



ANÁLISE TRIBOLÓGICA DE CONDICIONADOR DE METAL EM ÓLEO USADO

LUCAS MARTINS MENDES
IFSC - JARAGUÁ DO SUL

RESUMO

A lubrificação desempenha um papel essencial na redução do atrito e desgaste em componentes mecânicos, impactando diretamente sua vida útil e desempenho. Nesse contexto, este trabalho investiga a influência do uso de um condicionador de metal na lubrificação de motores a combustão, analisando seu efeito sobre o desgaste por deslizamento. Para isso, foram realizados ensaios pino-disco em discos de aço SAE 1020, material com potencial para representar os componentes metálicos empregados na fabricação de motores, utilizando óleo sintético 5W30 API SP e ILSAC GF-6A em três condições: novo, usado e usado com condicionador de metal, com carga fixa de 10 N. Os resultados indicam que o condicionador de metal reduziu significativamente o coeficiente de atrito e a largura da pista de desgaste, sugerindo a formação de uma camada protetora que mitiga o desgaste. Esses resultados ressaltam a importância do condicionador de metal, demonstrando que o produto foi eficaz na redução do atrito e do desgaste, embora sem alterar o mecanismo de desgaste predominante.

Palavras-chave: desgaste; atrito; condicionador de metais; óleo 5w30.

TRIBOLOGICAL ANALYSIS TO METAL CONDITIONER IN USED OIL

ABSTRACT

Lubrication plays an essential role in reducing friction and wear in mechanical components, directly impacting their useful life and performance. In this context, this work investigates the influence of using a metal conditioner in the lubrication of combustion engines, analyzing its effect on sliding wear. To this end, pin-disc tests were carried out on SAE 1020 steel discs, using 5W30 synthetic oil in three conditions: new, used and used with metal conditioner, with a fixed load of 10 N. The results indicate that the metal conditioner significantly reduced the coefficient of friction and the width of the wear track, suggesting the formation of a protective layer that mitigates wear. These results highlight the importance of the metal conditioner, demonstrating that the product was effective in reducing friction and wear in the oil used, although without altering the predominant wear mechanism.

Keywords: wear; friction; metal conditioner; 5w30 oil.



1 INTRODUÇÃO

O funcionamento do motor a combustão interna, requer vários cuidados para que sua integridade seja mantida nos padrões de fábrica pelo maior tempo possível, destes cuidados necessários, a troca de óleo no tempo indicado, bem como a utilização do óleo especificado pelo fabricante, fazem parte da manutenção preventiva para o bom funcionamento do motor.

O uso de óleos lubrificantes é vital para reduzir o atrito e o desgaste entre as superfícies de contato. Esses lubrificantes formam uma fina camada protetora, o que previne danos e assegura a operação eficiente das máquinas, evitando falhas. Além disso, a correta aplicação desses óleos contribui para o aumento do desempenho, ao minimizar problemas como o desgaste excessivo e o superaquecimento (BÖHM, 2019). O que torna a escolha e manutenção do óleo uma questão crítica para a conservação dos motores.

A degradação do óleo lubrificante, ao longo do tempo, pode resultar na formação de resíduos como lodo e verniz, comprometendo o desempenho e a durabilidade do óleo. Esses depósitos são produtos da oxidação do lubrificante, que ocorre devido à exposição do óleo a calor excessivo, pressão e contaminantes metálicos (BAHRI, 2023).

No mercado, existem condicionadores de metais que prometem prolongar a vida útil de motores a combustão. Esses produtos oferecem benefícios como a redução do atrito e desgaste, o que aumenta a durabilidade das peças e melhora a eficiência do motor, resultando em menor consumo de combustível e melhor desempenho. Eles também facilitam as partidas a frio, protegem contra corrosão e oxidação, e contribuem para a diminuição da emissão de poluentes (MILITEC BRASIL, 2025).

A interação entre esses componentes gera diversos fenômenos estudados pela tribologia. Segundo Radi et al. (2007), a tribologia deriva do grego *tribo* (esfregar) + *logos* (estudo) e refere-se à ciência das superfícies em movimento relativo. Ela integra conhecimentos de física, química, mecânica e ciência dos materiais para analisar o comportamento de sistemas mecânicos.

Sembariski (2018), realizou ensaios tribológicos utilizando pino sobre disco lubrificado comparando o efeito do condicionador de metal em óleo 5W30. Os resultados indicaram a redução da força tangencial de atrito e do desgaste, diminuindo em aproximadamente 23% o atrito e 20% o desgaste com carga de 10 N. No entanto, com o aumento da carga a eficácia do condicionador diminuiu. Além disso, a adição do condicionador de metal gerou maior instabilidade na força tangencial de atrito, mas não afetou o coeficiente de desgaste.

Outro estudo, conduzido por Oliveira (2022), avaliou o desempenho de dois diferentes condicionadores de metais disponíveis no mercado nacional através de testes pino-disco realizados no aço 1045. Os resultados mostraram que os condicionadores avaliados



melhoraram o desempenho do lubrificante, resultando em uma diminuição considerável do atrito e do desgaste durante os testes.

