

# Análise teórica sobre a inserção de nanopartículas em óleo lubrificante para a diminuição do desgaste em superfícies sólidas<sup>1</sup>

*Theoretical analysis on the insertion of nanoparticles in lubricating oil to reduce wear on solid surfaces*

LORRANA MAGALHÃES MELO

Discente do curso de Engenharia Química (UNIPAM)

E-mail: [lorrynamm@unipam.edu.br](mailto:lorrynamm@unipam.edu.br)

SANDRA LÚCIA NOGUEIRA

Professora orientadora (UNIPAM)

E-mail: [sandraln@unipam.edu.br](mailto:sandraln@unipam.edu.br)

---

**Resumo:** A busca pelo novo é inevitável e tudo pode ser melhorado, assim a inserção de nanopartículas em óleos lubrificantes vem sendo estudada devido a sua eficiência na diminuição do desgaste. Num levantamento bibliográfico, as nanopartículas são inseridas em óleos lubrificantes e estudadas acerca de material, tipo, tamanho, concentração e redução de desgaste, que é o ponto mais importante. As nanopartículas que se mostraram mais eficientes foram as nanolâminas de grafeno potencializadas com NH<sub>3</sub>, mostrando 94% de redução de atrito, seguidas pelas nanopartículas de prata metálica, com 85% de redução de atrito. O estudo das nanopartículas pode ser melhorado buscando outros materiais, tipos, variando concentrações e tamanhos, podendo buscar também por nanopartículas que ajudem no meio ambiente e saúde humana.

**Palavras-chave:** Óleo lubrificante. Nanolubrificantes. Nanopartículas. Antidesgaste. Aditivo.

**Abstract:** The search for the new is inevitable and everything can be improved, so the insertion of nanoparticles in lubricating oils has been studied due to its efficiency in reducing wear. In a literature review, nanoparticles are inserted in lubricating oil and studied about material, type, size, concentration and wear reduction, which is the most important point. The most efficient nanoparticles were NH<sub>3</sub> potentiated graphene nanoblades, showing 94% friction reduction, followed by metallic silver nanoparticles, with 85% friction reduction. The study of nanoparticles can be improved by searching for other materials, types, varying concentrations and sizes, and can also look for nanoparticles that help the environment and human health.

**Keywords:** Lubricating oil. Nanolubricants. Nanoparticles. Anti-wear. Additive.

---

---

<sup>1</sup> Artigo apresentado como avaliação parcial para obtenção de título de bacharel em Engenharia Química pelo Centro Universitário de Patos de Minas – UNIPAM.

## 1 INTRODUÇÃO

O desgaste de máquinas por contaminantes, tempo ou funcionamento é, de modo geral, um dos maiores problemas. De acordo com Azevedo *et al.* (2005), a vida útil dos equipamentos pode ser ampliada com o uso de óleos lubrificantes, já que ele evita o contato direto das peças, objetivando a diminuição do atrito.

Normalmente, considerando o tipo de base utilizada na produção, os lubrificantes são divididos em três categorias: minerais, sintéticos e semissintéticos. Os óleos lubrificantes mais utilizados são os de origem mineral. Estes são compostos por uma mistura complexa de hidrocarbonetos, oriundos do refino do petróleo cru, e representam cerca de 2% dos derivados de petróleo, sendo um dos poucos produtos que não é totalmente consumido durante o seu uso, ou seja, origina-se depois do uso uma espécie de resíduo. A busca incessante por um óleo de melhor desempenho não para, dando assim origem a cada vez mais óleos sintéticos que suportam temperaturas cada vez elevadas (AZEVEDO *et al.*, 2005).

Os óleos lubrificantes minerais são compostos de hidrocarbonetos saturados e aromáticos e são aditivados de acordo com a necessidade do seu uso. No entanto, são obtidos a partir do petróleo, mediante processos de refino, que visam à remoção ou à redução de compostos aromáticos, sulfurados, nitrogenados, oxigenados e parafinas lineares, indesejáveis na maior parte das aplicações dos produtos lubrificantes formulados (LOPES; CARVALHO, 2007).

Já os lubrificantes sintéticos advêm de laboratórios e de testes críticos para temperatura e atrito. Houve a necessidade de criação desses óleos quando apenas os minerais já não exerciam as necessidades exigidas pelos automóveis (GUEDES, 2017).

Segundo Cavalcanti, Mora e Serra (2014), as principais funções dos lubrificantes são: controle do atrito, redução do desgaste, moderação da temperatura, transferência de força, amortecimento de impactos, remoção de agentes contaminantes e outras. Ou seja, falhas na lubrificação podem acarretar consequências como o aumento da temperatura de funcionamento da máquina em decorrência do atrito, nível de desgaste superior ao normal das peças que estão em constante movimento, deficiência na disseminação de forças, aumento da corrosão devido à ação das substâncias agressivas aos metais e incorretas na recepção dos impactos.

Um dos maiores problemas com esse tipo de lubrificação é sua degradação devido à alta temperatura e ao tempo, ou seja, ele tem que ser trocado em um determinado tempo de uso para proporcionar a ação correta para a máquina. Essa degradação também é conhecida como tribologia (SILVA, 2011).

As nanopartículas têm revelado ótimo desempenho como aditivos de óleos lubrificantes. Estudos mostram que a eficiência de nanopartículas depende de vários fatores como carregamento, tamanho e distribuição de anexos na superfície do contato, rugosidade da superfície, tempo de mistura e funcionalização no lubrificante (JUSTE, 2012).

Nesse sentido, a inserção da nanopartículas como um lubrificante sólido vem com o objetivo de atuar nas peças juntamente com o óleo para a diminuição do atrito entre as elas, atuando como filmes protetores, preenchimento de vales ou rachuras,

polimentos para peças com diferentes superfícies e melhores táticas de fluidez para o lubrificante (BORDIGNON, 2018).

O principal objetivo da manutenção preventiva é evitar as consequências das falhas. Isso pode ser feito impedindo a falha antes que ela ocorra realmente. A manutenção preventiva é planejada para preservar a confiabilidade do equipamento, substituindo os componentes desgastados antes que eles realmente desgastem, ou seja, antecipa-se a manutenção para garantir o bom desempenho das peças com o tempo (CAVALCANTE; ALMEIDA, 2005).

Este artigo é aplicado à área da tribologia, ciência que estuda os contatos, o atrito, a lubrificação e o desgaste. Com base nos diversos campos da tribologia, este estudo propõe a análise de inserção de diversos tipos de nanopartículas no óleo lubrificante usado comercialmente. O objetivo principal é uma avaliação da diminuição do desgaste diante de vários tipos de nanopartículas, variando material, forma, tamanho e concentração. Além disso, este artigo visa à discussão sobre a importância da vida útil e do bom uso dos motores utilizados, conscientizando os usuários sobre uso coerente de óleos lubrificantes e manutenções periódicas e preventivas.

