

APARATO EXPERIMENTAL PARA ENSAIO DE VISCOSIDADE DE ÓLEO LUBRIFICANTE

Paulo Francisco do Carmo, paulo.carmo@ifc.edu.br¹
Tiago Vinicius Herzmann, tiago.herzmann@ifc.edu.br¹
Alessandro Magno Cardoso Ribeiro, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²
Alexnaldo Santos Bonifácio, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²
Daniel José Tenfen, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²
Djonata de Freitas, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²
Eduardo Tonet, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²
Felipe Augusto da Silva, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²
Fernando Diego Campregher, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²
Jairo Galvão, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²
Joelson Neves Araújo, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²
Renato Miguel Stédile Júnior, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²
Ronildo Moraes de Souza, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²

¹ Instituto Federal Catarinense – Campus Blumenau, Rua Bernardino José de Oliveira - nº 81 - CEP 89070-270 - Blumenau - SC - Fone (47) 3702-1700

² Discente do curso técnico mecânica subsequente do Instituto Federal Catarinense – Campus Blumenau, Rua Bernardino José de Oliveira - nº 81 - CEP 89070-270 - Blumenau - SC - Fone (47) 3702-1700

Resumo: Nas últimas duas décadas, a exigência de desempenho dos óleos lubrificantes tem aumentado tanto na área industrial bem como na automotiva e com isso cresce a necessidade cada vez mais de haver estudos dos parâmetros da qualidade dos óleos lubrificantes. Considerada uma das propriedades mais importantes de um óleo lubrificante, a viscosidade traduz o grau de atrito interno ou o de resistência que o líquido oferece ao escoamento. É recorrente ouvir por profissionais de manutenção mecânica, questionamento do tipo: o óleo lubrificante é mais grosso ou mais fino? Com a proposta de responder esta pergunta, este trabalho tem como objetivo desenvolver um aparato experimental para ensaio de viscosidade de óleo lubrificante. O aparato experimental baseou-se no modelo de viscosímetros tipo Saybolt Universal. O copo do aparato experimental para ensaio da amostra de óleo lubrificante foi adaptado um funil comercial de chapa com espessura de 1,2 mm. O tubo capilar com orifício calibrado foi fabricado em latão com diâmetro de 1,7mm por 12,7mm de comprimento. Realizou-se ensaios com o óleo lubrificante ISO VG 68. Devido a diferença da forma geométrica do copo do viscosímetro padrão, onde é inserida a amostra de óleo e do aparato experimental, os resultados obtidos para a viscosidade se mostraram diferentes do encontrado na literatura. Ao se utilizar de fatores de correções do modelo matemático para o cálculo da viscosidade e os resultados se aproximaram daqueles encontrados na literatura, bem como indicaram que o aparato experimental pode ser usado para demonstrar o que é a viscosidade de óleo lubrificante, cuja indagação é sempre feita pelos profissionais da área de manutenção mecânica.

Palavras-chave: viscosidade, aparato experimental, óleo lubrificante

1. INTRODUÇÃO

Nas últimas duas décadas, ocorreram consideráveis mudanças tecnológicas em diversos setores das atividades industriais o que se deveu, entre outros fatores, ao desenvolvimento das ciências mecânicas e materiais. Com o extraordinário progresso dos maquinários industriais, dos motores automotivos, da siderurgia, da indústria, da aviação, da marinha entre outros, a exigência do desempenho da lubrificação aumentou, necessitando cada vez mais de estudos das propriedades, dos parâmetros de qualidade e das características dos óleos lubrificantes.

Para Silveira *et. al.* (2004), a necessidade dos estudos das propriedades dos óleos lubrificantes se deve também aos processos mecânicos que possuem superfícies ajustadas ao movimento relativo, ao passo que, o contato direto entre estas superfícies causa grande esforço de atrito e gera desgaste que é devido a remoção de material, aquecimento das

partes e peças que se movimentam provocando aumento de ruídos e vibrações, com consequente perda de ajustes e tolerância e, com isso, causa a paralisação de máquinas e equipamentos, cujos reparos causam prejuízos.

O óleo lubrificante é uma substância apropriada para essa finalidade de diminuir os desgastes das peças e também formar uma fina película para interpor o contato direto entre superfícies de partes móveis das peças de máquinas ou equipamentos que se encontra em movimento, quando utilizados, a reduzir o atrito que há entre as mesmas e atenda algumas características tais como: viscosidade adequada para determinada aplicação, resistência às pressões, dissipação de calor, redução da corrosão, remoção de contaminantes, redução de calor e outras.

