

CENTRO UNIVERSITÁRIO DO SUL DE MINAS
ENGENHARIA MECÂNICA
DEIVISON DAS GRAÇAS SILVA

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO DO DESGASTE EM ROLAMENTOS COM USO DE
CONDICIONADOR METÁLICO**

DEIVISON DAS GRAÇAS SILVA

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO DO DESGASTE EM ROLAMENTOS COM O USO DE
CONDICIONADOR METÁLICO**

Trabalho apresentado ao curso de Engenharia mecânica no Centro Universitário do sul de Minas como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel sob orientação do Prof. Esp. Jonathan Oliveira Nery.

DEIVISON DAS GRAÇAS SILVA

**ESTUDO DA EVOLUÇÃO DO DESGASTE EM ROLAMENTOS COM O USO DE
CONDICIONADOR METÁLICO**

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao curso de engenharia mecânica do Centro Universitário do sul de Minas, como pré-requisito para obtenção do grau de bacharel pela Banca Examinadora composta pelos membros:

Aprovado em: 01 / 12 / 2018

Jonathan Oliveira Nery

Prof. Esp.

João Mario Mendes de Freitas

Prof.

OBS.:

Dedico este trabalho a todos os que sempre me ampararam, em especial aos meus pais Rosangela das Graças Silva e Antônio Vitor da Silva. Ao professor Esp. Jonathan Oliveira Nery pela orientação. Aos amigos que contribuíram direta ou indiretamente neste trabalho, e todos os amigos do Curso de Engenharia Mecânica. É gratificante chegar ao término com a sensação de ter se dedicado ao máximo. Glória a Deus.

AGRADECIMENTOS

Agradeço em primeiro lugar ao Autor da existência, aquele que permite que todas as coisas se concretizem, nosso único e verdadeiro Deus. Em segundo lugar agradeço a todas as pessoas que diretamente ou indiretamente, contribuíram para a construção dos meus valores: meus pais, os mestres do passado e todos os que compartilharam um pouco do que sabem comigo e com os meus amigos nesta vida acadêmica. obrigado Mãe e Pai. Em especial ao orientador Prof. Esp. Jonathan Oliveira Nery o mais sincero agradecimento.

“Nunca se esqueça de quem você é, porque é certo que o mundo não se lembrará. Faça disso sua força. Assim, não poderá ser nunca a sua fraqueza. Arme-se com esta lembrança, e ela nunca poderá ser usada para magoá-lo.”

George R. R. Martin

RESUMO

Condicionadores metálicos são usados nas indústrias e por condutores de automóveis e motocicletas como potencializador do fluido lubrificante. Sua aplicação tende à melhoria de alguns aspectos como redução de atrito, aumento da confiabilidade, redução dos custos das manutenções, entre inúmeras outras melhorias. A lubrificação acompanha a evolução tecnológica, empresas do ramo investem milhões em pesquisas visando aumentar a performance de seus óleos lubrificantes. Campo esse que vem ganhando cada vez mais espaço no cenário acadêmico. Tal abordagem se justifica pelo fato que condicionadores de metais são utilizados nas indústrias como potencializador dos lubrificantes. A lubrificação é de carácter obrigatório para quase todos os sistemas mecânicos e vêm sendo aprimorada ao longo das décadas, atualmente existem vários aditivos para se acrescentar junto ao óleo base para lubrificação, aditivos que alteram as propriedades do óleo, o que não é o caso dos condicionadores de metais que tem como finalidade melhorar a performance dos componentes metálicos atuando juntamente com o óleo lubrificante sem alterar nenhuma propriedade do óleo. Utilizando óleo apenas como veículo. O objetivo deste estudo é avaliar a evolução dos desgastes de rolamentos quando aplicado condicionador metálico junto ao óleo lubrificante, tal avaliação será feita por ensaios de desgastes. Três elementos rolantes serão submetidos aos mesmos ensaios sob condições idênticas de trabalho, no ensaio 1 será aplicado óleo lubrificante SAE 10w30 como meio lubrificante, no segundo ensaio será aplicado o mesmo óleo lubrificante com acréscimo do condicionador metálico Alfa-x, no terceiro será aplicado o mesmo óleo dos ensaios anteriores com condicionador metálico Militec-1. Ao término dos ensaios serão demonstrados paralelos entre os desgastes finais dos elementos rolantes com e sem o condicionador metálico.

Palavras-chave: Tribologia. Lubrificação. Condicionador Metálico. Ensaios de Desgastes.

ABSTRACT

Metal conditioners are used in industries and by drivers of automobiles and motorcycles as a lubricant lubricant. Its application tends to improve some aspects like reduction of friction, increase of the reliability, reduction of the costs of the maintenances, among numerous other improvements. Lubrication accompanies technological evolution, companies in the industry invest millions in research to increase the performance of their lubricating oils. This field has been gaining more and more space in the academic scene. Such an approach is justified by the fact that metal conditioners are used in industries as a potentiator of lubricants. Lubrication is compulsory for almost all mechanical systems and has been improved over the decades, there are currently several additives to be added next to the base oil for lubrication, additives that alter the properties of the oil, which is not the case for metal conditioners whose purpose is to improve the performance of the metal components acting together with the lubricating oil without altering any property of the oil. Using oil only as a vehicle. The objective of this study is to evaluate the evolution of bearing wear when applied metallic conditioner next to the lubricating oil, such evaluation will be made by wear tests. Three rolling elements will be subjected to the same tests under identical working conditions. In test 1, SAE 10w30 lubricating oil will be applied as a lubricating medium. In the second test, the same lubricating oil will be applied with the addition of the alpha-x metallic conditioner. same oil from previous tests with Militec-1 metallic conditioner. At the end of the tests will be demonstrated parallel between the final wear of the rolling elements with and without the metallic conditioner

