

## ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DO ÓLEO DE MOTOR

Leonardo Simões Carra<sup>1</sup>  
Nycholas Vannuchi Coumantaros<sup>1</sup>  
Rosana Zanetti Baú<sup>2</sup>  
Universidade São Francisco  
[nycholas@outlook.com.br](mailto:nycholas@outlook.com.br)

<sup>1</sup>Aluno do Curso de Engenharia Química, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista

<sup>2</sup>Professor Orientador Curso de Engenharia Química, Universidade São Francisco; Campus Bragança Paulista.

**Resumo:** A importância deste trabalho está em projetar, comprovar e comparar as diferentes tensões de cisalhamento e alterações de viscosidade dos 3 tipos de óleo (mineral, semissintético e sintético) em diferentes testes, utilizando lubrificantes novos, e também amostras já utilizadas por determinada quilometragem. Também foi de suma importância descrever as principais diferenças e indicações dos lubrificantes, sejam eles de origem 100% mineral, semissintética, ou totalmente sintéticos. Entendendo as adequações de cada especificação e por que se diferem. Os equipamentos utilizados nessa análise forneceram análises de DSC e Reologia para apontar as igualdades e diferenças entre as amostras de diferentes viscosidades e usos. Nestes testes foi possível contemplar a grande constância quando relacionado à viscosidade e tensão de cisalhamento no âmbito da Reologia, onde foram apresentados dois gráficos de resultados muito precisos quanto à repetibilidade dos óleos na taxa de cisalhamento e viscosidade em função da temperatura. As análises de DSC possibilitaram a visualização das diferenças nos picos de ebulição dos óleos e a linearidade dos testes, principalmente quando estressados no sentido das amostras de óleo sem uso. Os resultados obtidos demonstram que os óleos usados apresentaram a mesma estabilidade térmica e propriedades reológicas que os óleos novos.

**Palavras-chave:** lubrificante de motor; viscosidade; óleo automotivo; degradação; reologia.

**Abstract:** *The importance of this work is to design, prove and compare the different shear stresses and viscosity changes of the 3 types of oil (mineral, seissynthetic and synthetic) in different tests, using new lubricants, and also samples already used for a given mileage. It was also of paramount importance to describe the main differences and indications of lubricants, whether of 100% mineral origin, seissynthetic, or totally synthetic. Understanding the adequacies of each specification and why they differ. The equipment used in this analysis provided Analysis of CSD and Rheology to point out the equalities and differences between samples of different viscosities and uses. In these tests it was possible to contemplate the great constancy when related to viscosity and shear stress in the rheology scope, where two graphs of very precise results were presented regarding the repeatability of oils in the rate of shear and viscosity as a function of temperature. In addition to making it possible in the analyses of CSD, the visualization of the differences nthe boiling peaks of the oils and the linearity of the tests, especially when stressed in the direction of the oil samples without use.*

**Key Words:** *engine lubricant; viscosity; automotive oil; degradation; rheology.*

## **1. INTRODUÇÃO**

Óleos lubrificantes possuem papel vital na conservação das partes móveis do motor, uma vez que formam uma camada protetora em toda a área de contato das peças metálicas. A classificação do óleo de motores à combustão pode ser subdividida em: Óleo mineral, semissintético e sintético. Estes também podem ser contemplados quanto à sua viscosidade (20w50, 15w40 e 5w30, por exemplo). Estes materiais possuem modo de ação diferentes de acordo com sua aplicação e condições a que são submetidos, como uso contínuo e diferenciadas temperaturas de trabalho (ao ligar com temperatura fria de trabalho; após período de aquecimento e em temperatura ideal de trabalho).

A degradação do óleo de motor pode estar relacionada com a variação e composição dos óleos lubrificantes, com a taxa de desgaste dos componentes internos do motor, com a vida útil do óleo, além de propriedades físicas como alteração da viscosidade em função da temperatura ou da taxa de cisalhamento, entre outros. Assim, é de grande importância a identificação dos fatores que podem levar à degradação desses materiais. Para determinação das propriedades e do comportamento dos óleos, é necessária a realização de testes para sua caracterização. Dentre eles, destacam-se a Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) e a Viscosidade em Função do Cisalhamento e da temperatura (Reologia).

Dessa forma, o objetivo geral deste trabalho é apresentar a correlação entre óleo do motor e suas propriedades, composições e sua reação quando submetido a condições adversas. Também será denotada a importância dos testes que serão realizados para oferecer uma visão do desgaste e perda de propriedades a nível molecular, em contrapartida à visão apenas estética e visual do desgaste e sujeira arremetidos ao óleo de forma que se faça possível tecer uma correlação dos diferentes tipos de óleo e suas respectivas resistências ao desgaste do fluido, além de indicar as diferentes vantagens e desvantagens de determinado tipo de óleo em conjunto com o meio (motores à combustão e peças metálicas como um todo no momento em que estão sob trabalho).

## **2. REFERENCIAL TEÓRICO**

Óleos lubrificantes são fluidos que podem se comportar de modo diferente de acordo com sua composição, podendo ser classificados como fluido Newtoniano ou não Newtoniano. A seguir serão abordadas as principais propriedades observadas para esses materiais, como

composição, comportamento esperado do fluido e situações que podem produzir seu desgaste e degradação.

## **2.1. Variação e Composição dos Óleos Lubrificantes**

A lubrificação possui o intuito de proporcionar a redução do choque entre duas peças em movimento. O meio mais comum para reduzir esse choque é a lubrificação fluida, que pode ser proporcionada pelos óleos minerais, semissintéticos e sintéticos. Os lubrificantes em questão têm como função possibilitar que o movimento entre as peças possua um menor aquecimento, desgaste metálico e por consequência menor ruído (CARRETEIRO & BELMIRO, 2006).

O lubrificante a base de petróleo possui uma quantidade de aditivos, podendo assim complementar a sua composição, seja ela química ou física e ter maior resistência à corrosão e também à oxidação dos componentes internos que terão contato, além de proporcionar uma maior resistência térmica juntamente com uma estabilidade resistiva ao cisalhamento, contando também com adição de metais de caráter preventivo do desgaste metálico (fósforo e zinco), alterador de atrito (boro), pressão extrema (fósforo) e por último o emprego de detergente (bário, cálcio e magnésio) (CARRETEIRO & BELMIRO, 2006).

