

ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE CONDICIONADORES DE METAIS EM COMPARAÇÃO A UM ÓLEO LUBRIFICANTE NO DESGASTE DE UM AÇO SAE 1045

Leonardo Spilere Rosso¹

Adelor Felipe da Costa²

Resumo: O condicionador metálico é usado na indústria, inclusive automobilística, para potencializar o efeito do óleo lubrificante. A aplicação do condicionador tende a melhorar os aspectos relacionados à redução de atrito e desgaste, redução de custos de manutenção e aumento da confiabilidade dos sistemas. O presente estudo visa comparar o desgaste por deslizamento de metais, utilizando-se o lubrificante puro SAE 5W30 e com adição de dois condicionadores de metais encontrados no mercado, em relação à massa do referido lubrificante. Os ensaios foram realizados em um tribômetro, na configuração pino sobre disco, onde os pinos eram esferas de aço SAE 52100 e os discos de aço SAE 1045. Foram realizadas três condições de estudo para o presente trabalho, uma utilizando o lubrificante sintético SAE 5W30 puro e outras duas na mistura do lubrificante em proporções de massa de 3%, 5% e 7% para cada condicionador de metais. Todas as condições foram avaliadas com uma carga de 40 N e com uma distância de deslizamento de 1000 m, sendo que, para a adição dos lubrificantes, utilizou-se uma seringa. O coeficiente de atrito e a força tangencial de atrito foram monitorados durante todo o ensaio de deslizamento e, após a realização dos ensaios, foram avaliadas as superfícies das amostras para a obtenção de dados relacionados ao desgaste. Com a avaliação feita para cada amostra, obteve-se um resultado positivo referente ao uso do condicionador de metais em relação à utilização do lubrificante puro, sendo que o condicionador de metais “A” se mostrou mais eficiente que o condicionador de metais “B”.

Palavras-Chave: Tribologia. Lubrificação. Condicionador de metais. Ensaio de deslizamento. Desgaste.

1 INTRODUÇÃO

O desgaste é um dos problemas mais recorrentes no ramo da mecânica, decorrente, muitas vezes, da falta de lubrificação ou má utilização do equipamento, sendo que, diante dos avanços tecnológicos dos últimos anos, o estudo e a aplicação da tribologia se tornou fundamental para a resolução desse problema. A fim de evitar

¹ Graduando em Engenharia Mecânica. Ano 2021-2. E-mail: leosrosso@hotmail.com

² Professor do Cento Universitário UniSATC. E-mail: adelor.costa@satc.edu.br

desgastes prematuros em equipamentos mecânicos e também aumentar a sua vida útil, o estudo tribológico mostra-se imprescindível.

Desgaste e atrito sempre serão encontrados em qualquer movimento deslizante, ou seja, é inevitável inibir tais problemas, os quais são responsáveis por danificar por meio de fadiga e podem ocasionar a perda de eficiência dos equipamentos. Visando aprimorar as condições de trabalho e a recuperação dos componentes, aprendeu-se muito sobre atrito e desgaste nas últimas décadas.

Segundo (HOLMBERG; ERDEMIR, 2017), de toda energia consumida do mundo, 23% é originada pelos contatos tribológicos, sendo que 20% desta energia é utilizada para superar o atrito e os outros 3% para recuperar as peças falhadas ou gastas pelo desgaste.

Uma das alternativas para diminuir os problemas gerados pelo desgaste é a lubrificação dos componentes, através da utilização de óleos lubrificantes e graxas. Ainda, é possível melhorar o desempenho dos óleos lubrificantes com o auxílio de produtos químicos que alteram suas propriedades, denominados aditivos.

Com o intuito de melhorar ainda mais o desempenho dos componentes mecânicos foram criados os condicionadores de metais, que são responsáveis por diminuir consideravelmente o atrito entre as peças metálicas. Importante pontuar, contudo, que não se qualificam como aditivos, em razão de não alterarem as propriedades físico-químicas dos lubrificantes.

Partindo deste pressuposto, o presente trabalho visa analisar a eficiência de dois condicionadores de metais encontrados no mercado em detrimento a um óleo lubrificante, através da avaliação do desgaste de um aço SAE 1045.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será mostrado todo o referencial de pesquisa utilizado para melhor entendimento acerca do tema estudado, o qual é de fundamental importância para o embasamento teórico do trabalho.

2.1 TRIBOLOGIA

A palavra tribologia é originada do grego “tribos”, cujo significado é esfregar, atritar e friccionar, e “logos”, que significa estudo. A tribologia é um novo campo da ciência, delimitado em 1967 pelo comitê da Organização para Cooperação e Desenvolvimento Econômico, que estuda os aspectos do atrito, desgaste e lubrificação de contatos mecânicos (STACHOWIARK; BATCHELOR, 1993).

Na tribologia, de acordo com (RONCHI, 2009) são estudados aspectos como atrito, desgaste e lubrificação de contato mecânico, sendo que, normalmente, um sistema tribológico é composto por 04 (quatro) elementos, quais sejam corpo de prova, contra corpo de prova, a interface entre os dois corpos e o ambiente.

Para (SERPA, 1996) é quase impossível gerar qualquer movimento sem atrito e desgaste, sendo estimado, segundo (STACHOWIARK; BATCHELOR, 1993), que um terço de toda energia produzida no mundo é utilizada para superar o atrito.

2.1.1 Atrito

O atrito, de modo geral, se refere à perda gradual de energia cinética nas situações em que substâncias ou corpos se movem um em relação ao outro, entretanto, existem denominações específicas para definir esse fenômeno. O atrito viscoso atrasa a movimentação interna dos líquidos, já o atrito interno neutraliza as vibrações dos sólidos e o atrito sólido ocorre quando dois corpos se movem um em relação ao outro (SEMBARSKI, 2018).

Para (MEDEIROS, 2010) o atrito nada mais é do que um estado de aspereza ou a rugosidade de dois sólidos em contato, o qual permite a troca de forças em um sentido tangencial à região de contato.

O atrito possui um papel fundamental nas atividades diárias e nos processos industriais, pois ajuda a colocar um corpo em movimento, variar sua direção e, depois, a parar. Sem o atrito, os seres humanos teriam dificuldade para se locomover, pegar objetos e, até mesmo, acender um fósforo. No âmbito industrial, as juntas roscadas não teriam aperto, laminadoras não operariam e a soldagem por atrito não aconteceria (SAMARRAIE, 2015).

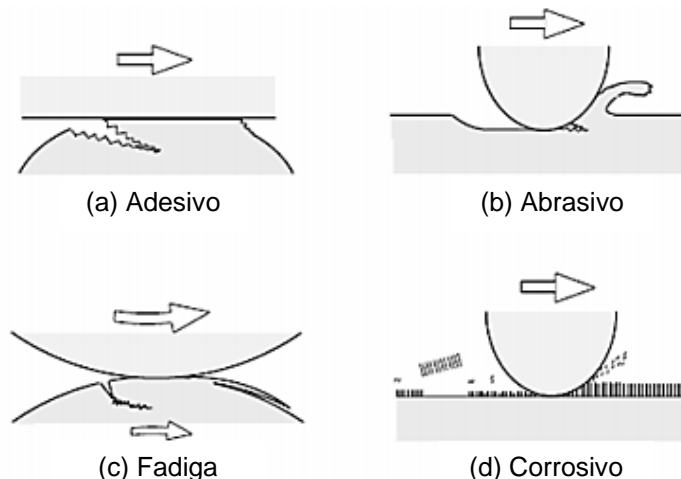
De acordo com (SEMBARSKI, 2018) nas indústrias mecânicas, o atrito tem um lado prejudicial, já que, na operação de máquinas, é responsável pela perda de muita energia, dissipada principalmente como calor, o qual deve ser removido por resfriamento para evitar danos e deixar a máquina operando sem limitações. Toda a energia perdida através do atrito deve ser fornecida continuamente para manter o movimento deslizante.

2.1.2 Desgaste

Atrito e desgaste decorrem tanto das condições de deslizamento (pressão normal e velocidade de deslizamento), quanto das propriedades dos materiais. O desgaste é desfecho de uma ação mecânica, decorrente, principalmente, do processo de atrito (ZMITROWICZ, 2006, p.233).

Um dos principais focos tribológicos estudados é o desgaste, sendo tradicionalmente aceito por pesquisadores os quatro modos representativos de desgaste ilustrados na figura 1 (KATO, 2001).

Figura 1: Desenho esquemático dos quatro modos representativos de desgaste.



