

**TRIBOLOGIA VOLTADA PARA A INDÚSTRIA AUTOMOTIVA**

**TRIBOLOGY FOCUSED ON THE AUTOMOTIVE INDUSTRY**

Jonathan Luan Milcheski, Luiz Gustavo K. Batista, Marlon Nardelli, Mauro Rodrigo e  
Professor M. Sc. Victor Tedeschi

*MILCHESKI, Jonathan Luan, et al. Tribologia voltada para a indústria automotiva. Revista Tecnológica da FATEC-PR, v.1, n.12, p. 78 - 85, jan/jun, 2021.*

**RESUMO**

Este trabalho apresentará um estudo da tribologia que se mostra uma ferramenta necessária para o desenvolvimento de materiais e produtos usados na tecnologia de movimentos mecânicos, com a intenção de obter eficiência na transmissão do trabalho gerado e um ciclo de vida mais inteligente e com melhor custo benefício. Os estudos tribológicos, podem fazer com que termos como rugosidade, lubrificação e desgaste, gerem uma espécie de banco de dados de compatibilidade com o design, com a matéria-prima envolvida e com o processo de fabricação, antes mesmo que o projeto defina o funcionamento de um sistema mecânico. Com relação à indústria automotiva, quando há uma melhor eficiência de projetos em que existam estudos tribológicos mais avançados, além da economia com a manutenção pelo desgaste e do combustível utilizado, o meio ambiente também se beneficia com a menor geração dos efeitos e de substâncias nocivas, derivadas do funcionamento de veículos automotores.

**Palavras chave:** Engenharia. Tribologia. Automotivo.

**ABSTRACT**

*This work will present a study of tribology that proves to be a necessary tool for the development of materials and products used in the technology of mechanical movements, with the intention of obtaining efficiency in the transmission of the work generated and a more intelligent and cost-effective life cycle. Tribological studies can make terms such as roughness, lubrication and wear generate a kind of database of compatibility with the design, with the raw material involved and with the manufacturing process, even before the project defines the operation. of a mechanical system. With regard to the automotive industry, when there is better efficiency in projects in which more advanced tribological studies are carried out, in addition to savings in maintenance due to wear and tear and the fuel used, the environment also benefits from less generation of harmful effects and substances, derived from the operation of motor vehicles.*

**Keywords:** Engineering. Tribology. Automotive.

**1 INTRODUÇÃO**

A tribologia se dedica basicamente ao estudo do desgaste e do atrito, mas também ao da lubrificação, já que tem como objetivo reduzir desgaste e atrito. Para tal, se apoia em conhecimentos da física, da química e da ciência dos materiais, mas também em estudos sobre lubrificação, atrito e desgaste.

O conceito da tribologia que se formou então nessa época, trouxe uma análise dos impactos econômicos e ambientais, apresentando em retrospectiva, trabalhos de Leonardo da Vinci onde haviam ocorrências da utilização de estudos dos fenômenos de atrito, desgaste e lubrificação e finalizando com os avanços atingidos no final do século XX e nesse início do século XXI. (SINATORA, 2005).

O aspecto ambiental também é muito importante na análise global das perdas por desgaste, afinal as perdas de um sistema mecânico, geram derivados e efeitos que atingem direta ou indiretamente o meio ambiente. Um automóvel por exemplo, que transita em centros urbanos, tem perdas indiretas como o resfriamento ou exaustão do próprio motor, ou seja, tira parte da potência do motor, para tal subtrabalho, sem contar o atrito dos componentes envolvidos dentro do sistema ou fora dele como o dos pneus com a pista de rolagem. Então, de tudo que o motor gera de potência, estima-se que 12% de fato gere o deslocamento (ANDERSON, 1991).

## 1.1 OBJETIVO

Apresentar a tribologia como uma ferramenta que pode ser utilizada para ajudar na inovação e desenvolvimento de tecnologias voltadas à eficiência mecânica, a fim de ajudar em atender à normas ambientais, com custo benefício competitivo.

Esse trabalho tem por objetivo principal, realizar pesquisa descritiva, pois já existe uma problemática que é a realidade da indústria automotiva de reduzir emissões, peso, consumo de combustível e já existe um histórico e pesquisas que mostram que a tribologia está envolvida direta ou indiretamente com essa problemática.

## 2 JUSTIFICATIVA

Inspirada pelos moldes de regulamentação europeia, o sistema Euro 5 é um conjunto de normas regulamentadoras que visa a diminuição da emissão de poluentes de veículos movidos a diesel e que entrou em vigor em 2009, sucedendo o Euro 3 e outros programas desde 1992. No Brasil, o CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) é o responsável por controlar por meio do Programa de Despoluição do Ar por Veículos Automotores, o PROCONVE P-7, que entrou em vigor em 2012. Sua principal meta é diminuir as emissões de Óxido de Nitrogênio (NOx) em até 60%.