O óleo lubrificante mineral (por exemplo 20w50) como dito anteriormente, possui a sua formulação, a combinação de óleos básicos e aditivos que por sua vez são obtidos pelo refino do petróleo bruto, com isso o produto final possui maior número de impurezas na sua composição. Contudo, o óleo mineral é o mais comum no mercado, tendo em vista que o mesmo é utilizado desde o início dos veículos automotivos em 1910. O produto pode ser utilizado tanto em motores a gasolina quanto a diesel. O lubrificante mineral possui uma característica de possuir um menor intervalo entre a realização da troca de óleo (HITECH, 2020).

O óleo semissintético (por exemplo 15w40), também utiliza a base mineral, porém, essa mesma base passa por diversos processos de melhoria, quando o mesmo é acrescido de aditivos, a presença quantitativa de óleo mineral presente acaba se tornando pequena. A vantagem do óleo semissintético é a de que ele possui maior estabilidade térmica e de oxidação, outra característica positiva é que o mesmo pode manter a sua viscosidade adequada por mais tempo, além do fato de possuir baixo nível de contaminantes (HITECH, 2020).

Por fim, o óleo lubrificante sintético (por exemplo 5w30), possui um grau de pureza muito alto e melhor desempenho quando comparado com os lubrificantes semissintéticos e

minerais. A cadeia molecular do óleo sintético é composta por hidrocarbonetos, isentos da presença de enxofre, fósforo ou outro metal correlacionado. Dentre as características do óleo sintético estão a economia de combustível que pode ser proporcionada, um menor consumo de óleo (em função da baixa volatilidade e alta viscosidade em relação a oscilação da temperatura do sistema), o mesmo possui também uma maior resistência às taxas de oxidação (envelhecimento), com essas características esse lubrificante possui maiores intervalos de troca, isso por conta de possuir também uma maior estabilidade térmica gerando assim menor degradação do mesmo, além de aumentar a vida útil das peças internas presentes no motor (CARRETEIRO E BELMIRO, 2006).

## **2.2. Viscosidade X Temperatura**

Viscosidade possui características referentes a reologia de fluidos. Entende-se por reologia o estudo referente a deformidade do fluxo dos fluidos quando os mesmos são submetidos a uma determinada força.

Tendo em vista que a viscosidade é considerada uma característica de extrema importância, com base nisso é utilizado a SAEJ300 (*Society of Automotive Engineers*) como base de classificação, para que assim seja possível obter a classificação dos óleos de motor diretamente por sua faixa de viscosidade. Óleos são subdivididos em dois grupos, sendo eles: óleos monoviscosos, que foram adicionados no ano de 1933, cujo eram disponibilizados por um número apenas. Como por exemplo “30W” ou “10W”, e o outro grupo denominado multiviscosos, cujo foram introduzidos no ano de 1955, propriamente denominados por dois números, Por exemplo: 15W40, onde “15W” está se referindo a partida fria do motor, ou seja, a primeira partida do dia e “40” refere-se ao comportamento do óleo com o motor em sua temperatura de funcionamento ideal. Porém, com o passar dos anos, houveram revisões referentes a classificação J300, cuja as alterações consistiam em alterar a taxa de viscosidade em temperaturas baixas para os óleos classificados como multiviscosos, pois os motores automotivos mais modernos tendem a dar partida em temperaturas mais baixas possuindo viscosidades mais altas do que os que eram utilizados antes (CARRETEIRO & BELMIRO, 2006).

Óleos classificados como multiviscosos tendem a atender melhor os requisitos de mais de um grau de viscosidade na classificação SAE. Utilizando como exemplo o óleo 5W40, essa nomenclatura significa que esse óleo possui uma boa fluidez em baixas temperaturas, parte

essencial para a partida fria de um motor, e também oferece a proteção necessária em conjunto com a viscosidade ideal para a temperatura de funcionamento ideal de um motor. Tal propriedade é atingida com a utilização de óleos que possuem alto nível de índice de viscosidade, ou seja, tendem a apresentar uma baixa variação de viscosidade quando ocorrer variações de temperatura (CARRETEIRO & BELMIRO, 2006).

De acordo com a literatura, quanto mais baixa a primeira viscosidade, o óleo lubrificante apresentará maior fluidez em baixa temperatura, e como dito anteriormente ocasionará uma proteção maior nas primeiras partidas (partidas com o motor frio), já que tal propriedade tende a melhorar a circulação do lubrificante, auxiliando que o mesmo alcance partes críticas do motor, em específico as partes superiores do motor, com tais características, o óleo chega mais rápido ocasionando em uma melhor lubrificação e um menor atrito das peças, ocasionando um menor desgaste dos mesmos (CARRETEIRO & BELMIRO, 2006).

O segundo número que está presente na nomenclatura, como dito anteriormente, está relacionado a viscosidade do óleo lubrificante em altas temperaturas, por exemplo 30, 40 ou 50, onde é proporcionado o desenvolvimento de uma camada correta para se ter uma boa lubrificação quando o motor estiver em temperatura ideal de trabalho. Existe a intenção de reduzir ao máximo um possível desgaste prematuro das partes mais elevadas do motor, óleos que tendem a ter sua viscosidade mais baixa ocasionavam em um menor rendimento, contudo tinham que manter uma viscosidade dentro dos parâmetros quando o motor estivesse em temperatura de funcionamento. Quando o lubrificante chegasse nas partes elevadas do motor rapidamente, era evitado o contato direto de metal com metal nos instantes iniciais da partida, onde geralmente é quando o desgaste maior acontece (CARRETEIRO & BELMIRO, 2006).

De acordo com BIRD *et al*, (2004), há inúmeras teorias nas quais buscam incorporar o comportamento da viscosidade em relação a variação de temperatura, tendo em vista que ao aumentar a temperatura do fluido, automaticamente a viscosidade irá diminuir. Eyring propôs uma teoria, chamada de teoria molecular da viscosidade, onde essa teoria diz que as moléculas de um determinado líquido, mesmo em estado estacionário, ainda sim estarão em constante movimento e, como não são compactadas como em determinado tipo de sólido, onde elas são intercaladas e por sua vez possuem espaços vazios uma com a outra, recebendo o nome de vacâncias adjacentes a elas. Em suma, a viscosidade é relacionada a força em que se opõe a determinado movimento. Com isso, quanto maior a dificuldade de uma determinada molécula saltar e ocupar uma vacância, maior tende ser o valor da viscosidade (BIRD *et al*, 2004).

