

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA NO COMPORTAMENTO REOLÓGICO DO ÓLEO LUBRIFICANTE ISO 32

Mario Vitor Leite

Tecnólogo Mecânico, aluno de mestrado do Programa de Pós-Graduação Engenharia Mecânica e de Materiais do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná (Cefet-PR – Unidade de Curitiba).

E-mail: mvl@ppgem.cefetpr.br

Janaina Tomazoni Santos

Aluna de Engenharia Industrial Mecânica do Centro Federal de Educação Tecnológica do Paraná. E-mail: janaina.santos@br.bosch.com

Márcia Silva de Araujo

Ph.D. em Engenharia, Professora do Cefet-PR – Unidade de Curitiba. E-mail: araujo@cefetpr.br

Giuseppe Pintaúde

Dr. em Engenharia, Professor do Cefet-PR – Unidade de Curitiba. E-mail: pintaude@cefetpr.br

Resumo. *A carência na padronização de ensaios tribológicos tem motivado os pesquisadores desta área a estabelecer diversas condições experimentais a fim de obter uma maior compreensão de seus fenômenos. A contribuição deste artigo é apresentar um método que possibilite determinar experimentalmente a influência da temperatura no comportamento reológico do óleo lubrificante (ISO 32) destinado a um ensaio de desgaste do tipo esfera contra plano, onde será estudado a influência da temperatura, e outros fatores, no mecanismo de desgaste por fadiga de contato. Os ensaios para determinar o nível de influência da temperatura foram determinados neste trabalho de forma experimental num viscosímetro Brookfield de cilindros concêntricos. A temperatura de interesse é 40 °C, temperatura normalizada para ensaios de viscosidade, sendo a mesma estudada com uma variação de ± 5 °C. Os resultados obtidos serão utilizados para a definição das condições de ensaio de fadiga de contato e também para o cálculo teórico da espessura mínima de óleo, fator que define o regime de lubrificação.*

Palavras-chave: viscosidade, regime de lubrificação, desgaste por fadiga de contato.

1. ABORDAGEM GERAL

Um sistema mecânico é normalmente composto por partes que trabalham em contato e sob um determinado carregamento. O resultado deste contato, ao longo de um determinado período de tempo, é o desgaste, caracterizado por uma remoção de material da superfície. Um modo particular de desgaste é aquele causado pela fadiga de contato, o qual ocorre em componentes submetidos a altas pressões cíclicas de carregamento, tais como em engrenagens e rolamentos, sendo que esta é a principal causa de falhas nestes componentes (ASM Handbook, 1992).

O projeto dos componentes submetidos a este modo de desgaste busca condições que amenizem a severidade de operação destes componentes. Uma solução tem sido utilizar um lubrificante que seja capaz de formar uma camada entre as superfícies em contato de baixa resistência ao cisalhamento. Em alguns sistemas lubrificados, o lubrificante separa completamente as superfícies e não se formam junções entre as asperezas. Desta forma, na maioria das vezes, resulta em uma redução na taxa de desgaste (HUTCHINGS, 1992).

Equipamentos têm sido desenvolvidos para estudar os mecanismos de desgaste por fadiga de contato, sendo suas principais características a geometria de contato não-conforme (e.g esfera sobre plano e disco contra disco), a possibilidade de aplicação de elevadas pressões de contato e simular condições de diferentes regimes de lubrificação.

O regime de lubrificação pode ser estimado através da curva de Stribeck, que é uma relação entre o coeficiente de atrito (μ) e a separação normalizada (λ) entre as superfícies (Tomanik et al, 2000). A vantagem na utilização destas bancadas de testes está na possibilidade de controlar os parâmetros que influenciam no regime de lubrificação, conseqüentemente, no processo de desgaste.

Um dos importantes parâmetros, quando se busca a compreensão do regime de lubrificação, é a temperatura do óleo. Devido à carência na padronização dos ensaios tribológicos, este artigo tem seu estudo direcionado à influência deste parâmetro no regime de lubrificação em um ensaio de desgaste por fadiga de contato. Este estudo será feito através da análise do comportamento reológico do óleo lubrificante (ISO 32).

