

TRIBOLOGIA VOLTADA PARA A INDÚSTRIA AUTOMOTIVA

TRIBOLOGY AIMED AT THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

Jonathan Luan Milcheski

Bacharelado em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Endereço: R. Itacolomi, 450, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150

E-mail: jonathan46908@unifatecpr.com.br

Luiz Gustavo Kondrusik Batista

Bacharelado em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Endereço: R. Itacolomi, 450, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150

E-mail: guguimperio@hotmail.com

Marlon Rodrigo Nardelli

Bacharelado em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Endereço: R. Itacolomi, 450, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150

E-mail: marlonrnardelli@gmail.com

Mauro Rodrigo Nardelli

Bacharelado em Engenharia Mecânica pelo Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Endereço: R. Itacolomi, 450, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150

E-mail: mauro55906@unifatecpr.com.br

Marianne Kawano Sumie

Doutora pelo Programa de Pós-Graduação Engenharia Elétrica e Informática Industrial pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR)

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Endereço: R. Itacolomi, 450, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150

E-mail: marianne.sumie@unifatecpr.com.br

Victor Hugo Pancera Tedeschi

Mestre pelo Programa de Pós-Graduação em Gestão da Informação pela Universidade Federal do Paraná (UFPR)

Instituição: Centro Universitário de Tecnologia de Curitiba (UNIFATEC)

Endereço: R. Itacolomi, 450, Portão, Curitiba - PR, CEP: 81070-150

E-mail: victor.tedeschi@unifatecpr.com.br

RESUMO

Este trabalho apresentará uma introdução ao estudo de tribologia e suas aplicações, com o foco voltado para a indústria automotiva. O estudo da tribologia se mostra uma ferramenta necessária para o desenvolvimento de materiais e produtos usados na tecnologia de movimentos mecânicos, com a intenção de se obter eficiência na transmissão do trabalho gerado e um ciclo de vida mais inteligente e com melhor custo benefício das partes envolvidas. 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 envolvido, 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: Tribologia, Indústria Automotiva, Eficiência de Projetos, Sustentabilidade Ambiental.

ABSTRACT

This work will present an introduction to the study of tribology and its applications, with the focus focused on the automotive industry. The study of tribology shows itself to be a necessary tool for the development of materials and products used in the technology of mechanical movements, with the intention of achieving efficiency in the transmission of the work generated and a cleverer life cycle and with a better cost benefit to the parties involved. Tribological studies can cause terms such as roughness, lubrication and wear to generate a sort of database of compatibility with the design, with the raw material involved and with the manufacturing process involved, even before the project defines the functioning of a mechanical system. With regard to the automotive industry, when there is a better efficiency of projects in which more advanced tribological studies exist, besides the savings with the maintenance of wear and tear and the fuel used, the environment also benefits from the lower generation of the effects and of harmful substances, derived from the operation of motor vehicles.

Keywords: Tribology, Automotive Industry, Project Efficiency, Environmental Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

O termo tribologia vem do grego, formada pelo radical “tribos”, que significa roçar ou esfregar, e pelo sufixo “logos”, que significa estudo. Foi utilizado oficialmente pela primeira vez, em um relatório feito por H. Peter Jost para o comitê do departamento inglês de educação e ciência em 1966, onde o termo foi definido como a “ciência e tecnologia de superfícies interativas em movimento relativo e dos assuntos e práticas

relacionados” (Jost, 1990). Como Jost foi o primeiro a estudar os impactos econômicos utilizando de conhecimentos da tribologia, esse é considerado o marco de sua criação.

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.

Grande parte desse conjunto de conhecimentos e de estudos práticos já existiam antes do termo tribologia, mas o que Jost fez em 1966, foi aplicar esse conjunto, para tentar prever o comportamento de sistemas físicos, formados pelos então “tribo-elementos”, que constituem sistemas mecânicos e que geram por sua vez o trabalho por exemplo, com um foco econômico (Sinatora, 2005).

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.

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). Deve-se levar em conta ainda, o CO₂ lançado na atmosfera, decorrente da queima do combustível usado pelos motores.

2 OBJETIVO

2.1 OBJETIVO GERAL

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.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Apresentar como a tribologia pode influenciar no desenvolvimento de sistemas mecânicos;
- Buscar algum estudo tribológico que possa ter auxiliado em algum projeto automotivo, no desenvolvimento de design ou de algum sistema mecânico;
- Evidenciar como a indústria de materiais e tratamentos superficiais pode criar pela necessidade de se atender à estudos tribológicos;
- Apresentar a aplicação da nanotecnologia no desenvolvimento tribológico;
- Evidenciar que o design apoiado por estudos tribológicos, pode melhorar a eficiência e durabilidade;
- Apresentar alguma normativa automotiva que necessite direta ou indiretamente de da tribologia de um modo geral.

3 JUSTIFICATIVA

O mundo necessita melhorar suas ações em relação à mudança climática e um dos piores inimigos é o CO₂ (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 apoio 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.

As normas mundiais voltadas à fabricação de veículos automotores, exigem que as indústrias busquem a tecnologia de materiais e inovação em projetos de veículos com menor peso, menor consumo de combustível, que gerem menos calor e menos emissões, já que o número de veículos não para de crescer. Nosso ecossistema precisa absorver tudo isso em harmonia com o restante da biodiversidade que nos cerca, para que se mantenha a qualidade de vida para o futuro. No caso de considerarmos que o setor automotivo vem crescendo e precisa fazer sua parte com relação à eficiência energética e emissões, a tribologia aparece na etapa de desenvolvimento, como uma ferramenta muito importante, pois é um dos pilares da indústria quando se trata de atrito, desgaste e lubrificação, para

que se possa atingir melhor eficiência.

4 METODOLOGIA

4.1 QUANTO À ABORDAGEM

Essa pesquisa sobre tribologia tem um tipo de abordagem qualitativa, pois o objetivo é apresentar a quem não conhece esse tema, o que é a tribologia, quais seus conceitos básicos e para que pode-se utilizá-la de forma geral, de acordo pesquisas feitas em trabalhos e estudos já existentes.

