

DETERMINAÇÃO DA VISCOSIDADE CINEMÁTICA POR MÉTODO DE STOKES ATRAVÉS DE ESTUDO E DESENVOLVIMENTO DE VISCOSIMETRO AUTOMATIZADO

Rodrigo Ernesto Andrade Silva; Arthur Vinicius Ribeiro de Freitas Azevedo; Allysson Macário de Araújo Caldas; Allan Giuseppe de Araújo Caldas; Júlio César Coelho Barbosa Torquato; Cristiano Miranda Correia Lima.

Instituto Federal da Paraíba – IFPB – Campus João Pessoa – rodrigo.estudos@hotmail.com

Resumo O presente trabalho, a partir de um estudo teórico experimental propõe o desenvolvimento de uma bancada experimental fazendo uso da plataforma de prototipagem Arduino e de materiais acessíveis. Esta bancada experimental irá permitir que professores e estudantes determinem a viscosidade de fluidos viscosos de forma rápida e precisa, devido a automatização de parte do processo de obtenção de dados. Uma ferramenta deste tipo é relevante do ponto de vista acadêmico, devido a sua usabilidade em disciplinas relacionadas à manutenção de sistemas mecânicos, na qual o uso de óleos lubrificantes é um dos pilares. A bancada experimental nos permite determinar uma das propriedades mais relevantes na escolha de um óleo lubrificante que é a viscosidade, porém mais importante ainda é dar a oportunidade a estudantes e professores de aplicarem conhecimentos que normalmente ficam contidos ao âmbito teórico em uma ferramenta funcional. Por ser um tema novo para alguns possíveis leitores se faz necessário a presença de um material que contenha os conceitos pertinentes ao funcionamento da bancada experimental, indo desde definições presentes na mecânica dos fluidos e do movimento de corpos em fluidos até a prototipagem de um sensor que situe no tempo a interrupção de alguns sensores de luminosidade estimulados por lasers. Além disso, analisaremos a correspondência entre os valores obtidos para a viscosidade dos fluidos em determinada temperatura com os valores provenientes de uma equação característica do fluido, equação essa determinada por uma linha de tendência que caracteriza o comportamento da viscosidade do fluido para diferentes temperaturas.

Palavras-chave: Viscosidade, Mecânica dos Fluidos, Manutenção, Lubrificação.

Introdução

Nos cursos de engenharia um dos tópicos que sempre recebe destaque é a manutenção, que pode ser definida como a área do conhecimento responsável por planejar e executar ações que visem manter o pleno funcionamento de máquinas e equipamentos. Na mecânica ela existe comumente no ato da lubrificação, que visa interpor uma película de fluido adequado entre superfícies em movimento relativo, de modo que o mesmo se faça com um mínimo de aquecimento, ruído, atrito e desgaste, a fim de conservar os componentes mecânicos.

Os lubrificantes quanto a sua natureza podem ser sólidos, líquido, pastosos ou gasosos. Na prática, cerca de 95% dos lubrificantes empregados são líquidos, enquanto os pastosos representam cerca de 4% do restante. Portanto é

fundamental conhecermos as propriedades referentes aos lubrificantes tendo em vista a sua importância na indústria moderna.

Tendo em mente o que foi exposto, este trabalho se propõe a fornecer uma ferramenta útil à realização de uma análise quantitativa de uma importante propriedade dos óleos lubrificantes, conhecimento este fundamental a estudantes que terão a possibilidade de colocar em prática o que normalmente é abordado apenas na teoria em escolas técnicas e em faculdades. Iremos abordar a viscosidade, cujo valor numérico depende de diversas variáveis dentre elas a temperatura.

Objetivo Geral

Desenvolver uma bancada experimental que nos permita determinar a viscosidade dos óleos lubrificantes, baseando-se no movimento de uma esfera no fluido e com o auxílio de resistores dependentes de luz e da plataforma de prototipagem Arduino.