Fonte: Radi et al, (2007).

O desgaste adesivo é encontrado quando o contato adesivo entre as superfícies é consideravelmente forte para vencer o deslizamento. No desgaste abrasivo acontece a remoção de material da superfície, em função da dureza dos dois materiais em contato. Já o desgaste por fadiga, é originado pelo alto número de

repetições do movimento. Quando é gerado por meios corrosivos, tanto por líquidos ou gases, o desgaste é denominado como corrosivo (KATO, 2001).

Segundo (ZMITROWICZ, 2006, p.233) é reconhecido que o desgaste está diretamente relacionado ao coeficiente de desgaste, pressão e a distância de deslizamento, podendo-se utilizar, portanto, o ensaio de pino sobre disco para determinar como é afetado pela pressão e distância de deslizamento.

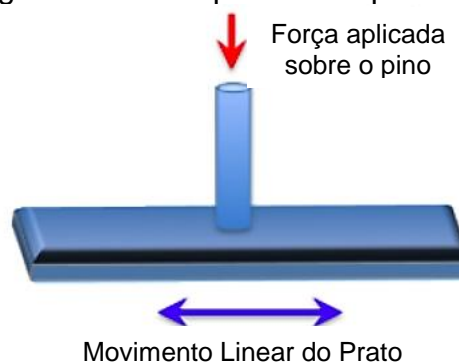
2.2 PROCESSOS DE AVALIAÇÃO DO DESGASTE

O número de desgaste em um sistema depende do número de fatores do sistema, como as características da máquina, a carga aplicada, a velocidade de deslizamento, a distância do deslizamento, as propriedades do material e o ambiente (SEMBARSKI, 2018).

Foram criados e revisados vários aparelhos para obter os resultados de atrito e desgaste, que foram utilizados em aplicações tribológicas, dentre os quais estão o ensaio pino sobre plano, ensaio pino sobre cilindro, ensaio arruelas de pressão, ensaio pino sobre disco, entre outros (BHUSHAN, 2013).

No ensaio pino sobre plano, um plano se move em relação a um pino que está fixo, em movimentos lineares e constantes, conforme representado na figura 2, podendo ocorrer o inverso, estando o plano fixo e o pino em movimento (BHUSHAN, 2013).

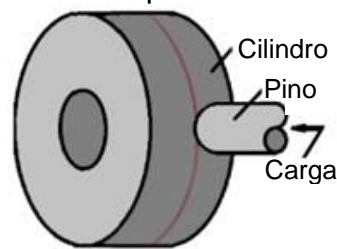
Figura 2: Ensaio pino sobre plano.



Fonte: Neto (2019).

O ensaio pino sobre cilindro é bastante semelhante ao ensaio pino sobre disco, entretanto, neste caso, o carregamento do pino é perpendicular ao eixo de rotação (BHUSHAN, 2013), conforme ilustrado na figura 3.

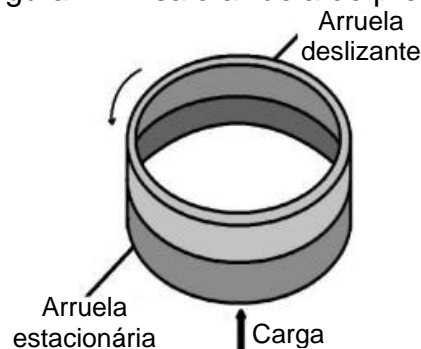
Figura 3: Ensaio pino sobre cilindro.



Fonte: Sembarski (2018).

Já no ensaio arruela de pressão, a superfície plana de uma arruela (disco ou cilindro) gira em cima da parte plana de uma arruela fixa e a carga é aplicada em paralelo ao eixo de rotação. Cite-se que este ensaio é mais utilizado para testes de baixa tensão, como rolamentos e vedações faciais (BUSHAN, 2013).

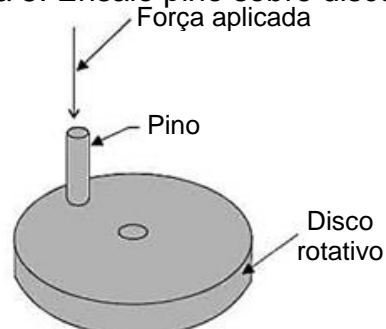
Figura 4: Ensaio arruela de pressão.



Fonte: Sembarski (2018).

No ensaio pino sobre disco, o pino é estático e o disco fica em rotação, conforme exemplificado na figura 5. O pino normalmente utilizado é uma esfera de um material mais duro do que o que se deseja ensaiar. Este ensaio é o mais utilizado para obter resultados das aplicações tribológicas (BHUSHAN, 2013).

Figura 5: Ensaio pino sobre disco.



Fonte: Neto (2019).

2.3 ACABAMENTO SUPERFICIAL

Segundo (ASM INTERNATIONAL 1992, p.16) a forma geométrica de qualquer superfície é estabelecida pelo processo de acabamento utilizado para produzir. Muitas são as variações do comprimento de onda, desde a forma atômica, até o comprimento do componente, geralmente ocorridos pelos processos de acabamento utilizados. Vale ressaltar que também podem ocorrer picos e vales adicionais por conta de corrosão, fraturas e deformação irregular do corpo.

Os picos de rugosidade da superfície são conhecidos como asperezas e é a maior preocupação no atrito deslizante e no desgaste dos materiais. Isso se dá em razão de os processos geralmente envolverem contato entre asperezas em superfícies opostas ou entre asperezas em uma superfície e região livre delas (ASM INTERNATIONAL 1992, p.17).

Com o propósito de padronizar, a ASTM G99 recomenda algumas especificações que influenciam nas conclusões de resultado de atrito e desgaste. As principais especificações são a geometria dos corpos de prova, o acabamento superficial (que deve ser de no máximo $0,8 \mu\text{m}$), a apresentação de dados referentes ao ambiente de execução do ensaio, os tipos de carga, a velocidade e a distância de deslizamento e o tipo de lubrificação (SEMBARSKI, 2018).

2.4 LUBRIFICAÇÃO

Os estudos tribológicos analisam principalmente o atrito, o desgaste e a lubrificação, a qual vem sendo muito estudada na mecânica devido seus efeitos benéficos na diminuição de atrito e desgaste nos equipamentos (SEMBARSKI, 2018).

Segundo (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006) a lubrificação é denominada como um fenômeno de redução do atrito entre duas superfícies em movimento relativo de uma sobre a outra, por meio da inserção de uma substância entre ambas.

A principal função do lubrificante é reduzir o atrito, substituindo o atrito sólido pelo atrito fluido. Além disso, o lubrificante reduz o desgaste, o ruído e o aquecimento gerado pelo contato das superfícies em movimento. O desgaste é reduzido quando o lubrificante impossibilita o contato entre as superfícies e, ainda,

retira partículas abrasivas. Já a redução de calor se dá pela dissipação do aquecimento no lubrificante (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

2.5 TIPOS DE LUBRIFICANTES

Para (RONCHI, 2009) os lubrificantes têm um papel muito importante no funcionamento de vários equipamentos, possuindo desde aplicações simples em eletrodomésticos residenciais, até aplicações mais complexas, como em aeronaves espaciais.

Para atender todos os níveis de exigências e aplicações, existem muitos tipos de lubrificantes que possuem características e formas físicas diferentes, como lubrificantes sólidos, líquidos e pastosos (RONCHI, 2009). Esses lubrificantes são encontrados nos três estados da matéria, a grafita como lubrificante sólido, óleos e graxas como lubrificantes líquidos e os gases halogêneos como lubrificantes gasosos (SEMBARSKI, 2018).

Entretanto, é essencial que qualquer tipo de lubrificante satisfaça algumas propriedades, quais sejam a capacidade de manter separadas as superfícies, ser estável em face da mudança de temperatura, não atacar as superfícies metálicas e manter limpas as superfícies lubrificadas (MEDEIROS, 2010).

2.5.1 Lubrificantes líquidos

Os lubrificantes líquidos são os mais empregados na lubrificação, sendo subdivididos em óleos minerais, óleos graxos, óleos compostos, óleos aditivados e óleos sintéticos (SILVA, 2018).

Os lubrificantes que pertencem a esse vasto grupo têm propriedades físicas específicas e, em razão disso, possuem uma grande gama de aplicações, pois podem penetrar facilmente nas partes deslizantes dos equipamentos, formando uma película protetora e ajudando na refrigeração do sistema. Neste grupo estão os óleos de lubrificação industrial ou automotivos, óleos solúveis utilizados como fluido de corte em máquinas de usinagem e os fluidos desengripantes (ALMEIDA, 2017).