Segundo Carreiro e Moura (1998), na categoria de óleos lubrificantes, distinguimos: óleos minerais, óleos graxos, óleos compostos e óleos sintéticos. Os óleos minerais são obtidos do petróleo e suas propriedades se relacionam à natureza do óleo cru que lhe deu origem e ao processo de refinação empregado. Os óleos graxos, por sua vez, são os óleos orgânicos, tanto vegetais como animais e sua única vantagem é a sua capacidade de aderência em superfícies metálicas, mas como desvantagem não tem a resistência a corrosão. Os óleos compostos são os óleos minerais que têm adicionado em sua composição certa quantidade de produto orgânico com o objetivo de conferir à mistura uma maior oleosidade ou maior facilidade de emulsão na presença de vapor de água. Os óleos sintéticos, no entanto, suportam as condições mais adversas e possíveis, conduzindo ao desenvolvimento dos produtos sintéticos. Os óleos sintéticos são classificados em grupos: ésteres de ácidos dibásicos, ésteres de organofosfatos, ésteres de silicatos, silicones e compostos de ésteres de poliglicol.

Assim, uma das principais propriedades dos óleos lubrificantes é a viscosidade. A definição de viscosidade, de uma forma geral, conforme Carreiro e Moura (1998), Junior e Ferreira (2008), Santos Jr *et. al.* (2011), Choi *et. al.* (2006), Unisanta (2017), Linsingen (2013), Uggioni (2002) e Silveira *et. al.* (2004) representa a medida do atrito interno ou molecular de um fluido e, quanto maior a resistência oferecida ao deslocamento de um fluido, tanto quanto maior será a sua viscosidade.

Como efeito prático, na maioria dos casos, a viscosidade relativa já é suficiente, uma vez que se determina a viscosidade relativa se cronometrando o escoamento de uma dada quantidade de fluido, através de um orifício calibrado à determinada temperatura. Existem vários métodos em uso, mas conforme aponta Uggioni (2002), o método mais aceito é o do Viscosímetro de Saybolt que mede o tempo em que determinada quantidade de óleo lubrificante deve escoar por um orifício calibrado e, assim, a viscosidade em Saybolt Universal Seconds (SSU) é igual ao tempo gasto (em segundos) para este escoamento.

2. VISCOSÍMETROS

A importância da lubrificação eficaz para o projeto de máquinas e equipamentos está onde as superfícies de partes móveis das peças se atrim em movimento, portanto, é necessário verificar e conhecer o valor da viscosidade dos lubrificantes, já que em vários países se emprega diferentes viscosímetros para medir viscosidade de óleos lubrificantes.

A viscosidade de óleos lubrificantes é determinada pelos viscosímetros que são aparelhos que fornecem a viscosidade cinemática em unidades específicas, determinada pelo intervalo de tempo que certo volume de fluido escoar através de um orifício ou de um tubo calibrado.

Para Tonegutti (2018), os viscosímetros de tubo capilar são utilizados apenas em fluidos newtonianos, sendo que estes funcionam através da verificação do tempo em que o fluido leva para escoar através um tubo de pequeno diâmetro (de tubo capilar). O tempo que o fluido gasta para escoar deve ser diretamente proporcional a sua viscosidade cinemática. De outro entendimento, os viscosímetros rotacionais são utilizados para medir a viscosidade de fluidos newtonianos e não-newtonianos, que podem estar contidos entre dois cilindros coaxiais, duas placas paralelas ou geometria de cone-placa, já que uma se encontra em rotação e em uma determinada velocidade, enquanto a outra permanece estática. O ensaio para estes casos é determinado quando insere certa quantidade de amostra de óleo lubrificante entre os cilindros e, com base no torque utilizado, determina-se a taxa de deformação da amostra nesse ensaio.

Conforme INMETRO (2018), os viscosímetros empíricos têm seu princípio de funcionamento que se baseia na medição puramente cinemática e que se aplica a líquidos, cujo fluxo têm um comportamento newtoniano. A viscosidade é determinada ao se medir o tempo que um dado volume de líquido pela ação da gravidade, e o quanto tempo é gasto para percorrer um capilar de vidro calibrado. Este tempo, multiplicado pela constante de calibração do capilar, é igual à viscosidade cinemática.

Nos viscosímetros tipo Saybolt, segundo Salcedo et al. (2013), são equipamentos que se utiliza para realizar medições de viscosidade em óleos derivados de petróleo em uma gama faixa de temperatura.

Já, em ASTM (2005), encontramos a afirmação de que os viscosímetros tipo Saybolt Universal são usados para medir pequenas e medias viscosidades de fluidos lubrificantes. O valor da medida de viscosidade é determinado pelo tempo em que 60 ml do fluido escoar por um orifício em condições específicas, dado em Segundo universal Saybolt ou SSU. Para medidas de viscosidades elevadas são usados o viscosímetro Saybolt Furol Seconds (SFS ou SSF), onde se determina o tempo gasto em que uma amostra de 60 ml do fluido ensaiado, a uma temperatura específica, escoar pelo orifício de um furol.

Segundo ASTM (2005), os viscosímetros Saybolt são equipamentos construídos de material metálico, que se encontra preenchido com fluido (normalmente utiliza-se água ou óleo com viscosidade determinada por esta norma) para transferência de calor entre a resistência elétrica e os copos de ensaio, posicionados a 30mm de distância conforme mostra a Fig. 1.