2. LUBRIFICAÇÃO E LUBRIFICANTES

O processo de lubrificação tem como função suportar as pressões entre as superfícies em contato ajudando a separá-las e, em alguns casos, reduzir a resistência ao rolamento e ao deslizamento (Rabinowicz, 1965).

A efetividade da formação de um filme fluido lubrificante pode ser determinada pelo regime de lubrificação. A curva de Stribeck, ver Fig. (1), tem sido amplamente utilizada no projeto de componentes mecânicos como rolamentos, e também para explicar os vários tipos nos diferentes campos de lubrificação.

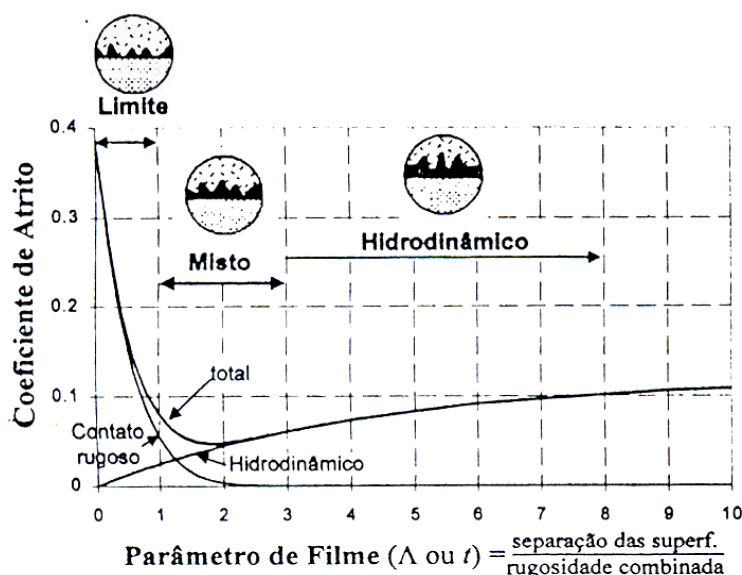


Figura 1. Curva de Stribeck indicando os três regimes de lubrificação (Tomanik et al, 2000).

Na lubrificação hidrodinâmica as superfícies estão separadas por um filme espesso comparado com a altura das asperezas. A pressão hidrostática no filme lubrificante causa uma pequena deformação elástica na superfície que pode ser considerada rígida. No regime de lubrificação elasto-hidrodinâmico as pressões locais são altas e o filme lubrificante pouco espesso, resultando em grandes deformações elásticas que não devem ser negligenciadas. Na lubrificação limite, a espessura do filme de óleo é da ordem da altura das asperezas. Nessas condições, o coeficiente de atrito é, em geral, insensível à velocidade, viscosidade ou carga.

Na lubrificação líquida existem vários fatores que podem influenciar sobre suas características. Klaus e Tewksbury (Blau, 1996) têm discutido tais fatores em detalhe; entre outros, cita-se:

- viscosidade e sua relação com temperatura e pressão.
- pressão de vaporização.
- densidade.
- estabilidade e propriedades térmicas.
- estabilidade de oxidação.

A temperatura é um parâmetro de grande influência e que pode ser monitorado durante os experimentos que necessitam de seu controle, como é o caso dos ensaios lubrificados de desgaste por fadiga de contato. É conhecido que a viscosidade do fluido usualmente diminui com a temperatura, reduzindo sua utilidade como lubrificante. O termo índice de viscosidade, abreviado como **VI**, é a medida que expressa essa variação.

A ASTM standard D 341 (Blau, 1996) recomenda usar a equação de Walther para representar a dependência da viscosidade do lubrificante com a temperatura. Definindo Z como a viscosidade cinemática em centistoke mais uma constante (variando tipicamente entre 0,6 e 0,8 – sendo 0,7 a recomendação dada pela ASTM), T igual à temperatura em Kelvin ou Rankin, e A e B surgem como constantes para um dado óleo, então, tem-se a Eq. (1).