Objetivos Específicos

- Desenvolver um estudo teórico a respeito dos fluidos;
- Realizar um estudo teórico do movimento de corpos em fluidos;
- Desenvolver a parte eletrônica do projeto;
- Construção da bancada experimental que dará suporte ao medidor proposto;
- Analisar os resultados obtidos e verificar a veracidade destes;
- Descrever os aspectos positivos e negativos deste tipo de medidor;

Fluidos e lubrificantes

Mecânica dos Fluidos é a ciência que estuda o comportamento físico dos fluidos, assim como as leis que regem esse comportamento, segundo Brunetti (2008); A importância da mecânica dos fluidos é evidente nos cursos de engenharia, tal relevância está presente na usabilidade dos seus conceitos e leis para a compreensão do universo físico que nos cerca, conseqüentemente também é fundamental no dimensionamento de máquinas e estruturas que são pertinentes às engenharias.

Nos livros de física a caracterização de um fluido se dá pela comparação deste com um sólido, os sólidos têm forma própria ao contrario dos fluidos que não têm forma própria e que assumem o formato do recipiente. Sendo assim a definição de fluido engloba os líquidos e os gases, porém estes diferem devido ao fato de que os gases ocupam todo o volume do recipiente que o contém enquanto que os líquidos possuem volume fixo a temperatura constante.

Na mecânica dos fluidos podemos definir os fluidos de forma diferente, fazendo o uso de outros conceitos, essa nova maneira de definir um fluido faz uso de uma observação prática denominada “Experiência das Duas Placas”. De acordo com esta experiência o fluido se diferencia dos sólidos pelo fato de que ao fixarmos duas placas em superfícies opostas de um sólido, sendo uma placa fixa e a outra móvel, ao aplicarmos uma força tangente à placa móvel esta irá atingir uma situação de equilíbrio estático onde o sólido sofre uma deformação momentânea que cessa quando o equilíbrio é atingido, enquanto que ao realizamos a mesma experiência com um fluido este atinge o equilíbrio dinâmico após algum tempo, isto se deve às forças de coesão das moléculas que balanceiam a força tangencial, sendo a resultante após o equilíbrio igual a zero. O equilíbrio dinâmico só é alcançado após certa velocidade ser atingida pela placa móvel em relação a fixa.

A característica dos fluidos responsável por esta resistência que eles apresentam ao movimento é a viscosidade. Esta é a principal propriedade na escolha de um lubrificante, pois representa o atrito interno existente no fluido. A mecânica de estabelecer uma película lubrificante adequada depende, em grande parte, da viscosidade. Esta propriedade é avaliada quantitativamente em laboratórios utilizando-se aparelhos chamados viscosímetros. Sendo o objetivo desse trabalho a confecção de um viscosímetro baseado nas forças existentes em um corpo que se move no interior de um óleo lubrificante líquido.

A viscosidade pode ser dinâmica ou cinemática, estas diferem apenas pelas unidades adotadas, sendo que a última difere por utilizar apenas grandezas cinemáticas. Podemos converter de uma para a outra de acordo com a equação 1.

$$\nu = \frac{\mu}{\rho}$$

1

Onde:

ν – Viscosidade cinemática [m²/s];

μ – Viscosidade dinâmica [N.s/m²];

ρ – Massa específica [kg/m³];

Lei de Stokes

Ao soltarmos uma esfera num líquido viscoso inicialmente a sua velocidade é igual a zero, mas com o passar do tempo a força resultante agindo sobre ela a acelera e eleva sua velocidade até o ponto em que devido à elevação da velocidade, a força viscosa (proveniente da resistência do fluido ao movimento) aumenta e junto com o empuxo e a força peso torna nula a ação de forças sobre a esfera, ou seja, pode-se verificar que a velocidade aumenta não-uniformemente com o tempo e atinge um valor limite, que ocorre quando a força resultante for nula.

