicerina, e também a variação de viscosidade ao aquecer a glicerina. Como a água tem uma viscosidade relativamente baixa, o tempo de queda do corpo é baixo, na ordem de 0,5 segundo produzindo erros substanciais nos demais cálculos. Nestas condições é difícil cronometrar este tempo de queda manualmente, já que é necessário apertar o botão duas vezes em menos de um segundo. Por este motivo não foi possível calcular corretamente a variação da viscosidade da água em função de temperatura. Uma solução para este problema seria aumentar a altura da bancada, a fim de se obter um maior tempo de queda e reduzir o erro



na sua medição. Outra solução mais eficiente seria medir o tempo de queda através de sensores e temporizadores, podendo chegar muito mais perto do tempo real. Entretanto, como o objetivo é de ensaiar e demonstrar aos alunos os efeitos das forças viscosas, consideramos que o módulo didático tem eficiência para fluidos mais viscosos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRUNETTI, Franco. Mecânica dos Fluidos. 2ª. ed. rev. – São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.

ÇENGEL, Yunus A., CIMBALA, John M. Mecânica dos Fluidos – fundamentos e aplicação. 1ª. Edição – São Paulo: McGraw-Hill, 2007.

FOX, R. W.; McDONALD, A. T. Introdução à Mecânica dos Fluidos. 5ª.ed. – Rio de Janeiro: LTC, 2001

DIDACTIC MODULE TO DETERMINE DYNAMIC VISCOSITY IN NEWTONIAN FLUIDS APPLIED IN A SLIDING BEARING

Abstract: *This paper proposes the use of a didactic module in fluid mechanics to the study of some important properties of fluids, determining the effects of viscous action in a sliding bearing. A didactic module was developed using a portable shaft and a sliding bearing made of acrylic glass, allowing the calculation of dynamic viscosity of a fluid. Also is measured the density of the fluid. Then specific weight and the kinematic viscosity can be determined. The tests with water and glycerine demonstrate didactically that the module is most effective when using fluid of higher viscosity. Tests on the module show the booming action didactics for classes of fluid mechanics lab.*

Key words: *Dynamic viscosity, Kinematic viscosity, density, Newtonian Fluid*