Além deste poluente, um dos piores inimigos das condições climáticas é o CO<sub>2</sub> (Gás Carbônico), liberado na atmosfera quando ocorre queima de petróleo, carvão e outros combustíveis fósseis, com o objetivo de se gerar a energia que é usada nos domicílios e meios de transporte, por exemplo.

A liberação desse gás pode ser controlada através da conscientização por meio das mídias e canais como escolas por exemplo e também através de regulamentações governamentais em relação à geração de energia para os meios de transporte e para o setor industrial. São muitos os incentivos e apoios especiais, para que sejam feitas pesquisas em indústrias e universidades, estimulando assim pesquisadores a encontrar soluções, já que normalmente esse tipo de apoio é financeiro.

### **3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

#### **3.1 CONCEITOS DE DESGASTE**

Um dos principais focos da tribologia é o estudo do desgaste, que se refere à perda progressiva de material da superfície operacional de um corpo, como resultado do movimento relativo das superfícies envolvidas. De modo geral, o desgaste ocorre através de mais de um modo e, portanto, a compreensão de cada mecanismo de desgaste em cada modo se torna importante. Os modos de desgaste podem ocorrer através de vários mecanismos, que por sua vez, são descritos pela consideração de mudanças complexas na superfície durante o movimento (PURQUEIRO e FORTULAN, 2016).

O desgaste ocorre em função da cinemática do sistema. Pode variar entre, deslizamento, rolamento, oscilação, impacto e erosão, dependendo do tipo de interação e do movimento das interfaces. A erosão pode ainda ser classificada pelo estado físico do contra corpo, sólido ou líquido, ou pelo ângulo de ação, alto ou baixo. Os processos de desgaste também poderão ser classificados quanto ao elemento interfacial podendo ser de desgaste de dois corpos ou estar sob ação de partículas sólidas pressionadas entre duas superfícies, por exemplo, poeira em lubrificantes ou minerais em rochas sob pressão, caracterizando um desgaste de três corpos (Peterson, 1980). O pesquisador tem que ter sempre em mente o tipo de aplicação do material que ele deseja testar para que possa simular as mesmas condições de velocidade, de movimento e de carga. Podem ser os desgastes obtidos:

- **Desgaste adesivo**: ocorre quando a ligação adesiva entre as superfícies é suficientemente forte para resistir ao deslizamento e isso pode ocorrer num ambiente com pouca lubrificação por exemplo, mesmo as superfícies tendo baixas rugosidades. Como resultado dessa adesão, uma deformação plástica, um arraste de material é causada na região de contato gerando uma trinca que pode se propagar levando à geração de um terceiro corpo e a uma transferência completa de material. Isso é altamente provável nos casos em que as superfícies dos materiais apresentem uma composição similar ou possuam uma determinada afinidade uma com a outra.
- **Desgaste abrasivo**: ocorre remoção de material da superfície. Esse desgaste ocorre em função do formato e da dureza dos dois materiais em contato. Partículas duras e pontiagudas que estão presentes nas superfícies que interagem ou as próprias superfícies que podem ser duras ou pontiagudas e encontram picos

de aspereza entre elas ou de outro agente, durante o movimento, são exemplos de como pode ocorrer esse tipo de desgaste abrasivo.

- Desgaste por fadiga: é causado pelo alto número de repetições do movimento. As tensões mecânicas repetitivas e alternadas levam à formação e difusão de rachaduras na superfície com fadiga, que é destruída dessa forma. Os resultados são fissuras transversais e fissuras de crista, corrosão alveolar e microcorrosão, principalmente em contatos rolantes, ou também quebra das ferramentas.
- Desgaste corrosivo: ocorre entre um material e substâncias que entram em contato com ele no ambiente onde ocorre o movimento. Seriam meios corrosivos, líquidos ou gasosos. Neste tipo de desgaste são formados produtos de reação devido às interações químicas e eletroquímicas. Essas reações são conhecidas como reações triboquímicas e produzem uma intercamada na superfície que depois é removida. Um detalhe, é que as cargas mecânicas também promovem a corrosão.

### 3.2 TÉCNICAS DE LUBRIFICAÇÃO

Lubrificação é o processo ou técnica empregada para reduzir o atrito e o desgaste de uma ou ambas as superfícies em contato relativo, pela aplicação de uma substância entre essas superfícies, chamada lubrificante. Segundo a teoria clássica de Reynolds para lubrificação, maiores viscosidades provem filmes de lubrificante mais espessos entre as superfícies em movimento relativo, enquanto que menores viscosidades levam a filmes mais delgados. Esses parâmetros caracterizam os regimes de lubrificação (descritos abaixo), que por sua vez têm influência direta no atrito e desgaste dos tribosistemas.