O estado no qual a resultante das forças que atuam em um corpo é nula e este corpo possui velocidade constante e diferente de zero, é denominada equilíbrio dinâmico, para tal situação vale a lei de Stokes, representada na equação

$$\mu = \frac{2R^2(\rho_s - \rho_f)g}{9v} \quad 2$$

Onde:

μ – Viscosidade dinâmica ou absoluta [N.s/m²];

R – Raio da esfera [m];

ρ_s – Massa específica da esfera [kg/m³];

ρ_f – Massa específica do fluido [kg/m³];

g – Aceleração da gravidade [m/s²];

v – Velocidade de queda da esfera [m/s];

A equação 2 é conhecida como lei de Stokes e ela é válida para fluidos em regimes de escoamento laminar. “Escoamento laminar é aquele em que as partículas se deslocam em lamina individualizadas, sem troca de massa entre elas.” (BRUNETTI, 2008, p.69). O escoamento não

laminar é conhecido por escoamento turbulento em que “Escoamento turbulento é aquele em que as partículas apresentam um movimento aleatório macroscópico” (BRUNETTI, 2008, p.69).

Visualmente o escoamento laminar e o turbulento, quando uma esfera está em movimento num fluido é representado pela figura 1.

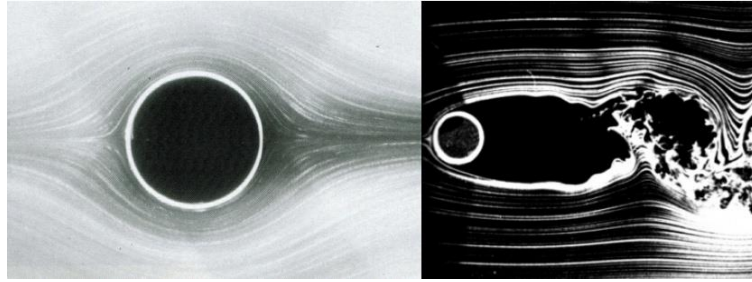


Figura 1 – Representação dos escoamentos laminar e turbulento respectivamente.

Fonte: http://www2.sorocaba.unesp.br/professor/jrborto/2008S2/FT/FT_aula3.pdf

Prototipagem

Na parte eletrônica utilizaremos a plataforma de prototipagem Arduino para criarmos sensores de movimento utilizando os seguintes componentes:

- 1 Placa Arduino UNO
- 3 Resistores dependentes de luz (LDR)
- 3 Lasers
- 3 Resistores de $1k\Omega$
- Protoboard
- Fios

Utilizaremos os LDRs em união com os resistores para criar um divisor de tensão conforme a figura 2.

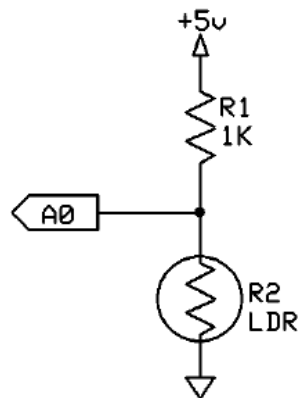


Figura 2 – Esquema do divisor de tensão.

Fonte: <https://portal.vidadesilicio.com.br/apostila-arduino-basico/>

O aspecto final do circuito quando montado será semelhante ao da figura 3.

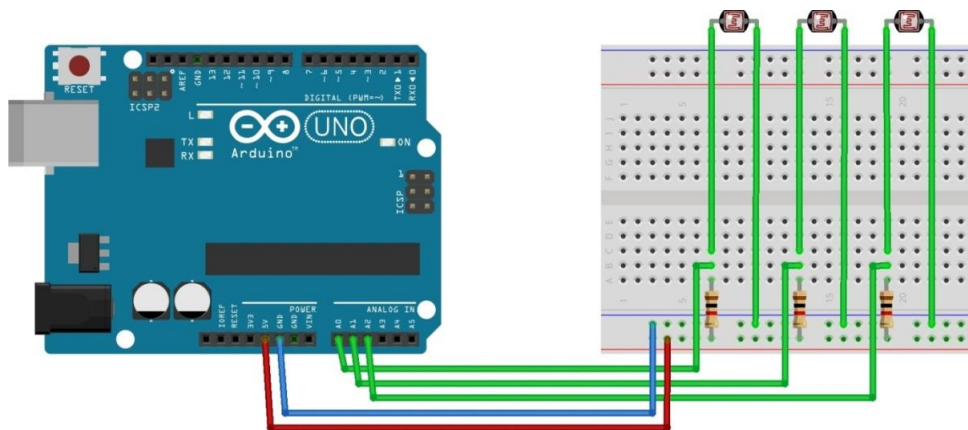


Figura 3 – Aparência do circuito quando completo.