Diante dos benefícios da redução do atrito, este trabalho busca avaliar o desempenho do condicionador de metal aplicado em óleo usado, investigando se a condição do óleo influencia na sua capacidade de redução do atrito.

A análise se concentrará em verificar se o uso do condicionador pode minimizar o desgaste dos componentes internos do motor, melhorar a eficiência do sistema e, ao mesmo tempo, contribuir para a sustentabilidade ao reduzir a necessidade de substituições frequentes de óleo e o descarte inadequado de resíduos.

2 METODOLOGIA

2.1 Materiais utilizados

2.1.1 Planejamento Experimental

Os ensaios foram planejados conforme tabela 1, permitindo a análise das condições tribológicas dos diferentes tipos de óleo: óleo novo (ON), óleo usado (OU) e óleo usado com a adição de um condicionador de metal (OUA). Essa abordagem possibilita avaliar o impacto do uso prolongado do lubrificante e a influência do condicionador de metal para compensar a degradação do óleo.

Tabela 1 – Grupos de amostras

Grupo	Tipo de Óleo	Quantidade
ON	Óleo Novo (5W30 Sintético)	5 ensaios
OU	Óleo Usado (5W30, 5.000 km, 7 meses)	5 ensaios
OUA	Óleo Usado + Condicionador de Metais	5 ensaios

Fonte: Autor.

O óleo novo foi coletado e armazenado durante a troca de óleo do motor de um veículo, enquanto o óleo usado foi recolhido somente após o veículo atingir a quilometragem recomendada pelo fabricante. Dessa forma, ambos os óleos pertencem ao mesmo lote de fabricação e são do mesmo fabricante.

2.1.2 Óleo Novo

As especificações do óleo sintético 5w30, indicam as classificações API SP e ILSAC GF-6A, conforme rótulo do fabricante.



API SP: É uma especificação da *American Petroleum Institute* voltada para motores modernos. Garante proteção contra o desgaste, melhor desempenho em altas temperaturas, controle de depósitos e maior eficiência no consumo de combustível. Essa categoria também aborda a proteção contra a pré-ignição em baixa rotação (LSPI), um problema comum em motores turboalimentados (AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE, 2020).

ILSAC GF-6A É emitida pelo *International Lubricants Standardization and Approval Committee* e foca em padrões similares ao API SP, mas com ênfase adicional na economia de combustível e compatibilidade com os sistemas de redução de emissões. Os óleos desta classificação atendem veículos que exigem especificações de viscosidade mais baixa, como 5W-30 e 10W-30 (ILSAC, 2020).

Essas características são essenciais para reduzir o desgaste, melhorar o desempenho do motor e aumentar a eficiência energética, sendo parâmetros fundamentais para a análise comparativa entre o óleo novo, o óleo usado e o óleo usado com condicionador de metal.

2.1.3 Óleo Usado

Para avaliar o desempenho do óleo lubrificante em diferentes condições, foram selecionadas amostras de óleo sintético comercial 5w30 API SP ILSAC GF-6A. As amostras de óleo usado foram coletadas de um veículo com motor 1.0, utilizado por 5.000 km ao longo de sete meses. Esse procedimento foi adotado para simular o envelhecimento e a degradação real do lubrificante, possibilitando a análise do impacto do uso contínuo sobre suas propriedades tribológicas.

2.1.4 Solução de Óleo Usado com adição do Condicionador de Metais

Para complementar a análise, foi adicionado um condicionador de metais ao óleo usado, na proporção recomendada pelo fabricante de 20:1. Durante a preparação da solução, enfrentou-se dificuldade em medir e escoar o volume exato devido à aderência do óleo na pipeta volumétrica, o que comprometeria a precisão na dosagem. Assim, para a preparação da solução contendo óleo usado e condicionador de metais, foi utilizado um conta-gotas e realizado a pesagem direta dos fluidos em uma balança analítica com resolução 0,0001 g. A dosagem recomendada pelo fabricante para o condicionador de metais é de 200 ml para cada 4 litros de óleo.

Para garantir a proporção correta de 1 parte de condicionador de metais para 20 partes de óleo usado, conforme especificado pelo fabricante, adotou-se inicialmente a relação de 1,5 ml de CM para 30,0 ml de óleo usado.

A densidade do óleo 5w30 foi considerada como 0,8516 g/cm³, o que implica que para 1 ml de óleo 5W30, temos 0,8516 g. Assim, para 30,0 ml de óleo, temos:

$$M = 30,0 \times 0,8516 = 25,548g$$

A densidade do condicionador de metais é $1,098 \text{ g/cm}^3$, o que implica que para 1 ml de CM, temos 1,098 g. Assim, para 1,5 ml de CM, temos:

$$M = 1,5 \times 1,098 = 1,647g$$

Com isso, a proporção de 1,5 ml de CM para 30,0 ml de óleo foi convertida para 1,647 g de CM e 25,548 g de óleo, possibilitando a pesagem na balança analítica e mantendo a proporção correta de 1 parte de CM para 20 partes de óleo.