Mostrar de forma simples, que a tribologia é uma ferramenta que pode ajudar e influenciar no desenvolvimento de design ou de projetos de componentes e materiais utilizados em sistemas mecânicos e que também tem várias vertentes de acordo com as pesquisas, ou seja, além de sua importância para as áreas de criação e desenvolvimento, também áreas de manufatura, como a de processos ou ainda áreas de manutenção como as preventivas, podem se beneficiar com a tribologia.

4.2 QUANTO À NATUREZA

Este trabalho não tem por objetivo testar ou experimentar algo, mas sim de forma básica, trazer conhecimentos mais específicos de forma mais simplificada. Se for de interesse, outro trabalho poderia se aprofundar de forma aplicada em relação a alguma especificidade do tema, através de algum teste ou buscando resolver algum problema.

4.3 QUANTO AOS OBJETIVOS

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.

4.4 QUANTO AOS PROCEDIMENTOS

Esse trabalho utiliza procedimento de levantamento de referências teóricas já analisadas e publicadas, sem a intenção de coletar dados em campo, nem de experimentar nada novo e nem de trabalhar em um caso específico.

Busca embasamento e exemplos em trabalhos já escritos e situações já expostas que se encaixem com os objetivos. De forma mais abrangente, também nos ajudam,

materiais oriundos de eventos onde se trate esse tema e assim pode-se confrontar isso ao embasamento das literaturas e encontrar solução para situações semelhantes.

5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 ATRITO

De acordo com os professores Benedito de Moraes Purqueiro e Carlos Alberto Fortulan da Universidade Estadual de São Carlos, a origem do atrito pode ter ocorrido quando se percebeu a deformação de superfícies e se questionou o que seria responsável por isso, qual seria essa energia, poderia ser forças de Van der Waals, poderiam ser forças capilares, poderia ser a interação entre os elétrons. Acredita-se que Leonardo da Vinci (1452-1519) tenha sido o primeiro a desenvolver os conceitos básicos do atrito, seguido por Amontons e posteriormente por Coulomb. Surgiram as Leis clássicas do atrito como:

- 1ª Lei: A força de atrito é proporcional à carga (Amontons – 1699);
- 2ª Lei: O coeficiente de atrito é independente da área de contato aparente (Amontons – 1699);

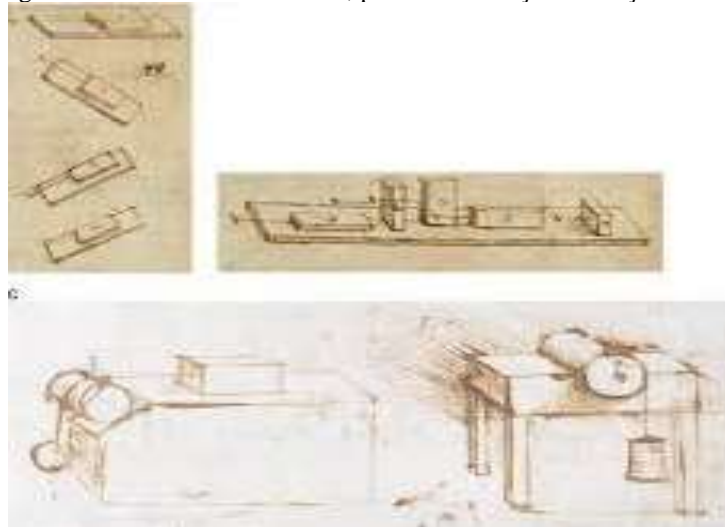
Detalhe que Amontons postulou as duas primeiras leis, com achados de da Vinci

- 3ª Lei: O coeficiente de atrito independe da velocidade de escorregamento (Coulomb – aproximadamente em 1785)

Define-se atrito como a força resistente, tangencial à fronteira comum entre dois corpos, quando sob a ação de uma força externa, um corpo move ou tende a se mover relativamente em relação à superfície do outro. O Atrito é o resultado da dissipação de energia na interface em deslizamento.

Leonardo da Vinci antecipou outras descobertas aproveitadas por seus contemporâneos, mas em relação ao atrito, deu início ao que se chama de coeficiente de atrito que seria a relação entre a força tangencial e a força normal, que posteriormente também veio sendo analisada por Amontons e Euler. Em termos tribológicos, pode-se destacar suas contribuições sobre rolamentos, a determinação das forças de atrito entre objetos em superfícies horizontais e inclinadas que é ilustrada logo abaixo, na Figura 1 (parte superior esquerda), através de seus Tribômetros. Ainda na Figura 1, logo abaixo, ilustra-se o efeito da área aparente na força de atrito (parte superior direita), o emprego da polia para medida da força de atrito (parte inferior esquerda) e o torque devido ao atrito num cilindro (parte inferior direita) (Sinatora,2005).

Figura 1: tribômetros de da vinci, para determinação de força de atrito



Fonte: sinatora (2005)

Alguns fatores que podem afetar o atrito são:

- Dureza relativa dos materiais em contato;
- Presença de partículas de desgaste na interface deslizante;
- Rugosidade da superfície;
- Microestrutura ou morfologia dos materiais;
- Condições ambientais, como temperatura, existência de lubrificantes;
- A cinemática entre as superfícies de contato, como direção, inclinação, a magnitude do movimento se tem auxílio ou não da gravidade;
- Área de contato aparente.

Em termos de indústria, onde os processos de usinagem são classificados de acordo com o grau de rugosidade que conseguem atingir nas superfícies, e na indústria automotiva onde a usinagem é processo integrante na fabricação de componentes e partes de motores por exemplo,

5.2 DESGASTE

Praticamente tudo que é feito pelo homem, se desgasta. Vários exemplos do desgaste aparecem por exemplo em um anel que se desgasta no próprio dedo devido ao contínuo esfregamento, ou a água gotejante que depois de certo tempo, pode furar uma pedra que esteja fixa em um mesmo ponto, ou no metal duro do arado que se desgasta depois de muito arar a terra, ou uma faca que perde o fio depois de muitos cortes. O desgaste então, seria a perda progressiva de material da superfície operacional de um

corpo, como resultado do movimento relativo das superfícies envolvidas (Purqueiro e Fortulan, 2016).