Fonte: Fritzing.org

Em associação com a programação e com o uso dos lasers a placa Arduino detectará em que instante cada feixe de luz saturante sobre cada LDR for interrompido pela esfera em movimento no fluido. Medição essa que nos permite determinar a velocidade da esfera e consequentemente com utilizando a equação 2, a viscosidade dinâmica do fluido.

Bancada experimental

Para a confecção do viscosímetro iremos utilizar materiais que são comumente encontrados em lojas de material de construção, pois este trabalho destina-se principalmente a estudantes e o fácil acesso possibilita que este seja replicado mais facilmente. Iremos utilizar:

- 1 metro de tubo PVC de 1 polegada
- 1 adaptador com flange de 1 polegada
- 1 metro de mangueira cristal de ½ polegada
- Abraçadeira de nylon

O aspecto final da bancada será igual ao apresentado na figura 4.



Figura 4 – Aparência final da bancada experimental.

Fonte: Autor

Metodologia

Utilizaremos o óleo Ursa LA-3 SAE 40 para a obtenção dos dados, portanto este será o objeto de estudo deste trabalho. A classificação SAE

40 dada a este óleo se refere à viscosidade a dada temperatura, sendo possível por meio da figura 5 determinar o equivalente dessa viscosidade na classificação ISO que neste caso é a ISO 150.

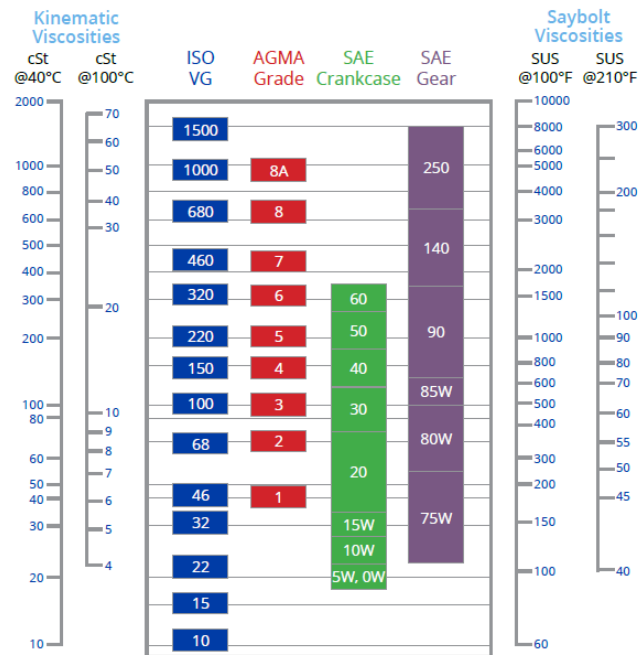


Figura 5 – Gráfico de conversão entre as unidades de viscosidade.

Fonte: <https://www.glennbennettcorp.com/hubfs/PDF/Viscosity-Reference.pdf>

Antes de realizarmos as medições precisamos de alguns dados referentes às propriedades do fluido e da esfera utilizada, essas propriedades de fácil obtenção podem ser vistas na tabela 1.

Massa específica do fluido (27°C)	0,87 g/cm ³
Massa específica da esfera (27°C)	1,031130 g/cm ³
Raio da esfera	0,525 cm
Massa da esfera	5 g
Aceleração da gravidade	980 cm/s ²

Tabela 1 – Valores obtidos das propriedades do óleo SAE 40.

Fonte: Autor

Portanto para determinarmos a viscosidade dinâmica do fluido utilizado, precisamos determinar a velocidade terminal da esfera no fluido, para isso utilizamos a bancada experimental. Vale ressaltar que para garantir maior precisão recomenda-se repetir diversas vezes o processo de medição da velocidade da esfera.