Keywords: Tribology. Lubrication. Metallic Conditioner. Wear Tests.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- modelo demonstrativo de um experimento para determinação de força	16
Figura 2- Demonstração de um perfil superficial, onde o gráfico de altura da superfície, Y, relativa à linha média, contra a distância L.	16
Figura 3- Tabela dos 6 tipos de desvios de formas e parâmetros de rugosidade.....	17
Figura 4- Desenho esquemático dos quatro modos representativos de desgaste.	17
Figura 5-Diagrama dos processos de desgaste em função do elemento interfacial.....	18
Figura 6- variação da viscosidade com a temperatura	24
Figura 7- rolamento de Esferas.....	30
Figura 8- rolamentos de rolos.....	30
Figura 9- máquina Tikem.....	32
Figura 10- condicionador metálico Milite-1	33
Figura 11- condicionador metálico Alfa-x.....	33
Figura 12- óleo Honda semissintético SAE 10w30.....	34
Figura 13- rolamentos no momento do ensaio	34
Figura 14- elemento rolante	35
Figura 15- alicate amperímetro digital MT87	35
Figura 16- câmera termográfica Flir-E40.....	36
Figura 17- seringas 10 ml.....	36
Figura 18- lixa para ferro	37
Figura 19- óleo lubrificante a 39,3 °C.....	40
Figura 20- óleo lubrificante a 113 °C.....	40
Figura 21- cárter com óleo lubrificante em oxidação	41
Figura 22- óleo lubrificante oxidando a aproximadamente 200 °C.....	41
Figura 23- óleo lubrificante estabilizado a 166 °c	42
Figura 24- óleo lubrificante estabilizado a 172 °C	43
Figura 25- Cabos de energia onde se mediu a corrente	43
Figura 26- Microscópio BEL.....	44
Figura 27- elemento rolante desgastado após ensaio 1	45
Figura 28- elemento rolante desgastado após ensaio 2.....	45
Figura 29- elemento rolante desgastado após ensaio 3.....	46
Figura 30- óleo lubrificante antes do uso	47
Figura 31- óleo lubrificante após primeiro ensaio	47

Figura 32- óleo lubrificante após segundo ensaio	48
Figura 33- óleo lubrificante após o terceiro ensaio.....	48
Figura 34- diâmetro do desgaste do primeiro ensaio visto no AutoCAD	49
Figura 35- diâmetro do desgaste do segundo ensaio visto no AutoCAD	50
Figura 36- diâmetro do desgaste do terceiro ensaio visto no AutoCAD	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- resultados obtidos após realização dos ensaios.....	51
---	----

SUMÁRIO

1.0 INTRODUÇÃO	13
2.0 TRIBOLOGIA	15
2.1 O atrito	15
2.2 Rugosidade superficial	16
2.3 Desgaste	17
3.0 LUBRIFICANTES	19
3.1 Bases lubrificantes	19
3.1.2 Óleos básicos minerais	20
3.1.3 Bases sintéticas	20
3.2 Características dos óleos lubrificantes	20
3.2.1 Densidade	20
3.2.2 Viscosidade	21
3.2.3 Índice de Viscosidade.....	21
3.3 Funções dos lubrificantes	21
3.3.1 Lubrificação	21
3.3.2 Refrigerar ou esfriar	22
3.3.4 Proteção contra a corrosão.....	22
3.4 Tipos de lubrificantes	22
3.4.1 Lubrificantes líquidos.....	22
3.4.2 Graxas.....	22
3.4.3 Sólidos	23
3.4.4 Gases	23
3.5 Aditivos	23
3.5.1 Aditivos que modificam a performance de um lubrificante	23
3.5.1.1 Melhoradores do índice de viscosidade	24
3.5.1.2 Abaixadores do ponto de fluidez.....	24
3.6 Aditivos que protegem o lubrificante	25
3.6.2 Agentes antiespuma.....	25
3.7 Aditivos que protegem as superfícies lubrificadas	25
3.7.1 Inibidores de corrosão	26
3.7.2 Inibidores de ferrugem	26
3.7.3 Detergentes	26
3.7.4 Dispersantes	26
3.7.5 Agentes antidesgaste	26
3.8 Métodos de aplicações dos óleos lubrificantes	27
4.0 CONDICIONADOR METÁLICO	28
5.0 ROLAMENTOS	29
5.1 Classificações dos rolamentos	29
6.0 MÉTODO DE PESQUISA	31
6.1 Materiais e métodos	32
6.2 Procedimento de ensaio	37
6.2.1 Condições propostas para realização dos ensaios	37
6.2.1.1 Condições lubrificantes para o ensaio	38
6.2.1.2 Condições de tempo para o ensaio	38
6.3 Ensaios	38

6.4	Análise estatística dos dados coletados	39
6.5	Análises de temperatura durante os ensaios	39
6.8	Medição das correntes durante os ensaios.....	43
6.6	Análise laboratorial dos desgastes oriundos dos ensaios	44
6.7	Coloração do óleo lubrificante após ensaios.....	46
7.0	CALCULO DO DIAMETRO DESGASTADO NOS ENSAIOS	49
8.0	RESULTADOS E DISCUSSÕES	51
8.1	Resultados Gerais.....	51
9.0	CONCLUSÃO	52
10	PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	53
	REFERÊNCIAS.....	54

1.0 INTRODUÇÃO

A necessidade de se ajustar às novas demandas no mercado fazem com que empresas dos mais variados seguimentos busquem a todo instante maneiras de se tornarem mais eficientes em suas respostas, tornaram-se fatores primordiais direcionar esforços para constante melhoria com ênfase na redução de custos, sem, no entanto comprometer a qualidade final do produto (SOUZA et al., 2012). Este estudo visa determinar a evolução do desgaste em rolamentos com uso de condicionador metálico à fim de estabelecer parâmetros comparativos com a utilização apenas do óleo lubrificante.

Tal abordagem se faz necessária para que se possa obter parâmetros quanto a sua usabilidade em rolamentos como potencializador do óleo lubrificante além de redutor de atritos e fadiga.

Uma forma de diminuir o desgaste entre suas superfícies é a inserção de uma camada de lubrificante (DEMÉRITO, 2012).

Existem formas de se melhorar propriedades do óleo lubrificante adicionando produtos químicos, esses são chamados de aditivos. Produtos químicos que são adicionados ao óleo para otimizar suas propriedades são chamados de aditivos (SANTANA et al 2010). Já os condicionadores de metais não são considerados aditivos para lubrificantes pois possui viscosidade similar aos fluidos sintéticos e ao adicioná-lo ao fluido não se altera as propriedades físico-químicas. (DOS ANJOS, 2012; KRIONI, 2012).

É importante salientar também a contribuição do trabalho para a comunidade acadêmica que realiza estudos voltados a tribologia, âmbito que possui extrema relevância para a engenharia.