Números de viscosidade cinemática e viscosidade dinâmica tendem a ter uma

importância muito grande na lubrificação, pois são responsáveis por criar a camada filme lubrificante que ficam presentes nas peças, e possuem também auxílio para determinação do índice de viscosidade. Os óleos lubrificantes que possuem uma multigradação comercial, no qual são utilizados em motores com combustão interna tendem a possuir o seu índice de viscosidade variando de 150 a 200 (TANVEER, 2006). Segundo Tanveer (2006), existe uma relação de dependência o óleo lubrificante em relação a variabilidade de temperatura, com isso, quanto mais alto for o índice de viscosidade, menor será a variação de temperatura.

### 2.2.1. Fluidos

Fluidos são compostos que possuem uma capacidade de se espalhar por uma determinada superfície na qual é submetido (STREETER; WYLIE; 1982). Compostos líquidos e compostos gasosos são classificados como fluidos, pois não tendem a ter uma forma característica, possuindo assim uma característica, possuem a capacidade de ordenar suas moléculas com o intuito de atingir a forma do molde.

A definição de fluidos corresponde a sua capacidade de escoamento por uma determinada superfície. Tal escoamento foi admitido a partir do ano de 1883, pelo Osborne Reynolds. Bistafa (2010) afirma que os determinados estudos de Reynolds determinam valores adimensionais, fazendo com que se levasse em conta os diâmetros dos dutos, viscosidade e velocidades que estavam caracterizando diversos métodos de escoamento dos fluidos. Tais valores obtiveram o nome de Osborne Reynolds. A seguinte equação representa a equação que foi proposta por Osborne Reynolds.

$$Re = \frac{\rho VD}{\mu} = \frac{VD}{\nu} \quad (1)$$

Onde:

Re: Número de Reynolds (adimensional);

$\mu$ : viscosidade dinâmica do fluido (Pa.s);

$\rho$ : massa específica do fluido ( $\text{kg.m}^{-3}$ );

V: velocidade do fluido ( $\text{m.s}^{-1}$ );

D: diâmetro do tubo (m);

$\nu$ : viscosidade cinemática do fluido ( $\text{m}^2.\text{s}$ ).

A variância dos fatores, como por exemplo, rugosidade superficial do tubo, entre diversos outros, onde podemos observar que o escoamento não pode ter caracterização como sendo um fluido laminar e não como turbulento. Tal ação é chamada de “transição” que possui associação a um número de Reynolds crítico ( $Re_{crit}$ ) cujo o valor do mesmo é de 2.300. O valor também pode alterar conforme condições experimentais (BISTAFA, 2010).

Afirma-se que quanto mais elevado for o Número de Reynolds, mais desgovernado e mais agitado será o desempenho do fluido, com isso, tende a ser mais turbulento é o movimento. Entretanto o escoamento denominado laminar, o fluido tende a mover-se em camadas, quando uma camada escorre sob a outra, para qualquer sinal de turbulência, forças viscosas de cisalhamento tendem a diminuir a intensidade, porém, continuando com o escoamento do fluido de maneira laminar. Tal afirmação explica o fato da viscosidade é inversamente proporcional a Reynolds.

### 2.2.2. Lei de Newton da Viscosidade

Segundo Bird *et al.* (2004), Isaac Newton determinou uma lei, cuja foi chamada de Lei de Newton da viscosidade onde se determina a força de cisalhamento de acordo com a unidade de área que possui proporcionalidade a negatividade do vetor de velocidade que é multiplicado pela constante de proporcionalidade, chamada de viscosidade. Portanto uma viscosidade pode determinar a força contrária do movimento do fluido e, quando o seu gradiente for maior, maior será a dificuldade do fluido para o escoamento. Segue a equação 2 que demonstra a Lei de Newton da Viscosidade

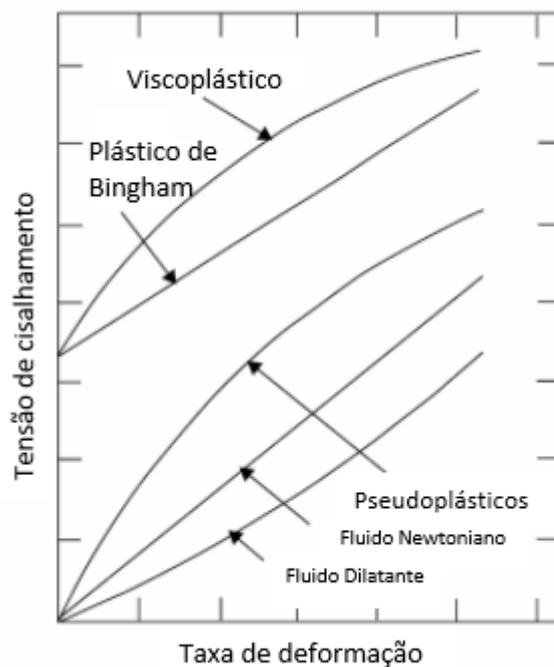
$$\frac{F}{A} = \tau_{yx} = \mu \left( -\frac{dV_x}{dy} \right) \quad (2)$$

sendo F a força cisalhante; A a área da superfície ( $m^2$ );  $\tau_{yx}$  a tensão de cisalhamento (Pa);  $\mu$  a viscosidade dinâmica (Pa.s); dy: altura de fluido (m);  $dV_x$ : velocidade do fluido ( $m.s^{-1}$ ).