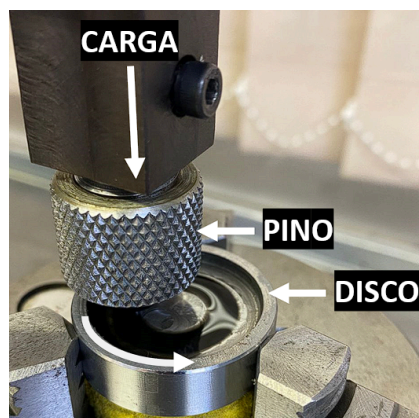
A aplicação da solução óleo usado com CM, foi padronizada em 6 gotas por ensaio utilizando-se o conta-gotas, a quantidade média de solução utilizada por ensaio foi de aproximadamente 1,0296 g.

2.2 Ensaio Tribológico

2.2.1 Parâmetros do ensaio no Tribômetro

Os ensaios de desgaste foram realizados em um tribômetro padrão, empregando o método pino-sobre-disco (Figura 1).

Figura 1 - Método pino-sobre-disco



Fonte: Autor.

Os parâmetros operacionais do tribômetro foram selecionados e padronizados para replicar as condições do ensaio, garantindo que os resultados obtidos fossem consistentes e comparáveis entre as diferentes amostras analisadas.

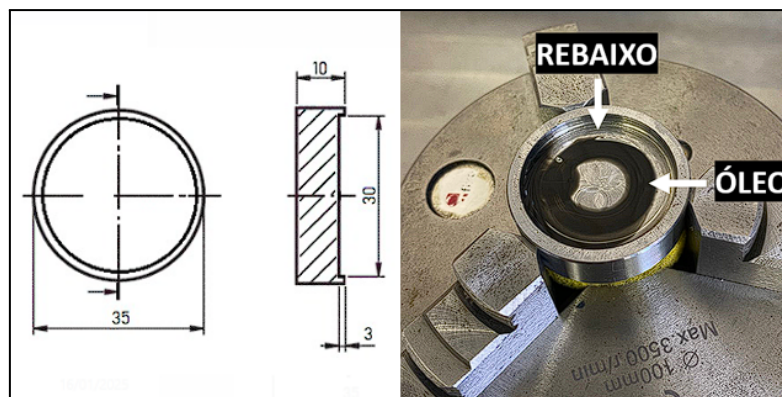
- **Carga aplicada:** 10 N.
- **Velocidade de deslizamento:** 0,10 m/s, equivalente a 119,3 rotações por minuto.
- **Distância:** 1000 m.

- **Temperatura controlada:** 22°C, assegurando estabilidade térmica e minimizando interferências externas.
- **Diâmetro da pista do pino:** 16 mm, com o disco apresentando 35 mm de diâmetro.
- **Esfera utilizada como pino:** Fabricada em aço AISI 52100, com diâmetro de 6 mm.

2.2.2 Pino e disco

Os discos utilizados nos ensaios foram projetados e confeccionados em aço SAE 1020, material amplamente empregado em aplicações mecânicas. Para garantir a retenção do óleo durante os testes, as amostras foram usinadas com 35 mm de diâmetro por 10 mm de espessura e o rebaixo com diâmetro de 30 mm e 3 mm de profundidade (Figura 2), este rebaixo foi projetado para funcionar como limitador de óleo e assegurar que o lubrificante permaneça em contato com as superfícies de desgaste, mesmo sob a força centrífuga gerada no ensaio.

Figura 2 – Amostra com rebaixo para retenção do óleo



Fonte: Autor

2.2.3 Caracterização dos materiais

Foram retiradas duas amostras da barra utilizada para a fabricação dos discos, com o objetivo de realizar a análise da microestrutura e composição química, garantindo que o aço SAE 1020 estivesse de acordo com suas propriedades específicas. Uma amostra foi preparada metalograficamente para análise da microestrutura e a medição da microdureza do material. A microdureza foi determinada utilizando uma carga de 500 g, aplicada por 10 segundos. A outra amostra foi utilizada para determinar a composição química, sendo utilizado a espectrometria de emissão óptica. Este permite a análise qualitativa e quantitativa dos elementos presentes na amostra por meio da medição da luz emitida após a excitação dos átomos ou íons.



Uma esfera foi embutida em baquelite, o que possibilitou o lixamento até sua seção média e após o lixamento, foi realizado o polimento da superfície para permitir a análise detalhada da microestrutura e a medição da microdureza da esfera.

2.3 Preparação dos Componentes para Ensaio

2.3.1 Limpeza e armazenamento das amostras

Os discos e esferas foram submetidos a um processo de limpeza por banho ultrassônico, imersos em acetona por 10 minutos a uma temperatura de 30°C. Esse procedimento tem o objetivo de remover resíduos de gordura e partículas geradas após o processo de usinagem. Após a limpeza, as amostras foram armazenadas em dessecador para evitar contaminações ou alterações em suas características superficiais.

Após cada ensaio, o disco utilizado foi lavado com detergente e novamente submetido a um banho ultrassônico, procedimento adotado para assegurar que qualquer sujeira residual não interfira na precisão dos resultados da balança.