## 2 REVISÃO TEÓRICA

Serão aqui apresentados tópicos fundamentais para a compreensão sobre obtenção de óleos lubrificantes, seus objetivos e aspectos gerais, seus aditivos, sobre como as nanopartículas podem ser usadas no meio lubrificante e ação direta delas na diminuição de atrito.

### 2.1 REFINO DO PETRÓLEO

Segundo a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Combustível (ANP, 2020), o petróleo é um material de origem fóssil que possui características marcantes: oleoso, inflamável, com alto valor energético e menos denso que a água. Ele contém um cheiro característico e coloração variável. Sua formação é caracterizada principalmente pelo acúmulo de material orgânico (com condições específicas de pressão e isolamento em camadas), que sofre diversas transformações por milhares de anos.

Ainda de acordo com a ANP (2020), a composição química do petróleo é dada por uma combinação de hidrocarbonetos (compostos apenas com carbono e hidrogênio), podendo conter pequenas quantidades de outros elementos como nitrogênio, oxigênio, compostos de enxofre e metais. Um exemplo comum sobre a proporção entre os componentes do petróleo seria 82% de carbono, 12% de hidrogênio, 4% de nitrogênio, 1% de oxigênio, 0,5% de sais e 0,5% de metais como ferro ou cobre que são considerados resíduos.

Para a Petrobras (2020), o refino do petróleo é a operação realizada que transforma o petróleo bruto em produtos consumidos e comuns no dia a dia. Esse processo de refino demanda um ciclo composto por três fases principais:

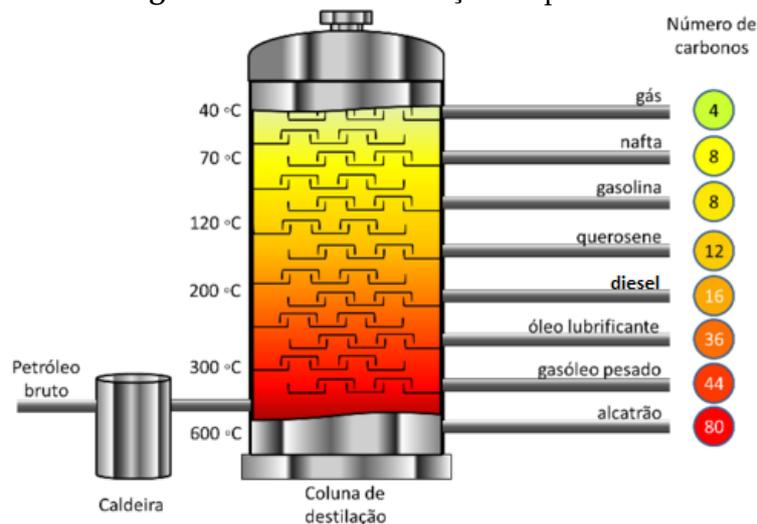
1. *Destilação* – o petróleo é aquecido em altas temperaturas até evaporar. Esse vapor volta ao estado líquido conforme esfria em diferentes níveis dentro da torre de destilação. Em cada nível, há um recipiente que coleta certo subproduto

do petróleo.

2. *Conversão* – é o processo que transforma as partes mais densas e de menor valor do petróleo em moléculas menores, dando origem a derivados mais nobres. Isso aumenta o aproveitamento do petróleo.
3. *Tratamentos* – são os processos voltados para adequar os derivados à qualidade exigida pelo mercado. Um exemplo a ser citado é a remoção do enxofre.

Os principais derivados do petróleo são gás natural, nafta, gasolina, querosene, diesel, óleo lubrificante, gasóleo ou óleo combustível e asfalto, como mostra a Imagem 1. A torre pode trabalhar com até 600°C, sendo os produtos mais leves os que saem com menor temperatura e os mais densos com temperatura elevada (CBIE, 2019).

**Figura 1:** Torre de destilação do petróleo



Fonte: Centro Brasileiro de Infraestrutura (CBIE), 2019.

Segundo a CBIE (2020), os maiores produtores mundiais de petróleo são Estados Unidos, Arábia Saudita, Rússia, Canadá, China, Iraque, Emirados Árabes, Brasil, Irã e Kuwait. No Brasil, a maior parte das reservas está nos campos marítimos, responsáveis por cerca de 3,67 milhões de barris de petróleo diariamente, sendo o oitavo maior produtor mundial. O barril de petróleo brasileiro tem capacidade considerável de 159 litros e vale cerca de R\$ 240,00.

## 2.2 ÓLEO LUBRIFICANTE

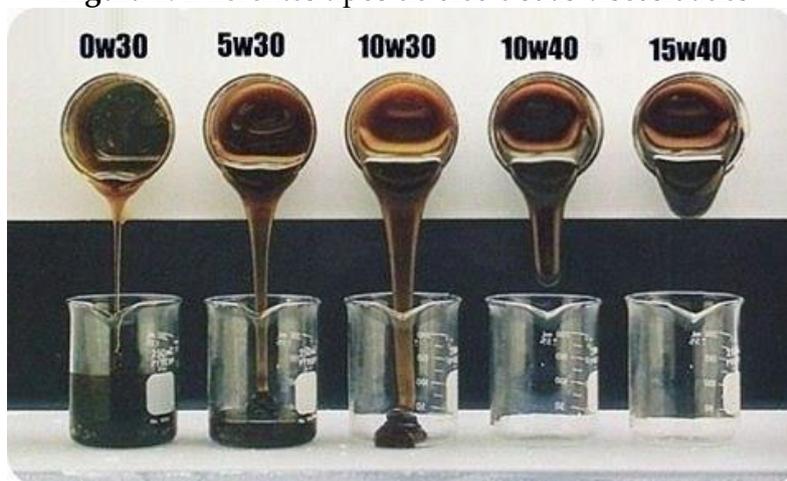
Segundo a ANP (2019), quando há uma superfície deslizando sobre outra, existe uma resistência ao movimento, que é conhecida por atrito, e qualquer substância que diminua o atrito é conhecida como lubrificante, que podem ser líquidos, sólidos ou gasosos. O mais utilizado é o óleo lubrificante, que é descrito como uma substância líquida que entremeia as superfícies, formando uma leve película que evita ou minimiza o atrito e conseqüentemente auxilia na redução de ruídos, excesso de calor, desgaste de peças e acúmulo de impurezas, aumentando, assim, a vida útil dos componentes móveis dos motores.

Dentre os óleos lubrificantes, temos três classificações: os óleos lubrificantes minerais, que são compostos principalmente de carbono e hidrogênio; eles são um dos produtos diretos da destilação fracionada do petróleo bruto. Têm-se também os óleos lubrificantes sintéticos, que são obtidos em laboratórios e desenvolvidos com base polimérica. Têm-se ainda os óleos semissintéticos, provenientes do óleo mineral juntamente com materiais sintéticos. Em todos, pode-se ter presença de aditivos para melhora de performance nos motores automotivos (SILVA, 2011).