Um dos principais focos da tribologia é o estudo do desgaste e basicamente aparecem quatro modos.

O 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.

No 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 se 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.

O 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 micro corrosão, principalmente em contatos rolantes, ou também quebra das ferramentas.

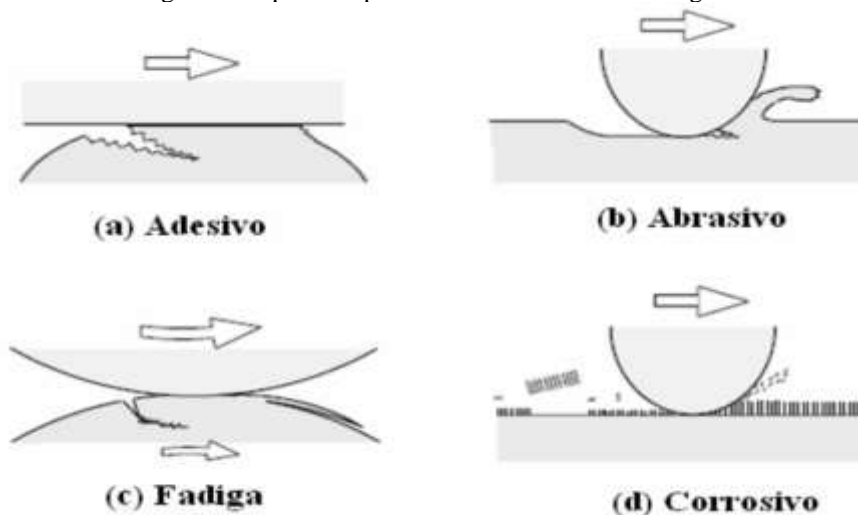
O desgaste corrosivo ocorre entre um material e substâncias que entram em contato com ele no ambiente onde ocorre o movimento. Seriam meios corrosivos, líquidos ou gasosos. Neste tipo de desgaste são formados produtos de reação devido às interações químicas e eletroquímicas. Essas reações são conhecidas como reações triboquímicas e produzem uma intercamada na superfície que depois é removida. Um detalhe, é que as cargas mecânicas também promovem a corrosão.

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 pelas considerações de mudanças complexas na superfície durante o movimento.

Na figura 2 abaixo, representa-se como os tipos de desgaste citados acima, agem em relação à superfície.

Figura 2: esquema representativo dos modos de desgaste



Fonte: radi; et al (2007)

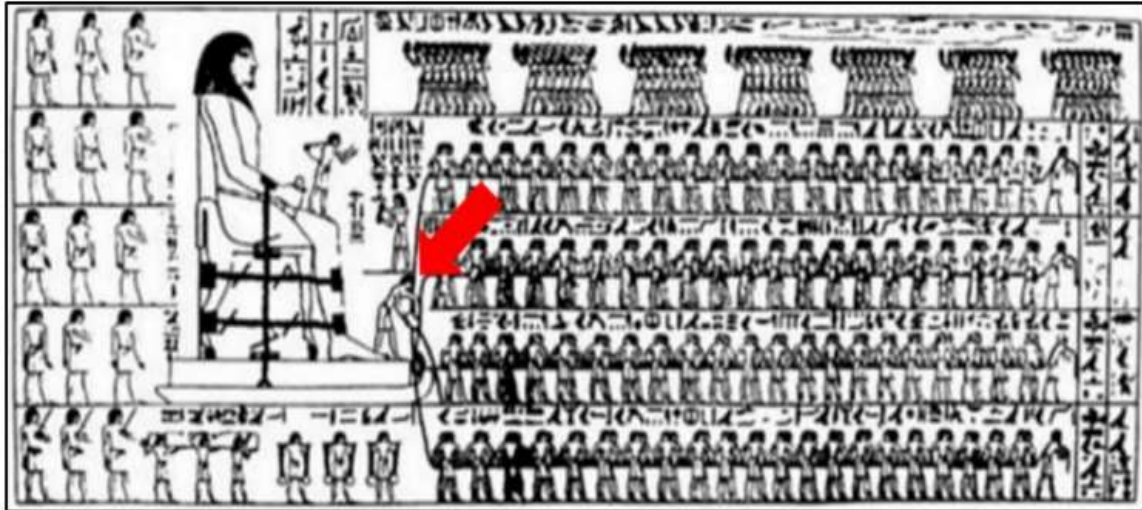
O desgaste ocorre em função da cinemática do sistema. Pode variar entre, deslizamento, rolamento, oscilação, impacto e erosão, dependendo do tipo de interação e do movimento das interfaces. A erosão pode ainda ser classificada pelo estado físico do contra-corpo, sólido ou líquido, ou pelo ângulo de ação, 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.

5.3 LUBRIFICAÇÃO

A Figura 3, logo abaixo, mostra o registro da movimentação de um colosso Egípcio onde 172 escravos trabalham para puxar uma grande estátua, enquanto um deles derrama um fluido, provavelmente água, logo na frente do trenó que desliza sobre uma

superfície de madeira. Provavelmente esse é o mais antigo registro de um sistema tribológico sob lubrificação fluida existente.