Fluidos que se encaixam na Lei de Newton da Viscosidade são chamados de fluidos Newtonianos, porém não existe alteração quanto a sua viscosidade em relação ao aumento da taxa de cisalhamento que são aplicadas a fluidos. Com tudo, apresentam comportamento linear cujo o mesmo passa pela origem em um gráfico que possui relação de tensão de cisalhamento aplicando a taxa de deformação de um fluido, conhecido como reograma. Contudo, alguns

fluidos cujo não seguem a Lei de Newton, receberam o nome de fluidos não newtonianos. Um fluido determinado não newtoniano somente quando a sua curva de escoamento não possui uma linearidade ou por sua vez também pode ser linear, porém não existe passagem pela origem do gráfico, que só ocorre quando a viscosidade desse determinado fluido não permanece constante em uma dada temperatura e pressão (CHHABRA, 2006). Fluidos não newtonianos possuem classificação subdivididos em três grupos: dependentes, independentes e viscoelásticos cujo são independentes do tempo.

De acordo com Chhabra (2006), os fluidos que são classificados como não newtonianos independentes do tempo, são taxados como aqueles fluidos que possuem seu escoamento independente da taxa de cisalhamento. Fluidos que são classificados dessa forma são divididos novamente em outros três grupos: Dilatantes, Pseudoplásticos e Visco Plástico, onde ocorre a subdivisão em Plásticos de Bingham e Herschel. A figura 1 está relacionando o comportamento dos fluidos citados acima em comparativo com fluidos Newtonianos.



**Figura 1.** Reograma comparando as diversas classificações dos fluidos. (Adaptado de CHHABRA, 2006)

Existem fluidos que são dependentes do tempo, os quais são divididos em Reopéticos e Tixotrópicos. Fluidos considerados Tixotrópicos possuem uma diminuição em sua viscosidade aparente até um certo ponto, depois sofrem um ciclo de histerese fazendo com que esse fluido retorne ao seu estado inicial. Fluidos Reopéticos, ou fluidos denominados de Tixotropia

negativa, tendem a aumentar sua viscosidade aparente, quando atingem uma certa situação, tendem a voltar também para o seu estado inicial. Não existem muitos estudos voltados para esse tipo de fluido, isso porque possuem um comportamento que é pouco observado em materiais do cotidiano.

## **2.3 Taxa de Desgaste dos Componentes Internos do Motor**

Basicamente o conceito de desgaste é a perda de material que ocorre em quaisquer superfícies que interagem entre si, provocando assim atrito entre elas. O desgaste pode ser proveniente de várias ações, dependendo do material as superfícies, do ambiente no qual está localizado e das condições de operação.

O desgaste tende a ser nomeado como leve ou severo, pelo olhar da engenharia. O desgaste leve muitas vezes tem como resultado uma superfície que é mais lisa do que uma superfície original. Vendo pelo outro lado, tem-se o desgaste severo que em muitas vezes é resultante de superfícies de caráter mais ásperas do que as superfícies originais.

Desgaste também é classificado como um processo contínuo entre as demais superfícies em contato que necessitam ser controlados (TORBACKE *et al.*, 2014). Os componentes que possuem maiores associações ao desgaste dentro dos motores incluem: Desgaste adesivo (cilindro e anéis), desgaste abrasivo (cames), desgaste adesivo severo (cilindro, anéis e cames) e fadiga superficial com aparecimento de “pitting” que está relacionada ao topo de haste de válvula, tuchos e balancins (VICENTE, 2005). Para melhor entendimento, os tipos de desgaste estarão descritos nos subtópicos abaixo:

### **2.3.1 Desgaste por Adesão, Abrasão e Erosão**

O desgaste por adesão acontece quando submetidos a condições de deslizamentos onde as asperezas são plasticamente deformadas e soldadas entre si por alta temperatura e pressão local. Existe a possibilidade dele ocorrer após aumento de potência no motor, sem as modificações necessárias nos componentes do sistema de lubrificação, de modo a prover o filme de óleo adequado.

O desgaste por abrasão pode ocorrer devido a partículas duras ou protuberâncias deslizando ao longo de uma superfície sólida macia. Se as partículas de desgaste duras soltas estão presentes entre as superfícies de contato uma ou ambas as superfícies poderão ser

desgastadas por raspagem.

O desgaste por erosão ocorre em situações onde as partículas duras impactam uma superfície sólida e removem material (MENEZES *et al.*, 2013; TORBACKE *et al.*, 2014).

### **2.3.2 Fadiga de Contato**

A Fadiga de contato ocorre devido à carga cíclica a que o material é submetido. Enfraquecendo-o e sendo o mecanismo de desgaste predominante nos contatos rolantes que envolvem algum deslizamento.

## **2.4. Vida Útil do Óleo de Motor**

É de conhecimento popular que óleos lubrificantes de motor possuem vida útil e validade pré-determinada. Porém, a relação e os motivos pelos quais são determinadas quilometragens ou tempo para sua troca e a variabilidade destes períodos em vista da origem do óleo (mineral, semissintético ou sintético) podem ser justificados como descrito a seguir.

Nas 3 espécies de lubrificantes automotivos, o mineral é o de menor vida útil quando se trata de quilometragem. Isso se deve ao fato de sua estrutura (totalmente derivada do petróleo “cru” possuir menor resistência à oxidação e também maior desgaste por uso em temperaturas elevadas.

Como o petróleo – óleo cru - é um material com diversos componentes, sendo lógico pensar que se faz necessária a separação dessas substâncias pela combinação de tratamentos executados de modo a se obter apenas os produtos desejáveis. É a partir desse processo, chamado de refinação ou refino, que se extrai os materiais que apresentam propriedades físico-químicas específicas e com maior valor agregado (CARRETEIRO & BELMIRO, 2008).

Por outro lado, o óleo com derivados sintéticos em sua estrutura pode proporcionar uma maior vida útil e maior resistência enquanto mantém sua viscosidade. Estes por sua vez, proporcionam maior proteção ao motor, e são recomendados para aqueles com desenvolvimento mais atual.

A comparação entre a utilização de bases sintéticas e minerais para fins de lubrificação mostra inúmeras vantagens pela adoção de óleos sintetizados, mas também algumas desvantagens. Entre as qualidades técnicas que podem ser descritas estão: a alta

resistência a temperaturas extremas e suas variações, melhor resistência a oxidação, maior estabilidade química – menor reatividade -, maior vida útil do produto. No entanto, dentre as principais desvantagens estão: a incompatibilidade de se misturar com certos aditivos químicos produzir o produto acabado e o custo elevado quando comparado com bases convencionais, o que torna necessário uma análise de custo-benefício sempre que se pensar no seu uso (CARRETEIRO & BELMIRO, 2008).