A principal propriedade física dos óleos lubrificantes é a viscosidade. Ela fornece informações sobre a sua fluidez em baixas temperaturas e a proteção ao motor em altas temperaturas, ou seja, um lubrificante de baixa viscosidade será mais fluido e proporcionará mais facilidades ao motor. A viscosidade sofre alterações conforme o tempo e a utilização do óleo; com o aumento significativo da temperatura interna do motor, o óleo tende a ficar menos viscoso (mais espesso) e acaba perdendo suas ações tribológicas (LOPES; CARVALHO, 2007).

Segundo Carvalho (2018), além dessas ações, a viscosidade também está ligada à nomenclatura dos óleos lubrificantes. A Sociedade dos Engenheiros Automotivos (SAE) regulamenta que cada numeração utilizada represente a viscosidade e a letra indique o seu comportamento em função da temperatura se o óleo for multiviscoso e tenha ação em várias temperaturas. Um exemplo que se pode usar é o óleo 10W-30: o número 10 é o índice de fluidez (quanto menor, mais fluido é o óleo, como se observa na Figura 2); a letra W indica que ele pode ser um óleo de inverno e pode ter fluidez em baixas temperaturas; já o número 30, que não acompanha nenhuma letra, indica o fator de proteção do óleo em altas temperaturas.

**Figura 2:** Diferentes tipos de óleo e suas viscosidades



Fonte: BETAEQ<sup>2</sup>, 2020.

Para completar a nomenclatura do óleo, Instituto Americano de Petróleo (API), que são compostos por duas letras: a primeira é o tipo de combustível do automóvel (letra S caso seja combustão interna com velas e letra C caso seja combustão espontânea);

<sup>2</sup> Disponível em: <https://betaeq.com.br/index.php/2020/06/03/viscosidade-de-oleos-lubrificantes/>.

a segunda letra variável, desempenho do lubrificante e tecnologia do automóvel, sendo de SJ e SL os mais utilizados (CYRINO, 2018).

Fazendo-se uma leitura de duas FISPQ's diferentes de óleo lubrificante comercial, encontra-se que um é óleo lubrificante multiviscoso SAE 10W30 semissintético, desenvolvido com hidrocarbonetos básicos selecionados e aditivos de alta tecnologia, recomendado para motores 4 tempos que equipam motores movidas a gasolina; já outro é óleo lubrificante multiviscoso SAE 20W50, mineral, desenvolvido com hidrocarbonetos básicos selecionados e aditivos de alta tecnologia, recomendado para motores 4 tempos que equipam motores movidas a gasolina. As características do óleo são descritas na Tabela 1.

**Tabela 1:** Características físico-químicas do Óleo Lubrificante 10W30 e 20W50 comercial

<b>Características de óleos lubrificantes comerciais</b>		
<b>Características</b>	<b>10W30</b>	<b>20W50</b>
Aspecto	Viscoso	Viscoso
Cor	Característico	Característico
Odor	Petróleo	Petróleo
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,8612	0,8812
Viscosidade cinemática 40°C (cSt)	67,97	160
Viscosidade cinemática 100°C (cSt)	10,27	19,1
Índice de viscosidade	137	135
Ponto de Fluidez	-33	-15
Ponto de fulgor	230	240

Fonte: adaptado de FISPQ de óleo lubrificante comercial (2016), 2020.

Com a leitura da tabela, pode-se observar que os óleos, mesmo sendo diferentes, tem a mesma base, petróleo; são de aspecto, cor e odor característicos, têm a densidade, índice de viscosidade e ponto de fulgor próximos. Já o ponto de fluidez é um pouco diferente; o óleo 10W30 tem uma melhor fluidez em baixas temperaturas; já quanto à viscosidade, nota-se que o óleo 20W50 é menos viscoso, principalmente no ponto de 40°C, ou seja, ele vai ecoar com mais dificuldade que o outro óleo apontado.

### 2.3 ADITIVAÇÃO DE ÓLEOS LUBRIFICANTES

Almeida (2012) diz que aditivos são produtos de origem química adicionados aos óleos lubrificantes para suprir as necessidades, elevar o desempenho do óleo bruto e retirar características indesejáveis. Já Nassar e Ahmed (2006) definem aditivos de lubrificantes como materiais que conferem uma nova característica desejável ao produto, mas que não pertencem à formulação original ou reforçam uma propriedade existente.

Os aditivos podem alterar propriedades físicas e químicas dos óleos básicos, como índice de viscosidade, ponto de fluidez, estabilidade a oxidação, corrosão, entre outros, podendo assim ampliar o uso em inovações de motores, em busca também de um melhor desempenho, rendimento, durabilidade, vida útil tanto do lubrificante

quanto do motor e redução de emissões prejudiciais ao meio ambiente e saúde humana (SANTOS JUNIOR, 2011).

De acordo com Marçal (2018), os aditivos mais utilizados são:

- ✓ Detergentes ou dispersantes – evitam formação de resíduos de carbono e agem na limpeza do motor;
- ✓ Antioxidantes – evitam a oxidação de peças metálicas;
- ✓ Agentes anticorrosivos – evitam corrosão de superfícies e peças do sistema;
- ✓ Agentes de extrema pressão – evitam desgaste e arranhaduras se o sistema trabalha em alta pressão;
- ✓ Abaixadores do ponto de fluidez – diminuem a temperatura de fluidez, sendo ideal em locais mais frios;
- ✓ Melhoradores do índice de viscosidade (MIVs) – têm ação de melhorar o índice viscoso quando o óleo é exposto a altas temperaturas e acaba perdendo viscosidade; esses aditivos rompem e incham as células de hidrocarbonetos presentes, por isso eles se fazem um dos mais importantes;
- ✓ Antiferrugens – impedem a formação de ferrugem nas peças do automóvel;
- ✓ Antiespumantes – evitam a entrada de ar no sistema impedindo a formação de bolhas;
- ✓ Emulsificantes – facilitam uma emulsão estável entre óleo e água. Normalmente, são utilizados em sistemas que usam água para refrigerar o sistema;
- ✓ Biocidas – impedem proliferação de micro-organismos no sistema; são aditivos conservantes.

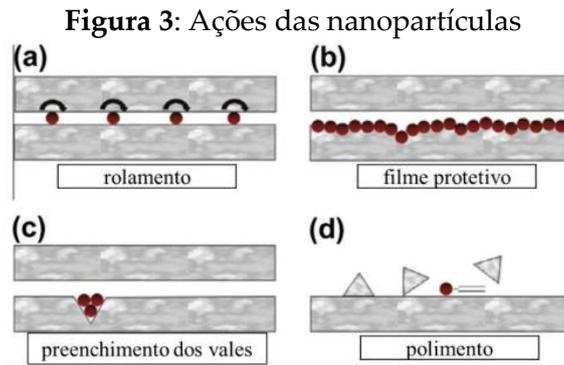
A natureza do óleo básico irá determinar o tipo e a quantidade de aditivos a serem inseridos no produto final, que, nesse caso, fica entre 7 e 30% de aditivos no total, conferindo maior viscosidade, melhor ponto de fluidez, maiores resistências e melhor limpeza do motor (CYRINO, 2016).