Figura 3: pintura rupestre demonstrando um tipo de lubrificação para a redução de atrito, provavelmente com aspersão de água no egipto 2400 ac



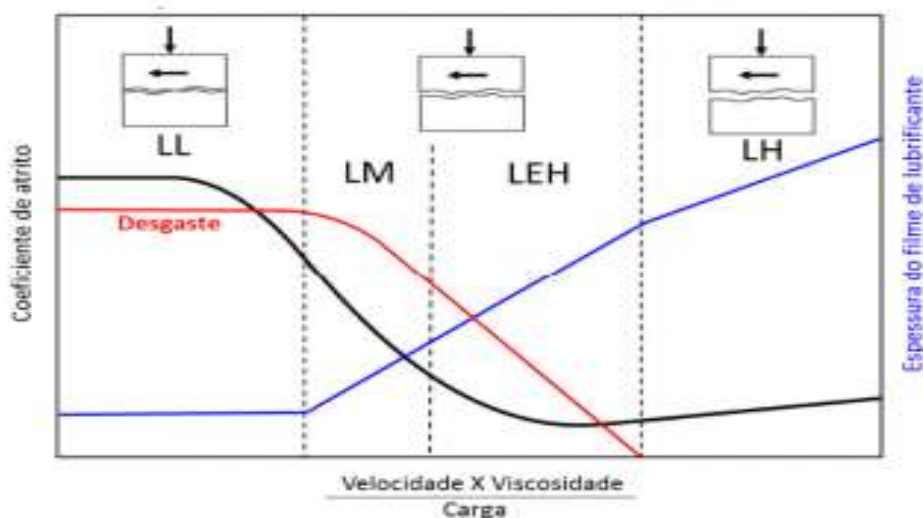
Fonte: sinatora (2005)

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. Lubrificante é toda substância interposta entre duas superfícies em movimento relativo, com o propósito de reduzir o atrito e o desgaste entre elas, de protegê-las ou refrigerá-las (Purqueiro e Fortulan, 2016). Existem regimes de lubrificação e variados tipos de lubrificantes. Em seguida serão detalhados os principais regimes de lubrificação, baseados em estudos de Diego Salvaro (2015).

Viscosidade é definida como a resistência ao fluxo de um fluido deformado por forças cisalhantes. A viscosidade é a propriedade mais importante a ser observada em um lubrificante fluido, pois ela indica a capacidade do lubrificante de manter relativamente separadas superfícies em movimento relativo, mesmo sob elevadas cargas.

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, que por sua vez têm influência direta no atrito e desgaste dos tribosistemas. Logo abaixo, na Figura 4, é ilustrado um Diagrama Stribeck, com os principais regimes de lubrificação.

Figura 4 – diagrama com os principais regimes de lubrificação fluida



Fonte: salvaro (2005)

No regime de 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.

Em 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.

No 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. Na Figura 5 logo abaixo, visualia-se a compreensão e escolha do regime de lubrificação.

Figura 5 – esquema para auxiliar a escolha do regime de lubrificação



Fonte: purqueiro e fortulan (2016)

Exemplo de situação para se avaliar o regime de lubrificação, pode ser o que ocorre nos mancais com deslizamento alternado e que são bastante comuns em engrenagens, rolamentos e sistemas biela manivela. Ocorre inevitavelmente lubrificação mista, pois nos pontos de inversão do movimento prevalece a lubrificação limite devido a baixa velocidade relativa entre as superfícies. À medida que o movimento se afasta dos extremos, prevalece a lubrificação elastohidrodinâmica e por vezes hidrodinâmicas.

Segundo Purqueiro e Fortulan (2016), com relação aos lubrificantes, vale mencionar que a baixa tensão de cisalhamento é uma característica comum a todos os lubrificantes fluidos e sólidos e que no caso dos fluidos, ainda existem aditivos em sua formulação para melhorar o desempenho em aplicações específicas. E o que se espera deles é:

- Larga faixa de viscosidade;
- Estabilidade química;
- Pequena variação na viscosidade com a variação de temperatura, tanto para mais quanto para menos;
- Suficiente calor específico para o transporte de calor devido ao próprio atrito;
- Baixo custo e disponibilidade.

Os lubrificantes podem se dividir em classes de uma maneira geral, e aí aparecem:

- Classe dos sólidos, como o grafite, outros materiais secos;

- Classe dos semi-sólidos, como as graxas;
- Classe dos líquidos, como óleos derivados de animais, vegetais, minerais e os óleos sintéticos;
- Classe dos gososos, com o ar, Hélio, Nitrogênio.

Os óleos têm aplicação para a refrigeração em geral, lubrificação hidrodinâmica, diminuição de atrito e conseqüente diminuição da energia do movimento e geralmente servem para a proteção contra o contato metal-metal.

As graxas, são uma emulsão em óleo e geralmente são alternativa para quando não se pode utilizar os óleos, pois têm baixa capacidade de refrigerar e não fazem uma lubrificação heterodinâmica. São formadas por um óleo base, que pode compor de 70 à 95%, um espessante, que pode compor de 3 à 30% e por aditivos, que podem compor até 10% da graxa. O óleo base leva em conta velocidade, temperatura e compatibilidade com os materiais envolvidos. O espessante pode ser composto por materiais sem sabões metálicos como a argila ou por sabões metálicos à base de alumínio, Cálcio, Lítio e Sódio.

Os aditivos terminam por formar a graxa e são utilizados onde há situações de elevada pressão e choques. Grafite, mica e talco são exemplos de aditivos. Os aditivos podem ser solúveis, compatíveis com a natureza química do óleo base e exemplos de aplicação para esses aditivos solúveis, são os anti-oxidantes, os anti-desgaste, os inibidores de corrosão e os para extrema pressão.

Precisa ser analisado e ponderado se o lubrificante pode causar um aumento de desgaste enquanto diminui o coeficiente de atrito ou vice-versa. Com relação à indústria automotiva, a Sociedade Americana dos Engenheiros Automotivos dos Estados Unidos (SAE), classifica os óleos lubrificantes de acordo com sua viscosidade, que é indicada por um número que quanto maior mais viscoso é o óleo e também os subdivide em três categorias que são os óleos de verão, os de inverno e os multiviscosos. Especificações que aparecem no cotidiano de quem troca ou acompanha a manutenção automotiva de motores por exemplo, começam a ser entendidas conforme exemplo abaixo:

- óleos de verão: SAE 20, 30, 40, 50, 60 (esses números são relativos à viscosidade);
- óleos de inverno: SAE 0W, 5W, 10W, 15W, 20W, 25W (W é sigla de *winter* que significa inverno e do mesmo modo os números são relacionados à viscosidade);

- óleos multiviscosos: SAE 20W-40, 15W-50 (a primeira parte é relacionada à baixa temperatura e a segunda parte da especificação é relacionada à alta temperatura).