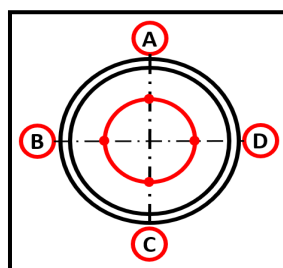
2.3.2 Ensaio de Desgaste

O desgaste foi avaliado por dois métodos diferentes, perda de massa e pela largura da pista.

Para a avaliação da **perda de massa** utilizou-se balança analítica com resolução de 0,0001 g sendo realizada a média de três medições em cada conjunto de esfera/disco antes e após os ensaios tribológicos.

Para medição da **largura da pista** de desgaste foi utilizado estereoscópio para aquisição de imagem em quatro posições específicas e padronizadas a cada 90°, distribuídas ao longo da circunferência da pista (Figura 3). A média das larguras obtidas nesses pontos foi utilizada no cálculo do volume de material removido, conforme as diretrizes da norma ASTM G99-17, permitindo uma análise quantitativa do desgaste em cada condição de ensaio.

Figura 3 – Pontos de medição largura de pista



Fonte: Autor.



De acordo com a norma ASTM G99-17, considerando o pino como uma esfera teoricamente sem desgaste, a largura da pista no disco é um parâmetro crítico para a determinação do volume de material perdido, pois com raio da esfera e largura de pista obtém-se uma seção em formato de meia-lua, permitindo calcular o volume de material removido com base no raio da pista de desgaste no disco.

Para o cálculo do coeficiente de desgaste, seja avaliado pela perda de massa ou pela largura da pista, é necessário determinar o volume de material removido. Esse volume é dividido pelo produto da força aplicada e da distância percorrida, conforme a seguinte equação:

$$k = \frac{V}{\left(\frac{m}{1000} \times 9,814\right) \times d}$$

onde:

- **V** é o Volume perdido (em mm³);
- **m** é a Carga do ensaio (em gramas);
- **d** é a Distância percorrida (em metros);
- **9,814 m/s²** é a aceleração da gravidade;
- A divisão por **1000** converte a massa de gramas para quilogramas, permitindo calcular a força normal em newtons pela relação: $F = \left(\frac{m}{1000}\right) \times 9,814$

Dessa forma, o coeficiente de desgaste relaciona o volume removido com a energia dissipada, gerando a quantificação do desgaste sob as condições de ensaio avaliadas em $\frac{mm^3}{N \times m}$

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Caracterização dos materiais

A tabela 2 apresenta a composição química da espectrometria de emissão óptica, evidenciando os principais elementos e as concentrações presentes na amostra do material utilizado na fabricação dos discos.

Tabela 2 – Resultado espectrometria de emissão óptica.

Elemento	Fe	C	Si	Mn	Cr	Cu	P	S
Concentração (%)	99,2	0,18	0,78	0,42	0,03	0,01	0,01	0,00

Fonte: UDESC.

Ao comparar esses valores com os parâmetros padrões do aço 1020, como mostrado na tabela 3, pode-se observar uma correspondência significativa, confirmando que o material analisado é, de fato, um aço 1020.

Tabela 3 – Referência química aço SAE1020.

Elemento	Fe	C	Mn	P	S
Concentração (%)	O que sobra	0,18 a 0,23	0,30 a 0,60	0,04 (MAX)	0,05 (MAX)

Fonte: COMPRACO.

A tabela 4 apresenta os resultados de dureza da esfera e do disco e indicando conformidade com a referência (COMPRACO, 2025)

Tabela 4 – Resultados de dureza da esfera e do disco.

Materia l	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Média
Esferas (HV)	736,8 HV (61,6 HRC)	754,5 HV (62,3 HRC)	756,5 HV (62,4 HRC)	766,9 HV (62,8 HRC)	741,4 HV (61,8 HRC)	751,2 HV (62,2 HRC)
Disco (HRB)	70,0 HRB	70,5 HRB	71,0 HRB	71,0 HRB	71,5 HRB	70,8 HRB

Fonte: Autor.

3.2 Desempenho dos Lubrificantes

A Figura 4 apresenta os valores de coeficiente de atrito em função da distância percorrida para as três condições testadas: óleo novo (Figura 4-A), óleo usado (Figura 4-B) e óleo usado com condicionador de metal (Figura 4-C) e a média das três condições estão apresentadas na Figura 4-D.