- Lubrificação hidrodinâmica (LH) o filme é espesso e as superfícies estão completamente separadas, de modo que toda a carga é suportada pela pressão gerada hidrodinamicamente sobre o fluido e, portanto, não ocorre desgaste.
- Regime elastohidrodinâmico (LEH), a espessura do filme é da mesma ordem de grandeza da rugosidade das superfícies envolvidas, isso faz com que deformações elásticas sejam transferidas entre elas.
- Regime de lubrificação limite (LL) a espessura da película de lubrificante é menor que a própria rugosidade das superfícies, portanto, ocorre contato entre asperidades da rugosidade que, nesse caso, impõem deformações elasto-plásticas à superfície. No regime de LL o desgaste é mais severo.

Na transição entre o regime de lubrificação limite (LL) e o elastohidrodinâmico (LEH) está o regime de lubrificação mista (LM), ou seja, nessa configuração áreas da superfície bem lubrificadas (LEH) e regiões em contato direto (LL) coexistem. Dessa maneira, as duas contribuem para o atrito e desgaste.

## 4 ESTRATÉGIAS DE REDUÇÃO DE ATRITO

Com relação à indústria automotiva, os fabricantes estão tomando medidas revolucionárias para desenvolver materiais tribologicamente avançados, pois uma quantidade significativa de energia de entrada é perdida devido ao atrito em vários conjuntos. Uma melhoria considerável no desempenho do motor

automotivo pode ser alcançada através de modificações na superfície dos componentes e / ou modificações dos óleos lubrificantes.

Para melhorar eficiência automotiva, não só de motores, mas de todo os sistemas de um veículo, entra em ação o que se chama de Engenharia de Superfícies, que se baseia nas premissas e nos pilares da tribologia, descritos no capítulo anterior, justamente vai fazer a análise das propriedades superficiais em contato e gerar o estudo tribológico de sistema a sistema.

Para entender quais mudanças na interface têm papel determinante no comportamento do atrito e desgaste de um par tribológico, é preciso fazer uso de uma série de ferramentas de análise que vão desde a escala microscópica até contatos pontuais na rugosidade. Entre essas técnicas estão: microscopia óptica, microscopia eletrônica, espectroscopia Raman, espectroscopia de energia dispersiva, interferometria óptica e resistividade elétrica do contato. Existem ainda técnicas mais avançadas como espectroscopia de elétrons Auger, difração de raio-x, espectroscopia fotoelétrica de raio-x, espectroscopia de massa de íons secundários, entre outras (SALVARO, 2015).

#### 4.1 MODIFICAÇÕES NA SUPERFÍCIE

O endurecimento superficial é um tipo de modificação, como parte de estratégia para redução de atrito e energia, pois permite manter as propriedades do substrato e aumenta consideravelmente a resistência a abrasão e riscos por exemplo, mas também existem procedimentos para se alterar a rugosidade e para usar revestimentos, que podem ser aplicados em substratos diferentes dos metálicos.

No caso dos metais que são muito utilizados na indústria automotiva, devido à sua versatilidade mecânica em contato com lubrificantes e com amplitudes de temperatura e tensões, essas modificações podem ser feitas através de tratamentos térmicos como a têmpera, que eleva a dureza superficial e mantém a ductibilidade. O endurecimento superficial mecânico, mais simples, pode ser feito através de jateamento com esferas de aço, que por sua vez geram uma deformação plástica localizada e por criar esse emaranhado de pequenos ressaltos e cavidades, gera uma linha de discordância superficial que faz aumentar a dureza naquela região. Os tratamentos termoquímicos, modificam a composição e a microestrutura na região superficial e podem ser feitos de várias formas (HASSAN *et al*, 2018).

#### 4.2 DESENVOLVIMENTO DE LUBRIFICANTES

A busca pela eficiência energética levou a pesquisa a novos materiais a serem usados como aditivos lubrificantes. Uma recente nova classe emergente de lubrificante conhecida pela sigla IL, que significa líquidos iônicos, está ganhando popularidade devido ao seu desempenho tribológico superior. A exploração dos IL como lubrificantes puros foi iniciada em 2001, levando a muitos estudos com objetivos semelhantes. Os IL comprovadamente superam o lubrificante comercial, pois possuem propriedades físicas e químicas únicas que lhes permitem um melhor desempenho, tais como: a) forte adsorção da superfície devido à polaridade inerente dos íons; b) baixa inflamabilidade; c) alta estabilidade térmica; d) comportamento reológico estável, devido à baixa sensibilidade às mudanças ambientais.

Apesar de comprovadas que os IL puros excederem o desempenho de lubrificantes comerciais, luta-se para se obter competitividade comercial, já que causou um impacto devido ao seu custo mais elevado. Por isso o uso dos IL como aditivos do óleo base, tornou-se o novo tópico central em termos de lubrificação.