6 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, como por exemplo o revestimento do anel-cilindro do pistão, trens de válvulas e sistema de injeção de combustível.

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 baseada 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, respondendo por exemplo à questões como:

- O atrito é consideração importante, se sim qual a causa ou requisito?
- O desgaste é um problema potencial?
- A superfície deve reter o lubrificante?
- Haverá remoção de material da superfície?
- Há necessidade de recobrimento resistente ao desgaste?
- A tensão de compressão é uma preocupação relevante?

Essas respostas dão condições e servem de base para o dimensionamento dos tribosistemas e servem para confrontar os projetos mecânicos e design dos itens envolvidos.

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 ions secundários, entre outras (Salvaro, 2015).

6.1 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 para esse tipo de processo, existem algumas opções:

- A cementação, que serve para aumentar o teor de carbono na superfície. Eleva-se a temperatura do metal até que a estrutura fique mais austenítica, que permite então deposição de carbono em até 0,8% e nessa etapa o carbono consegue se difundir pela peça da superfície ao centro. Assim que se atinge a deposição necessária é atingida, o resfriamento rápido gera uma estrutura martensítica, que é a mais dura, e também de fora para dentro. Para finalizar um revenimento corrige a região austenítica central, devolvendo centro da peça, a baixa dureza inicial. Por isso quanto mais tempo de exposição à exposição ao carbono, maior será a camada de dureza;
- Nitretação, em que se aumenta a dureza superficial pela difusão de nitrogênio e conseqüente formação dos nitretos. Embora o processo termo estrutural é o mesmo da cementação, não é necessário se chegar em estrutura austenítica para deposição e portanto pode-se resfriar a peça ao ar e fica dispensado o tratamento posterior para alívio das tensões. O detalhe é que nesse tratamento existe o

aumento dimensional da peça e não se pode considerar usinagens posteriores. Se isto for problema, pode-se fazer uma têmpera inicial que funcionará como um selo dimensional e estrutural;

- Carbonitretração é também conhecida como Cianetação Seca ou Nitrocarbonetação, é uma modalidade de baixo custo para a nitretação e nela ocorre a difusão simultânea de carbono e nitrogênio. É utilizado em peças com menor responsabilidade e também como na cementação se faz necessário tratamento térmico posterior de têmpera e revenimento para alívios e correções estruturais;

- Cianetação, diferente da Ciantação seca, atinge os níveis austeníticos para a deposição da mistura de carbono e nitrogênio. Se comparada com a cementação, esse processo é mais rápido, dá maior resistência ao desgaste e à corrosão e precisa de temperatura de processo menor;

- Boretção faz a deposição de boro no interior da superfície, formando um complexo de boretos Fe₂B, que preenche os espaços na liga metálica de um aço, mas não muda a estrutura primária do substrato. Esse tratamento dá um resultado voltado para a resistência à abrasão e ainda para a baixa tendência à solda fria, sendo assim extremamente importante para reduzir desgastes por aderência. Logo abaixo na Figura 6, pode-se visualizar estes processos e as condições em que ocorrem.

Figura 6: tabela com tratamentos para aumento de dureza superficial em metais

Cementação	Nitretação	Cianetação	Carbonitretração	Boretção
↓	↓	↓	↓	↓
Adição de C	Adição de N	Adição de C e N	Adição de C e N	Adição de B
↓	↓	↓	↓	↓
<ul style="list-style-type: none"> • Sólida • Líquida • Gasosa • Plasma 	<ul style="list-style-type: none"> • Líquida • Gasosa • Plasma 	<ul style="list-style-type: none"> • Líquida 	<ul style="list-style-type: none"> • Gasosa 	<ul style="list-style-type: none"> • Sólida
↓	↓	↓	↓	↓
<ul style="list-style-type: none"> • T_{Proc}= 850-950°C • Seguido de tempera • Dureza: ~65 H_{RC} • Camada: até 10 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • T_{Proc}= 500-600°C • Dureza: ~1000-1100 H_V • Camada: até 1 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • T_{Proc}= 650-850°C • Seguido de tempera • Camada: de 0,1 a 0,3 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • T_{Proc}= 700-900 °C • Seguido de tempera • Camada: até 7 mm 	<ul style="list-style-type: none"> • T_{Proc}= 900°C • Dureza: ~700-2000_{HV} • Camada: 4 h produz 0,1 mm

Fonte: purqueiro e fortulan (2016)

Nem sempre se trabalha com ligas metálicas que permitem tratamentos térmicos ou jateamentos. Sendo assim, revestimentos são outra estratégia de mudança de superfície para melhoria de desempenho tribológico. São aplicados revestimentos mais duros em substratos mais macios, mantendo-se as propriedades mecânicas, contudo a funcionalidade de um revestimento está diretamente ligada às propriedades do material do substrato e características tribológicas do revestimento. Dentre as principais estão a relação de dureza entre substrato e revestimento, espessura do revestimento, rugosidade superficial do material de base e abrasivos presentes no contato. Assim as propriedades do substrato, precisam ser suficientes para prover o suporte ao revestimento, porque dependendo do nível das deformações elasto-plásticas impostas ao substrato, mecanismos de degradação podem ser ativados no revestimento e se propagar como trincas ou delaminação. Do ponto de vista econômico, revestimentos resistentes ao desgaste apresentam grande potencial, porque além de melhorar o desempenho tribológico podem ser aplicados em substratos de baixo custo.