Em suma, pode-se adotar a definição de uma menor vida útil, seja ela por quilômetros rodados (por conta de desgaste) ou por tempo no motor (neste caso, por oxidação e contato com o meio externo contaminado do motor e peças metálicas para o óleo mineral. Conseqüentemente o óleo com propriedades semissintéticas ou sintéticas se mantém melhor sob estas condições e pode rodar uma maior quilometragem em determinados casos antes da troca.

## **2.5 Identificação da Degradação**

Óleos lubrificantes de motor possuem uma vida útil em decorrência de sua degradação com o ambiente do motor, com seu desgaste e viscosidade e com oxidação. Porém, além das datas e quilometragens pré-estabelecidas, existem algumas formas de identificar a degradação gradual destes fluidos.

A mais comum e simples é a visual, verificando e validando com auxílio da vareta ou no ato de retirada do óleo do motor sua coloração mais escura e consistência que, em condições de uso mais severas e trocas tardias, pode estar com elevada viscosidade.

Com o passar dos quilômetros rodados, há um acúmulo dos sedimentos potencialmente nocivos à engrenagem, devido à sua função secundária de limpeza (TECFIL, 2019). A validação visual da coloração é falha. Uma vez que o próprio combustível que entra no ciclo do motor para ação nos 4 tempos do mesmo contamina (principalmente a gasolina) e altera a coloração gradualmente para tons mais escuros. Por isso, é comum que a coloração seja confundida com o desgaste do fluido, quando na verdade indica a contaminação do óleo pelo combustível.

Por meio da sua tarefa de limpeza, o óleo retira as impurezas do motor e as guarda suspensas em sua composição, dadas as suas densidades maiores em relação ao lubrificante em si (TECFIL, 2019).

Dessa maneira, o óleo evita o acúmulo e a formação de crostas que prejudicam o funcionamento do motor. Tendo em vista que se trata de um processo contínuo, em dado momento ele chegará ao esgotamento, sendo necessário a troca do óleo (TECFIL, 2019).

Outra forma de identificar a degradação do óleo de forma sensitiva podem ser ouvidos no motor quando sua viscosidade afeta o funcionamento da bomba de óleo, fazendo com que ele demore a chegar nas partes móveis e elas trabalhem sem lubrificação, ainda que por segundos.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Os óleos obtidos para os testes serão provenientes de amostras de óleos novos e usados, nas apresentações mineral (20w50) com 3.000Km rodados, semissintético (15w40) com 7.500Km rodados e sintético (5w30) com 6.000Km rodados.

A metodologia para obtenção dos resultados na parte prática do presente trabalho envolverá uma série de ensaios como: Calorimetria Exploratória Diferencial (DSC) e Viscosidade em Função do Cisalhamento e da temperatura (Reologia).

O ensaio de DSC realizados no equipamento NETZSCH é caracterizado por determinar a temperatura e o fluxo de calor de transições nos materiais, em função do tempo e de uma temperatura pré-estabelecida, na análise conta-se com um cadinho contendo a amostra e um outro contendo a referência. Foi aplicada uma faixa de 25°C a 300°C de temperatura e uma taxa de 10°C/min, com fluxo de N<sub>2</sub>.

A análise de Reologia foi responsável por mostrar a parte de deformação e escoamento das amostras analisadas, como se tratam de fluidos a viscosidade acaba sendo a propriedade reológica mais importante nos testes, sendo capaz de ser a única que caracteriza os fluidos newtonianos. As caracterizações reológicas foram realizadas usando um Reômetro Compacto Modular Anton Paar MCR-102. Os testes foram conduzidos utilizando uma geometria de placas cônicas (CP50) com um diâmetro de 50 mm e uma distância entre as placas de 1 mm. Os ensaios de viscosidade isotérmicos foram conduzidos a 100°C de 0,1 a 1000 s<sup>-1</sup> de taxa de cisalhamento, enquanto os ensaios não-isotérmicos aconteceram a uma taxa de cisalhamento de 50 s<sup>-1</sup> numa faixa de temperatura de 20 a 100°C. Todos os ensaios foram feitos em duplicata.

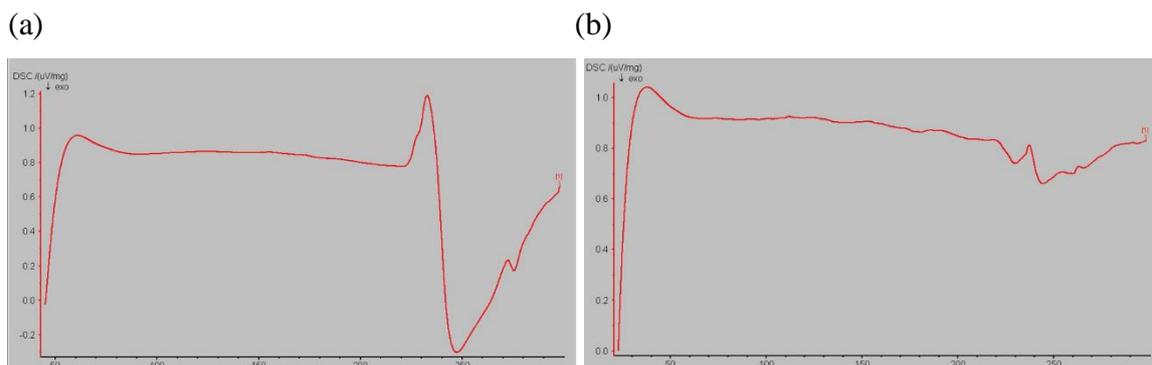
Todos os testes terão seus resultados tratados matematicamente através de gráficos obtidos nos equipamentos e pelo Excell, cujos valores numéricos proporcionaram a construção

de curvas para um melhor entendimento e discussão dos resultados e conclusões sobre os ensaios.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 DSC – Calorimetria Exploratória Diferencial

Após realizar os testes com óleos novos e usados, nas especificações indicadas (5W30, 15W40 e 20W50), os testes no equipamento DSC demonstraram o seguinte resultado expresso graficamente pela Figura 2.