2.5.2 Lubrificantes minerais

Os óleos minerais são derivados do petróleo e suas propriedades estão relacionadas às naturezas dos óleos crus. Eles são os mais utilizados na lubrificação, especialmente de veículos e máquinas industriais e sua principal função é evitar o desgaste da parte mecânica dos equipamentos (CANCHUMANI, 2013).

Apesar de possuírem custo e disponibilidade relativamente baixos, os óleos minerais apresentam certas deficiências, como a perda de viscosidade em altas temperaturas, oxidação, combustão em temperaturas elevadas e solidificação em baixas temperaturas (STACHOWIARK; BATCHELOR, 1993).

2.5.3 Lubrificantes sintéticos

A carência no ramo industrial e principalmente militar de lubrificantes que pudessem suportar as mais severas e adversas condições deu origem ao desenvolvimento dos lubrificantes sintéticos (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Conforme ensina (STACHOWIARK; BATCHELOR, 1993), inicialmente, esses lubrificantes não tiveram boa aceitação pelo alto custo. Todavia, passaram a ser mais utilizados para atender as demandas do mercado que exigem lubrificantes de alto desempenho, que podem suportar altas temperaturas sem se decompor e sem risco de incêndio, onde os óleos minerais são inadequados.

2.6 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DOS LUBRIFICANTES

Segundo (GUIMARÃES, 2006) a qualidade de um lubrificante só é comprovada após a aplicação na avaliação de desempenho em motores de bancada, que simulam a realidade da operação e, em seguida, em testes de campo.

Com o avanço da tecnologia foram desenvolvidos muitos ensaios de laboratório que, quando combinados, trazem as informações necessárias para acompanhar o desempenho dos óleos. Entre os ensaios laboratoriais, os mais comuns são os testes de viscosidade, ponto de fluidez, índice de acidez total (TAN), número de alcalinidade total (TBN), cinzas e estabilidade à oxidação (GUIMARÃES, 2006).

2.7 ADITIVOS

Os aditivos são produtos químicos que são adicionados aos óleos lubrificantes, em porcentagem de massa, para melhorar a capacidade de lubrificação e a durabilidade do óleo. Essa prática ganhou força na década de 40 e, desde então, vem se desenvolvendo muito, fornecendo uma grande quantidade de produtos (BHUSHAN, 2013).

Segundo (SILVA, 2018) o cenário industrial atual exige um padrão muito alto de desempenho dos óleos lubrificantes, requisitando produtos que se mostrem cada vez mais eficazes. Todavia, os óleos minerais e sintéticos não atendem à demanda desse contexto sem utilizar a nova tecnologia dos aditivos.

Os aditivos podem ser categorizados como quimicamente ativos ou quimicamente inertes. Os quimicamente ativos têm a capacidade de interagir quimicamente com os metais para criar uma camada protetora e incluem os dispersantes, detergentes, agentes antidesgastantes e de extrema pressão, inibidores de ferrugem, oxidação e corrosão. Os quimicamente inertes melhoram as propriedades físicas fundamentais no desempenho do lubrificante e incluem emulsificantes, depressores de fluidez, inibidores de espuma e melhoradores de viscosidade (ASM INTERNATIONAL 1992, p.166).

2.8 CONDICIONADORES METÁLICOS

O condicionador de metais é conhecido como uma inovadora ferramenta líquida para lubrificação quando o atrito é predominante. Ele pode ser utilizado na indústria automobilística e também por seus usuários junto ao fluido dos veículos. Além disso, pode ser utilizado em qualquer sistema em que se deseja diminuir o atrito (DE OLIVIERA et al., 2014).

No mercado existem diversos tipos de condicionadores metálicos, entretanto, nem todos são considerados aditivos para lubrificantes, pois mesmo que possuam algumas propriedades similares aos fluidos sintéticos, ao serem adicionados a qualquer fluido, as propriedades físico-químicas não se alteram (DA SILVA, 2014).

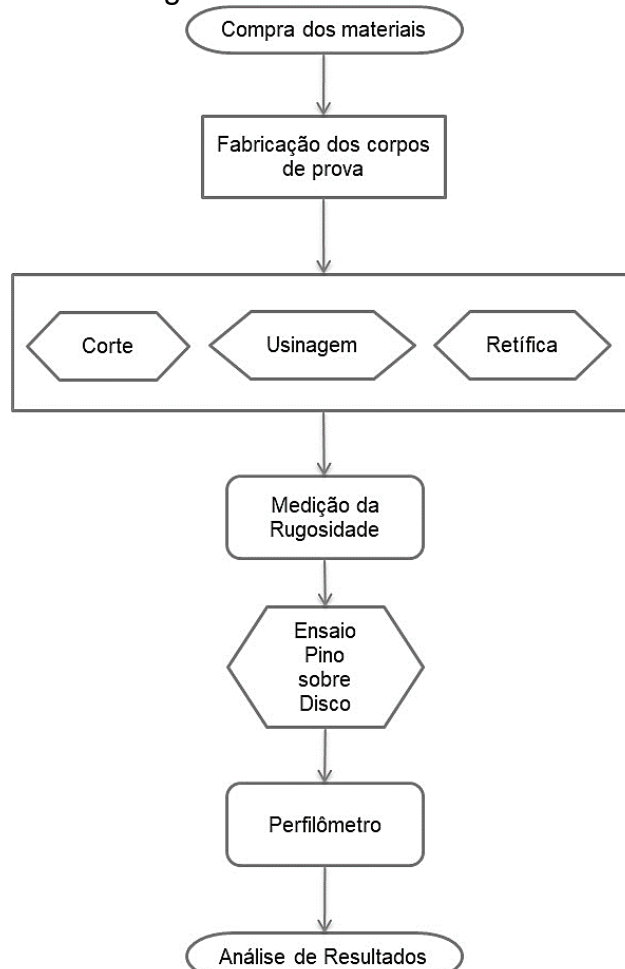
Para (SEMBARSKI, 2018) a principal finalidade do condicionador metálico é reduzir o atrito entre as peças e, com isso, diminuir o desgaste dos componentes, aumentando sua durabilidade.

Já (SILVA, 2018) afirma que o condicionador metálico se mostra eficiente e cumpre com as características com quais se comprometem. Analisando seus resultados obtidos, o uso do condicionador de metais trouxe cerca de 5% de redução do desgaste.

3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Nesta seção serão apresentados os procedimentos experimentais que serão realizados no desenvolvimento do presente estudo, os quais serão divididos conforme o fluxograma da figura 6.

Figura 6: Procedimentos.



Fonte: Do autor (2021).

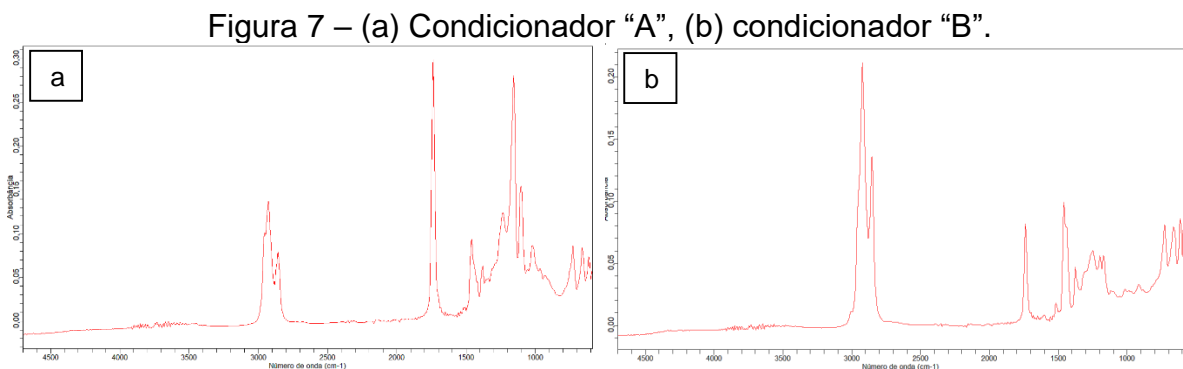
3.1 MATERIAIS

3.1.1 Condicionador de metais

Conforme pontuado alhures, foram escolhidos dois condicionadores de metais encontrados no mercado nacional, conhecidos mundialmente e concorrentes diretos no comércio, para a realização do presente estudo.