As modificações de superfície incluem também a deposição de carbono semelhante ao diamante, em revestimentos nos componentes de motor, árvore de cames, anel do pistão e pistão. A sigla DLC significa *Diamond like Carbon*, e é um revestimento a base de carbono amorfo com certo percentual de hidrogênio, onde suas ligações químicas do tipo sp^3 conferem ao revestimento algumas propriedades interessantes do diamante como alta dureza, grande inércia química e eletroquímica. Segundo Salvaro (2015) os revestimentos DLC são conhecidos por seus coeficientes de baixo atrito e resistência ao desgaste e também em alguns DLC pode haver propriedades auto lubrificantes. Esse conjunto de características tribológicas no caso dos automóveis, pode contribuir para a economia de combustível e maior durabilidade do motor. O processo de grafitação é o principal mecanismo de lubrificação dos DLC e é caracterizado pelo aumento da razão entre ligações sp^2 e sp^3 na matriz amorfa. Esse fenômeno corre em temperaturas em torno de $400^{\circ}C$, que podem ser atingidas no contato entre asperezas da rugosidade em movimento relativo. Vale ressaltar que o meio exerce forte influência sob o processo de grafitação do revestimento, pois em ambientes com elevada umidade por exemplo, a grafitação do DLC é desacelerada, o que prejudica seu desempenho tribológico.

Outro método de modificação de superfície, também parte das estratégias de modificações de superfície, é a texturização que tem sido usada por muitos anos para

reduzir o atrito e o desgaste. Um exemplo famoso é o processo de afiação do cilindro do motor, revestimento para controlar o consumo de óleo e combustível desse motor. Recentemente, a utilização da texturização de superfície a laser que tem a sigla LST, tem desempenhado um papel significativo, devido à sua aplicabilidade em quase todos os materiais, para produzir características topográficas como mostrado na Figura 7, logo abaixo.

O atrito e o desgaste podem ser reduzidos pela introdução de microestruturas seletivas nas superfícies deslizantes usando LST. Essas microestruturas atuam como micro-reservatórios de lubrificante que atuam em condições de lubrificação mais severa, além de se esperar que ajudem na formação de um filme lubrificante, reduzindo o atrito. Além disso, as microestruturas são capazes de capturar detritos de desgaste em qualquer condição, lubrificada ou seca.

Figura 7: técnicas de texturização em superfícies em anéis e mancais de pistão



Fonte: hassan, masjuki et al (2018)

Um exemplo de revestimento utilizado na indústria de forma geral, inclusive na automotiva, são as buchas auto lubrificadas. A bucha auto lubrificada é um mancal mais utilizado na indústria por sua característica de maior facilidade na sua instalação, pois a sua lubrificação permite que o encaixe das peças em um sistema lubrificado seja feito mais rapidamente. Em termos de durabilidade também é recomendada, pois aumenta a

vida útil das peças que utilizam a bucha para o seu encaixe, o que permite uma proteção maior contra atritos e movimentação do que as buchas comuns.

Há uma camada polimérica de Teflon (PTFE) depositada na parte interna da bucha e essa camada, é o que dá a bucha o seu potencial de auto lubrificação, pois o politetrafluoretileno, é uma substância que possui um dos menores coeficientes de atrito dentre todos os tipos de material conhecidos. Uma grande vantagem das buchas auto lubrificadas, é a substituição de bronzinas com flanges em sistemas de fixação de peças industriais, pois é possível a instalação de buchas auto lubrificadas em sistemas de flanges, onde as bronzinas não podem ser instaladas. Aqui no Brasil, empresas como a Technolub em São Paulo são especializadas em componentes e sistemas de auto lubrificação, conforme ilustrado na Figura 8 a seguir.

Figura 8: componentes auto lubrificantes, com revestimentos e texturização



Fonte: technolub (2020)

Além de possuir grande capacidade de dispersão térmica, devido aos materiais utilizados e das modificações de superfície de contato como os furos ou micro reservatórios, o sistema auto lubrificante dispensa a necessidade de se utilizar outros produtos para a manutenção da lubrificação da bucha.

Esse tipo de alternativa tribológica, tem se tornado cada vez mais utilizado na indústria de forma geral e principalmente na automotiva. Um outro exemplo utilizado em veículos, está nas buchas utilizadas para montagem dos bancos nos trilhos. Toda ela é composta por polímeros e revestida com tratamento semelhante ao demonstrado acima. Dessa forma tem-se sempre o ajuste refinado dos componentes, que favorece a redução de ruído, atrito e desgaste e ainda, não há necessidade de se ter que engraxar os trilhos como se fazia em décadas anteriores, sendo assim um tribosistema.

6.2 DESENVOLVIMENTO DOS LUBRIFICANTES

Durante as operações, espera-se que o lubrificante mantenha a lubrificação eficaz por um período prolongado antes de ser drenado. Para atender à essas expectativas, o óleo de base precisa ser adicionado com vários aditivos, que devem ser cuidadosamente selecionados para desenvolver o lubrificante com o desempenho desejado. Os pacotes de aditivos evoluíram para desempenhar um papel cada vez mais significativo na formulação de óleos.

O esgotamento gradual das fontes de petróleo e a crescente preocupação com o meio ambiente, despertaram uma preocupação global generalizada. Várias medidas foram tomadas, incluindo o desenvolvimento de bio-lubrificantes a partir da utilização de recursos renováveis, como alternativa potencial aos produtos de base mineral. Além de serem facilmente biodegradáveis, sabe-se que os bio-lubrificantes, possuem boa lubrificação, alto ponto de inflamação, alto índice de viscosidade e boa resistência ao cisalhamento, se comparados aos óleos minerais. Mas apesar dessas vantagens, ainda existem limitações devido ao seu desempenho, sua escala de produção e também por não existir nenhum tipo de incentivo.

A busca pela eficiência energética levou a pesquisa a novos materiais a serem usados como aditivos lubrificantes. Nano partículas são uma classe relativamente nova de aditivos lubrificantes que oferecem solução para muitos problemas associados aos aditivos à base de enxofre e fósforo. As nano partículas são versáteis, pois muitos pesquisadores relataram que um único tipo de nano partículas serviram a múltiplos propósitos como antidesgaste, aditivo de pressão extrema, modificador de fricção simultaneamente. No entanto, ainda é uma tarefa desafiadora selecionar o aditivo de nano partículas adequado. A eficácia das nano partículas depende de uma variedade de fatores como compatibilidade com o óleo de base, tamanhos e morfologias, bem como suas concentrações.