Para Giancoli (2014), considerando-se o que se conhece da lei zero da termodinâmica, o que se refere quando dois corpos entram em equilíbrio térmico, quando os dois corpos possuem a mesma temperatura, em um sistema fechado, esse equilíbrio é atingido pela troca de energia entre os elementos em questão, que transita o corpo mais quente (maior energia) para o corpo mais frio (menor energia).

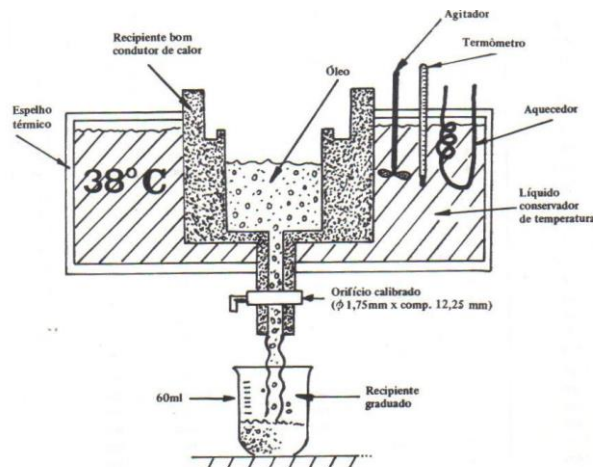


Figura 1. Modelo do Viscosímetro de Saybolt Uggioni (2002)

No funcionamento do viscosímetro apresentado na Fig. 1, o aquecedor ou resistência elétrica tem o papel de fornecer energia ao sistema, neste caso, que tem contato direto com o líquido conservador de temperatura. O líquido, por sua vez, tem como função transportar a energia do aquecedor para o recipiente bom condutor de calor que contém a amostra de óleo a ser ensaiado, passando a receber a energia distribuída. Como é um sistema não isolado, parte da energia é transferida ao ambiente. O equipamento também conta com termômetros utilizados para o controle da temperatura durante o procedimento do ensaio e um agitador de fluido. Assim que o óleo a ser ensaiado se encontra na temperatura estabelecida de ensaio, abre-se o orifício calibrado, permitindo-se o escoamento do fluido, cujo tempo é contado como resultado a medida em SSU Filho e Júnior (2018).

3. VISCOSIDADE DE ÓLEOS LUBRIFICANTES

Segundo Silva (2014), o conceito de viscosidade foi estabelecido, em princípio, por Isaac Newton. Louis Navier e George Stokes, no início do século XIX estudaram, matematicamente, o equilíbrio dinâmico dos fluidos viscosos. Hagen e Poiseuille estudaram o escoamento dos líquidos em condutos circulares capilares, enquanto Boussinesq e Reynolds dedicaram aos estudos de escoamento turbulento.

A viscosidade de óleos lubrificantes é de fundamental importância na lubrificação hidrodinâmica interpondo o contato direto entre superfícies de partes móveis dos maquinários ou equipamentos que se encontram em movimento.

Já Troyer (2018), a viscosidade é uma propriedade física dos fluidos em geral que corresponde a sua resistência ao escoamento em determinada temperatura específica, como pode ser definida também pela deformação gradual por tensões de cisalhamento ou tração, divididas em viscosidade cinemática ou dinâmica, facilmente confundidas, mesmo apresentando grandes diferenças entre si.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT NBR 10441 (2014), descreve o procedimento específico para a determinação da viscosidade cinemática (ν), de produtos líquidos de petróleo, tanto transparentes quanto opacos, pela medição do tempo de escoamento de um volume de líquido fluindo sob gravidade através de um viscosímetro capilar de vidro calibrado. A viscosidade dinâmica (η) pode ser obtida pela multiplicação da viscosidade cinemática medida pela massa específica (ρ) do líquido, determinadas na mesma temperatura. O resultado obtido neste ensaio depende do comportamento da amostra e se aplica a líquidos cujas forças de cisalhamento e taxas de cisalhamento sejam proporcionais (fluidos de comportamento newtoniano). Entretanto, se a viscosidade variar significativamente com a taxa de cisalhamento, resultados diferentes podem ser obtidos a partir de viscosímetros com diâmetros capilares diferentes. O procedimento e os valores de precisão para óleos combustíveis residuais, os quais em algumas condições exibem comportamento não-newtoniano, também estão incluídos.

A American Society for Testing and Materials ASTM (2005), define a viscosidade dinâmica a força tangencial de um líquido sobre a área unitária de um dos dois paralelos separados de uma distância unitária, quando o espaço e preenchido pelo líquido e um dos planos se move em relação ao outro com velocidade unitária no seu próprio plano. Geralmente, a unidade reportada para a viscosidade dinâmica é o Poise (P) dado em gramas por centímetro por segundo ou centipoise (cP) igual a 0,01 P. Logo, no Sistema Internacional (SI) é utilizado o Segundo-Pascal que corresponde a 10P. Já, a definição de viscosidade cinemática, é o resultado da divisão da viscosidade dinâmica pela densidade (d) do líquido (η/d), na mesma temperatura. Nesse caso, a unidade de viscosidade cinemática é o *stoke*, com dimensões de centímetros quadrados por segundo. Assim, a viscosidade cinemática é expressa em *centistokes* (cSt). O valor de 1(um) *stock* corresponde a 100 cSt, enquanto que no SI se tem o milímetro quadrado por segundo (mm^2/s).