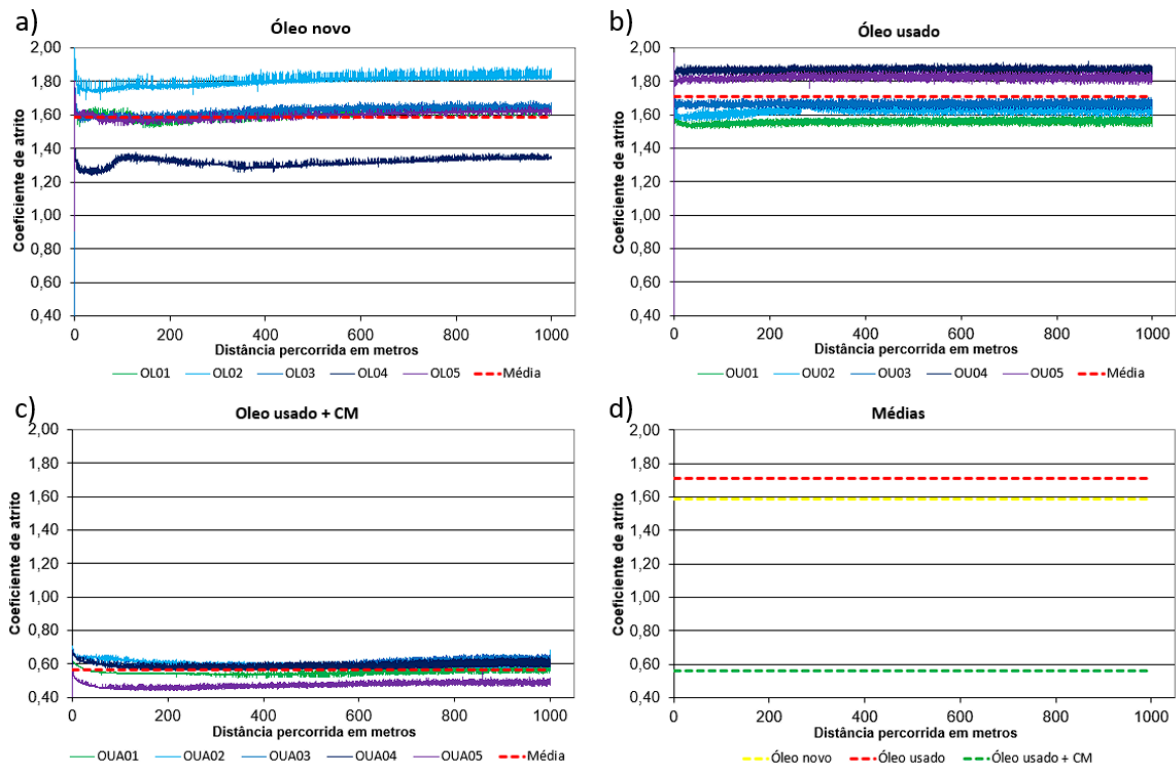
Na Figura 4-A, foi possível perceber alterações na força de atrito em seu período inicial de deslizamento (*running-in*), que ocorre nos primeiros 100 metros. Esse fato poderia estar ligado a formação inicial e estabilização do filme de óleo. Além disso, essa condição de ensaio apresentou maior variação entre as amostras testadas, registrando valores entre 1,32 e 1,80 (variação de 0,48), sendo o valor médio do coeficiente de atrito obtido de 1,59.

A condição do óleo usado (Figura 4-B) apresenta resultados mais estáveis em comparação ao óleo novo (Figura 4-A) com o período inicial (*running-in*) sendo reduzido para 20 metros. Com base no estudo realizado por Obara (2018) uma hipótese é que as partículas de desgaste presentes no óleo usado atuam como elementos abrasivos. Reduzindo a rugosidade inicial das superfícies em contato e acelerando a transição para o regime permanente de desgaste. No entanto, apesar da maior estabilidade, o coeficiente de atrito médio de 1,71 foi o mais elevado entre as condições testadas, indicando possível degradação do lubrificante.

Na condição do óleo usado e com condicionador de metais conforme Figura 4-C, o período de *running-in* foi de 50 metros e os resultados do coeficiente de atrito apresentaram menor dispersão entre eles, indicando maior estabilidade no atrito. O coeficiente médio de atrito

dessa condição foi de 0,563, sendo o menor entre todas as condições analisadas. Isso sugere que o condicionador de metal contribui para a formação de uma camada protetora, reduzindo o atrito e melhorando a performance do óleo usado.

Figura 4 - Gráfico coeficiente de fricção x distância: a) Óleo novo, b) Óleo usado, c) Óleo usado com condicionador de metal, d) Média dos ensaios.



Fonte: Autor.