Uma recente nova classe emergente de lubrificante conhecida pela sigla IL, que significa líquidos iônicos, está ganhando popularidade devido ao seu desempenho tribológico superior. Os IL são compostos por grandes catiões orgânicos e aniões de tamanho pequeno e forma mais simétrica, mantidos juntos por forças intermoleculares de Van der Waals. 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:

- Forte adsorção da superfície devido à polaridade inerente dos íons;
- Baixa inflamabilidade;
- Alta estabilidade térmica;
- 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 de óleo, tornou-se o novo tópico central em termos de lubrificação.

7 TRIBOLOGIA E DESIGN

Como visto anteriormente, as superfícies de contato exercem papel importante em um sistema tribológico. Os sistemas tribológicos estão presentes em nosso cotidiano, de várias maneiras, desde o escovar de dentes, aos veículos em movimento nas ruas. No caso de veículos mais especificamente, existem vários sistemas tribológicos, como o sistema de freios, pois afinal tribologia não se dedica somente ao deslizar, mas também à aderência dos tribocomponentes, no próprio motor também existe mais de um tribosistema, enfim, fica claro que o design dos componentes vai influenciar no rendimento e durabilidade como um todo. Como o papel fundamental do design dentro da indústria, é antes de tudo gerar soluções, estudos e conhecimentos tribológicos são uma base de dados importante na etapa de co-criação de componentes de modo geral. É necessário delimitar o tribosistema e analisar os impactos de atrito, desgaste e lubrificação, antes de se obter somente soluções mecânicas de modo mais simples.

Aerodinâmica 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, assim como o design vem ocupando e fazendo crescer o seu. A seguir na Figura 9, pode-se ver a evolução de design em veículos, em relação às curvas

aerodinâmicas e na relação da área de contato dos pneus em função de maior torque e frenagem.

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 retroalimentam a engenharia de desenvolvimento de produto tanto para a área de dimensionamento, quanto para a área de design.

Figura 9: evolução de design nos veículos



Fonte: santos filho, dinercio dos (2014)

7.1 NORMATIVAS RELACIONADAS À TRIBOLOGIA

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%. Desse modo, é esperado uma redução de 80% na emissão de partículas poluentes em relação ao sistema anterior, o Euro 3.

Em 21 de novembro de 2018, o CONAMA publicou a resolução 490 que estabelece o PROCONVE P-8, com base nas normas internacionais Euro 6, de restrição de poluição por ônibus, caminhões e demais veículos comerciais a diesel e de acordo com

essa resolução, deverá entrar em vigor no Brasil a partir de 1º de janeiro de 2023 para modelos já em produção. Os novos modelos de ônibus e caminhões devem ser homologados nos padrões Euro 6 a partir de 1º de janeiro de 2022. Vale ressaltar que o Euro 6 já está em vigor em outras nações como Estados Unidos desde 2010, países da Europa desde 2012 e no Chile desde 2016. Na China, deve entrar em vigor em 2021.

Em conformidade com essas legislações e de acordo com a ética ambiental, existe uma demanda mundial na redução do consumo de combustível e emissões de gases, para os motores de veículos comerciais que operam de forma econômica, mas também para os veículos de linha leve. Um fator importante para a redução das emissões de gases é a chamada “redução das perdas por fricção”.

Indiretamente a tribologia deve atuar e um exemplo disso é o trabalho de fabricantes de motores e componentes, relacionados ao tribo sistema básico do próprio motor. A KS Kolbenschmidt trabalha nos últimos anos na área de redução das perdas por fricção e segue no desenvolvimento de um sistema de pistão cuidadosamente projetado, compreendendo o próprio pistão, os anéis de pistão, os cilindros, o pino do pistão e a biela. No decorrer dos testes e simulações, todo o conjunto que compreende as peças acima mencionadas, é ajustado em termos geométricos, acabamentos superficiais, formas e tratamentos superficiais e dessa forma, os vários projetos de pistão auxiliam nas soluções customizadas. A tribologia das partes individuais e sua interação de fino ajuste, são um complexo desafio envolvendo uma série de correlações, mas vale lembrar que um design compacto do pistão, também abre potencial para reduzir significativamente o peso do motor, através de uma redução da altura do bloco por exemplo. Em suma, a simulação do sistema de anéis de pistão e cilindros apresenta cerca de 30% menos de atrito e com isso, o sistema desempenha um papel importante no menor consumo de combustível em relação aos sistemas dos concorrentes.

Como ilustrado na Figura 10 a seguir, este tipo de pistão permite que a altura de compressão seja diminuída ainda, pois há redução na superfície de contato com o cilindro e portanto, menos fricção. No conjunto de pistão, as vantagens da otimização da superfície do cilindro podem ser combinadas com interação dos anéis de pistão de baixo atrito com revestimentos duros tipo DLC do qual já foi descrito anteriormente. Esses novos designs, permitem também novas possibilidades para resfriamento do pistão que resultam em uma diminuição da quantidade do volume de óleo requerido e assim,

consequentemente a bomba de óleo pode ser reduzida a fim de promover uma redução de fricção adicional dentro do motor e de peso.