Segundo Troyer (2018), para se medir a viscosidade em laboratórios, as técnicas mais utilizadas são as de viscosidade cinemática, que tem como definição a resistência do fluido escoar pela influência da gravidade, sendo obtida pela medida do tempo que a amostra do fluido líquido se desloca por um tubo capilar sobre a força da gravidade.

Conforme Kittiwake (2018), a viscosidade de um fluido é característica mais importante no momento de definir o óleo lubrificante a ser utilizado em sistema de lubrificação, já que a característica principal do mesmo é criar um filme de lubrificação e preencher o espaço entre as superfícies em movimento quando estão em operação ou trabalho.

Estudos referentes a viscosidade de óleos lubrificantes podem ser encontrados nos trabalhos de (Fox et. al., 2014; Brunetti, 2008; Rodrigues, 2009; Almeida et. al., 2012; Moreira et. al., 2015; Laranja, 2005; Mendes, 2009; Borin, 2003; Neto, 2005; Zuleta et. al., 2017, Nakayama, 1998) e outros.

4. APARATO EXPERIMENTAL DE ENSAIO DE ÓLEO LUBRIFICANTE

A inviabilidade e pouca utilidade dos óleos minerais puros, como óleos lubrificantes, foram devidos em fatores econômicos, a legislação em vigor e sua degradação por oxidação o que gera resíduos. Os óleos lubrificantes sintéticos estão cada vez mais utilizados por apresentarem características únicas se comparados com os óleos lubrificantes minerais. Os óleos lubrificantes sintéticos são obtidos em laboratórios e através de reações químicas, enquanto os óleos minerais são obtidos através da destilação fracionada Silva (2014).

Uma das principais propriedades dos óleos lubrificante, tanto para os minerais quanto para os sintéticos, é a viscosidade. Para efeito prático, a determinação da viscosidade de óleos lubrificantes é obtida cronometrando o escoamento de uma dada quantidade de fluido, através de um orifício calibrado, a uma determinada temperatura. Existem vários métodos para medir a viscosidade de óleos lubrificantes em uso, o mais aceito é o Viscosímetro de Saybolt.

A proposta e adaptação do aparato experimental deste trabalho teve como base autores como Uggioni (2002) e ASTM (2005) e literatura pertinente. Para a construção, foi adaptado um funil comercial de chapa, com espessura de 1,2 mm, caixa metálica com dimensões 285mm x 245mm x 245mm, vaselina líquida industrial, resistência elétrica, registro de esfera, agitador e termômetros, como mostra a Fig. 2(a). O tubo capilar com orifício calibrado, foi fabricado em latão de diâmetro de 1,7mm por 12,7mm de comprimento conforme a Fig. 2(b) que segue.



(a) - Vista geral da montagem experimental e testes de calibração.



(b) – Tubo capilar com orifício calibrado.

Figura 2 – Aparato experimental para ensaio de viscosidade de óleo lubrificante.

O aparato experimental desenvolvido, baseado no viscosímetro Saybolt, utiliza-se para obter a viscosidade cinemática de óleo lubrificante. A viscosidade é obtida pelo tempo em segundos que 60 ml da amostra escoar por um orifício de dimensões padronizadas.

A determinação da viscosidade se dá após o óleo lubrificante ter atingido a temperatura de 40°C, onde se abre o registro de esfera e a amostra de óleo lubrificante passa a escoar, marca-se o tempo com o auxílio de um cronômetro até que o filete de óleo lubrificante atinja a marca necessária de 60 ml.

A amostra de óleo lubrificante usada para o teste de calibração do aparato experimental foi o Mobil Vactra Oil N° 2 - ISO VG 68 que é recomendado para guias de barramentos horizontais de pequenas ou medias máquinas ferramentas. Estes são igualmente adequados para aplicações de circulação em grandes máquinas e como óleo hidráulico para trabalhos de severidade moderada Mobil (2016).

Elementos necessários para realização do ensaio de viscosidade:

- aparato experimental.
- recipiente graduado até 100 ml.
- cronometro de resolução 0,1 segundos.
- termômetro de resolução de 1°C.

- amostra de óleo lubrificante Mobil Vactra Oil N° 2 - ISO VG 68.