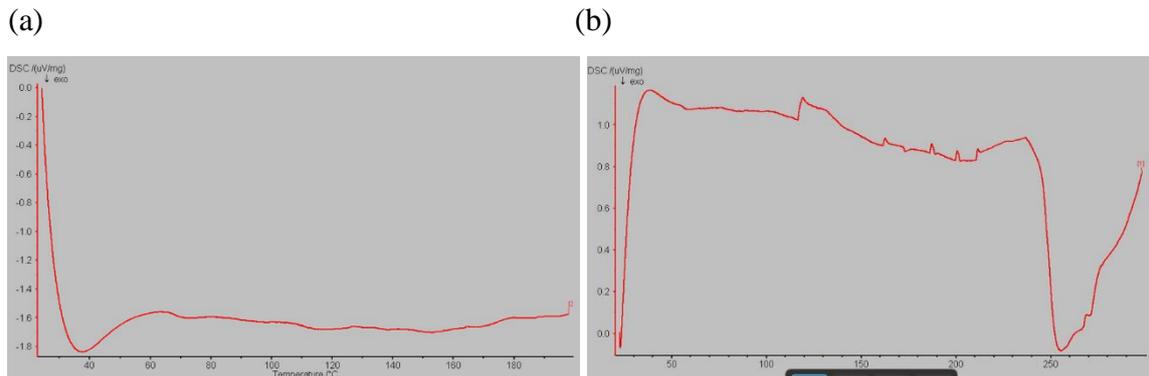


**Figura 2.** Termogramas (a) óleo 5w30 novo; (b) óleo 5w30 usado por 6000 km.

A figura 2 (a) apresenta um pico endotérmico que se inicia em 220°C a 240°C mostrando o ponto de ebulição do óleo. Ao atingir os 300°C, observa-se o início do resfriamento da mesma, onde o pico exotérmico que se inicia a 300°C mostra o início da condensação que termina em 250°C, aproximadamente.

A figura 2 (b) apresenta dois picos menores, sendo um de 230°C e outro em torno de 240°C. Nessa análise temos a presença de 2 processos: ebulição e condensação tendo em vista que o material foi aquecido e depois resfriado e durante o resfriamento ocorreram duas transições (picos exotérmicos), possivelmente condensações, a primeira em 240°C e a segunda em 230°C, porém em 235°C se verifica um pico endotérmico do material, possivelmente de ebulição. Os resultados demonstram que o material é uma mistura de componentes.

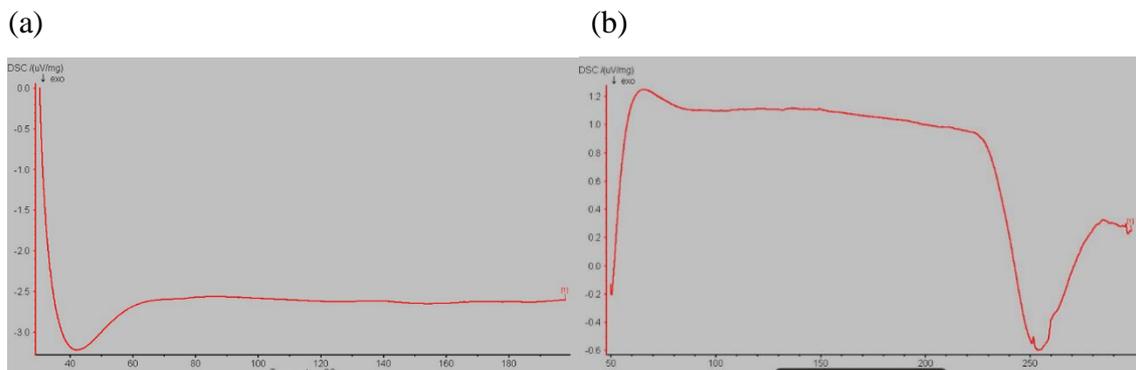
A Figura 3 apresenta dos termogramas do óleo 15w40.



**Figura 3.** Termogramas do óleo 15w40 (a) sem uso; (b) usado por 7.500 Km.

A figura 3 (a) apresenta algumas transições menores onde conclui-se que nessa faixa de temperatura que foi realizada a análise, não se obteve nenhuma transição de comportamento evidente no material.

A figura 3 (b) apresenta o início da transição em 240 °C, sendo um pico endotérmico bem intenso, indicando uma transição de comportamento expressiva, sendo ela a ebulição do material onde o pico fica com valor extremo de temperatura em torno de 250 °C — 255 °C. Temos também o processo de condensação. Durante o resfriamento do material onde a temperatura cai de 300 °C para 25 °C, o material começa a condensar.



**Figura 4.** Termogramas do óleo 20w50 (a) sem uso (b) usado por 3.000 Km.

A figura 4 (a) apresenta algumas transições menores indicando que, na faixa de temperatura que foi realizada a análise, não se obteve nenhuma transição de comportamento evidente no material, assim como ocorrido na figura 3 (a), porém, na figura 4 (a) o material se apresenta muito mais estável diante do aquecimento.