Vegoor Tecnologia Aplicada, situada na cidade Colombo, no estado do Paraná, é a empresa responsável pela realização dos ensaios químicos e testes físicos dos aludidos condicionadores.

A figura 7 apresenta a composição química dos condicionadores de metais A e B graficamente pelo ensaio de espectroscopia no infravermelho (FTIR).



Fonte: Do autor (2021).

O ensaio de espectroscopia no infravermelho (FTIR) é comumente chamado de impressão digital de um composto e, como pode-se observar na figura 7, que os dois condicionadores de metais possuem composições químicas diferentes.

3.1.2 Lubrificante SAE 5W30

O lubrificante SAE 5W30 é um óleo sintético multiviscoso que pode ser utilizado em uma ampla faixa de temperatura e é indicado para o uso em motores modernos, aumentando seu desempenho.

Características:

- a) Ponto de fulgor: 226°C;
- b) Viscosidade: 9,3 a < 12,5 cSt a 100°C;

- c) Densidade relativa: 0,85 a 20°C;
- d) Ponto de fluidez: -33°C.

3.1.3 Aço SAE 1045

O aço SAE 1045 é um aço com um médio teor de carbono que possui resistência mecânica entre 570 e 700 MPa e dureza Brinell de 170 a 220 HB. É utilizado na fabricação de componentes como eixos, pinos, cilindros, parafusos, grampos, braçadeiras e pregos, onde é necessária uma resistência mecânica maior do que a dos aços de baixo carbono convencionais.

A tabela 1 apresenta a composição química do aço SAE 1045, fornecida pelo fabricante Gerdau.

Tabela 1 – Composição química do aço SAE 1045.

C	Mn	Si	P	S
0,43% - 0,50%	0,60% - 0,90%	0,15% - 0,50%	0,03% máx.	0,05% máx.

Fonte: Gerdau (2020).

3.1.4 Aço SAE 52100

O aço SAE 52100 é um aço com alto teor de carbono, ligado ao cromo, com dureza elevada de 688 a 756 HB. É um aço temperável em óleo, muito utilizado na fabricação de rolamentos e esferas.

A composição química do aço SAE 52100 está demonstrada na tabela 2, também fornecida pelo fabricante Gerdau.

Tabela 2 – Composição química do aço SAE 52100.

C	Mn	Si	P	S	Cr
0,98% - 1,10%	0,25% - 0,45%	0,15% - 0,35%	0,025% máx.	0,025% máx.	1,30% - 1,60%

Fonte: Gerdau (2020).

3.2 MÉTODOS

3.2.1 Preparo dos corpos de prova

Os corpos de prova foram obtidos de uma barra de 63,5 mm de diâmetro, sendo cortados em uma serra fita horizontal do fabricante MANROD e, posteriormente, usinados em um torno CNC ROMI G280 até obter-se diâmetro de 60,0 mm e espessura de 12,0 mm.

Após a usinagem, os corpos de prova foram retificados em uma retífica plana, modelo P36, do fabricante MELLO conforme figura 8. Com isso, seguindo a norma ASTM G99, o acabamento superficial das amostras deve ficar com, no máximo, 0,8 μm .

Figura 8: Retífica plana.



Fonte: Do autor (2021).

Para a verificação da rugosidade foram realizadas duas medições para cada disco, utilizando-se o rugosímetro modelo SJ-210 da marca Mitutoyo com *cut off* de 4mm.

A limpeza das amostras foi realizada antes e depois dos ensaios de deslizamento, utilizando-se o limpador ultrassônico modelo HLU-800 do fabricante Solver, demonstrado na figura 9, submersas em álcool 98% por 3 minutos e secas com jatos de ar quente por 1 minuto.

Figura 9: Limpador ultrassônico HLU-800.



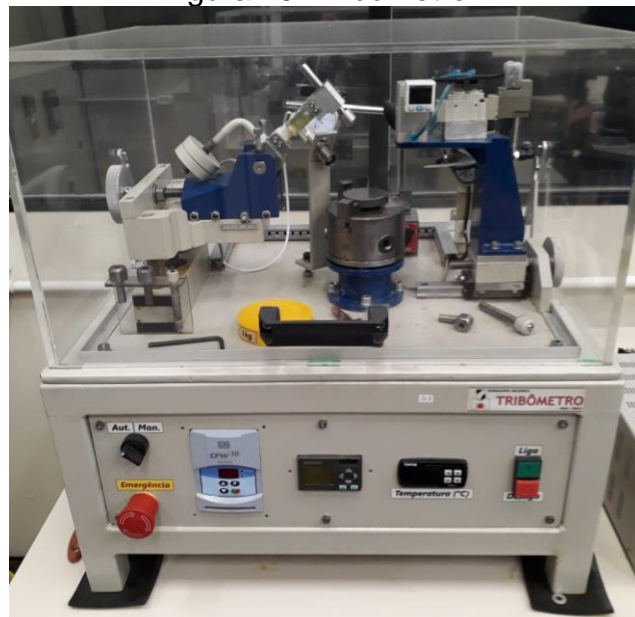
Fonte: Do autor (2021).

3.2.2 Ensaio

Os resultados do comportamento tribológico dos metais foram obtidos através do ensaio de deslizamento na forma pino sobre disco.

O equipamento utilizado é o tribômetro disponível no laboratório do Curso de Engenharia Mecânica no Centro Universitário UNISATC (Figura 10), o qual fica conectado a uma célula de carga, juntamente com um software para a obtenção de dados.

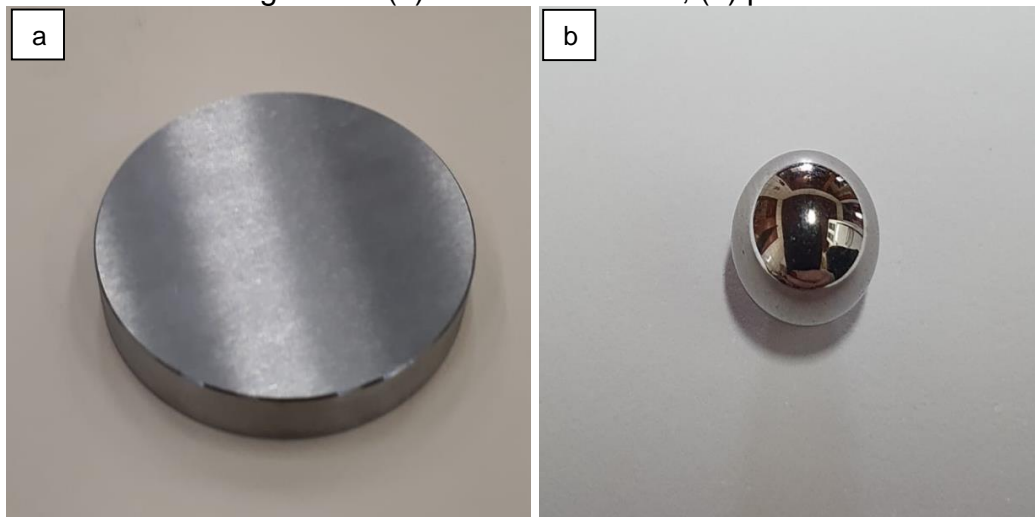
Figura 10: Tribômetro.



Fonte: Do autor (2021).

Na configuração do tribômetro, os discos são corpos de prova de aço SAE 1045 com 60,0 mm de diâmetro e espessura de 12,0 mm, já como pino, foram utilizadas esferas de 6 mm de diâmetro de aço SAE 52100, ambos demonstrados na figura 11.

Figura 11: (a) Amostra do disco, (b) pino.



Fonte: Do autor (2021).

Por ser um ensaio tribológico, o ambiente afeta diretamente na variação dos resultados. Em razão disso, a temperatura interna e a temperatura das amostras foram medidas por um barômetro interno da marca Omega, que fica alocado no tribômetro, e a umidade foi controlada com sílica.

Foram realizados 7 ensaios no total, variando apenas o tipo de lubrificação, sendo que, para uma melhor averiguação dos resultados, cada tipo de lubrificação teve uma réplica ensaiada.