## 2.4 NANOLUBRIFICANTES

Como visto anteriormente, óleos lubrificantes com aditivos têm um grande potencial, ajudam no aumento da vida útil e auxiliam num melhor desempenho, porém a presença de elementos químicos nocivos nesses aditivos tem instigado pesquisadores a estudarem novos materiais, a fim de substituir os aditivos prejudiciais à saúde humana, ao meio ambiente e à vida animal; dentre as saídas, os nanomateriais vêm se destacando cada vez mais (BORDIGNON, 2018).

A nanotecnologia tem parâmetros moldáveis em novos materiais, muito explorados pela indústria. Hoje em dia está presente em todos os ramos de atividade. As nanopartículas são estudadas, manipuladas, moldadas e, nesse caso, dispersadas através de um dispersante estável (na maioria dos casos etilenoglicol ou apenas agitação), assim possibilita diversas aplicações (ZARBIN, 2007).

Segundo Juste (2012), os nanomateriais destacam-se por possuírem dimensões nanométricas (um nanômetro equivale a  $1 \times 10^{-9}$  metro), que permitem atuação direta na área de contato, cada um com sua forma particular, desempenhando reduções tribológicas significativas em atrito e desgaste como se pode avaliar na imagem a seguir.



Fonte: LEE *et al.*, 2009, p. 2.

Essa figura apresenta em cada item as ações tomadas pelas nanopartículas como lubrificantes. O item A nomeia-se rolamento, ou seja, a melhor espalhabilidade do lubrificante, fazendo uma superfície deslizar sobre outra. O item B apresenta o filme protetivo, ou seja, são várias nanopartículas em sequência, atuando como um filme. O item C tem por função preencher pequenas partes afundadas ou até mesmo partes que já tenham sofrido corrosão. Por último, tem-se o polimento que evita partículas depositadas na superfície (LEE *et al.*, 2009).

As nanopartículas em óleos lubrificantes começaram a ser utilizadas em pequenas escalas, porém diversos estudos e discussões são abertos acerca de nanopartículas em formas de óxido como óxido de zinco (ZnO), óxido de cobre (CuO), óxido de zircônio (ZrO<sub>2</sub>) e óxido de titânio (TiO); também são estudadas outras formas como dissulfeto de molibdênio, nitretos, amplas formas de nanopartículas de carbono e nanopartículas metálicas, como a nanopartícula de prata (TRAJANO, 2013).

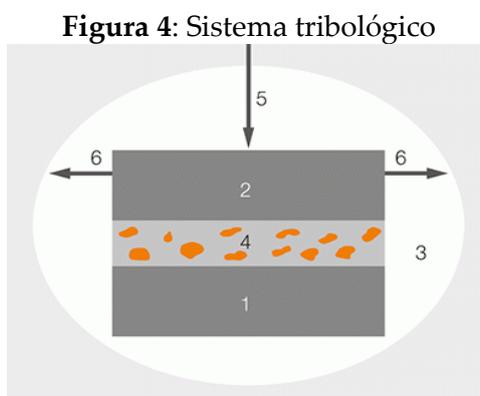
## 2.5 TRIBOLOGIA: ATRITO E DESGASTE

Tribologia vem do grego “tribos” que significa roçar, esfregar e “logos” que significa estudo. A tribologia nada mais é do que a ciência que estuda o movimento relativo das superfícies, ou seja, estuda o atrito, o desgaste e a lubrificação. Essa palavra surgiu em 1966, porém a ação da tribologia vem da antiguidade, desde a criação do fogo, por exemplo, que se originou a partir do atrito da madeira com pedras; outro exemplo é a lubrificação por banha animal que ocorria no Egito (FARIAS, 2017).

Segundo Cardoso (2013), a palavra tribologia ainda é pouco comum, porém está presente no nosso dia a dia em vários aspectos, desde uma artrite, que é a perda de lubrificação nas juntas, até um veículo em movimento que tem a tribologia em partes internas como no motor e externos como freios ou pneus e estrada. O atrito e o desgaste não podem ser eliminados, mas seu efeito pode ser reduzido para níveis toleráveis através da lubrificação.

Ainda segundo Farias (2017), a tribologia pode ser mais bem verificada e estudada através de um sistema tribológico que consiste em elementos que podem afetá-lo. O sistema tribológico é composto por dois corpos que interagem entre si em direções contrárias (corpo e contra corpo) ou por forças atuantes, o elemento interfacial

(lubrificantes) e o ambiente (temperatura, pressão, umidade), como se pode notar na imagem a seguir.



Fonte: Oliveira, 2010.

Em que:

1. Objeto de base;
2. Contra corpo ou corpo oponente;
3. Ambiente (temperatura, umidade, pressão);
4. Material intermediário (graxa, óleo lubrificante, partículas);
5. Carga;
6. Movimento.

Os principais interessados no atrito e desgaste são engenheiros mecânicos e de materiais, químicos e físicos, a fim de sempre fazerem materiais mais robustos e sempre melhores. É inevitável que uma peça tenha desgaste ou lesões por atrito, o que hoje é o maior problema que se tem na mecânica, porém usar a manutenção preventiva e fazer sempre revisões e trocas de lubrificantes pode diminuir drasticamente esse papel. Lubrificantes mais estudados e bem desenvolvidos principalmente com nanopartículas contribuem nessa diminuição (LOPES, 2007).

### 3 METODOLOGIA

Entende-se que o estudo bibliográfico é um conjunto de conhecimentos reunidos. Esse método é dividido em várias partes como leitura, fichamento, organização e resumo de textos. Além disso, a pesquisa bibliográfica é a base para as demais pesquisas, como a pesquisa de campo ou até pesquisa laboratorial, já que se trata de um preparatório (FACHIN, 2001).

Segundo Conforto *et al.* (2011), em uma revisão bibliográfica é importante: conhecer a leitura; compreender a leitura; aplicar a revisão; analisar resultados; sintetizar resultados e avaliar os resultados. Também é importante problematizar o assunto, definir os tópicos e palavras-chave e ter boas fontes de dados. A pesquisa bibliográfica possui caráter exploratório e deve ser desenvolvida com base em material já elaborado, como livros, artigos e teses.