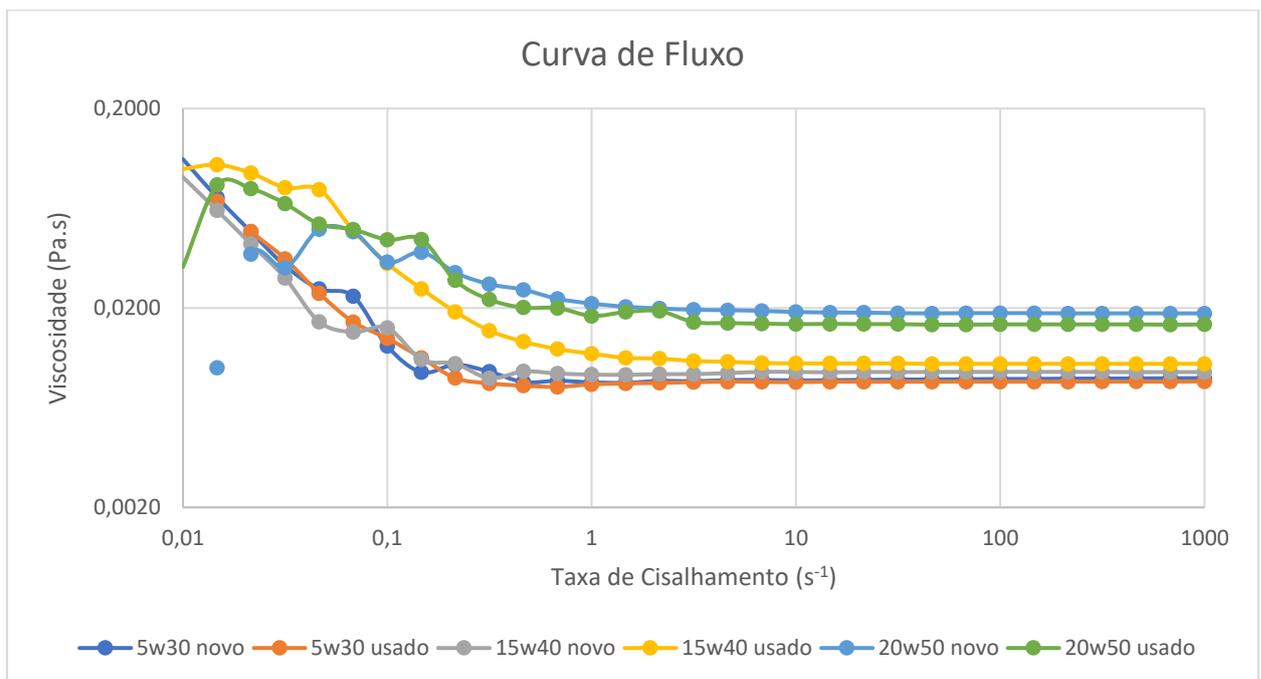
A figura 4 (b) apresenta um comportamento semelhante ao material utilizado na figura 3 (b), com início da transição em 280 °C, sendo um pico exotérmico bem intenso, indicando

uma transição de comportamento expressiva, sendo ela a condensação do material onde o pico fica com valor máximo em torno de 255°C.

## 4.2 Reologia

Os ensaios de reologia possibilitaram analisar o comportamento da viscosidade dos óleos em função da taxa de cisalhamento e da temperatura, variáveis que simulam as condições nas quais os óleos estão submetidos durante sua utilização.

Vale ressaltar que, na categoria de óleo usado, nenhum lubrificante usado como piloto foi estressado além da quilometragem especificada pelo fabricante. Por isso, seu rendimento teórico deve ser tão satisfatório quanto o rendimento do óleo novo.

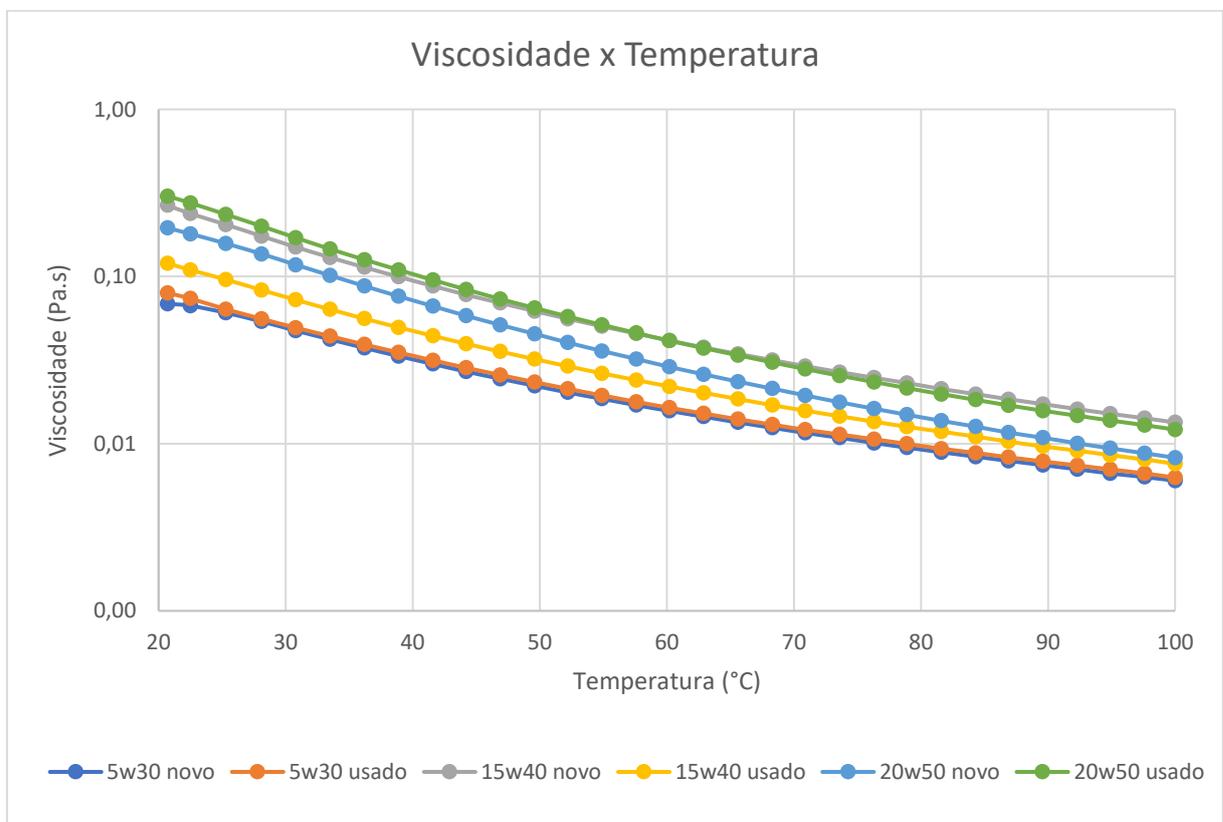


**Figura 5.** Curvas de fluxo dos óleos novos e usados. Cada curva representa o valor médio dos ensaios realizados em duplicata.

Na figura 5 pode ser verificada e comprovada a eficácia dos óleos quando estressados em relação à taxa de cisalhamento. As linhas com círculos nos pontos são indicadores de viscosidade ao longo da taxa de cisalhamento, tanto para os óleos novos quanto para os usados. Os resultados similares demonstram a precisão e coerência entre os dados obtidos. Na faixa de 1 a 1000  $s^{-1}$  a constância na viscosidade das amostras atesta que se tratam de fluidos Newtonianos.