A viscosidade do óleo lubrificante conforme, Linsingen (2013), medida em *centiStokes* (cSt), é dada pela Eq. (1):

$$\nu = 0,216SSU - (166/SSU) \text{ [cSt]} \quad (1)$$

Ajustando a Eq. (1) com o fator de correção VIB, tem-se o valor aproximado de viscosidade cinemática (cSt) como mostra a Eq. (2) para o ensaio do aparato experimental:

$$\nu_{VIB} \cong [0,81216 \text{ VIB}_{\text{Média}} - (624,16/ \text{VIB}_{\text{Média}})] \text{ [cSt]} \quad (2)$$

Onde: VIB = valor do tempo gasto para o escoamento de 60 ml da amostra de óleo lubrificante no aparato experimental

Na realização do ensaio de viscosidade da amostra do óleo lubrificante Mobil Vactra Oil N° 2 - ISO VG 68, colocou-se em funcionamento o aparato experimental Fig. 2(a), até que o líquido conservador de energia (vaselina líquida industrial) se equilibra sua temperatura com a do aquecedor (resistência elétrica) em 40°C, com o controle de temperatura por termômetro. Verificado os procedimentos para o ensaio e os ajustes necessários do aparato experimental, inseriu-se a amostra do óleo lubrificante no funil, a fim de realizar o ensaio, sendo que, nessa fase, a amostra a ser ensaiada deve se encontrar na temperatura de ensaio de 40°C. Quando a amostra se encontra na temperatura de ensaio 40°C, abre-se o registro de esfera que permite a mesma escoar pelo orifício calibrado Fig. 2(b), cronometrando-se o tempo gasto para o escoamento de 60ml no recipiente graduado. Após anotar os tempos cronometrados em VIB, esses devem ser convertidos em escoamento *centiStokes* (cSt) conforme Eq. (2), e comparar os resultados de viscosidade tabelada dada por Uggioni (2002), Fig. 3.

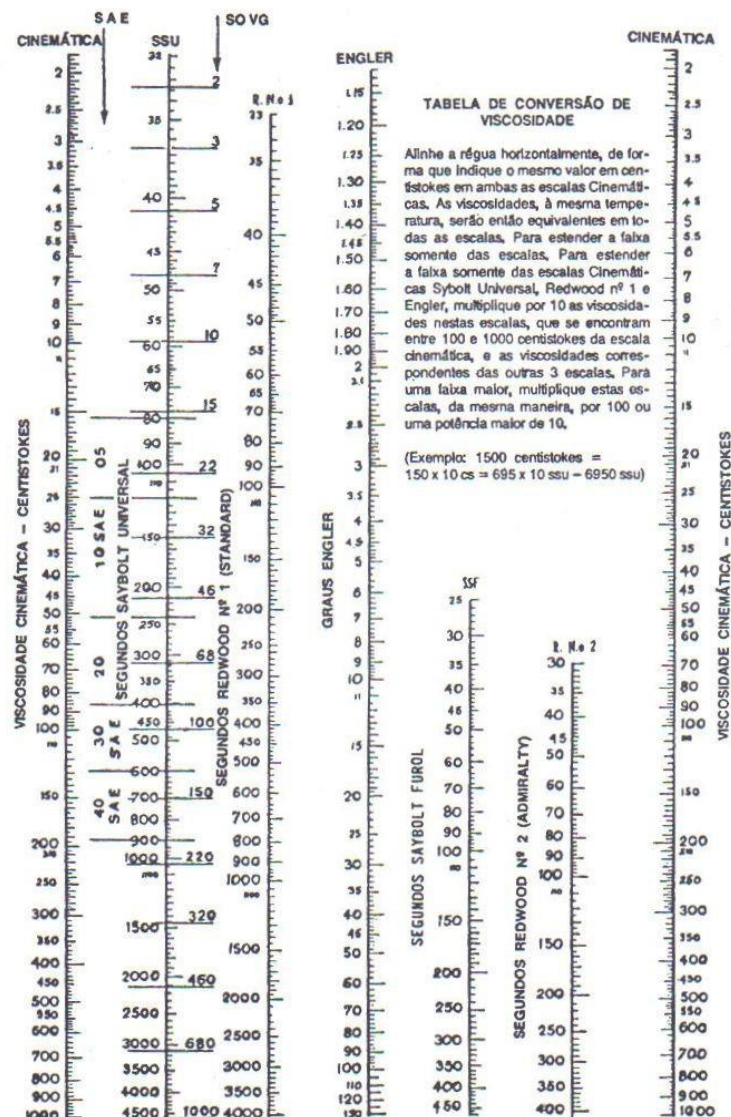


Figura 3 – Tabela de conversão de viscosidade Uggioni (2002)

Para o cálculo do erro relativo, este foi baseado no trabalho de FCTUC (2018), tendo como resultado, o valor do quociente e o valor (medido, calculado ou verdadeiro) da grandeza Eq. (3):

$$\text{Erro (\%)} = [(x_0 - x) / x_0] \times 100 \quad (3)$$

Ao se analisar, dimensionalmente, a Eq. (3), verificou-se que o erro relativo é largamente dependente dos valores aproximados, sendo representado, muitas vezes, em termos de percentuais. Entretanto, o erro relativo mostra uma diferença entre os valores aproximados e exatos como uma porcentagem do valor exato.