O propósito deste estudo é avaliar a evolução do desgaste quanto ao tempo de uso de rolamentos lubrificados e acrescidos de condicionador metálico. Afim de determinar o real efeito potencializador do condicionador metálico, e em comparativo a seu não acréscimo ao óleo lubrificante.

Para avaliar o desempenho, testes serão realizados no laboratório de ensaios de materiais do Centro Universitário do Sul de Minas, comparando-se os resultados obtidos nas duas condições. A primeira utiliza-se óleo lubrificante acrescentando-se condicionador metálico para lubrificação durante os ensaios realizados, a segunda condição utiliza-se apenas óleo lubrificante durante os ensaios.

Este intento foi conseguido através da metodologia de pesquisa quantitativa, apoiando-se em aplicações de técnicas estatísticas e baseando-se em números para chegar ao resultado.

A pesquisa quantitativa, que tem suas raízes no pensamento positivista lógico, tende a enfatizar o raciocínio dedutivo, as regras da lógica e os atributos mensuráveis da experiência humana. (POLIT, BECKER E HUNGLER, 2004, p. 201).

O estudo foi desenvolvido a partir de pesquisa experimental que consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto (GIL, 2007).

2.0 TRIBOLOGIA

O termo tribologia, que vem do grego Τριβο (Tribo - esfregar) e Λογος (Logos - estudo) foi utilizado, oficialmente, pela primeira vez em 1966 em um relatório feito por H. Peter Jost para o comitê do departamento inglês de educação e ciência. Neste relatório, o termo foi definido como a “ciência e tecnologia de superfícies interativas em movimento relativo e dos assuntos e práticas relacionados” (Jost, 1990). Jost foi o primeiro a correlacionar o estudo da tribologia com redução de custos (SINATORA, 2005). Segundo Radi et al (2007, p. 1) “[...] este estudo é considerado o marco de criação da tribologia, as estimativas de reduções de gastos apresentadas no relatório de Jost são de que mediante o uso do conhecimento existente pode-se reduzir as perdas por desgaste em 20%”.

“Tribologia palavra originada do grego “tribo”, que significa “esfregar”, “atritar”, “friccionar”, e “logos”, que significa “estudo”, é a ciência que se ocupa pelo estudo dos aspectos de atrito, desgaste e lubrificação de contatos mecânicos.” (STACHOWIAK; BATCHELOR, 1993)

Os contatos em elementos de sistemas mecânicos são acarretados por sistemas tribológicos, normalmente sua formação é através de quatro elementos considerados básicos: corpo-de-prova, interface entre dois corpos de prova e o ambiente (RONCHI, 2009).

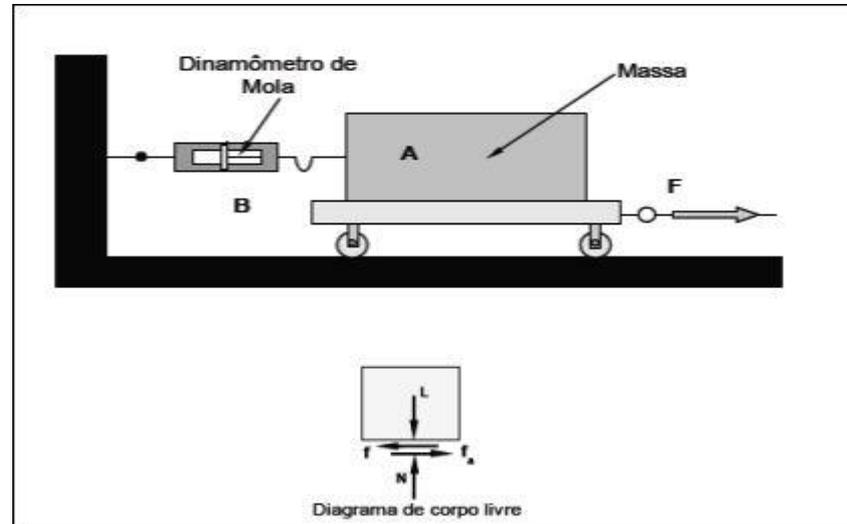
2.1 O atrito

A tribologia reúne vários conhecimentos de áreas diferentes como química, física, ciência dos materiais e para explicar e descrever o comportamento de sistemas físicos que são utilizados em sistemas mecânicos. O que unifica a tribologia não são conhecimentos específicos, mas sim sua área de atuação (SINATORA, 2005).

O atrito pode-se ser definido por base elementar de situações de movimento, ou seja, dois corpos deslizantes um sobre o outro neste caso a resistência ao movimento é chamado de atrito. Através de um experimento simples isso pode ser ilustrado, basta colocarmos um corpo sólido sobre uma superfície, e fixar-se a esse de forma rígida uma mola e imprimir-se uma força, assim obter o registro da variação da força de acordo com o movimento. (MEDEIROS, 210, p 37).

A figura 1 mostra melhor esse experimento para determinar a força de atrito.

Figura 1- modelo demonstrativo de um experimento para determinação de força de atrito.

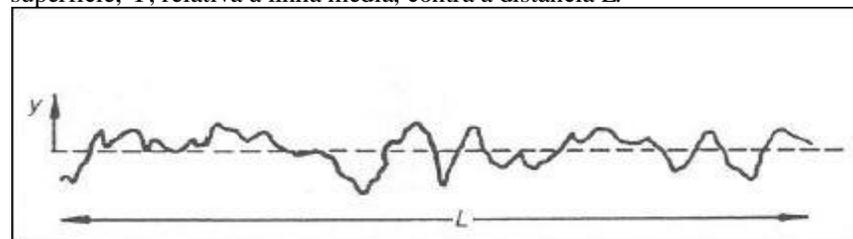


Fonte: adaptado de (MEDEIROS, 2010)

2.2 Rugosidade superficial

Quando se faz referência a uma determinada superfície, pode-se referenciar de uma forma bem comum a rugosidade superficial, sendo a rugosidade média ou Ra. O parâmetro Ra é estabelecido e definido sendo a média aritmética do desvio de altura da superfície, levando em consideração que é a média através do seu perfil. Deve-se ser traçada a linha média de forma que as áreas situadas nos sentidos radiais sejam equivalentes (MEDEIROS, 2010). A figura 2 representa melhor a rugosidade superficial.

Figura 2- Demonstração de um perfil superficial, onde o gráfico de altura da superfície, Y, relativa à linha média, contra a distância L.