Este artigo é uma revisão bibliográfica com o intuito de comparar referências que utilizam diversas nanopartículas dispersas em óleos lubrificantes com aplicação em

base sólida e seus comportamentos diante da força de atrito, desgaste e temperatura. O método utilizado é o sistemático com base em análise teórico-descritiva e levantamento de dados que foram coletados a partir de pesquisas feitas com o auxílio do Google Scholar e livros, com publicações no período de tempo entre os anos 2004 e 2019 em português e inglês, sendo óleos lubrificantes, nanopartículas, aditivação de lubrificantes e tribologia as palavras-chave para a pesquisa. O levantamento bibliográfico foi realizado entre os meses julho e setembro de 2020.

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Inicialmente, foram separados 15 artigos, teses e monografias, mas a pesquisa seguiu com 7 desses trabalhos para a análise mais profunda. Nas tabelas a seguir, são apresentados os diferentes tipos de nanopartículas, tamanhos, concentrações, analisando assim a redução de atrito oriunda da inserção destas, ajudando no aumento da vida útil do lubrificante e da superfície sólida envolvida no processo real.

Os óleos utilizados para a inserção foram do tipo 10W30 e 20W50. As nanopartículas utilizadas foram nanopartículas de Grafeno puro (GP) e potencializada com  $\text{NH}_3$  ( $\text{GNH}_3$ ), Dissulfeto de molibdênio ( $\text{MoS}_2$ ), NanoAmor comercializado, nanopartículas de Nitreto de boro (BN), Óxido de Cobre (CuO), Óxido de Zinco (ZnO), Prata (Ag) e Prata potencializada com Paládio (AgPd). A Tabela 2 resume as nanopartículas no óleo 10W30.

**Tabela 2:** Comparação entre quatro nanopartículas dispersas do óleo lubrificante 10W30

AVALIAÇÃO DE QUATRO NANOPARTÍCULAS EM ÓLEO LUBRIFICANTE 10W30				
	NANOPARTÍCULA	TAMANHO	CONCENTRAÇÃO	REDUÇÃO DESGASTE
<b>BORDIGNON (2018)</b>	Nanolâminas de Grafeno Puro	Dimensão de 400 nm e espessura de 5 nm	0,05%	45%
<b>BORDIGNON (2018)</b>	Nanolâminas de Grafeno potencializada com $\text{NH}_3$	Dimensão de 400 nm e espessura de 5 nm	0,05%	94%
<b>JUSTE (2012)</b>	Nanoflores de $\text{MoS}_2$	Nanoflores de 100 nm a 300 nm	0,5%	25%
<b>FREITAS (2018)</b>	Nanoarmor comercial	Aditivo industrializado pronto	0,1%	64%

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

Na Tabela 3, são apresentadas as nanopartículas de Nitreto de boro (BN), Óxido de Cobre (CuO), Óxido de Zinco (ZnO), Prata (Ag) e Prata potencializada com Paládio (AgPd); essas dispersas em óleo 20W50.

**Tabela 3:** Comparação entre cinco nanopartículas dispersas do óleo lubrificante 20W50

AVALIAÇÃO DE CINCO NANOPARTÍCULAS EM ÓLEO LUBRIFICANTE 20W50				
	NANOPARTÍCULA	TAMANHO	CONCENTRAÇÃO	REDUÇÃO DESGASTE
HIRAYAMA (2017)	Nitreto de Boro	100 – 500 nm	0,1%	17%
MELLO (2017)	Óxido de Cobre	2,5 nm	0,1%	21%
TRAJANO (2013)	Óxido de Zinco	5 - 12 nm	0,5%	17%
KUMARA (2017)	Prata Metálica	3 – 6 nm	1,0%	85%
KUMARA (2019)	Prata potencializada com Paládio	2 – 6 nm	1,0%	80%

Fonte: dados da pesquisa, 2020.

As nanopartículas vêm sendo cada vez mais estudadas e utilizadas na área da tribologia. Isso porque se buscam nanopartículas que auxiliem na redução de desgaste e que não causem danos à superfície sólida de contato e meio ambiente. Para a escolha da nanopartícula é sempre importante observar sua fonte, material e forma; pode-se observar que o levantamento feito neste artigo é de várias formas e materiais diferentes entre si. Têm-se nanolâminas, nanoflores e nanopartículas normais ainda variando seus materiais em metálicos, óxidos, nitreto, sulfeto e até mesmo amoníacos.

O tamanho das nanopartículas também é de fundamental importância no levantamento realizado, pois se pode observar que as nanopartículas consideradas de forma em geral variam de 2 nm até 500 nm, ou seja, uma larga escala de tamanhos. Os estudos de Kumara (2019) e Mello (2017) trazem que nanopartículas menores são melhores em questão de superfície de contato e dispersão das mesmas, uma vez que elas entremeiam e formam filmes protetores nas camadas sólidas. Já em Bordignon (2018), pode-se encontrar que nanopartículas de tamanho micrométrico também são de válida eficiência em lubrificação e diminuição do desgaste, uma vez que menores nanopartículas têm maiores superfícies de contato.

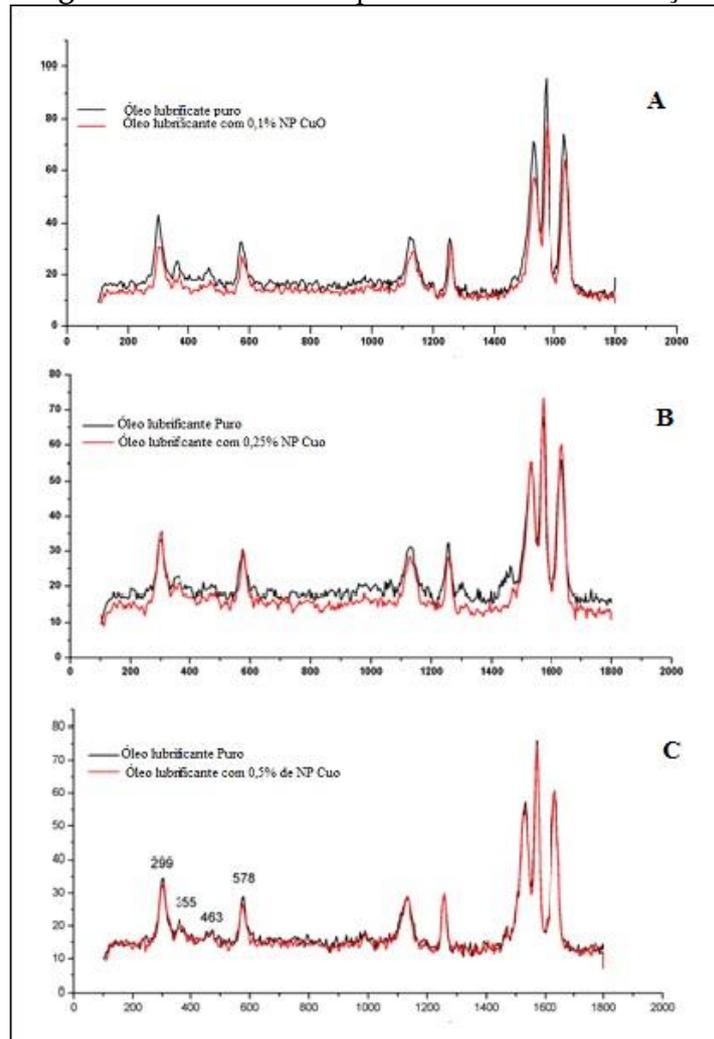
A dispersão da nanopartícula é outro passo muito importante, pois se avalia a estabilidade do meio, ou seja, nanopartículas não podem ficar em suspensão ou decantar no óleo, pois podem interferir na eficiência quando o motor estiver parado, por exemplo, vindo até a obstruir minicanais dentro dos motores. O dispersante mais usado nos estudos é o etilenoglicol, que tem presença de dois grupos alcoólicos e uma parte de cadeia carbônica, podendo adaptar-se muito bem ao óleo lubrificante e carrear as nanopartículas por ele, sendo usado o mínimo possível de dispersante, sem mudar a eficiência do óleo.