Coletado os dados do ensaio, criou-se a Tab. 1 com a finalidade de se apresentar e comparar os resultados encontrados em VIB, média simples, convertidos em (cSt) Eq. (2), valor de referência para amostra do óleo lubrificante ISO VG 68, conforme Fig. 3, e o erro relativo Eq. (3).

Tabela 1. Resultados do ensaio das amostras de óleo lubrificante Mobil Vactra Oil N° 2 - ISO VG 68 na temperatura de 40°C usado o aparato experimental. Valores médios obtidos em 3 ensaios para cada amostra.

Amostra	VIB ₁	VIB ₂	VIB ₃	Σ Total	VIB _{Média}	$v_{VIB} \cong [\text{cSt}]$	Valor de Referência	Erro (%)
A1	103	93	85	296	296/3	74	Conforme Figura 3 para o óleo lubrificante ISO VG 68 cSt = 68	8,8
A2	88	94	89	271	271/3	65		4,4
A3	89	90	88	267	267/3	66		3
A4	89	90	85	264	264/3	65		4,4
A5	88	88	89	265	265/3	65		4,4
A6	92	89	85	266	266/3	65		4,4

Nos ensaios realizados, os valores da viscosidade dado em v_{VIB} e que foram obtidos pela Eq. (2), apresentados na Tab. 1, estão convertidos para *Centistokes* [cSt], que possibilitou a comparação dos resultados obtidos com o ábaco da Fig. 3 – Tabela de conversão de viscosidade. Com esses resultados da viscosidade em v_{VIB} , realizou-se o cálculo de erro relativo, das medidas obtidas pelo aparato experimental, dando uma ideia de sua precisão. Cada amostra foi submetida a três ensaios a temperatura de 40°C medindo o tempo de escoamento de cada uma delas.

O resultado da amostra A1 ficou acima do valor de referência 68 [cSt], que o apresenta com o ábaco da Fig. 3. Pode ter ocorrido uma falha ou erro ao se proceder a primeira medida obtida no ensaio, elevando o valor de VIB para 103 aumentando o valor de v_{VIB} para 74 [cSt], cujo erro relativo de 8,8%. Nas amostras A2, A4, A5 e A6 tiveram seus valores v_{VIB} iguais a 65 e ficaram abaixo do valor de referência 68 [cSt], apresentando um erro relativo de 4,4%. Para a amostra A3, com o valor de v_{VIB} igual a 66, ficou próximo do encontrado no ábaco da Fig. 3 em relação ao valor de referência 68 [cSt], apresentando um erro relativo de 3%.

A média simples dos resultados obtidos para as seis amostras experimentadas, encontrou-se o valor para v_{VIB} de 66,67 [cSt], que ficou próximo ao apresentado no ábaco da Fig. 3 e com relação ao valor de referência 68 [cSt], cujo um erro relativo de 2%.

5. CONCLUSÃO

O aparato experimental para ensaio de viscosidade foi desenvolvido e fabricado pelos alunos do do curso Técnico Subsequente em Mecânica, no laboratório de mecânica do IFC – campus Blumenau, com a finalidade de entender a característica dos óleos lubrificantes e ajudar na sua formação, preparando-os para os problemas que podem ser encontrados na trajetória de sua atividade profissional.

Com esses resultados obtidos no ensaio, oriundo das amostras do óleo lubrificante Mobil Vactra Oil N° 2 - ISO VG 68, verificou-se que os valores encontrados se aproximaram do valor de referência, apresentaram resultados satisfatórios, próximo do que era esperado. O erro relativo das medias totalizou 2% do apresentado no cálculo da viscosidade em relação ao valor de referência e isso pode ser devido a adaptação do funil comercial, no lugar do copo padronizado, devido a geometria, que deverá ser investigado em trabalhos futuros.

Verificou-se, no entanto, que para uma melhor avaliação e apontamento com dados para ajuste do aparato experimental proposto, bem como a correção do modelo matemático para v_{VIB} e, ainda é necessário, realizar ensaios com diferentes amostras de óleo lubrificante com variadas faixas de temperaturas.

Observou-se que o aparato experimental pode propiciar aplicação de estudos nos conteúdos de transferência de calor e massa, parâmetros para modelos matemáticos e pode ser usado para aulas práticas que usam os conceitos envolvidos na viscosidade de fluidos líquidos, como os óleos lubrificantes.