#### 4.3 TRIBOLOGIA E DESIGN

Aero dinâmica é um exemplo de que o design influencia na performance de um veículo. Como se sabe, formas arredondadas e materiais mais inteligentes, são ferramentas que fazem do design atual, um design de soluções e não muitas delas com uma plástica estética da qual estamos acostumados. O design, na sua definição abrangente, implica uma total compreensão das matérias-primas, processos de produção e expectativas dos utilizadores e a tribologia precisa criar seu espaço dentro das engenharias.

Engrenagens e sistemas de transmissões, são parte importante no que diz respeito à tribologia em um automóvel, sendo de pequeno ou grande porte, de passeio ou utilitário. Como ensaios para avaliações de desgaste e durabilidade, utilizando-se dos próprios sistemas ou dos próprios veículos em condições controladas são demorados e necessitam de uma estrutura bem mais custosa, uma maneira mais simples e barata é a utilização de ensaios tribológicos. Nesse caso equipamentos podem simular as condições de contato e lubrificação obtidas durante o engrenamento e com isso se obtém uma estimativa bem precisa de coeficientes de atrito. Essas informações retro alimentam a engenharia de desenvolvimento de produto tanto para a área de dimensionamento, quanto para a área de design.

### 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

É importante lembrar que tribologia não se restringe ao estudo de sistemas e aparatos complexos. Nosso cotidiano é repleto de sistemas tribológicos que vão desde atos muito simples como cortar um alimento, caminhar e escovar os dentes até ao projeto de um motor.

Apesar da tribologia ter sido abordada na engenharia mecânica, sistemas mecânicos, eletromecânicos e biomecânicos vêm exigindo melhores desempenhos em condições de operações cada vez mais severas, juntamente com fatores e normativas ambientais. Por isso pode-se afirmar que a tribologia está diretamente ligada à performance, eficiência e rendimento.

Sendo assim, os conhecimentos de física, química, metalurgia, engenharia e outros, que a tribologia necessita para que se possam realizar os estudos, fazem da tribologia uma ciência multidisciplinar.

A sociedade cresce e também as condições para que se possa locomover. É preciso investir tempo e recursos no desenvolvimento de veículos e modelos de transporte de modo a se manter o controle ambiental necessário para que a sociedade humana possa coexistir com o ambiente que os cerca, com qualidade de vida e sem degradação.

A tribologia é uma ferramenta de engenharia, que pode até dispender de uma estrutura mais custosa, mas pode pagar esse investimento, ao gerar tecnologia capaz de melhorar a eficiência e o custo

relacionados à indústria automotiva, assim como em diversos outros setores da indústria que tenham grande demanda.

#### REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

GONÇALVES, Majô. Progresso Tribológico para os pistões de veículos comerciais atuais. **Verso Assessoria**. Nova Odessa, São Paulo, 2019. Disponível em: <http://versoassessoriaimprensa.com.br>. Acesso em: 28 mai. 2020.

HASSAN, Masjuki et al. Avanço tribológico - estratégias e efeitos para emissões e consumo global de energia. **MATEC Web of Conferences**. EDP Sciences, Volume 204, n. 3, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1051/mateconf/201820400003>. Disponível em: <https://www.matec-conferences.org>. Acesso em: 09 abr. 2020.

LIU, Y.; ERDEMIR, A.; MELETIS, E. I. Influence of environmental parameters on the frictional behavior of DLC coatings. **Surface and Coatings Technology**, v. 94-95, p. 463–468, 1997.

PURQUEIRO, Benedito de Moraes; FORTULAN, Carlos Alberto. Projeto Mecânico (SEM 0347). Notas de Aulas v. 2016. **Aula 11-Tribologia-Atrito/Desgaste**. São Carlos: EESC-USP, 2016.

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

SALVARO, Diego. **Avaliação tribológica de DLC em regime de lubrificação mista**. 2015. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2015.

SANTOS FILHO, Dinecio dos. **Alterações metalúrgicas e topográficas do cilindro de bloco de motor de combustão interna flex-fuel**. 2014. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica e de Materiais) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2014.

SINATORA, Amilton. **Tribologia: um resgate histórico e o estado da arte**. 2005. Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005.

TRAJANO, Marinalva Ferreira. **Estudo tribológico de biolubrificantes com adição de nanopartículas de óxidos (zinco e cobre)**. 2013. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Materiais; Projetos Mecânicos, Termociências) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2013.

TAYLOR, Christopher Mark. Tribologia de motores de automóveis - considerações de design para eficiência e durabilidade. **Wear**. ScienceDirect, Volume 221, Edição 1, p. 1-8, 1998. DOI: [https://doi.org/10.1016/S0043-1648\(98\)00253-1](https://doi.org/10.1016/S0043-1648(98)00253-1). Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043164898002531?via%3Dihub> Acesso em: 09 abr. 2020.