A concentração de nanopartículas que serão dispersas é um grande ponto de estudos, pois concentrações pequenas podem ser ineficientes e grandes concentrações podem ser desnecessárias ou até mesmo fazer efeito contrário do que esperado. As concentrações apresentadas nas Tabelas 2 e 3 foram as mais adequadas, como se pode observar na Figura 5 apresentada sobre o estudo de Mello (2017), que relaciona o item A

à concentração de 0,1% de nanopartícula, B equivalente a 0,25% de nanopartícula e C equivalente a 0,5% de nanopartícula.

A Figura 5 apresentada a seguir relaciona um estudo proposto por Mello (2017), mostrando o efeito da concentração de nanopartícula no atrito, em que o eixo x é representado pelo tempo em segundos e o eixo y é representado pela intensidade do atrito causado pelo óleo com e sem a nanopartícula.

**Figura 5:** Atrito causado pelo efeito da concentração



Fonte: adaptado de Mello, 2017.

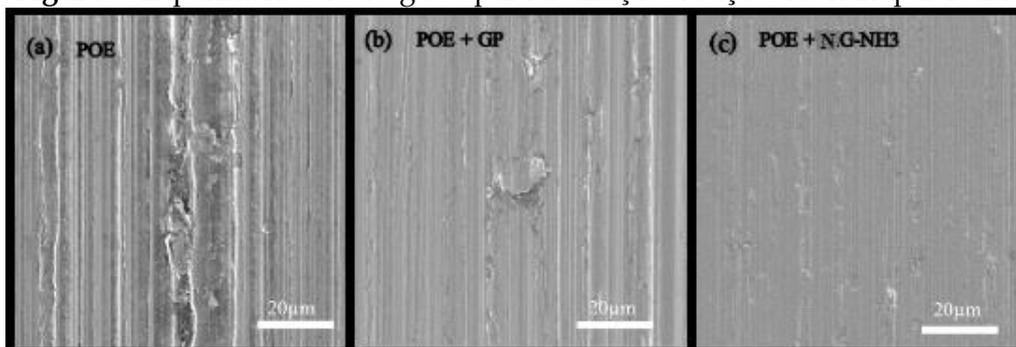
No item A da Figura 5, observa-se que a aplicação de nanopartículas é eficaz, pois a linha vermelha que apresenta a inserção de nanopartículas é mais baixa que a linha preta, dizendo assim que o atrito é menor. Observa-se também que é a menor faixa de concentração em estudo. Já no item B, existem picos em que o óleo com inserção de nanopartículas se iguala ao livre de nanopartículas e no item C existem faixas que até ultrapassam o valor de atrito do óleo sem nanopartículas, fazendo da inserção um processo sem êxito.

O item mais importante de trabalho nesse estudo é a redução do desgaste. O desgaste nada mais é do que uma consequência de todo atrito e forças aplicadas contra as superfícies sólidas, causando ranhuras, corrosão, perda de camadas da superfície, podendo levar até à quebra e ruptura da superfície. Nesse âmbito, pode-se observar que, em ambos os óleos e em todas as inserções de nanopartículas, houve redução de atrito sendo aquelas com nanolâminas de grafeno potencializadas com  $\text{NH}_3$  de Bordignon (2018) e com nanopartículas de prata de Kumara (2017), as mais eficientes, em que a redução foi de 94 e 85% respectivamente. Um dos motivos pelo qual o grafeno é um material com alto potencial de redução no desgaste se deve ao fato de que é promissor como lubrificante devido à sua estrutura fina lamelar e à sua espessura nanométrica, o que facilita o escorregamento dos planos (baixa força de cisalhamento) e minimiza as interações entre as superfícies metálicas em contato. Além disso, o grafeno é um material bidimensional com baixa energia de superfície, o que faz com que seja capaz de substituir filmes sólidos que são frequentemente utilizados para reduzir a adesão e o atrito de várias superfícies (BORDIGNON, 2018).

As nanopartículas menos eficientes foram as de Hirayama (2017) com aplicação de nanopartículas de nitreto de boro e as de Trajano (2013) com nanopartículas de óxido de zinco, ambas com 17% de redução de desgaste. Vale destacar que 17% é um ótimo percentual de redução do desgaste, uma vez que vai prolongar a vida útil do motor ou superfícies sólidas, aumentando a resistência da superfície.

Na Figura 6, são apresentadas as imagens do experimento de desgaste de Bordignon (2018), em que A representa o óleo puro, B representa o óleo aditivado com nanolâminas de grafeno e C representa o óleo aditivado com nanolâminas de grafeno potencializadas com  $\text{NH}_3$ .

**Figura 6:** Experimento de desgaste para avaliação da ação das nanopartículas

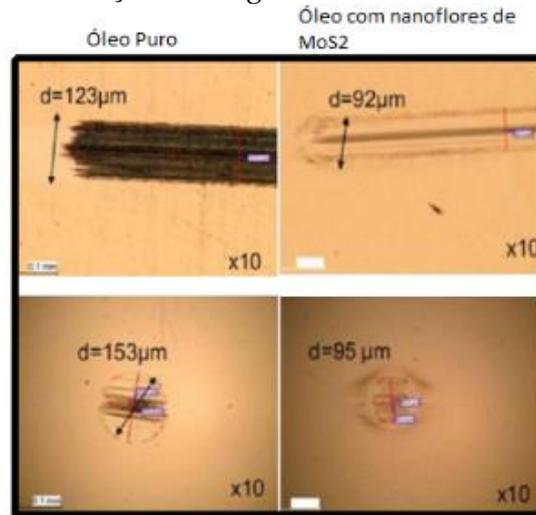


Fonte: adaptado de Bordignon, 2018.