Além disto, pode-se perceber uma ligeira diferença no perfil da curva no óleo 20W50, mostrando a diferença ao longo da taxa em relação aos outros óleos, mas sendo constante quando colocado como comparativo entre as duas amostras de mesma viscosidade. Os resultados mostram que os óleos usados não sofrem alteração em sua viscosidade, mantendo a mesma qualidade dos seus respectivos óleos novos.

A Figura 6 apresenta os resultados de viscosidade em função da temperatura. As viscosidades iniciais de cada óleo apresentaram diferenças, porém, com o aumento da temperatura as viscosidades se tornam similares para todos os óleos.



**Figura 6.** Curva de viscosidade em função da temperatura. Cada curva representa o valor médio dos ensaios realizados em duplicata.

Foi possível notar a constância dos resultados na duplicata e que, como já era esperado, os óleos seguem suas respectivas sequências de viscosidade conforme o fabricante (5W30 é o menos viscoso dos 3), porém também tem a queda de viscosidade por temperatura que por sua vez possui um valor menor que os demais. O óleo 15W40 mantém sua curva também acentuada, porém com uma viscosidade mediana, enquanto o último e mais viscoso lubrificante, o 20W50, segue no topo do gráfico de viscosidade, mas com mesma perda de viscosidade ao longo do

aumento de temperatura, se tornando um pouco mais viscoso que os demais na temperatura máxima do ensaio (MORRISON, 2001).

Em todos os óleos utilizados, se observa um comportamento parecido de redução de viscosidade com o aumento da temperatura, pelo fato de maior agitação molecular facilitando o movimento das cadeias carbônicas, o que provoca um escoamento maior do fluido. Este ensaio também revela que os óleos usados mantêm a mesma qualidade dos óleos novos.

## 5. CONCLUSÃO

Este estudo teve como finalidade comprovar a qualidade dos óleos sintéticos e semissintéticos após um tempo de uso de modo a verificar se estão de acordo com informações do fabricante. A metodologia utilizada consistiu em avaliar óleos novos e usados, com certa quilometragem, com relação às suas transições térmicas e por ensaios reológicos.

Análises de DSC mostraram os pontos de condensação (picos exotérmicos) e ebulição (picos endotérmicos) dos óleos. Os termogramas foram similares para os óleos novos e também para os usados, sendo que estes últimos apresentaram uma mistura de componentes.

As análises reológicas foram expressivas e muito conclusivas para determinar a consistência dos resultados e manutenção da qualidade dos óleos. Nos ensaios de fluxo, todas as amostras demonstraram comportamento Newtoniano acima de  $1 \text{ s}^{-1}$  de taxa de cisalhamento, independentemente se novos ou usados, considerando o uso em condições dentro das estipuladas pelo fabricante, no que se referiu à quantidade de quilômetros rodados dentro da validade de cada lubrificante. Os valores de viscosidade se mantiveram muito próximos, sendo assim os resultados foram satisfatórios e ilustraram a garantia da qualidade destes lubrificantes após a inserção no motor até o fim de sua vida útil. O lubrificante 20W50 (origem mineral) apresentou uma pequena diferença em sua curva perante os demais modelos testados. Porém, em pleno uso essa diferença é mínima e tende a ser desconsiderada.

Ainda na análise de reologia, os ensaios de viscosidade x temperatura mostram similaridade dos resultados para os diferentes modelos de lubrificantes, reafirmando a validade dos mesmos e a garantia dada pelo fabricante.

Em todos os casos a reologia afirmou o que foi visto nos ensaios da Calorimetria Exploratória Diferencial, mostrando a constância dos óleos submetidos aos testes e as diferenças pequenas entre um lubrificante novo e um já estressado em temperatura de trabalho do motor por certa parte de sua vida útil.

## AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Engenharia Mecânica da Unicamp por ceder o reômetro para realização dos ensaios de Reologia.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIRD R. B.; STEWART W. E.; LIGHTFOOT E. N. **Fenômenos de Transporte**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., 2004.

BISTAFA S. R. **Mecânica dos Fluidos: noções e aplicações**. São Paulo: Editora Blucher, 2010.

CARRETEIRO, R. P.; BELMIRO, P. N. **Lubrificantes e Lubrificação Industrial**. Interciência Ltda, Rio de Janeiro, 2006.

CHHABRA R. P. **Bubbles, Drops, and Particules in Non-Newtonian Fluids**. Taylor & Francis Group , I.L.C. 2ed, 2006.

MENEZES, P. L.; NOSONOVSKY, M.; INGOLE, S. P.; KAILAS, S. V.; LOVELL, M. R. (Ed.). **Tribology for Scientists and Engineers: From basics to advanced concepts**. Nova York: Springer, 2013.

MORRISON, F. A. **Understanding Rheology**. Oxford University Press, 2001.

SILVA, Alberto Eduardo de Oliveira. **Transposição didática: a química dos óleos lubrificantes**. 2011.

STREETER V. L.; WYLIE E. B. **Mecânica dos Fluidos**. 7. ed. São Paulo: Editora McGraw-Hill, 1982.

TANVEER S.; PRASAD R. **Enhancement of viscosity index of mineral base oils**. Indian Journal of Chemical Technology, Vol. 13, July 2006, pp. 398-403.

TORBACKE, M.; RUDOLPHI, A. K.; KASSFELDT, E. **Lubricants: Introduction To Properties And Performance**. Vew Delhi, India: John Wiley & Sons Ltd, 2014.

VICENTE, G. C. M. **Caracterização de filmes DLC com potencial utilização em motores de combustão interna**. Dissertação (Mestrado) — UFPR, Curitiba, 2005.

<<https://hitech.ind.br/oleos-lubrificantes-mineral-semisintetico-e-sintetico-qual-a-diferenca/>> Acesso em 8 de Maio de 2022.

<<https://www.tecfil.com.br/o-que-acontece-se-rodar-com-oleo-vencido/>> Acesso em 6 de maio de 2022.

<<https://www.tecfil.com.br/o-que-acontece-se-rodar-com-oleo-vencido/>> Acesso em 6 de maio de 2022.