Na bancada experimental liberamos a esfera de certa altura e determinamos sua velocidade terminal utilizando os lasers e os LDRs associados à placa Arduino.

Validação

Para a validação utilizaremos como referência os valores de viscosidade da classificação ISO 150 para temperaturas que variam de 0°C a 150°C, cujos valores de viscosidade podem ser vistos na figura 6 em forma de gráfico.

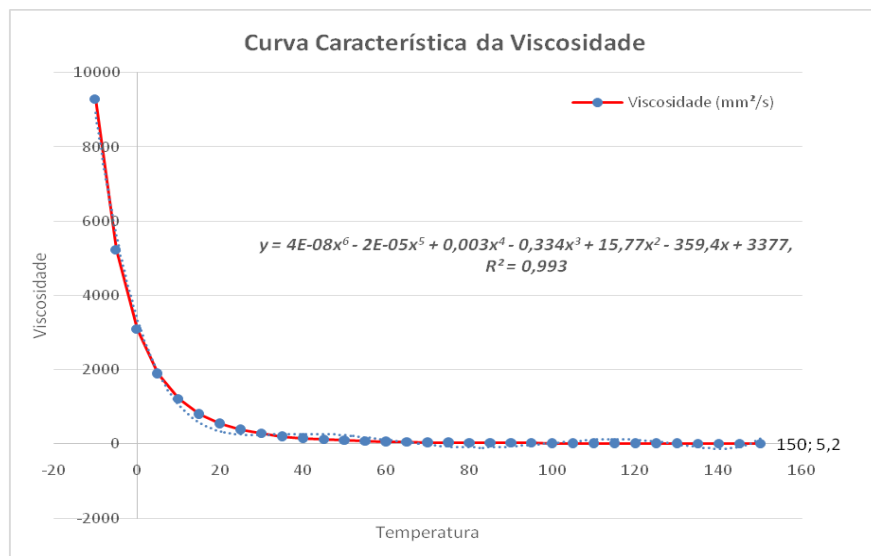


Figura 6 – Gráfico e equação para o óleo ISO 150.

Fonte: Autor

Portanto a viscosidade deste óleo em função da temperatura é caracterizado pela equação 3.

$$\nu = 4E-08T^6 - 2E-05T^5 + 0,0036T^4 - 0,3345T^3 + 15,774T^2 - 359,47T + 3377,8$$

3

Onde:

ν – viscosidade cinemática [mm²/s];

T – Temperatura [°C];

Como podemos observar na figura 6 e na equação 3, a curva da linha de tendência obtida utilizando-se a respectiva função no software Microsoft Excel é uma equação polinomial do sexto grau, equação representa com boa aproximação a variação da viscosidade do óleo de acordo com a temperatura considerada.

Damos destaque ao valor de R^2 desta equação é igual a 0,993. Este R^2 é um coeficiente de determinação do modelo estatístico que resulta na equação característica dos dados utilizados, quanto mais próximo de 1 maior é a capacidade da equação representar a variação da viscosidade com a temperatura.

Resultados e discussão

Para a obtenção dos resultados realizamos 5 repetições, lançando a esfera no líquido sempre da mesma posição, o valor médio do intervalo de tempo entre os LDRs pode ser visto na tabela 2.

Intervalo de tempo entre os dois últimos LDRs
$\Delta t(1-2) = 3216,4$ milissegundos

Tabela 2 – Valor médio do intervalo de tempo entre os dois últimos LDRs.

Fonte: Autor

Podemos observar que este valor será tão preciso quanto maior for o comprimento do tubo de PVC e da mangueira cristal que utilizarmos na montagem da bancada experimental, sendo essa situação confirmada pelo intervalo de tempo decorrido entre os dois primeiros LDRs. É importante lembrar que estes LDRs foram posicionados com espaçamentos de 10 centímetros um do outro, portanto o valor obtido para a velocidade terminal da esfera foi de 3,109066 cm/s.