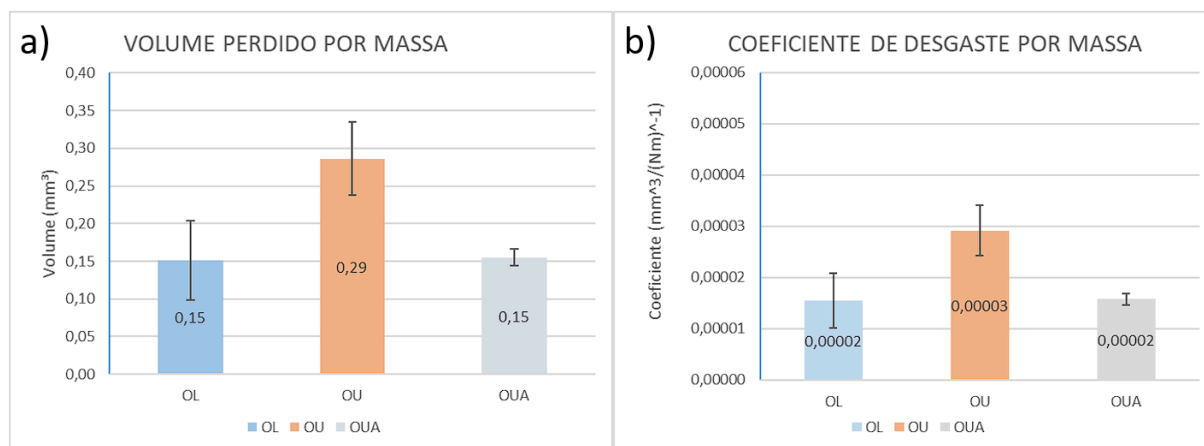
Para facilitar a análise, na Figura 4-D, foram apresentados separadamente o coeficiente de atrito médio das três condições. Os coeficientes de atrito mais altos foram observados para o óleo usado (OU) e óleo novo (ON), respectivamente, com uma diferença entre eles de 0,12. Por outro lado, o resultado médio do óleo usado com condicionador de metal (OUA) representou cerca de 1/3 do valor obtido para o OU, indicando uma redução significativa no coeficiente de atrito, possivelmente devido à formação de tribofilmes, que auxiliam na redução do desgaste.

3.3 Perda de Massa

Na Figura 5-a, observa-se que a condição de OU apresentou o maior volume perdido por massa, atingindo $0,28 \text{ mm}^3$ e o ON e o OUA apresentaram valores semelhantes, ambos em torno de $0,15 \text{ mm}^3$. O OU teve o maior desgaste do material em comparação às demais condições e a igualdade de resultado entre o ON e o OUA sugere que o condicionador de metal pode reduzir o desgaste, aproximando aos resultados observados para o óleo novo.

A Figura 5-b ilustra o coeficiente de desgaste por massa, onde o OU registrou o maior coeficiente, com $2,9 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/(\text{N}\cdot\text{m})$, reforçando a tendência de maior desgaste nessa condição. O ON e OUA apresentaram coeficiente próximos, de $1,5 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/(\text{N}\cdot\text{m})$, e $1,6 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/(\text{N}\cdot\text{m})$, respectivamente indicando que a adição do condicionador pode reduzir o desgaste, contribuindo para uma maior proteção das superfícies em contato.

Figura 5 – Avaliação por diferença de massa: a) volume perdido por massa, b) Coeficiente de desgaste por massa



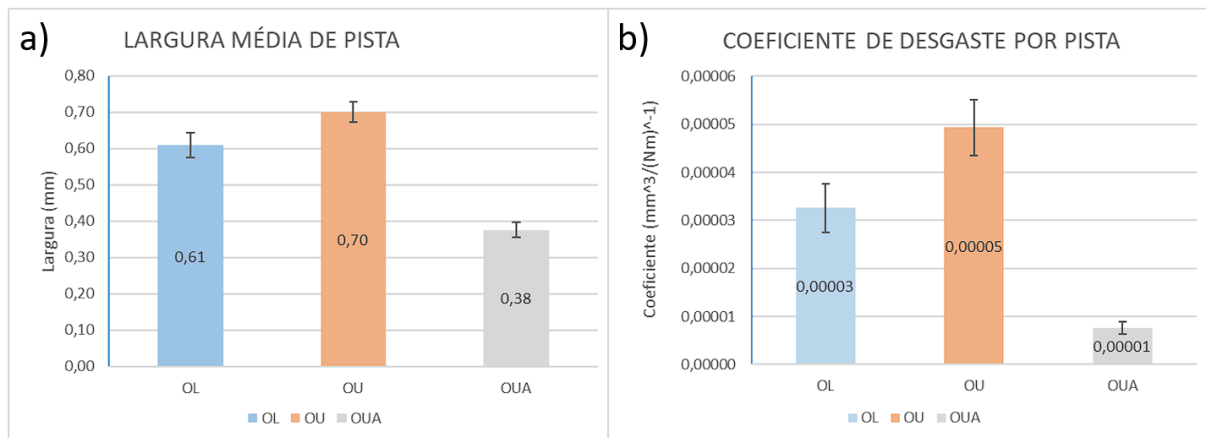
Fonte: Elaborado pelo autor.

3.4 Largura da Pista de Desgaste

A Figura 6 apresenta os resultados relacionados à largura média das pistas de desgaste. Na Figura 6-a observa-se que o OU apresentou a maior largura média da pista, com 0,65 mm, evidenciando um maior desgaste se comparado às demais condições. O ON registrou um valor menor, de 0,61 mm. Por outro lado, a condição de OUA exibiu a menor largura média da pista, com 0,38 mm, evidenciando a contribuição do CM para a redução do desgaste, formando uma camada protetora sobre as superfícies em contato.

A Figura 6-b apresenta o coeficiente de desgaste de cada condição, no qual o OU atingiu o maior valor, de $4,0 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/(\text{N}\cdot\text{m})$, confirmando a tendência de maior desgaste. O ON apresentou um coeficiente de $3,0 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/(\text{N}\cdot\text{m})$, evidenciando um comportamento intermediário. Já o OUA apresentou o menor coeficiente, de $1,0 \times 10^{-5} \text{ mm}^3/(\text{N}\cdot\text{m})$, indicando que o aditivo reduziu significativamente a taxa de desgaste, tornando a lubrificação mais eficiente e minimizando a perda de material.