$$\log_{10}(\log_{10} Z) = A + B(\log_{10} T) \quad (1)$$

A relação de interesse entre viscosidade e temperatura está direcionada para os estudos em uma bancada de teste de desgaste por fadiga de contato. Portanto, procura-se obter com os resultados apresentados neste artigo uma variação de temperatura tolerável para estes ensaios. Conforme pesquisas realizadas, a maioria dos ensaios de desgaste por fadiga de contato é realizada com a temperatura variando desde a ambiente até 50 °C. Neste artigo será estudado o comportamento da viscosidade do óleo lubrificante ISO 32 na temperatura de 40 ± 5 °C. Optou-se por 40 °C por ser esta uma temperatura normalizada nos ensaios de viscosidade.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O estudo do óleo lubrificante ISO 32, de especificação conforme a Tab. (1), foi realizado utilizando um viscosímetro de cilindros concêntricos Brookfield, modelo LV DV-III+. A Fig. (2) apresenta uma representação esquemática do mesmo.

Tabela 1. Propriedades do óleo lubrificante utilizado nos ensaios.

ÓLEO LUBRIFICANTE	VISCOSIDADE (cSt) à 40 °C; ASTM D - 445	DENSIDADE (kg/m³)
ISO 32	31,5	830

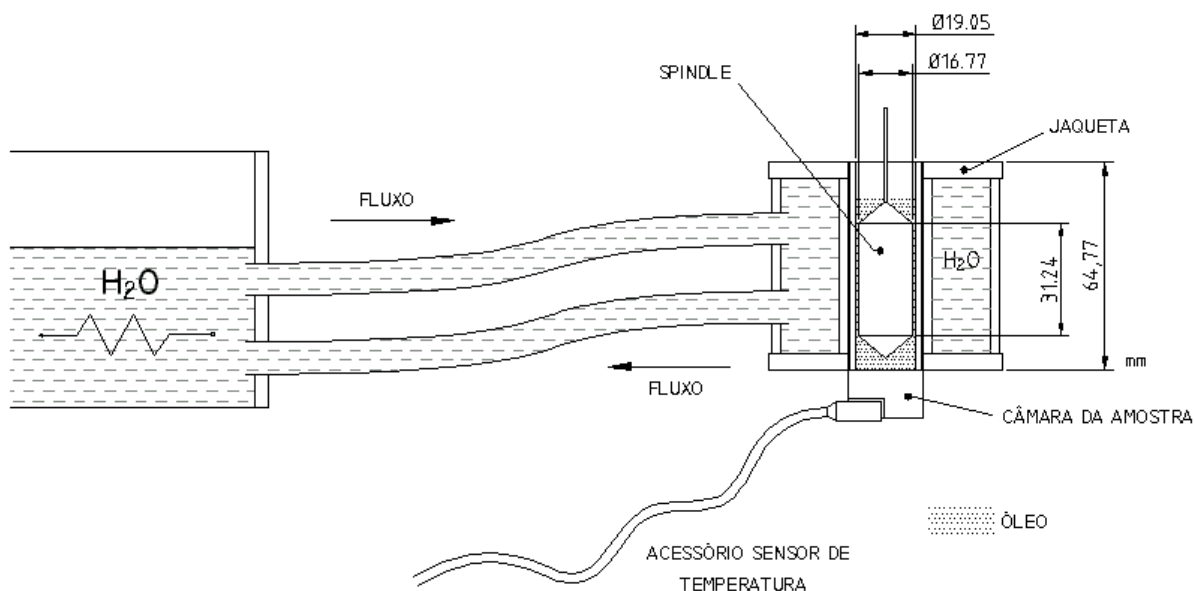


Figura 2. Representação esquemática do viscosímetro Brookfield, com dimensões da câmara da amostra e do spindle.

O sistema para o controle de temperatura deste equipamento é realizado através de um Banho Termostatizado TECNAL, modelo Te-184, que tem como princípio de funcionamento o aquecimento de água por resistência elétrica. O volume de aproximadamente 8 l aquecido circula através de mangueiras de silicone interligadas à jaqueta que isola termicamente a câmara de amostra. O óleo nela vazado aquece-se principalmente por condução, conforme montagem mostrada na Fig. (2).

Foram realizados sequencialmente onze ensaios, sendo cada qual relativo a uma temperatura do intervalo de 35 a 45°C, cujo incremento estabelecido foi de 1 °C. Para cada nova temperatura ensaiada, a amostra era então trocada, a qual constituía-se de um volume de 8 ml do óleo lubrificante analisado. Para a aquisição dos dados, foi elaborado um programa de variação da velocidade angular do spindle em intervalos de tempos determinados, através do aplicativo Rheocalc 32, específico para o viscosímetro em questão.