Assim, a forma mais tradicional de se compilar um resultado é a de confrontar seus prováveis resultados com os já experienciados em outras oportunidades, bem como a observância de desvios que poderão ocorrer, quer sejam esses no projeto, quer sejam na execução e até mesmo na observação dos resultados para se efetivar dados comparativos. Com isso, o que se espera da experiência que outras possam surgir e até mesmo se confrontarem com os dados já obtidos, de forma que haja a necessária evolução científica para que se melhore os níveis de viscosidade dos óleos lubrificantes.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014, “ABNT NBR 10441: Produtos de Petróleo – Líquidos Transparentes e Opacos - Determinação da Viscosidade Cinemática e Cálculo da Viscosidade Dinâmica”, Rio de Janeiro, Brasil.
- Almeida, F.F.E., Morais, J.S.B., Santos, T.S., Silva, S.Y.C., Silva, A.S., 2012, “Elaboração e Aplicabilidade de Dispositivo Construído com Material de Baixo Custo Destinado a Medir a Viscosidade de Fluidos”, Proceedings of the VII Congresso Norte e Nordeste de Inovação, Palmas, Tocantis, Brasil.
- ASTM - American Society for Testing and Materials, ASTM D 88-94(2005), 2005, “Standard Test Method for Saybolt Viscosity”, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2005.
- Borin, A., 2003, “Aplicação de Quimiometria e Espectroscopia no Infravermelho no Controle da Qualidade de Lubrificantes”, Dissertação de Mestrado, Universidade de Campinas – UNICAMP, Campinas, Brasil.
- Brunetti, F., 2008, “Mecânica dos Fluidos”, 2.ed. São Paulo: Pearson Education.
- Carreteiro, R.P., Moura, C.R.S, 1998, “Lubrificantes e Lubrificação”, Ed. Makron Books, Sao Paulo, Brazil, 491 p.
- Choi, C., Ferreira, P., Pedrosa, R., 2006, “Laboratório de Lubrificação e Vibrações – Rlatórios 2005/2006”, Universidade do Porto. Faculdade de Engenharia – FEUP.
- FCTUC – Departamento de Física da FCTUC, 2018, “Introducao ao cálculo de erros na medida de grandezas Físicas”, Disponível em: < http://fisica.uc.pt/data/20072008/apontamentos/apnt_221_1.pdf> Acesso em: 01 fev. 2018.
- Filho, M.A.S.R., Júnior, A.I.J., 2018, “Projeto e Construção de um Viscosímetro de Saybolt”, Disponível em: <http://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/MARCO%20ANTONIO%20S_%20RODRIGUES%20F.pdf> Acesso em: 01 fev. 2018.
- Fox, R.W., McDonald, A.T., Pritchard, P.J., 2014, “Introdução à mecânica dos fluidos”, 8. ed. Rio de Janeiro: LTC.
- Giancoli, D. C., 2014, “Physics: principles whit applications”, 7.ed. Nova York: Pearson Education.
- INMETRO, Instituto Nacional de Metrologia, 2018, “Qualidade e Tecnologia. Viscosímetro Empírico”, Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia, Disponível em: <<https://glossarioinmetro.wordpress.com/2011/10/20/viscosimetro-empirico/>>. Acesso em: 01 fev. 2018.
- Junior, J.B.S., Ferreira, J.C., 2008, “Construção e Caracterização de um Viscosímetro Didático para Utilização em Aulas de Mecânica dos Fluidos”, Boletim Técnico da FATECSP BT/24 – pp.42-46.
- Kittiwake, Kittiwake Developments Limited, 2018, “Viscosity: A lubricant’s most important characteristic”, Disponível em: < http://www.kittiwake.com/sites/default/files/2%20-%20Viscosity%20Dec12_0.pdf> Acesso em: 01 fev. 2018.
- Laranja, R.A.C., 2005, “Mecânica dos Fluidos”, ULBRA, Canoas, Brasil.
- Linsingen, I. von, 2013, “Fundamentos de Sistemas Hidráulicos” 4. ed. rev.: Editora da UFSC, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil, 398 p.
- Mendes, J.F., 2009, “Mecânica dos Fluidos”, Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, Portugal.
- Mobil, 2016, “Mobil Vactra Oil Série Numerada” Lubrificantes para guias e barramentos.
- Moreira, A.F., Silva, N.D., Silva, D.L., Silva, A.P.L., Souza, V.R.F.B., Almeida, F.E.F., Júnior, A.G.C., 2015, “Desenvolvimento de u viscosímetro Saybolt Furol em Temperaturas Variadas, Utilizando o Conceito da ABP na Disciplina de Instrumentação Eletrônica”, Proceedings of the XLIII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Vol. 1, Mauá, Brasil,
- Nakayama, Y., 1998, “Introduction to fluid mechanics”, Boston: Butterworth-Heinemann.
- Neto, W.B., 2005, “Parâmetros de Qualidade de Lubrificantes e Óleo de Oliva Através de Espectroscopia Vibracional, Calibração Multivariada e Seleção de Variáveis”, Tese de Doutorado, Universidade de Campinas – UNICAMP, Campinas, Brasil.
- Rodrigues, C.A.C., 2009, “Lubrificação De Motores Diesel”, Dissertação de Mestrado, faculdade de Engenharia, Universidade do Porto, Portugal.
- Salcedo, M.F.C., Restrepo, R.R., Morales, C.A., 2013, “Diseño y Construcción de un Viscosímetro Saybolt y su Implementación como Instrumento Didáctico”, Scientia et Technica Año Año XVIII, Vol. 18, No 2, Agosto de 2013. Universidad Tecnológica de Pereira, pp 387-393.
- Santos Jr, A.A., Silva, A.E. O., Mello, G.V.J., Martins, I., Mello, M.L.S., Braga, J.W.B, 2011, “Determinação do Índice de Viscosidade de Óleos Lubrificantes de Motores Através da Espectroscopia no Infravermelho e PLS”, Sociedade Brasileira de Química (SBQ), 34a Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química. Florianópolis -SC, Brasil.
- Silva, R.J., 2014, “Avaliação das Características Físico-químicas do Óleo Lubrificante Automotivo Usado”, Dissertação de Mestrado, Universidade Potiguar, Natal/RN, Brasil.
- Silveira, J.L., Maciel, W.C., Moura, A.S., 2004 “Ensinando o Estudo Técnico e a Averiguação da Viscosidade Rotulada de Óleos Lubrificantes Comercialmente Disponíveis: Aplicação em Motores de Combustão Interna e Componentes Mecânicos”, Proceedings of the XXXII Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia, Vol. 1, Brasília, Brasil, pp. 1-12.
- Tonegutti, C.A., 2018, “Reologia”. Paraná: Universidade Federal do Paraná. Notas de Aula. 20-?, Disponível em: <http://www.quimica.ufpr.br/tonegutti/CQ170/Aula_Reologia.pdf>. Acesso em: 01 fev. 2018.
- Troyer, D., 2018, “Understanding Absolute and Kinematic Viscosity”, Disponível em: < <http://www.machinerylubrication.com/Read/294/absolute-kinematic-viscosity>> Acesso em: 01 fev. 2018.
- Uggioni, N., 2002, “Hidráulica Industrial”, Editora Sagra Luzzato, Porto Alegre, Brasil,