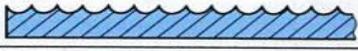
Fonte: adaptado de (MEDEIROS)

A metrologia mecânica usando como referência a norma DIN 4760 estabelece que existem 6 diferentes tipos de desvios de formas que representam os parâmetros relativos aos

perfis ideais de determinada superfície e de seu respectivo componente mecânico (MEDEIROS, 2010).

A figura 3 traz exemplos desses desvios de forma, além de suas possíveis causas.

Figura 3- Tabela dos 6 tipos de desvios de formas e parâmetros de rugosidade.

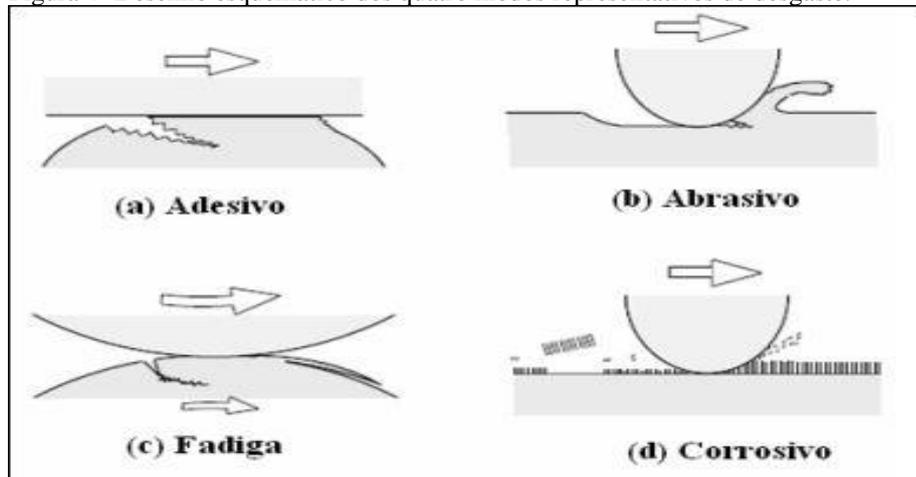
Desvios de forma e parâmetros de rugosidade		
Desvios de forma		Cf. DIN 4760 (1982-06)
Desvios de forma são os desvios da superfície real (superfícies que podem ser verificadas por medição), em relação à superfície geometricamente ideal, cujo formato padrão é definido pelo desenho.		
Graus de desvio de forma (representação exagerada de seção de perfil)	Exemplos	Causas possíveis
1º grau: desvio de forma 	Desvio de prumo, arredondamento	Deflexão da peça ou da máquina durante a fabricação da peça, defeito ou desgaste nas guias da máquina-ferramenta.
2º grau: ondulações 	Ondas	Vibrações da máquina, deformação ou desvio da fresadora durante a fabricação da peça.
3º grau: rugosidade 	Entalhes, ranhuras	Geometria da ferramenta de corte, avanço ou profundidade da ferramenta durante a fabricação da peça.
4º grau: rugosidade 	Sulcos, estrias, escamas, amassados	Processo de formação de cavacos (p. ex., por rasgo), deformação da superfície por raios durante a fabricação da peça.
5º e 6º graus: rugosidade Não podem ser representadas como uma seção de perfil simples	Textura, estrutura de treliça	Processo de cristalização, mudanças na estrutura por solda, transformações a quente ou efeitos de produtos químicos, p. ex., corrosão, decapagem.

Fonte: FISCHER, 2008

2.3 Desgaste

A tribologia foca-se em várias diretrizes de estudos e análises um dos principais focos de estudo é o desgaste. Convencionalmente são aceitos por pesquisadores 4 modos de desgastes que são respectivamente ilustrados na figura 4 (KATO, 2001).

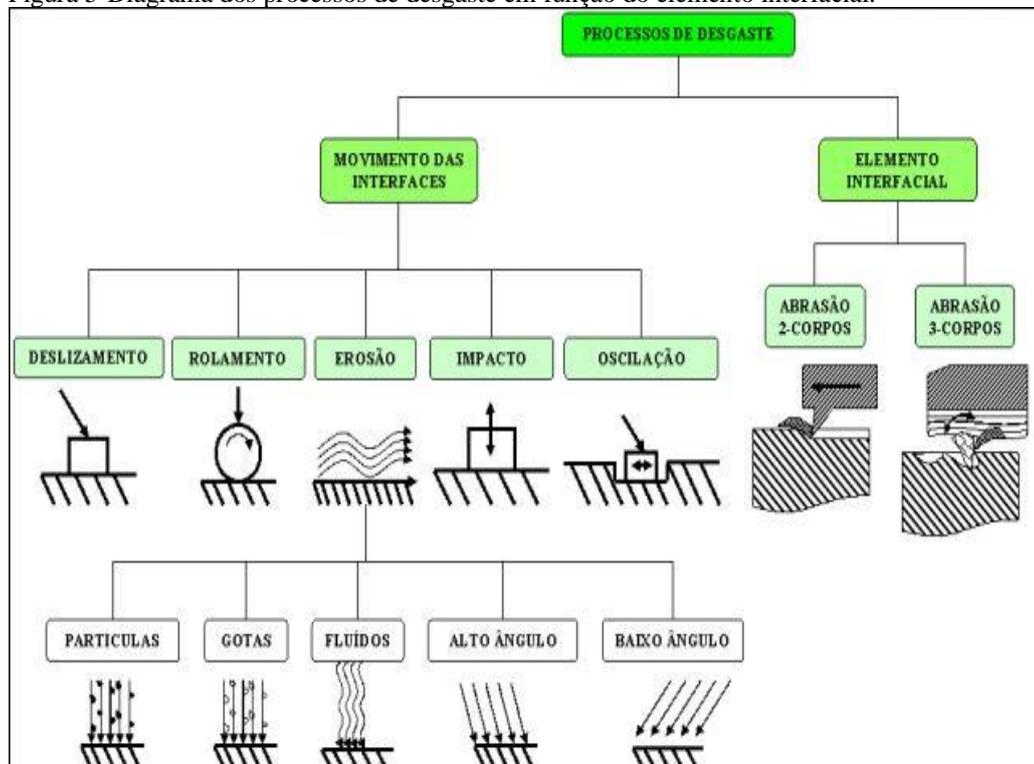
Figura 4- Desenho esquemático dos quatro modos representativos de desgaste.