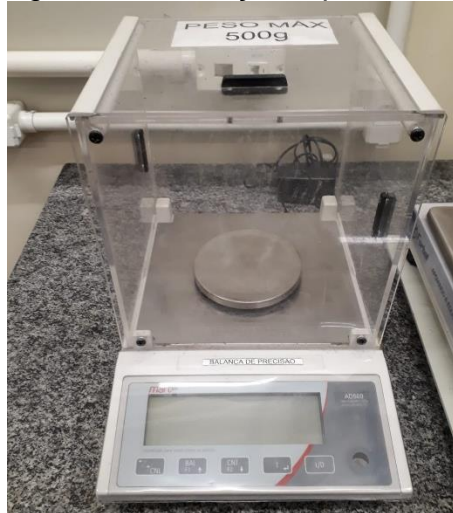
A primeira condição do ensaio foi feita apenas com o óleo lubrificante SAE 5W30, para que posteriormente fosse obtido o resultado da eficácia do uso dos condicionadores de metais.

As outras condições foram feitas com a mistura do referido óleo lubrificante com os condicionadores de metais, sendo realizados três tipos de mistura para cada condicionador. A primeira na proporção de 5% de massa de condicionador, como é indicada pelos fabricantes, e as demais na proporção de 3% e 7% de massa do condicionador sobre o óleo lubrificante.

Também foi utilizada uma balança de precisão de 0,001 g, modelo AD500, do fabricante Marte (Figura 12), para obter a avaliação de massa tanto do lubrificante,

quanto do condicionador de metais. Com a medição de massa do lubrificante, foi realizada a mistura na proporção da massa de um sobre o outro.

Figura 12: Balança de precisão.



Fonte: Do autor (2021).

A aplicação da carga se deu em forma de peso-morto com uma massa de 4 kg, a velocidade dos ensaios foi de 0,3 m/s e a distância percorrida pela esfera sobre o disco foi de 1000 m.

As lubrificações dos discos foram realizadas com uma seringa, adicionando-se 2 ml de lubrificante no início dos ensaios. A tabela 3 apresenta as condições dos parâmetros, os quais foram fixos em todos os ensaios de deslizamento.

Tabela 3 – Parâmetros fixos do ensaio pino sobre disco.

Distância percorrida	Velocidade deslizamento	Rotação do disco
1000 m	0,3 m/s	144 RPM

Fonte: Do autor (2021).

Além disso, foi necessário medir a região desgastada da superfície das amostras com o Rugosímetro modelo SJ-310 do fabricante Mitutoyo, na configuração de perfil, o qual possibilitou através do software da Mitutoyo traçar graficamente o desgaste causado no ensaio de deslizamento.

Foram efetuadas 3 medições em pontos diferentes para cada amostra, para poder avaliar e também validar os resultados obtidos no software.

Para a análise comparativa das amostras, foram realizadas fotos microscópicas com lente de 200 vezes no microscópio trinocular da fabricante Vitch.

Figura 13: Rugosímetro para medir o perfil.



Fonte: Do autor (2021).

Com a análise de desgaste das amostras traçadas foi possível efetuar, também, a comparação entre elas, sendo obtidos todos os dados necessários para comparar a eficiência do condicionador de metais em detrimento ao óleo lubrificante.

Para facilitar a visualização e identificação das amostras nos processos executados, cada amostra foi identificada conforme a tabela 4, a qual apresenta os nomes dados a cada corpo de prova juntamente com o tipo de lubrificação.

Tabela 4 – Identificação das amostras.

Amostra	Tipo de lubrificação
5W30	SAE 5W30 puro
CA - 3%	Solução SAE 5W30 com Condicionador A a 3% da massa
CA - 5%	Solução SAE 5W30 com Condicionador A a 5% da massa
CA - 7%	Solução SAE 5W30 com Condicionador A a 7% da massa
CB - 3%	Solução SAE 5W30 com Condicionador B a 3% da massa
CB - 5%	Solução SAE 5W30 com Condicionador B a 5% da massa
CB - 7%	Solução SAE 5W30 com Condicionador B a 7% da massa

Fonte: Do autor (2021).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 RUGOSIDADE

Antes de serem realizados os ensaios de deslizamento, foram executadas duas medições de rugosidade na superfície das amostras em cada corpo de prova.

Na tabela 5 são apresentadas as medições de rugosidade média (RA), onde é possível perceber que a rugosidade média das amostras variou de 0,400 μm a 0,454 μm , todas ficando com valor abaixo de 0,8 μm , recomendado pela norma.

Tabela 5 – Valores de rugosidade das amostras.

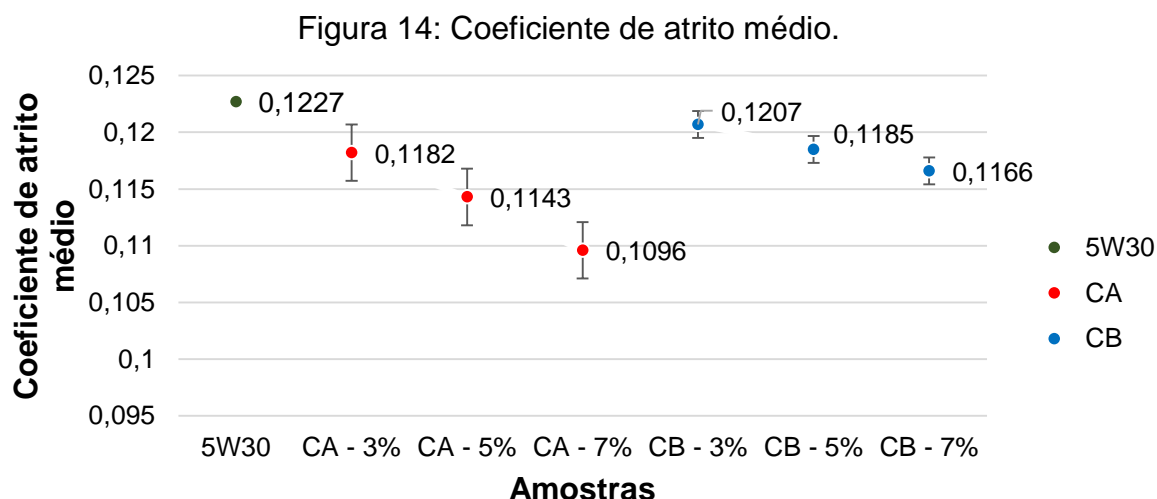
Acabamento superficial			
Amostra	Medição 1 (μm)	Medição 2 (μm)	Média (μm)
5W30	0,376	0,423	0,400
CA - 3%	0,459	0,409	0,434
CA - 5%	0,426	0,396	0,411
CA - 7%	0,398	0,486	0,442
CB - 3%	0,418	0,482	0,450
CB - 5%	0,406	0,501	0,454
CB - 7%	0,439	0,393	0,416

Fonte: Do autor (2021).

4.2 COEFICIENTE DE ATRITO

O coeficiente de atrito foi monitorado durante todo o ensaio de deslizamento, utilizando o sistema de dados do próprio tribômetro, conectado ao software. Em média, foram gerados trinta e seis mil dados para cada ensaio, de modo que foi possível obter o coeficiente médio de atrito para cada um deles.

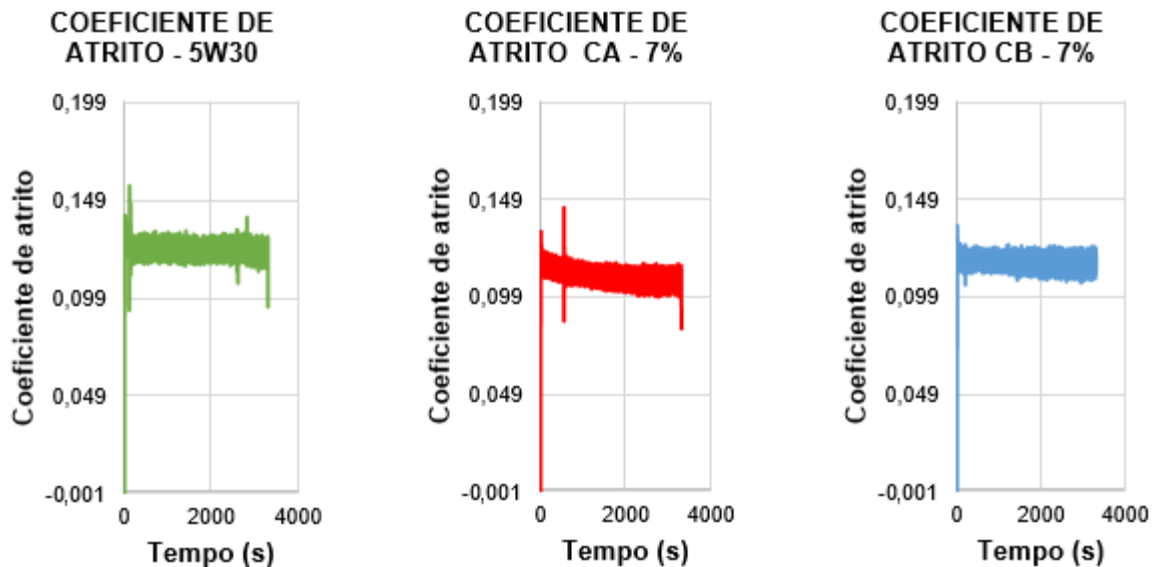
Na figura 14 são apresentados os valores do coeficiente médio de atrito para cada tipo de lubrificação e para as adições dos condicionadores de metais. As amostras “CA” tiveram um valor menor do que as amostras “CB”, sendo que, em comparação à amostra “5W30”, ambas obtiveram resultados menores.