Nota-se que o óleo puro causa ranhuras graves na superfície sólida, que são minimizadas quando o teste é repetido com o óleo contendo nanolâminas de grafeno e que são quase imperceptíveis quando testado novamente com o óleo contendo nanolâminas de grafeno potencializado com  $\text{NH}_3$ . Essas ranhuras que ficam imperceptíveis são justamente a diminuição do desgaste com tempo e a ação causada pelas nanopartículas que, no caso agem como um filme protetor acima da superfície, diminuindo o dano causado pelo contra corpo no corpo de prova.

Outro estudo que mostra a redução de desgaste é o de Juste (2012), em que se encontram cerca de 25% de redução no teste requerido. A Figura 7 demonstra as marcas de desgaste na amostra e o diâmetro da marca no contra corpo, em que foram utilizados o óleo puro e o óleo com nanoflores de MoS<sub>2</sub> como material intermediário lubrificante

**Figura 7:** Redução de desgaste com Nanoflores de MoS<sub>2</sub>



Fonte: adaptado de Juste, 2012.

Novamente, nota-se que a influência do óleo aditivado com nanopartículas sobre o teste de desgaste é muito grande: há uma redução significativa de sinal e tamanho das marcas deixadas pelo contra corpo e é assim que se espera a ação dentro de motores e outros tipos de superfícies sólidas. A redução de 25% de desgaste e de atrito é uma redução importante uma vez que a vida útil de equipamentos está diretamente ligada à lubrificação correta.

Em comparações, nota-se que todos os pontos avaliados, como tipo, tamanho e concentração das nanopartículas, são extremamente importantes para a redução do desgaste final, cada ponto com sua peculiaridade. O tipo de nanopartícula e seu material podem colaborar para uma proteção maior ou de mais facilidade; o tamanho da nanopartícula influencia diretamente na superfície de contato para melhor ação de cobertura de falhas e filmes protetores, sua concentração é extremamente ligada ao coeficiente de desgaste, pois uma concentração menor do que a necessária pode não causar o efeito esperado e uma concentração maior pode até mesmo causar o efeito inverso.

A redução de desgaste é o ponto de estudo mais enfatizado, pois, como disposto anteriormente, todos as variáveis podem causar diferenças nele para que seja realmente efetivo ou não. Nessas comparações, observam-se que as nanopartículas são realmente efetivas e que se podem mudar tipos, materiais, tamanhos, concentrações e até mesmo potencializá-las com outros materiais para que a redução seja cada vez mais efetiva.

Com o atrito em excesso, também ocorre a retirada de pequenos fragmentos metálicos das superfícies sólidas que podem causar entupimentos em pequenos vasos em motores, por exemplo, que só podem ser observados com manutenções periódicas. A manutenção preventiva é de suma importância, pois pode evitar acidentes e danos.

Ela caminha juntamente com o melhoramento dos lubrificantes, pois, com um melhor lubrificante, a fim de uma proteção efetiva e com a realização de manutenções preventivas a proteção das superfícies, é maior e o risco de incidentes, menor.

A partir disso, pensando em novos estudos, pode-se dizer que realizar variações em tipos e tamanhos de nanopartículas é viável, uma vez que podem ser potencializadas. Estudos envolvendo a química da nanopartículas e o solvente usado também são indispensáveis para que elas fiquem cada vez mais dispersas no óleo lubrificante, assim agindo com a polaridade das moléculas. Ainda é válido estudar outros tipos de óleos lubrificantes e variar concentrações de nanopartículas neles. Pode-se também avaliar mais profundamente as nanopartículas e sua inserção, trabalhar mais em testes de desgaste e tempo limite de duração da lubrificação aditivada.

## 5 CONCLUSÃO

A partir da realização desta pesquisa bibliográfica, pôde-se concluir que a inserção de nanopartículas é um ótimo meio para aumentar a qualidade do óleo, reduzindo o desgaste gerado de superfícies sólidas e agindo mais eficientemente como um lubrificante. É possível também observar que o tamanho, o tipo e a concentração estão diretamente ligados com a redução do desgaste, o que pode ser um tópico para estudos futuros.

Os resultados demonstram claramente que a adição de uma quantidade mínima (de 0,05% a 1%) de nanopartículas e de tamanhos menores é mais eficaz devido ao aumento da superfície de contato e não sobrecarrega o lubrificante.

Observa-se que o melhor resultado de redução de atrito que se obteve na pesquisa foram as nanolâminas de grafeno potencializadas com  $\text{NH}_3$  na concentração de 0,05% e redução de 94% e que o  $\text{NH}_3$  como potencializador é muito eficaz, já que a diferença do grafeno puro e potencializado é de cerca de 49%.

Ainda são necessárias fontes de estudo acerca de materiais, tipos, tamanhos e concentrações variadas para nanopartículas a fim de sempre melhorar a propriedade de diminuição de desgaste e deixar o lubrificante estável, ótimo para motores e demais superfícies sólidas, assim como para o meio ambiente e saúde humana também.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, A. P. P. **Caracterização de aditivos poliméricos melhoradores de índice de viscosidade e estudo reológico de lubrificantes automotivos**. 2012. 152 f. Dissertação Mestrado – Mestre em Engenharia Química, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 2012.

ANP – Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis. **Refino do Petróleo**. 2020. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/producao-de-derivados-de-petroleo-e-processamento-de-gas-natutal/refino-petroleo>.

ANP – Agência Nacional do Petróleo Gás Natural e Biocombustíveis. **Lubrificantes**. 2016, atualizado em 2019. Disponível em: <http://www.anp.gov.br/petroleo-derivado/lubrificantes>.

AZEVEDO, J. B. *et al.* Propriedades reológicas de óleos lubrificantes minerais e sintéticos com degradação em motor automotivo. 2004. 5 f. *In: Anais do 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás*, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2005.

BORDIGNON, R. Z. *et al.* **Desempenho tribológico de grafeno funcionalizado como aditivo em óleo lubrificante de baixa viscosidade**. 2018. 80 f. Dissertação Mestrado – Curso de Ciência e Engenharia de materiais, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, Florianópolis, 2018.

CARDOSO, R. P. O papel da tribologia em engenharia de materiais e superfícies. 2013. *In: Plano de aula Universidade Federal do Paraná*. Curitiba. 2013.

CARVALHO, R. Viscosidade do óleo. **Revista Total Brasil**, 2018. Disponível em: <https://www.totalbrasil.com/viscosidade-do-oleo>.

CAVALCANTE, C. A. V.; ALMEIDA, A. T. de. Modelo multicritério de apoio a decisão para o planejamento de manutenção preventiva utilizando PROMETHEE II em situações de incerteza. **Pesquisa Operacional**, Recife, v. 25, n. 2, p. 279-296, 2005.