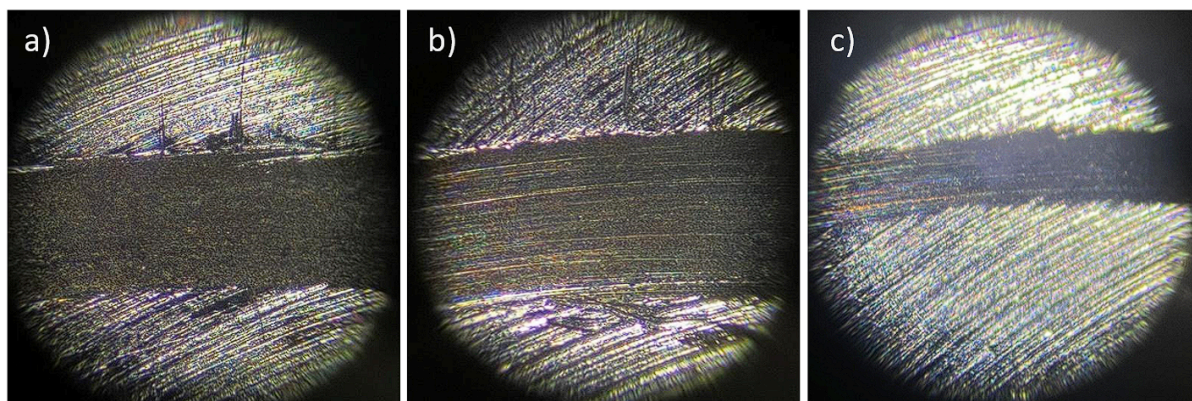
Figura 6 – Largura média da pista e coeficiente de desgaste por pista: (a) Largura média da pista, (b) Coeficiente de desgaste por pista.



Fonte: Elaborado pelo autor.

A Figura 7 apresenta imagens microscópicas das trilhas de desgaste para as três condições analisadas: (a) óleo novo (b) óleo usado e (c) óleo usado com condicionador de metal. A análise qualitativa das superfícies permite identificar diferenças nos mecanismos de desgaste entre as condições testadas.

Figura 7 – Micrografias das trilhas de desgaste obtidas por microscopia óptica: (a) Óleo novo (OL), (b) Óleo usado (OU) e (c) Óleo usado com condicionador de metal (OUA).



Fonte: Elaborado pelo autor.

Na Figura 7-a, referente ao ON, observa-se a presença de ranhuras uniformes, sugerindo um mecanismo de desgaste predominantemente abrasivo leve, devido a partículas sólidas em suspensão no lubrificante. Já na Figura 7-b, correspondente ao OU, nota-se um desgaste com ranhuras mais evidentes e irregulares, o que pode indicar uma combinação de desgaste adesivo e abrasivo, possivelmente devido à degradação do lubrificante e ao aumento da presença de contaminantes, como partículas metálicas.

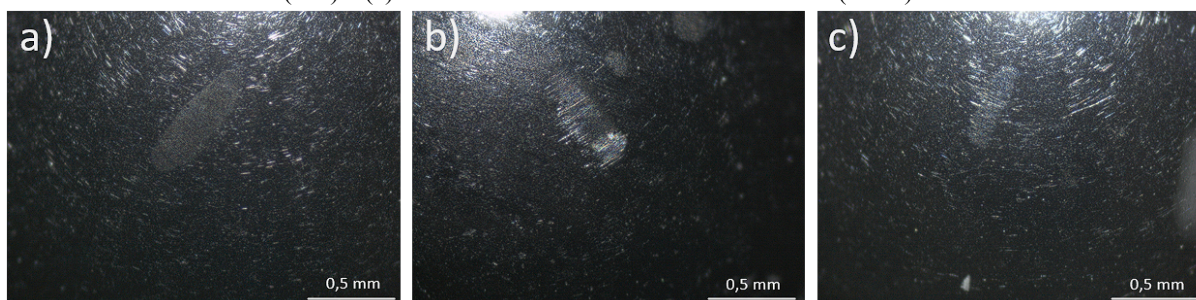
Por outro lado, na Figura 7-c, referente ao OUA, observa-se uma redução visível na largura da trilha de desgaste em comparação com as demais condições, mantendo-se o mecanismo de

desgaste semelhante ao observado no OU. Esse comportamento pode estar associado à camada protetora formada pelo condicionador de metal (CM), que reduz o impacto dos contaminantes presentes no OU, resultando em um coeficiente de desgaste significativamente menor, apesar de o volume perdido, com base na massa, ser semelhante ao do óleo novo.

Uma hipótese para explicar esse fenômeno é a diferença nos mecanismos de desgaste entre as condições testadas. No caso do OUA, o CM pode ter promovido a formação de uma camada protetiva, reduzindo o atrito e minimizando o desgaste abrasivo. Essa hipótese é reforçada ao comparar os coeficientes de atrito, pois uma força de atrito menor pode justificar a redução da largura da pista de desgaste observada no OUA.