Fonte: Do autor (2021).

Na figura 15 são apresentados graficamente os comparativos dos melhores resultados do coeficiente atrito para cada ensaio. O período de *running-in* para todas as amostras ocorreu por cerca de cem segundos, sendo que, após este período, os valores se estabilizaram e seguiram o padrão.

Figura 15: Comparativo dos gráficos do coeficiente de atrito.



Fonte: Do autor (2021).

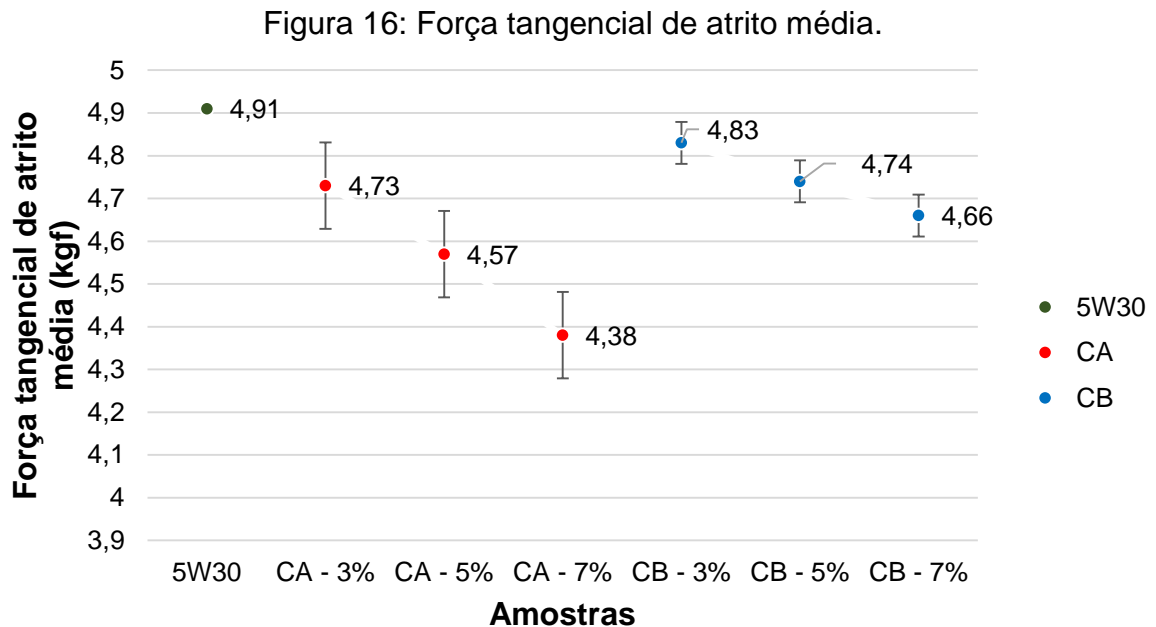
É possível vislumbrar que, durante o ensaio de deslizamento, ocorreu a formação de picos para o coeficiente de atrito. Isso se dá pela ocorrência de oxidações nas superfícies das amostras, o que tende a diminuir o atrito. Quando essas camadas são quebradas, há um aumento repentino no coeficiente de atrito, gerando os picos que podem ser observados nos gráficos.

4.3 FORÇA TANGENCIAL DE ATRITO

Como no coeficiente de atrito, a força de atrito foi monitorada durante todo o ensaio de deslizamento, gerando a mesma média de dados (trinta e seis mil).

A lubrificação tem um papel essencial na força tangencial de atrito, pois toda carga aplicada é dividida entre as asperezas e a superfície de contato do lubrificante. Também é importante frisar a adição do condicionador de metais, o qual potencializou os redutores de atrito, desgaste e os inibidores de corrosão.

A figura 16 apresenta o valor médio das forças tangenciais de atrito para cada amostra. Como no coeficiente de atrito, por serem diretamente proporcionais, as amostras “CA” obtiveram valores menores do que as amostras “CB”.

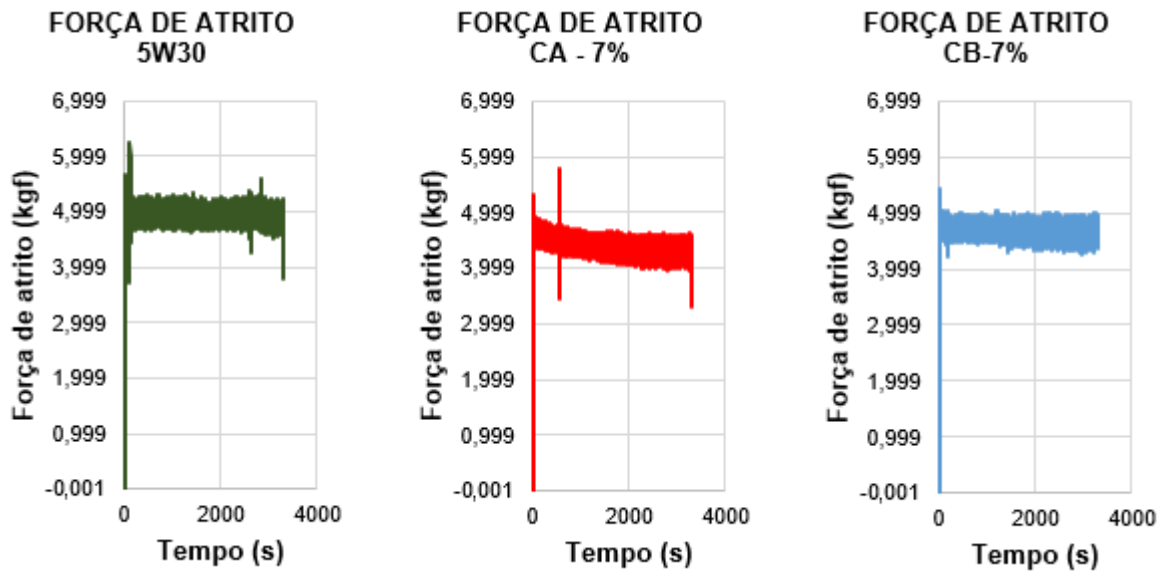


Fonte: Do autor (2021).

O período de *running-in* dos ensaios em relação à força de atrito também durou, em média, cem segundos iniciais, com um crescimento do valor da força tangencial de atrito, sendo que, após este período, atingiu-se o período de atrito permanente onde o valor da força ficou estabilizado.

Na figura 17 é apresentado o comparativo gráfico das forças de atrito, onde foram obtidos os melhores resultados em relação à amostra de 5W30. Os melhores resultados também foram obtidos nas amostras com mistura de 7% do condicionador de metais.

Figura 17: Comparativo dos gráficos da força tangencial de atrito.



Fonte: Do autor (2021).

Além disso, é possível observar, como nos gráficos do coeficiente de atrito, a formação de picos e vales durante todo o ensaio, decorrentes da oxidação localizada das amostras.

A temperatura dos ensaios variou de 18 °C a 25 °C, seguindo esse padrão para todas as amostras, no entanto, as amostras com a adição do condicionador tipo “A” possuem maior rendimento com o aumento da temperatura.