O spindle utilizado é designado pelo modelo SC4-21 e a respectiva câmara de amostra, SC4-13RP, cujas especificações e dimensões são mostradas conforme Fig. (2).

Os limites máximo e mínimo de velocidade de rotação do spindle foram definidos de forma que o torque requerido se mantivesse dentro dos limites definidos pelo fabricante, de maneira a assegurar a confiabilidade dos resultados fornecidos pelo aparelho. A velocidade iniciou-se com um valor de 125 rpm e, após um intervalo de 15 segundos, o valor instantâneo da viscosidade em centipoise era registrado, seguido de um incremento de 5 rpm. Assim seguiu-se sucessivamente até atingir o valor máximo de 250 rpm, quando então o programa iniciava o caminho de velocidades decrescentes, até chegar-se novamente a 125 rpm, definindo o final do teste. Foram obtidos 51 pontos para cada temperatura ensaiada, sendo 26 no sentido crescente de velocidades e 25 no decrescente, de forma que, para cada um deles, associou-se o conjunto de valores obtidos para os parâmetros analisados, entre os mais importantes: viscosidade absoluta em centipoise, taxa de cisalhamento em s^{-1} e temperatura na escala Celsius. A temperatura foi medida através de um cabo acessório sensor, tipo termopar, acoplado à câmara da amostra e ao aparelho, e fornecida com resolução de 0,1 °C.

O procedimento para a execução dos testes foi seguido conforme o fluxograma apresentado na Fig. (3).

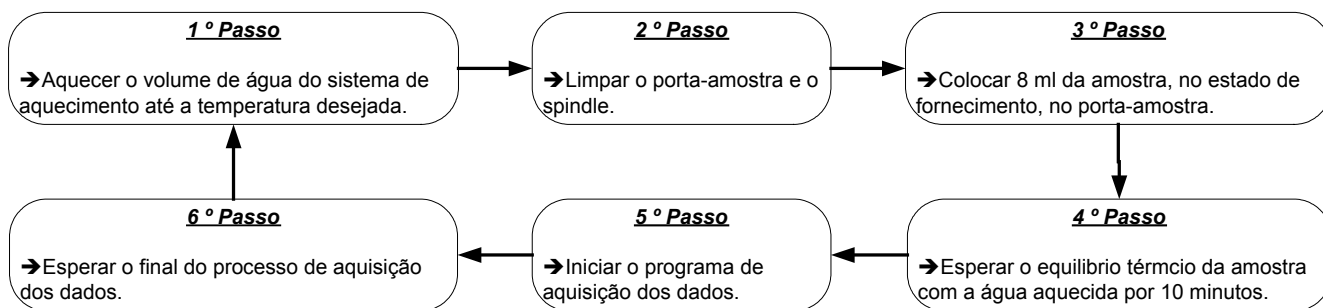


Figura 3. Procedimento experimental, passo a passo.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As informações que puderam ser obtidas com os ensaios realizados permitiram conhecer algumas importantes características do fluido lubrificante (ISO 32), como o comportamento da viscosidade em diferentes temperaturas e também conhecer o aspecto funcional do viscosímetro Brookfield modelo LV DV-III +.

4.1. Comportamento do Lubrificante

A Fig. (4) apresenta o comportamento da viscosidade cinemática em função da taxa de cisalhamento. Pode ser observado que não existe uma alteração significativa na viscosidade com o aumento na taxa de cisalhamento, indicando comportamento de fluido newtoniano. Ainda na Fig. (4) pode ser observada a grande variação existente nos valores extremos de temperatura. A Fig. (5) apresenta a porcentagem dessa variação quando comparada à viscosidade normalizada (32 cSt) pela ISO. Nas maiores variações de temperatura, a viscosidade média em 35 °C esteve maior que 22 % e em 45 °C a viscosidade média ficou abaixo de 18 % da viscosidade normalizada.