Em posse de todos os dados e utilizando a equação 2 podemos determinar a viscosidade dinâmica do fluido. Para o óleo estudado

o valor obtido foi de 3.11847 g/cm.s. Utilizando a equação 1 somos capazes de determinar a viscosidade cinemática do fluido, quem possui fica com um valor de 3,575686 cm²/s. Lembrando que 1 centistoke equivale a 1 mm²/s, portanto podemos afirmar que o valor da viscosidade cinemática obtida é de 357,5686 centistokes.

Como podemos observar o valor obtido para a viscosidade cinemática aos 27°C está situado entre os valores catalogados referentes às temperaturas de 25°C e 30°, o que evidencia o nível de precisão satisfatório da bancada experimental.

Conclusões

Através desse texto temos total capacidade de confeccionar um viscosímetro de baixo custo, fazendo uso do conhecimento que normalmente é abordado apenas do ponto de vista teórico para construir uma ferramenta útil tanto do ponto de vista funcional como didático.

Para futuros usuários deste conteúdo que pretendam por em pratica o que foi exposto, que estes dêem preferência a confeccionar um viscosímetro o mais alto possível, tendo em mente que um percurso insuficientemente longo para a esfera percorrer pode ocasionar a situação em que esta não atinge a velocidade terminal, que nos é útil para determinar a viscosidade do fluido em questão.

Os aspectos positivos deste viscosímetro devem-se ao fato de que se utilizam materiais de fácil acesso, tanto por estudantes como por educadores e, além disso, para a obtenção de resultados o volume de fluido utilizado é baixo. E acima de tudo possui um nível de precisão que só é possível devido à utilização da plataforma Arduino.

Referências

- [1] BRUNETTI, Franco. Mecânica dos fluidos. 2. ed. rev. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2008.
- [2] BISTAFA, Sylvio R. Mecânica dos fluidos: noções e aplicações. São Paulo: Blucher, 2010.
- [3] CARRETEIRO, Ronald P; BELMIRO, Pedro Nelson A. Lubrificantes e lubrificação industrial. Rio de Janeiro: Interciência; IBP, 2006.
- [4] A. M. A. Caldas, A. G. A. Caldas, C. A. C. dos Santos, K. C. Lima, A. A. V. Ochoa and J. C. C. Dutra - Experimental Theoretical Study Based On Mathematical Correlations Used In The Determination Of Volume Flows Of Non-Intrusive Character For Lithium Bromide Solution - LiBr
- [5] Caldas, A. M. A., 2012, Desenvolvimento de Método de Medição de Vazão não intrusivo para Sistemas de Refrigeração por Absorção. (Dissertação de Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Joao pessoa – PB.
- [6] PILLING, Sergio. Determinação da viscosidade dinâmica de fluidos pelo método de Stokes. Disponível em: <https://www1.univap.br/spilling/FQE2/FQE2_EXP9_Stokes.pdf>. Acesso em: 21 maio 2018.
- [7] SENAI-ES. Lubrificação-Mecânica. 1997. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/docs/apostilas/mecanica-lubrificacao.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2018.
- [8] HALLIDAY, David; RESNICK, Robert; WALKER, Jearl. Fundamentos de física, volume 2: gravitação, ondas e termodinâmica. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- [9] McROBERTS, Michael. Arduino básico. São Paulo: Novatec Editora, 2011.
- [10] Apostila Arduino Básico. Disponível em: <<https://portal.vidadesilicio.com.br/apostila-arduino-basico/>>. Acesso em: 21 maio 2018.
- [11] MAGOLIS, Michael. Arduino Cookbook. First Edition. United States of America: O'Reilly Media, 2011.
- [12] Ursa LA-3 SAE 40. Disponível em: <<https://cglapps.chevron.com/msdspds/PDSDetailPage.aspx?docDataId=421242&docFormat=PDF>>. Acesso em: 21 maio 2018.
- [13] Sketches utilizados disponíveis em: <<https://www.dropbox.com/sh/2spek0gpx3033ls/AABe6Ws8A1f2MoF0wgS73NmBa?dl=0>>.