Fonte: RADI et al, 2007

O desgaste adesivo ocorre quando a ligação adesiva entre as superfícies é suficientemente forte para resistir ao deslizamento. Como resultado dessa adesão, uma deformação plástica 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. No desgaste abrasivo ocorre remoção de material da superfície. Esse desgaste ocorre em função do formato e da dureza dos dois materiais em contato. Quando o desgaste é ocasionado pelo alto número de repetições do movimento ele é chamado de desgaste por fadiga. Finalmente, o desgaste corrosivo ocorre em 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 intercama na superfície que depois é removida. Os modos de desgaste podem ocorrer através de diversos mecanismos. Os mecanismos de desgaste são descritos pela consideração de mudanças complexas na superfície durante o movimento. Em geral, o desgaste ocorre através de mais de um modo, portanto a compreensão de cada mecanismo de desgaste em cada modo se torna importante (KATO, 2001). A Figura 5 mostra um breve resumo destes mecanismos.

Figura 5-Diagrama dos processos de desgaste em função do elemento interfacial.



Fonte: Adaptado de RADÍ et al, 2007

Os movimentos das interfaces influenciaram em todo sistema porem em todos movimentos o desgaste ocorre em função da cinemática.

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 2-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 3-corpos (RADI et al, 2007, p. 4).

3.0 LUBRIFICANTES

A manifestação mais antiga de lubrificação de qual se tem notícia foi encontrada no Egito, no túmulo de Ra-Em-Ka, 2600-1700 a.C.: se trata de um tipo de trenó transportando um monumento de pedra e um homem que despeja um líquido para lubrificar os deslizadores do trenó (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

A lubrificação vem ganhando espaço no cenário industrial e acadêmico, a cada ano aumenta o número de novidades nesse segmento, além de investimentos em pesquisas nesse segmento.

Segundo BRASIL (2017, p. 1) “lubrificantes podem ser definidos como substâncias que se interpõem entre superfícies, formando uma película que evita ou minimiza o atrito, diminuindo o desgaste”

Já para (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006) lubrificantes são definidos como substâncias que, colocadas entre superfícies, diminuem a resistência ao movimento. A necessidade de um procedimento de lubrificação está vinculada em seus vários aspectos, como: tipo e quantidade de óleo, períodos de lubrificação, procedimentos anteriores e posteriores à lubrificação.

3.1 Bases lubrificantes

São as principais constituintes dos lubrificantes, em sua maioria originárias do petróleo, as bases são combinadas com os aditivos especiais que lhes conferem suas propriedades físicas e químicas (LUBRIFICAÇÃO..., [19-]).

3.1.2 Óleos básicos minerais

São os mais comuns para emprego em lubrificação. São obtidos do petróleo e, como consequência, suas propriedades relacionam-se à natureza do óleo cru. Estes são empregados em veículos e máquinas industriais (CANCHUMANI, 2013).

3.1.3 Bases sintéticas

Segundo (CARRETEIRO. BELMIRO, 2006) As necessidades industriais e, especialmente militares, de lubrificantes aptos a suportar as mais severas e adversas condições conduziram ao desenvolvimento dos produtos sintéticos.

Nas últimas décadas, com o grande avanço dos motores e máquinas industriais, elevaram-se as cobranças por desempenho. Critérios ambientais, e principalmente de saúde estão sendo levados em conta para formulação de óleos lubrificantes isso estimula a produção de lubrificantes usando a base sintética (MATOS, 2011).

3.2 Características dos óleos lubrificantes

Para Carreteiro e Belmiro (2006, p. 35) a qualidade de um lubrificante é comprovada somente após “a aplicação e avaliação de seu desempenho em serviço. Esse desempenho está ligado a composição química do lubrificante.”

Entre algumas características temos:

- a) Densidade;
- b) Viscosidade;
- c) Índice de viscosidade.

3.2.1 Densidade

É a grandeza definida pela relação entre o peso de determinado volume de um produto medido a uma determinada temperatura, e o peso de igual volume padrão (água) medido a uma outra temperatura. É de suma importância para determinação de uma possível contaminação ou deterioração de um lubrificante (CANCHUMANI, 2013).

3.2.2 Viscosidade

Entre todas as características físicas “é a viscosidade a que apresenta o maior interesse em relação à propriedade lubrificante dos óleos” (LUBRIFICAÇÃO..., [19-]).

A viscosidade de um óleo pode ser definida como a sua resistência ao escoamento e são usados viscosímetros para medir esta propriedade (DUARTE; RUNGE, 1990).

3.2.3 Índice de Viscosidade

A escolha do lubrificante adequado requer “não somente conhecer a sua viscosidade, mas também a maneira como a viscosidade muda com as temperaturas de operação” (STREETER, 1982).

A viscosidade de qualquer líquido diminui quando a temperatura aumenta, assim um óleo que tenha a viscosidade adequada à temperatura ambiente, poderá ser demasiado 'fino' à temperatura em que irá funcionar. O inverso, isto é, um óleo com a viscosidade certa na sua temperatura de operação poderá ser muito viscoso em baixas temperaturas, não permitindo o arranque dos mecanismos que lubrifica. O índice de viscosidade (IV) de um lubrificante indica o efeito da temperatura sobre a viscosidade. Óleos com uma viscosidade sensível a mudanças de temperatura tem um baixo índice de viscosidade; óleos de alto índice de viscosidade são menos afetados pelas mudanças de temperatura (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

3.3 Funções dos lubrificantes

Os lubrificantes não devem somente lubrificar. Na maior parte das aplicações devem também esfriar, proteger, manter a limpeza e algumas vezes desempenhar também outras funções (BRASIL, 2017).

3.3.1 Lubrificação

A principal função de um lubrificante é simplesmente facilitar o deslizamento de uma superfície sobre outra, reduzindo o atrito e desgaste e poupando energia.

3.3.2 Refrigerar ou esfriar

Qualquer material que reduza o atrito atua como refrigerante, porque diminui a quantidade de calor provocado pelo deslizamento entre duas superfícies mesmo assim, muitas máquinas desenvolvem ainda muito calor que tem de ser removido para que funcionem eficientemente. Os lubrificantes são muito usados para evitar superaquecimentos transferindo o calor das zonas quentes para as mais frias (CANCHUMANI, 2013).