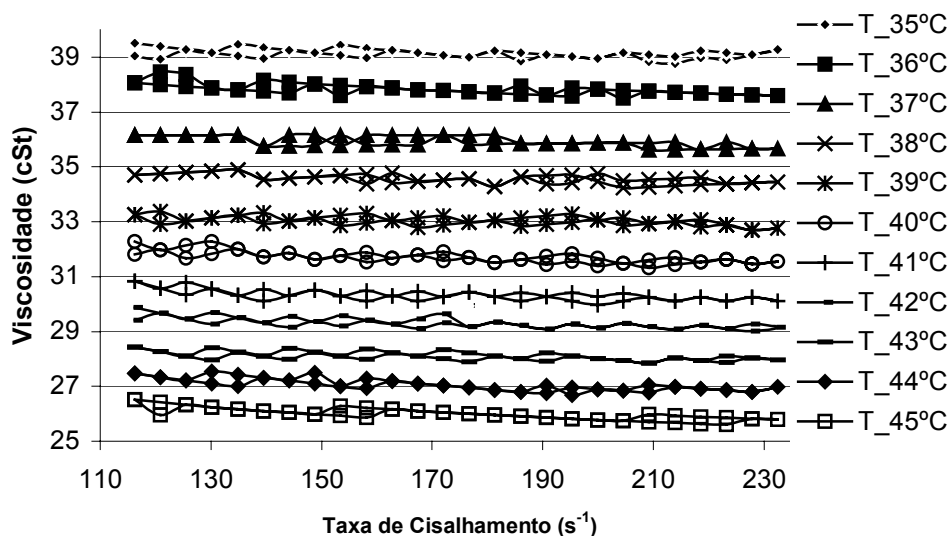


Figura 4. Viscosidade vs Taxa de Cisalhamento.

Com uma alteração de $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ na temperatura, os valores da viscosidade cinemática apresentam uma dispersão nos resultados menor que 10 %, ver Fig. (5), e assim pode-se dizer que dentro desta variação o fluido irá manter suas propriedades e estará dentro dos limites máximo e mínimo da viscosidade cinemática segundo norma ISO 3448. Desta forma, os ensaios de desgaste por fadiga de contato lubrificado com o óleo ISO 32 poderão ser realizados à temperatura de $40 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ e os valores de viscosidade obtidos experimentalmente poderão ser utilizados.

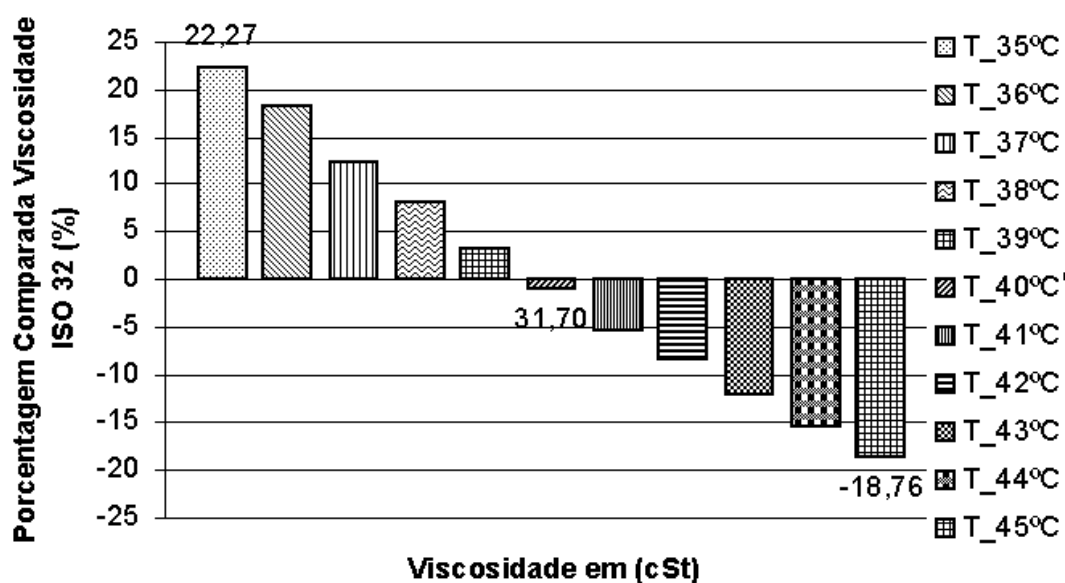


Figura 5. Variação percentual da viscosidade média obtida nos ensaios comparada à viscosidade normalizada.