CAVALCANTI, E. J. C.; MORA, N. D.; SERRA, T. **Estudo do desempenho do óleo lubrificante em pontos diferentes da turbina**. 2014. 7 f. Projeto de Iniciação Científica para Engenharia Mecânica - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, (UNIOESTE), Foz do Iguaçu, 2014.

CBIE – Centro Brasileiro de Infraestrutura. **Como funciona a destilação do petróleo?**. 2019. Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/como-funciona-a-destilacao-do-petroleo/>.

CBIE – Centro Brasileiro de Infraestrutura. **Quais são os maiores produtores mundiais de petróleo?**. 2020. Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/quais-sao-os-maiores-produtores-mundiais-de-petroleo/>.

CONFORTO, E. C. *et al.* Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. *In: Anais Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produtos*, Porto Alegre, 2011.

CYRINO, L. **Aditivos adicionados aos lubrificantes**. 2016. Disponível em: <https://www.manutencaoemfoco.com.br/aditivos-adicionado-aos-lubrificantes/>.

CYRINO, L. **Óleo automotivo e sua classificação**. 2018. Disponível em: <https://www.manutencaoemfoco.com.br/oleo-automotivo-e-sua-classificacao/>.

FACHIN, O. **Fundamentos de metodologias**. São Paulo: Saraiva, 2001.

FARIAS, M. C. M. Tribologia. *In: Projeto pavimentos tribológico*. Universidade de Caxias do Sul. Bom Princípio. 2017.

FREITAS, G., T. de. **Investigação do comportamento de um aditivo para óleos lubrificantes por meio de ensaios tribológicos e técnicas de caracterização de nanomateriais**. 2018. 142 f. Dissertação de mestrado em Engenharia Mecânica – Pós-graduação em engenharia mecânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, Rio de Janeiro, 2018.

GUEDES, A. E. D. **Síntese e caracterização de nanopartículas supermagnéticas para aditivação de lubrificantes industriais**. 2017. 164 f. Tese de Doutorado - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte - UFRN, Natal, 2017.

HIRAYAMA, D. E. **Avaliação físico-química de lubrificantes básicos aditivados com nanopartículas**. 2017. 98 f. Dissertação de mestrado no curso de processos industriais, IPT (Instituto de pesquisas tecnológicas do estado de São Paulo), São Paulo, 2017.

IPIRANGA. **Óleo Moto Performance 10W30. Ficha de informações de segurança de produtos químicos – FISPQ n° 171**, 2016. Disponível em: [https://portal.ipiranga/wps/wcm/connect/12df27ae-43b6-4c09-b5a9-1cd6a1f9306f/IPIRANGA+MOTO+PERFORMANCE+10W30+-+REV+150416.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT\\_TO=url&CACHEID=12df27ae-43b6-4c09-b5a9-1cd6a1f9306f](https://portal.ipiranga/wps/wcm/connect/12df27ae-43b6-4c09-b5a9-1cd6a1f9306f/IPIRANGA+MOTO+PERFORMANCE+10W30+-+REV+150416.pdf?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=12df27ae-43b6-4c09-b5a9-1cd6a1f9306f).

IPIRANGA. **Óleo Moto Performance 20W50**. Ficha de informações de segurança de produtos químicos – FISPQ n° 092, 2016. Disponível em: [https://portal.ipiranga/wps/wcm/connect/489713c2-c5c6-4f5e-9184-1c4f98d0e55a/IPIRANGA+MOTO+PROTECTION+20W50+SL.PDF?MOD=AJPERES&CONVERT\\_TO=url&CACHEID=489713c2-c5c6-4f5e-9184-1c4f98d0e55a](https://portal.ipiranga/wps/wcm/connect/489713c2-c5c6-4f5e-9184-1c4f98d0e55a/IPIRANGA+MOTO+PROTECTION+20W50+SL.PDF?MOD=AJPERES&CONVERT_TO=url&CACHEID=489713c2-c5c6-4f5e-9184-1c4f98d0e55a).

JUSTE, K. R. de C. **Caracterização tribológica da lubrificação sólida**. 2012. 164 f. Tese Graduação - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, 2012.

KUMARA, C. *et al.* **Organic-modified silver nanoparticles as lubricant additives**. *ACS applied materials & interfaces*, v. 9, n. 42, p. 37227-37237, 2017.

KUMARA, C.; Harry M.; QU, Jun. **Synergistic Interactions Between Silver and Palladium Nanoparticles in Lubrication**. *ACS Applied Nano Materials*, v. 2, n. 8, p. 5302-5309, 2019.

LEE, K. *et al.* Understanding the role of nanoparticles in nano-oil lubrication. **Tribology Letters**, v. 35, n. 2, p. 127–131, 2009.

LOPES, E. H. O.; CARVALHO, L. H. **Efeitos do envelhecimento térmico na estrutura química e reologia de um óleo lubrificante mineral**. 2007. 9 f. *In*: 4º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2007.

MARÇAL, L. D. **Estudo da copolimerização de aditivos melhoradores do índice de viscosidade de óleos lubrificantes automotivos**. 2018. 127 f. Dissertação Mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal de São João Del Rei – UFSJ, Ouro Branco, 2018.

MELLO, V. S. **Otimização do processo de síntese de nanolubrificantes aditivados com CuO para ação antidesgaste**. 2017. 165 f. Tese de doutorado em Engenharia mecânica – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Natal, 2017.

NASSAR, A. M.; AHMED, N. S. **The Behavior of  $\alpha$ -Olefins Butyl Acrylate Copolymers as Viscosity Index Improvers and Pour Point Depressants for Lube Oil**; *International Journal of Polymeric Materials*, v. 55, p. 947-955, 2006.

OLIVEIRA, G. A. de. **Tribologia: atrito, desgaste, lubrificação**. 2010. 63f. Tese Graduação em Engenharia Mecânica – Universidade Federal de Uberlândia – UFU, Uberlândia, 2010.

PETROBRAS. **Refino: saiba o que é e como funciona**. 2020. Disponível em: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/refino/>.

SANTOS JUNIOR, A. A. **Determinação de parâmetros de óleos lubrificantes de motores de ciclo Otto e ciclo Diesel através da Espectroscopia no Infravermelho, métodos multivariados e cartas de controle**. 2011. 134 f. Dissertação Mestrado – Mestre em Química, Universidade de Brasília – UNB, Brasília, 2011.

SILVA, A. E. de O. **Transposição didática: a química dos óleos lubrificantes**. 2011. 59f. Tese Graduação no Curso de Licenciatura em química, Universidade de Brasília – UNB, Brasília, 2011.

TRAJANO, M. F. **Estudo tribológico de biolubrificantes com adição de nanopartículas de óxidos (zinco e cobre)**. 2013. 83 f. Dissertação Mestrado em Tecnologia de Materiais. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN. Natal, 2013.

ZARBIN, A. J. G. Química de (nano)materiais. 2007. **Quim. Nova**, Curitiba, v. 30, n. 6, p. 1469-1479, 2007.