Unisantia, 2017, “Química Geral Experimental II – Laboratório 8 - Viscosidade”, Disponível em: <curso.unisantia.br/quimicabasica/downloads/laboratorio8.DOC> Acesso em 01 out. 2017.

Zuleta, R.E.M., Osorio, R.A.P., Estrada, H.J.R., 2017, “Construcción de un Viscosímetro Saybolt Universal”, Revista CINTEX, v.1, n. 11, p. 46-53.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

EXPERIMENTAL DEVICE FOR VISCOSITY TESTING OF LUBRICATING OIL

Paulo Francisco do Carmo, paulo.carmo@ifc.edu.br¹

Tiago Vinicius Herzmann, tiago.herzmann@ifc.edu.br¹

Alessandro Magno Cardoso Ribeiro, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²

Alexnaldo Santos Bonifácio, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²

Daniel José Tenfen, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²

Djonata de Freitas, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²

Eduardo Tonet, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²

Felipe Augusto da Silva, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²

Fernando Diego Campregher, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²

Jairo Galvão, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²

Joelson Neves Araújo, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²

Renato Miguel Stédile Júnior, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²

Ronildo Moraes de Souza, tecnicomecanicoblumenau@gmail.com²

¹ Instituto Federal Catarinense – Campus Blumenau, Rua Bernardino José de Oliveira - nº 81 - CEP 89070-270 - Blumenau - SC - Fone (47) 3702-1700

² Discente do curso técnico mecânica subsequente do Instituto Federal Catarinense – Campus Blumenau, Rua Bernardino José de Oliveira - nº 81 - CEP 89070-270 - Blumenau - SC - Fone (47) 3702-1700

Abstract. In the last few decades, the demand for better performance of lubricant oils has been increasing in the industry and automotive field, therefore, the necessity for better lubricant oil's study parameters grows each time. Accounted as one of the most important properties of the lubricant oil, the viscosity relates to the internal friction or resistance the liquid offers to flow. It's common to hear from mechanical maintenance professionals the following saying: Is the lubricant oil thicker or thinner? With the purpose of answering this question, this work intends to develop an experimental device for the lubricant oil's viscosity testing. The experimental device was based on the model of Saybolt Universal's viscosimeters. The experimental device's cup used for the lubricant oil's sample testing, was adapted with a commercial funnel with a 1,2 mm thick steel sheet. The capillary tube with a calibrated orifice was made with a 1,7 mm of diameter by 12,7 mm length brass. Testings were made with the lubricant oil ISO VG 68. Due to the difference in shape of the standard viscometer's cup, where the oil's sample is inserted and due to the experimental device, the obtained results for viscosity were different from the one's in the literature. After utilizing the correction factors of the mathematical template for the calculus of viscosity, the results got closer of those in the literature, the results also appointed that the experimental device can be used to show what is the viscosity of the lubricant oil, which the inquiry is always made by the professionals of the mechanical maintenance area.

Keywords: viscosity, experimental device, lubricating oil