4.2. Características Funcionais do Viscosímetro

As maiores dificuldades encontradas durante a operação do viscosímetro estão relacionadas ao controle da temperatura. A menor variação encontra-se na faixa de $\pm 0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$, podendo atingir valores de $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Conforme especificações fornecidas pelo fabricante do viscosímetro, os valores de viscosidade que este pode fornecer, podem apresentar algum erro associado. Este erro pode estar presente nas medidas fornecidas para um torque no spindle menor que 10 % de sua sensibilidade de leitura. Analisando os resultados fornecidos abaixo e acima de 10 % do torque no spindle, não foram observadas variações que possam ser significativas nos resultados obtidos.

5. CONCLUSÕES

Por meio dos estudos realizados com o óleo ISO 32 no viscosímetro Brookfield, modelo LV DV-III +, pode ser estabelecido um valor aceitável para o gradiente de temperatura que não altere as características deste óleo destinado aos ensaios tribológicos de desgaste por fadiga de contato. Este gradiente, $40 \pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$, foi estabelecido experimentalmente através da variação de viscosidade tolerável para o óleo ISO 32, $\pm 10\%$ da viscosidade normalizada em 32 centistokes.

Com a configuração atual do viscosímetro, podem ser realizados estudos em outros óleos lubrificantes da classe ISO, e.g ISO 46 e ISO 68, óleos de interesse para aplicações tribológicas, obtendo-se assim informações de importante influência na determinação do regime de lubrificação, como é o caso da temperatura.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), financiadora do projeto. Agradecimento especial ao departamento acadêmico de construção civil (DACOC), particularmente ao Professor José Alberto Cerri, pela disponibilidade do equipamento.

7. REFERÊNCIAS

- ASM, 1992, “ASM Handbook: **Friction, Lubrication and Wear Technology**”.
- Blau, P. J, 1996, “Friction Science and Technology”, Ed. Marcel Dekker, New York, 399 p.
- Hutchings, I. M., 1992, “Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials”, Ed. Butterworth – Heinemann, Cambridge, 273 p.
- Rabinowicz, E., 1965, “Friction and Wear of Material, Ed. John Wiley and Sons, Cambridge, united States of America, 244 p.
- Tomanik, E. e Cofap, M., 2000, Cálculo de situações críticas de lubrificação em superfícies deslizantes. In: Desafios, Expectativas e Experiências na Produção e Utilização de Lubrificantes: Uma Abordagem Cooperativa, I Workshop, São Paulo. **Anais**. São Paulo: Escola Politécnica da USP, pp. 8-17.

8. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído neste trabalho.

INFLUENCE OF TEMPERATURE IN THE RHEOLOGIC BEHAVIOUR OF LUBRICANT OIL ISO 32

Mario Vitor Leite

Graduate Student of a Materials and Mechanical Engineering – PPGEM – Cefet-PR. E-mail: mvl@ppgem.cefetpr.br

Janaina Tomazoni Santos

Undergraduate Student of a Mechanical Engineering – Cefet-PR. E-mail: janaina.santos@br.bosch.com

Márcia Silva de Araújo

Lecturer of Cefet-PR. E-mail: araujo@cefetpr.br

Giuseppe Pintaúde

Lecturer of Cefet-PR. E-mail: pintaude@cefetpr.br

Abstract. *The lack of tribological tests standardization had motivated researchers from this field to establish several experimental conditions in order to obtain a wider comprehension of its phenomena. The aim of this article is to present a method which permits to experimentally determine the*

temperature's influence in the rheologic behaviour of lubricant oil (ISO 32) destined to a sphere against plane wear test kind, through which it will be studied the influence of temperature, and other factors, in the contact fatigue wear mechanism. Tests to determine the level of temperature's influence were carried out in this work by experimental form using a concentric cylinders Brookfield viscosimeter. The interest temperature is 40 °C, normalized to viscosity tests, being studied with a variation of ± 5 °C. Not only will the obtained results be used to the definition of contact fatigue test's conditions, but also to the theoretical calculation of minimum lubricant film thickness, factor which defines the regime of lubrication.

Keywords: *viscosity, regime of lubrication, rolling contact wear.*