Outra hipótese para explicar esse fenômeno é a possibilidade de ter ocorrido desgaste na esfera utilizada nos ensaios. De acordo com a norma ASTM G99-17, para que os valores obtidos sejam validados, a esfera não pode apresentar desgaste significativo. No entanto, apesar de a inspeção visual (Figura 8) indicar a presença de desgaste, os métodos utilizados não permitiram sua quantificação precisa. Esse fator pode ter influenciado os resultados, alterando as condições de contato e modificando os mecanismos de desgaste predominantes, impactando a largura da pista de desgaste observada no OUA.

Figura 8 – Micrografias do desgaste na esfera obtidas por microscopia óptica: (a) Óleo novo (OL), (b) Óleo usado (OU) e (c) Óleo usado com condicionador de metal (OUA).



Fonte: Elaborado pelo autor.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os ensaios tribológicos realizados permitiram avaliar a influência do óleo lubrificante nas condições de desgaste e atrito sob diferentes estados de uso.

Os testes indicam que a utilização do condicionador de metal ao óleo lubrificante promove a formação de uma camada protetora que melhora as propriedades tribológicas do sistema. Essa camada atua reduzindo o atrito e minimizando o desgaste, contribuindo para uma interação mais suave entre as faces de contato.

O óleo usado sem aditivo evidenciou sua degradação possivelmente em decorrência da oxidação e da presença de contaminantes, como partículas metálicas, o que compromete seu desempenho.



Com base nos resultados, o condicionador de metal reduz o atrito gerado pelo óleo usado; entretanto, os contaminantes continuam a influenciar o mecanismo de desgaste. Dessa forma, embora o condicionador de metal ofereça benefícios na redução do atrito, ele não elimina os efeitos prejudiciais da contaminação, limitando sua eficácia na extensão da vida útil do óleo lubrificante em condições severas.

5. REFERÊNCIAS

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM G99-17: Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus**. West Conshohocken, PA: ASTM International, 2017. Disponível em: <https://www.astm.org/g0099-17.html>. Acesso em: 07/02/2025

BAHRI. **Verniz no óleo hidráulico: principais causas e como prevenir**. Disponível em: <https://www.bahri.com.br/hidraulica/verniz-no-oleo-hidraulico-principais-causas-e-como-prevenir/>. Acesso em: 2 fev. 2025.

BÖHM, Eduardo Elert. **Estudo do comportamento dos lubrificantes em diferentes temperaturas**. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade Anhanguera de Pelotas, Pelotas, 2019.

COELHO, Maria Carolina da S. et al. **Estabilidade oxidativa do óleo lubrificante contaminado por gasolina**. XXIII Simea. Rio de Janeiro: Ipiranga Produtos de Petróleo S.A.; Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, 2015.

COMPRACO. **Propriedades do Aço SAE AISI 1020: resistência ao escoamento do aço carbono C1020**. Disponível em: <https://compraco.com.br/blogs/especificacoes-do-aco/propriedades-do-aco-sae-aisi-1020-resistencia-ao-escoamento-do-aco-carbono-c1020-equivalente>. Acesso em: 2 fev. 2025.

MILITEC BRASIL. **Militec 1 – Tecnologia de Condicionamento de Metais**. Disponível em: <https://militecbrasil.com.br/>. Acesso em: 6 fev. 2025.

OBARA, Rafael Brisolla. **Avaliação do desgaste em cilindros de motores de combustão interna – mapeamento de mecanismos e quantificação do desgaste**. 2018. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2018.

OLIVEIRA, Paulo Roberto de Sá de. **Desempenho de condicionadores de metais em lubrificantes: estudo tribológico com pino-disco**. 2022. [Monografia] – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2022.

RADI, Polyana Alves et al. **Tribologia, conceitos e aplicações**. In: ENCONTRO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E PÓS-GRADUAÇÃO DO ITA, 13., 2007, São José dos Campos. Anais [...]. São José dos Campos: Instituto Tecnológico de Aeronáutica, 2007.

SEMBARSKI, Paulo Ricardo Borgmann. **Influência do tipo de lubrificação no desgaste por deslizamento de metais**. 2018. Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica) - Instituto Federal de Santa Catarina, Jaraguá do Sul.

AMERICAN PETROLEUM INSTITUTE. **API SP: Specification for Modern Engine Oils**. [S.l.], 2020. Disponível em: <https://www.api.org/>. Acesso em: 27 jan. 2025.

ASTM STEEL. **52100 Bearing Steel (AISI 52100)**. Disponível em: <https://www.astmsteel.com/product/52100-bearing-steel-aisi/>. Acesso em: 30 jan. 2025.

INTERNATIONAL LUBRICANTS STANDARDIZATION AND APPROVAL COMMITTEE. **ILSAC GF-6A: Standard for Engine Oil**. [S.l.], 2020. Disponível em: <https://www.ilsac.org/>. Acesso em: 27 jan. 2025.