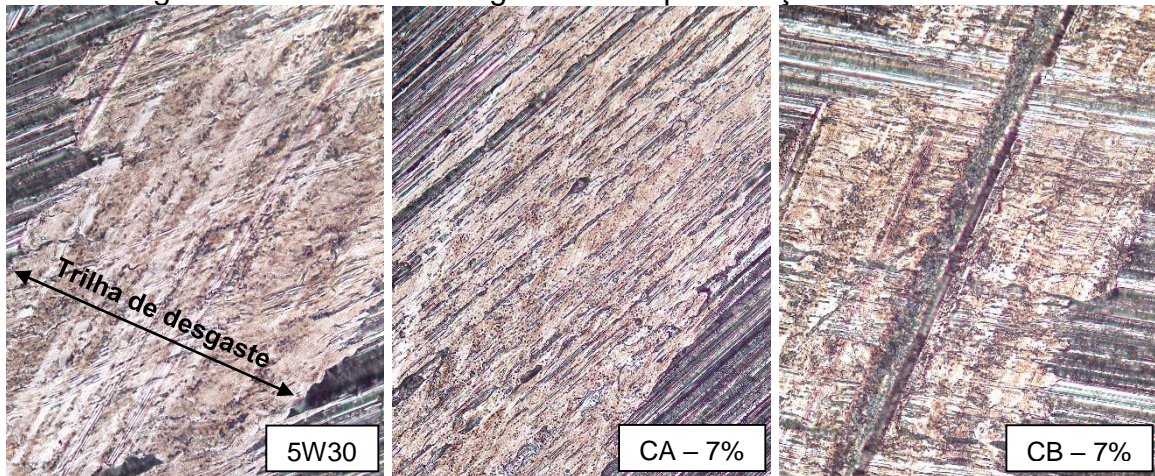
Tanto no coeficiente de atrito, como na força tangencial de atrito, nota-se que as amostras “CA” formam um gráfico decrescente, ou seja, na medida em que o ensaio decorre, aumentando a temperatura, os valores diminuem.

4.3 DESGASTE

4.3.1 Análise de perfil

Após os ensaios de deslizamento, não foi possível notar a olho nu a diferença de desgastes nas amostras, porém, com ajuda do microscópio na lente de aumento de 200 vezes, foi possível notar a diferença de desgaste entre a amostra que utilizou o lubrificante SAE 5W30 puro e as que utilizaram o condicionador de metais.

Figura 18: Análise do desgaste com aproximação de 200 vezes.



Fonte: Do autor (2021).

Pode-se observar que a amostra “5W30” apresenta um desgaste mais marcado na imagem, provando que sofreu um desgaste mais profundo na sua superfície, especialmente se comparada às amostras nas quais foi adicionado o condicionador de metais. A amostra “CA-7%” foi a que obteve o melhor resultado, já que, visivelmente, o desgaste ocorreu de forma bastante superficial, comprovando o resultado dos testes anteriores, onde também obteve melhor eficiência.

A utilização do rugosímetro na configuração de perfil se deu necessária para avaliar a profundidade do desgaste entre as amostras ensaiadas, o que oportunizou observar as diferenças entre os tipos de lubrificações utilizadas.

A tabela 6 apresenta os valores obtidos através do rugosímetro nas trilhas de desgaste de cada amostra, sendo medidos 3 pontos diferentes para cada uma delas, observando-se, assim, o nível de desgaste para cada ensaio.

Tabela 6: Medições do desgaste nas amostras.

Análise de perfil				
	Ponto 1 (µm)	Ponto 2 (µm)	Ponto 3 (µm)	Média (µm)
5W30	5,6	5,1	5,3	5,3
CA - 3%	4,2	4,0	4,1	4,1
CA - 5%	3,3	3,1	2,9	3,1
CA - 7%	1,8	2,1	1,9	1,9
CB - 3%	4,9	4,0	5,4	4,8
CB - 5%	4,6	4,8	4,2	4,5
CB - 7%	2,3	2,9	2,6	2,6

Fonte: Do autor (2021).

A amostra que utilizou o lubrificante SAE 5W30 puro, apresentou um desgaste maior quando comparadas com as amostras em que foram adicionados os condicionadores de metais.

Na tabela 6 também pode-se observar que as amostras que utilizaram o condicionador tipo “A” obtiveram um melhor resultado se comparadas às amostras que utilizaram o condicionador tipo “B”.

O desgaste das amostras possui relação com o coeficiente de atrito e com a força tangencial de atrito, obtidos no ensaio de deslizamento. Pode-se perceber que os condicionadores de metais têm influência direta nessas variantes, possuindo uma vantagem perceptível em relação à utilização do lubrificante SAE 5W30 puro.

4.3 ENSAIOS FÍSICO-QUÍMICOS DOS CONDICIONADORES

Todos os ensaios foram realizados pela empresa Veegor Lubrificantes, sediada na cidade de Colombo, no estado Paraná. Os condicionadores passaram por testes de espectrometria, TAN (número de acidez total), viscosidade, miscibilidade e espectroscopia no infravermelho (FTIR).

A tabela 7 apresenta os resultados dos três primeiros ensaios, onde pode-se observar a diferença entre os dois condicionadores.

Tabela 7: Medições do desgaste nas amostras.

Ensaio físico-químico			
Condicionador A		Condicionador B	
ESPECTROMETRIA		ESPECTROMETRIA	
Agentes desgastantes	0	Agentes desgastantes	0
Aditivos	0	Aditivos	0
Contaminantes		Contaminantes	
Na (Sódio)	0	Na (Sódio)	0
Si (Silício)	0	Si (Silício)	3 ppm
TAN	0,10 mgKOH/g	TAN	0,06 mgKOH/g
Viscosidade 100°C	5,8 cSt	Viscosidade 100°C	9,6 cSt
Viscosidade 40°C	38,8 cSt	Viscosidade 40°C	80,3 cSt
Miscibilidade	MISCÍVEL	Miscibilidade	MISCÍVEL

Fonte: Do autor (2021).

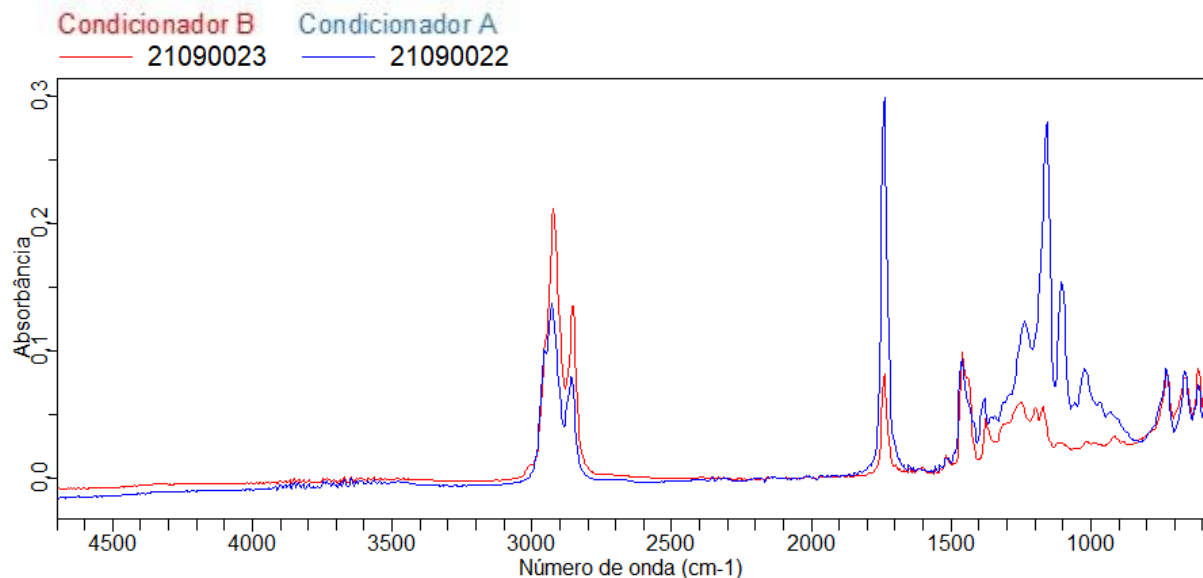
Os dois condicionadores possuem resultados parecidos, porém é possível observar diferenças nas questões relativas a agentes contaminantes e viscosidade, o que faz com que o condicionador “A” seja superior ao condicionador “B”.

O valor referente ao TAN (número de acidez total) é baixo para os dois condicionadores, ou seja, ambos não provocarão corrosão inicial no sistema em que serão utilizados.

A viscosidade tem um papel muito importante em lubrificantes líquidos, quanto mais viscoso for o líquido, menor será a taxa de vazão em que se locomoverá no sistema. Quando o sistema está em temperatura ambiente, é possível observar que o condicionador “A” leva grande vantagem em relação ao condicionador “B”.

A figura 19 apresenta a diferença da composição química dos dois condicionadores no ensaio de espectroscopia no infravermelho (FTIR), sendo possível observar que, em alguns índices, o condicionador “A” (cor azul) possui maior taxa de elementos encontrados.