3.3.4 Proteção contra a corrosão

Os lubrificantes protegem contra a corrosão de duas maneiras diferentes. Envolvem as superfícies e criam uma barreira física contra o ataque, ou são formulados com inibidores que reagem e neutralizam os químicos corrosivos que se vão formando (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

3.4 Tipos de lubrificantes

Segundo BRASIL (2017, p. 1) é considerado lubrificante qualquer substância que reduza o atrito é conhecida como lubrificante, que pode ser sólido, líquido ou gasoso.

3.4.1 Lubrificantes líquidos

São os mais empregados na lubrificação. Podem ser subdivididos em: óleos minerais puros, óleos graxos, óleos compostos, óleos aditivados e óleos sintéticos.

Muitos líquidos diferentes podem ser usados como lubrificantes, mas os mais largamente usados são os óleos minerais derivados do petróleo ou cru bruto (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

3.4.2 Graxas

Uma graxa é um lubrificante semi-sólido fabricado de um óleo e um agente espessante que cria um tipo de "reservatório" de lubrificante que fica retido onde é aplicado (BRASIL, 2017).

3.4.3 Sólidos

As principais substâncias usadas como lubrificantes sólidos são a grafite, o bissulfeto de molibdênio e o PTFE ou Teflon (politetrafluoretileno). São muito menos usadas do que os óleos e as graxas, mas são essenciais para aplicações especiais em condições que os óleos ou graxas não podem suportar. Podem, por exemplo, ser usadas em temperaturas extremas e em ambientes químicos reativos (LIMA, 2011).

3.4.4 Gases

São empregados em casos especiais, quando não é possível a aplicação dos tipos convencionais. São normalmente usados o ar, o nitrogênio e os gases halogenados (LIMA, 2011).

3.5 Aditivos

O atual cenário industrial exige das fabricantes de óleos lubrificantes um altíssimo desempenho de seus produtos para satisfazer exigências e requisitos cada vez maiores, e nesse contexto o óleo mineral e sintéticos não suprem essa demanda sem utilizar do beneficiamento de modernas tecnologias de aditivos.

Aditivos são componentes químicos acrescentados aos óleos básicos, visando reforçar suas qualidades ou lhe ceder novas, ou eliminar propriedades das quais não se deseja. Eles podem alterar as propriedades químicas ou física como: índice de viscosidade, inibição à corrosão, etc (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

Os aditivos podem ser divididos em três categorias:

- a) Aditivos que modificam a performance do lubrificante;
- b) Aditivos que protegem o lubrificante;
- c) Aditivos que protegem as superfícies lubrificadas.

3.5.1 Aditivos que modificam a performance de um lubrificante

Alguns aditivos são adicionados ao óleo lubrificante para modificação de sua performance em vários aspectos, podendo-se citar:

- a) Melhoradores do índice de viscosidade;

b) Abaixadores do ponto de fluidez.

3.5.1.1 Melhoradores do índice de viscosidade

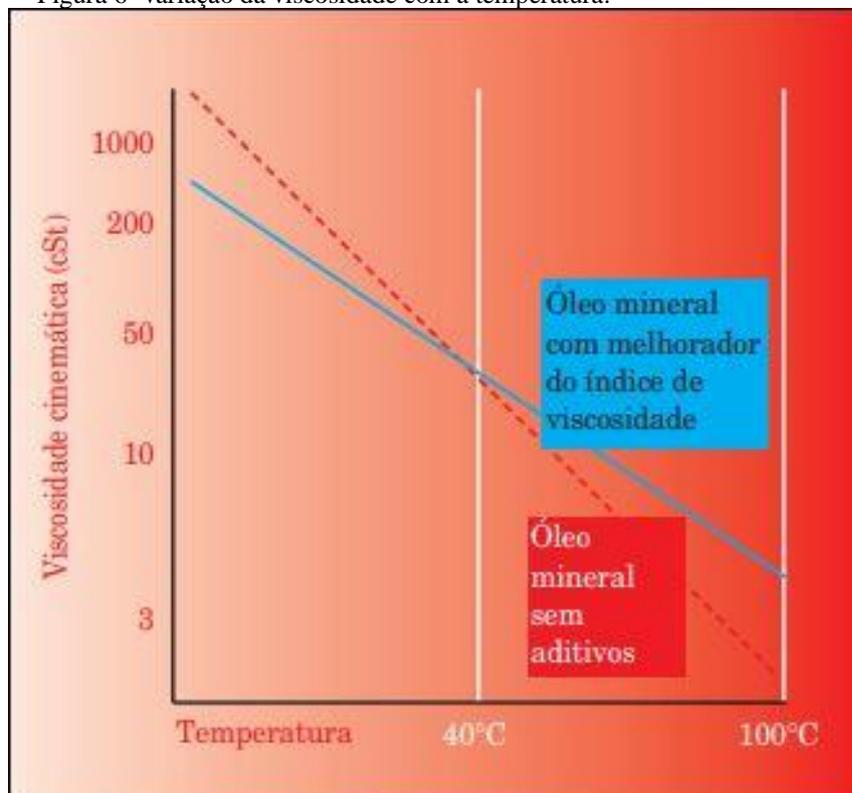
São adicionados aos óleos básicos para reduzir a variação da viscosidade com a temperatura. São úteis nas aplicações em que um lubrificante necessita trabalhar satisfatoriamente em uma ampla faixa de temperaturas (RONCHI, 2009).

3.5.1.2 Abaixadores do ponto de fluidez

São usados para minimizar a tendência de um óleo mineral congelar e solidificar quando é refrigerado. São aditivos sempre necessários para a maior parte dos óleos usados em máquinas operando em baixas temperaturas (MATOS, 2011).

A figura 6 demonstra a variação de viscosidade com a temperatura, assim proporcionando uma melhor compreensão dos itens 3.5.1.1 e 3.5.1.2.

Figura 6- variação da viscosidade com a temperatura.



Fonte: adaptado de MATOS, 2011.

3.6 Aditivos que protegem o lubrificante

São aditivos que tem como função principal evitar que o óleo lubrificante desestabilize e forme espumas. Existem vários agentes químicos que cumprem essas funções entre eles ressalta-se os agentes (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006):

- a) Antioxidantes;
- b) Agentes anti-espuma.