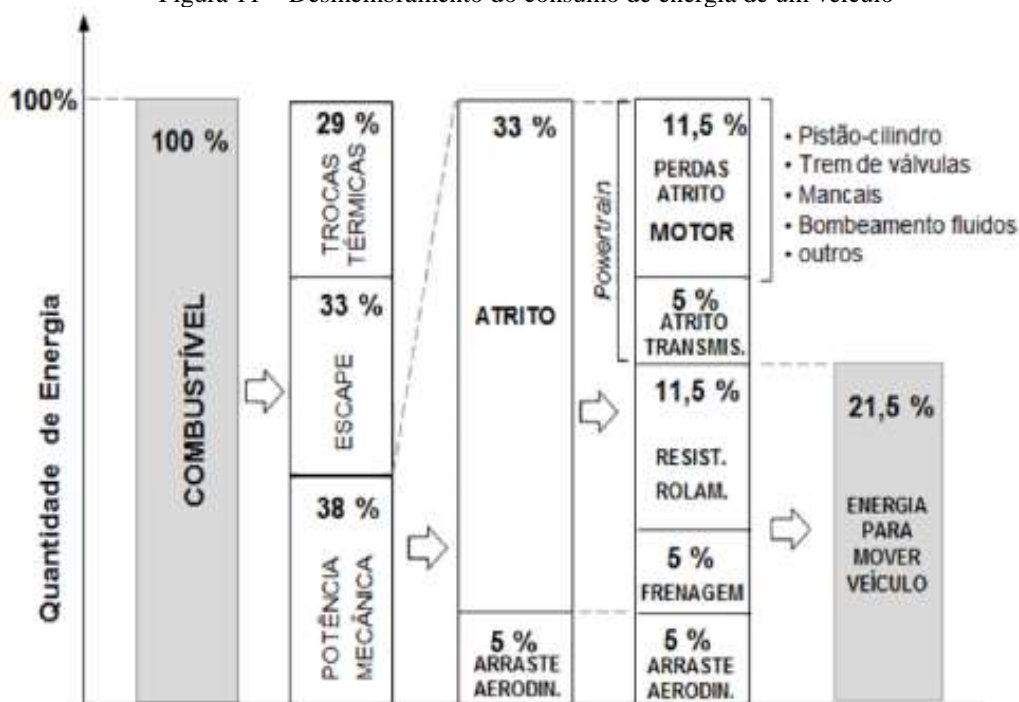
Figura 10: pistão com design compacto



Fonte: verso assessoria de imprensa (2019)

Esse foi apenas um modelo apresentado, para evidenciar que a tribologia está associada ao design no desenvolvimento de produtos que precisam por sua vez, auxiliar em atender às normativas ambientais. A Figura 11 a seguir, pode dar uma idéia da proporção da energia que realmente é necessária para mover um veículo de passeio em relação ao total de energia que é consumida e o porquê de seguir as normativas.

Figura 11 – Desmembramento do consumo de energia de um veículo



Fonte: SANTOS FILHO, Dinercio dos (2014)

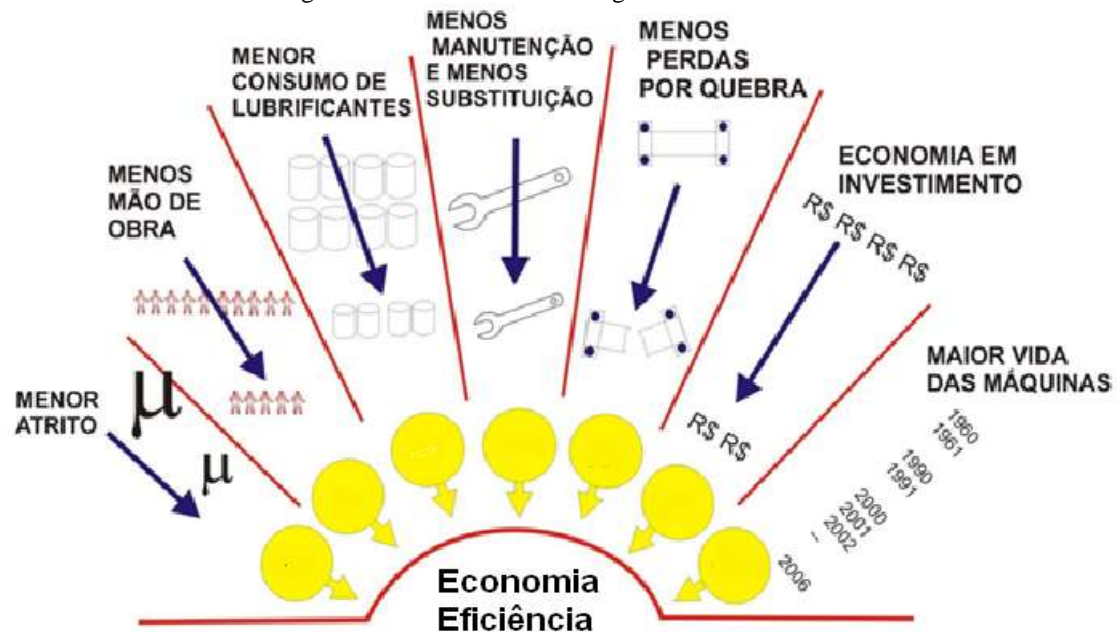
8 RESULTADOS E DISCUSSÕES

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. Na Figura 12 a seguir, pode-se ter idéia de setores da indústria, onde a tribologia tem influência, inclusive econômica.

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 Figura 12 a seguir, mostra algumas necessidades que são diretamente influenciadas pelos estudos tribológicos.

Figura 12: influência da tribologia no setor industrial



Fonte: adaptado de purqueiro e fortulan (2015)

9 CONCLUSÕES

A conclusão dessa pesquisa é de que o que foi exposto nesse trabalho, é só uma amostra de onde a tribologia pode aparecer e atuar. Na indústria automotiva, ela é uma ferramenta necessária para que haja cada vez mais histórico e um crescente aumento no banco de dados de informações e estudos tribológicos, assim como nos demais setores que necessitem melhorar os tribosistemas ou criá-los.

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 dispendir 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.

Para a elaboração dessa pesquisa, foi possível constatar uma extensa e variada gama de trabalhos envolvidos pela tribologia, desde as mais específicas, até as mais generalistas. Isso demonstra que as engenharias precisam inserir cada vez mais esse tema e relacioná-lo em disciplinas que possam utilizá-lo.

REFERÊNCIAS

BUCHA de lubrificação. Disponível em: <<http://www.technolub.com.br>>. Acesso em: 29 mai. 2020.

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.00003, 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, Dinécio 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.