Figura 19: Comparativo de espectroscopia dos condicionadores.



Fonte: Do autor (2021).

Conforme mencionado, a espectroscopia é também denominada de impressão digital do composto, onde observa-se na comparação dos dois condicionadores que em algumas bandas o condicionador “A” (cor azul) se sobressai em relação ao condicionado “B” (cor vermelha), demonstrando, que os condicionadores possuem composição química igual, com taxas de proporções de elementos diferentes.

5 CONCLUSÕES

Comparando-se os resultados obtidos através dos ensaios realizados no presente estudo, inicialmente utilizando-se somente o lubrificantes SAE 5W30 e, posteriormente, adicionando-se os condicionadores de metais, pode-se afirmar que, para os requisitos analisados, os condicionadores de metais se mostraram eficientes.

Em relação ao coeficiente de atrito, a utilização do condicionador de metais na composição apresentou resultados positivos em relação à amostra que foi submetida ao lubrificante SAE 5W30 puro. Isso porque, o primeiro ensaio, no qual foi adicionado 3% de condicionador de metais em relação à massa do lubrificante, apresentou resultados de redução do coeficiente de atrito de 3,67% para o condicionador “A” e de 1,67% para o condicionador “B”.

A seu turno, o segundo ensaio, no qual foi adicionado 5% de condicionador de metais em relação à massa do lubrificante, apresentou resultados de redução do coeficiente de atrito de 6,85% e 3,42%, para os condicionadores “A” e “B”, respectivamente. Por sua vez, o último ensaio, no qual foi adicionado 7% de condicionador de metais em relação à massa do lubrificante, apresentou os melhores resultados no que tange à diminuição do coeficiente de atrito, na medida em que o condicionador “A” obteve uma redução de 10,67% e o condicionador “B” de 4,97%.

Como no coeficiente de atrito, a força tangencial de atrito teve resultados positivos para o uso do condicionador de metais em relação ao lubrificante puro. Como são diretamente proporcionais, os resultados da redução da força de atrito se mostraram semelhantes aos do coeficiente de atrito, obtendo o melhor resultado na proporção de massa de 7% do condicionador de metais, onde a redução para o condicionador tipo “A” foi de 10,79% e para o tipo “B” de 5,09%.

O aumento da proporção da utilização dos condicionadores de metais trouxe o resultado esperado, diminuindo o desgaste e o atrito nas amostras em relação à amostra que utilizou o lubrificante SAE 5W30 puro. Os melhores resultados para todos os ensaios se deu na proporção de 7% de massa do condicionador de metais.

Com base em todos os resultados obtidos através dos ensaios realizado, tanto de deslizamento, quanto dos testes físico-químicos, o condicionador “A” teve resultados melhores do que o condicionador “B”, se mostrando mais eficiente entre ambos.

Por fim, percebeu-se, tanto na construção do referencial teórico, quanto na elaboração dos ensaios deste trabalho, certa dificuldade de encontrar embasamento

teórico, literaturas atualizadas e informações necessárias que abordem o tema proposto do trabalho. Também vale ressaltar a dificuldade em encontrar ensaios que resultem em resultados confiáveis acerca do tema.

5.1 SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Sugere-se para a elaboração de trabalhos futuros a realização de outros tipos de ensaios tribológicos, utilizando-se maiores cargas e também maior tempo de exposição das amostras aos ensaios realizados, a fim de obter resultados acerca do comportamento dos lubrificantes em temperaturas mais altas.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, Paulo Samuel. **Lubrificação industrial: tipos e métodos de lubrificação**. São Paulo: Érica, 2017.

ASM INTERNATIONAL, **Friction, Lubrication, and Wear Technology**, Vol. 18, Oak Ridge: Asm International, 1992. 1879 p. (ASM Handbook).

BHUSHAN, Bharat. **Introduction to tribology: Second Edition**. Ohio: John Wiley & Sons, 2013. 721 p.

CATÁLOGO ELETRÔNICO: Gerdau – Tabela de Composição Química | Gerdau Aços Especiais: Edição 10/2020.

CANCHUMANI, G. A. L.; **Óleos lubrificantes usados: um estudo de caso de avaliação de Ciclo de Vida do Sistema de Refino do Brasil**. 2013. 157 f. Tese (Doutorado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CARRETEIRO, Ronald P.; BELMIRO, Pedro Nelson A. **Lubrificantes e lubrificação industrial**. Rio de Janeiro: Editora Interciência Ltda., 2006. 504 p.

DA SILVA, E. N.; **Viabilidade econômica em processos de rosqueamento utilizando machos de roscar com condicionador metálico**. Dissertação de Mestrado – Universidade Nove de Julho, São Paulo, 2014.

DE OLIVEIRA, F.S., BAPTISTA, E.A., PEREIRA, F.H., COPPINI, N.L., FERREIRA, S. S. **Avaliação de Desempenho Econômico da Aplicação de um Condicionador Metálico em Machos de Corte no Processo de Rosqueamento Interno**, In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, Curitiba. ENEGEP, Paraná 2014. p. 146. Ref. 35-83.

GUIMARAES, J. **Rerrefino de Oleos Lubrificantes de Motores de Combustao Interna Utilizando o Processo de Ultrafiltracao e Adsorcao.**2006. Dissertacao - Universidade do Estado do Rio de Janeiro - UERJ.

HOLMBERG, K.; ERDEMIR, A. **Influence of tribology on global energy consumption, costs and emissions.** *Friction*, [s.l.], v. 5, n. 3, p.263-284, set. 2017. Springer Nature.

KATO, K. Adachi, K. “Wear Mechanisms”, **MODERN TRIBOLOGY HANDBOOK**, Ed. CRC Press LLC Vol.2 Cap 22, 2001.

MEDEIROS, S. D. F. **Análise tribológica de um sistema de acionamento alternativo de pigs para a indústria do petróleo.** 127 f. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

NETO, Arnaldo Jacob. **PROJETO DE MELHORIA DE BANCADA PARA ESTUDO TRIBOLÓGICO.** 2019. 61 f. TCC (Graduação) – Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

RADI et al. “**Tribologia, Conceitos e Aplicações**”, 13º Encontro de Iniciação Científica e Pós-Graduação do ITA – XIII ENCITA. Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, São Paulo, 2010.

RONCHI, E. L. **Análise da influência de diferentes bases e aditivos EP na lubrificação de superfícies metálicas.** 2009. 99 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) Instituto Superior Tupy, Sociedade Educacional de Santa Catarina, Joinville, 2009.

SAMMARRAIE, Amir Al; MILCIC, Dragan; AYED, **Sadoon.** **Study behavior the coefficient of friction and wear rate of the brass alloy cuzn30 on counterface material conversely.** In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON TRIBOLOGY, 14., 2015, Belgrade. SERBIATRIB '15. Belgrade: Serbian Tribology Society, 2015. p. 49 – 55.

SEMBARSKI, Paulo Ricardo Borgmann. **INFLUÊNCIA DO TIPO DE LUBRIFICAÇÃO NO DESGASTE POR DESLIZAMENTO DE METAIS.** 2018. 79 f. TCC (Graduação) - Curso de Tecnologia em Fabricação Mecânica, Centro Tecnológico, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina Câmpus Jaraguá do Sul, Jaraguá do Sul, 2018.

SERPA, A.L. **Problemas de contato com atrito utilizando o método do lagrangiano aumentado.** São Paulo, 1996. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica)–Universidade Estadual de Campinas.

SILVA, Deivison das Graças. **ESTUDO DA EVOLUÇÃO DO DESGASTE EM ROLAMENTOS COM USO DE CONDICIONADOR METÁLICO.** 2018. 58 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Centro Universitário do Sul de Minas, Varginha, 2018.

STACHOWIARK, G. W; BATCHELOR, A.W. Engineering tribology. Amsterdam: Elsevier, 1993.

ZMITROWICZ, Alfred. **WEAR PATTERNS AND LAWS OF WEAR: A REVIEW.** Journal Of Theoretical And Applied Mechanics, Gdańsk, v. 44, n. 2, p.219- 253, nov. 2006.

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à esta universidade, seu corpo docente, direção e administração e, em especial, ao meu professor orientador Adelor Felipe da Costa, por ter me guiado no decorrer deste trabalho, prestando todo o suporte necessário. Por fim, agradeço a Deus, à minha família e à minha namorada pelo amor, incentivo e apoio incondicional em cada etapa deste trabalho.