3.6.1 Antioxidantes

Segundo Carreteiro e Belmiro (2006, p.74) aditivos antioxidantes “melhoram a estabilidade à oxidação dos lubrificantes e são particularmente importantes para os óleos sujeitos a aquecimento em serviço. São largamente usados; praticamente todos os óleos com aditivos, contêm algum antioxidante.”

3.6.2 Agentes antiespuma

Impedem a formação de espumas nos óleos lubrificantes. Óleos lubrificantes altamente refinados, geralmente não formam espuma, porém, as espumas podem desenvolver-se na presença de certos contaminantes, especialmente em máquinas em que o óleo esteja sujeito a forte batimento e agitação. A espuma aumenta a exposição do óleo ao ar e por esta razão favorece a oxidação do mesmo (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

3.7 Aditivos que protegem as superfícies lubrificadas.

As superfícies lubrificadas muitas vezes podem estar repletas de contaminantes, por esse motivo são adicionados vários aditivos visando a proteção do lubrificante e conseqüentemente a superfície, são eles:

- a) Inibidores de corrosão;
- b) Inibidores de ferrugem;
- c) Detergentes;
- d) Dispersantes;
- e) Agentes antidesgaste.

3.7.1 Inibidores de corrosão

Restringem as alterações químicas que podem ser causadas às superfícies por contaminantes no óleo que as lubrifica. As causas mais prováveis da corrosão são os ácidos. Estes podem formar-se por oxidação do lubrificante ou, em motores de combustão interna, durante a queima dos combustíveis (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

3.7.2 Inibidores de ferrugem

São inibidores de corrosão especialmente preparados para inibir a ação da água em metais ferrosos. São geralmente necessários em óleos de turbina e hidráulicos, porque estes tipos de óleo inevitavelmente se contaminam com água (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

3.7.3 Detergentes

São frequentemente adicionados a óleos de motor e protegem as superfícies lubrificadas de maneiras diferentes. Reduzem os depósitos de carbono e lacas em altas temperaturas, impedem a colagem de anéis de segmento e fornecem uma reserva de basicidade para neutralizar quaisquer ácidos formados durante o processo de combustão (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

3.7.4 Dispersantes

São adicionados aos óleos para manter quaisquer contaminantes, como fuligem e produtos de degradação do óleo, em suspensão. Inibem, portanto, a agregação de partículas que poderiam bloquear canais de óleo e filtros, impedindo que se depositem sobre as superfícies onde possam interferir com a lubrificação e dissipação de calor (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

3.7.5 Agentes antidesgaste

São necessários quando não é possível manter o regime de lubrificação hidrodinâmica e haja algum contato entre as superfícies em movimento (CARRETEIRO; BELMIRO, 2006).

3.8 Métodos de aplicações dos óleos lubrificantes

A escolha entre o óleo e a graxa para lubrificação de determinado ponto depende de alguns fatores como geometria do local da aplicação, praticidade do uso do produto entre outros fatores.

A escolha do método de aplicação, depende de alguns fatores tais como:

- a) Tipo de lubrificante a ser empregado (graxa ou óleo);
- b) Viscosidade do lubrificante;
- c) Quantidade de lubrificante.

Em relação aos custos dos dispositivos de lubrificação a serem empregados quanto ao sistema de lubrificação depende de alguns fatores assim como a escolha do método, fatores esses podem ser: gravidade, capilaridade, sálico, imersão, graxa (LUBRIFICAÇÃO..., [19-]).

4.0 CONDICIONADOR METÁLICO

São empregados em situações aonde se deseja reduzir ou minimizar o atrito, proteger a superfície ou peça contra intempéries, servir como metal base para outro material de maior resistência mecânica ou que possua melhores propriedades e. em alguns casos agir como redutor de fadiga (DOS SANTOS, 2012; KRIONI, 2012).

Existe no mercado várias marcas de condicionador metálico, que não é considerado como um aditivo para fluidos. Mesmo possuindo viscosidade similar a dos fluidos sintéticos, porém adicioná-lo a qualquer fluido não se alterará nenhuma de suas propriedades físico-químicas e muito mesmo o intervalo de substituição do fluido (DA SILVA, 2014).

Neste trabalho foram utilizados dois condicionadores de metais de fabricantes diferentes, de acordo com ambos fabricantes o mesmo pode ser aplicado puro ou adicionado qualquer outro tipo de óleo ou graxa, podendo ser de origem mineral ou sintética (COPPINI, 2014).

O condicionador metálico pode ser considerado como uma nova ferramenta líquida moderna para lubrificação em sistemas em que o atrito for o fator dominante. Pode ser aplicado na indústria automobilística na fabricação de automóveis e também por proprietários de veículos junto aos fluidos de seus respectivos veículos. Além da indústria automotiva o condicionador pode ser usado em qualquer ramo industrial ou sistema aonde se necessite reduzir atrito (DE OLIVEIRA et al., 2014).

5.0 ROLAMENTOS

Há tempos se aprendeu que, para mover um objeto com o mínimo de esforço, era necessário fazê-lo sobre algum tipo de rolo ao invés de simplesmente deslizar o mesmo sobre uma superfície. A descoberta da lubrificação mostrou que um fluido aplicado sobre uma superfície reduziria o esforço de deslizamento, nesse contexto a rolagem mostrou-se ainda mais eficiente. Sendo assim, seria inevitável que manuais de máquinas fizesse o uso dessa forma de movimento, originando assim o “rolamento” (MASSOTI, 2011).

Os primeiros registros de confecção de rolamentos surgiram em meio à civilização Romana. Leonardo da Vinci (1452-1519) contribuiu largamente para o desenvolvimento do projeto atual de rolamento, cuja aplicação geral só foi possível a partir da Revolução Industrial, somente na década de 1960 que engenheiros de projetos passaram a aceitar de forma universal seu projeto, com o desenvolvimento de aços para rolamentos de melhores características e processos de fabricação mais eficientes. Tais melhorias foram impostas pela necessidade de se produzir rolamentos de alta velocidade para turbinas aeronáuticas (Harris, Kotzalas, 2007).

Em geral, as funções do rolamento em uma dada aplicação, compreendem reduzir o atrito de movimento entre dois corpos, suportar cargas e/ou guiar partes móveis. No que tange à maioria destes componentes mecânicos, a sua construção básica é composta por dois anéis (interno e externo), elementos rolantes (esferas ou rolos) e uma gaiola, responsável pela separação equidistante desses elementos rolantes (MASSOTI, 2011).

5.1 Classificações dos rolamentos

É possível dividir e classificar os rolamentos em dois grandes grupos: rolamentos de esferas e rolos (HARRIS, KOTZALAS, 2007).

Rolamentos de esferas são diferenciados pelas capacidades de operação em altas rotações, enquanto que os rolamentos de rolos têm como destaque sua elevada capacidade de carga. Os mesmos ainda podem convenientemente de acordo com suas particularidades tais como: número de carreiras, direção predominante de suporte de carga e capacidade de compensar desalinhamentos.

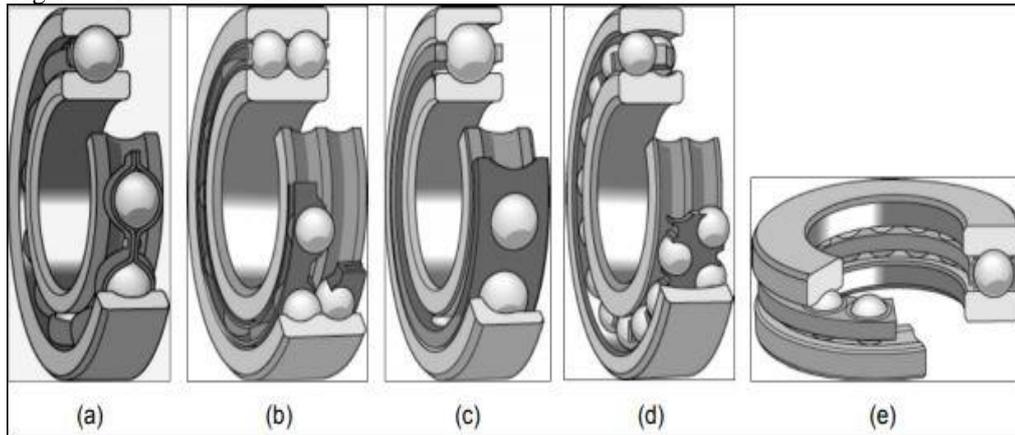
Os principais tipos de rolamentos de esferas são:

- a) Rolamento radial de uma carreira de esferas;
- b) Rolamento radial de dupla carreira de esferas;

- c) Rolamento de uma carreira de esferas de contato angular;
- d) Rolamento auto-compensador radial de dupla carreira de esferas;
- e) Rolamento axial de uma carreira de esferas.

A figura 7 traz uma representação de cada tipo de rolamento de esferas.

Figura 7- rolamento de Esferas.



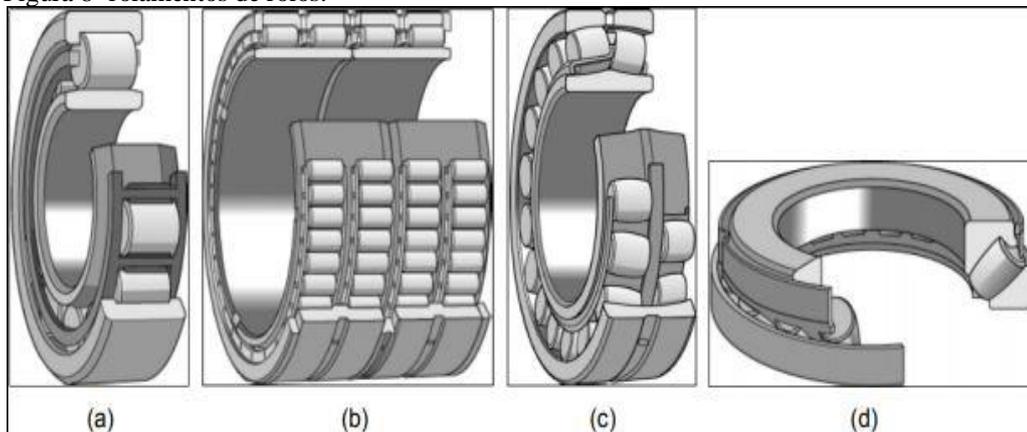
Fonte: SKF Group, 2005.

Tão comuns como os rolamentos de esferas os principais rolamentos de rolos são:

- a) Rolamento radial de uma carreira de rolos;
- b) Rolamento radial de quatro carreiras de rolos;
- c) Rolamento auto-compensador radial de dupla carreira de rolos;
- d) Rolamento auto-compensador axial de uma carreira de rolos.

Na figura 8 é possível ver os principais tipos rolamentos de rolos.

Figura 8- rolamentos de rolos.



Fonte: SKF Group, 2005.

6.0 MÉTODO DE PESQUISA

Para este trabalho foi utilizada a metodologia de pesquisa experimental, que consiste em apontar um objeto de estudo, selecionar as variáveis propostas de trabalho capazes de influenciá-lo além de determinar formas de observação e efeitos que as variáveis podem produzir no objeto trabalhado pelo pesquisador (GIL, 2010; NAKAMO, 2012).

As etapas do planejamento de uma pesquisa implicam desenvolvimento de uma série de passos que na maioria das vezes são: formular um problema, construir hipóteses, selecionar variáveis, definição do plano experimental, determinação dos sujeitos, determinar o ambiente, coletar os dados, análise e interpretação dos dados e apresentar as conclusões (GIL, 2010; PINHO, MONTEVECHI; MARINS, 2010).

Estão descritos na introdução desse trabalho, a formulação da pesquisa, construção das hipóteses.

Nesse trabalho foi considerada uma única variável isoladamente: o efeito do condicionador metálico atuando junto ao óleo lubrificante e para atingir esse objetivo foram analisadas três condições:

- a) Rolamento em atrito com elemento rolante com aplicação de óleo lubrificante acrescido de uma fina camada de condicionador metálico Militec-1;
- b) Rolamento em atrito com elemento rolante com aplicação de óleo lubrificante acrescido de uma fina camada de condicionador metálico Alfa-x;
- c) Rolamento em atrito com elemento rolante com aplicação de óleo lubrificante apenas.

Todos os demais parâmetros permaneceram de forma inalteradas para as condições testadas.

Para que se possa determinar os sujeitos é necessário com grande exatidão a população a ser estudada, a determinação do ambiente pode ser em laboratórios ou em campo, a coleta de dados é realizada mediante manuseio de determinadas condições e a observação de seus efeitos, a análise e interpretação dos dados na maioria das vezes é feita se utilizando de técnicas estatísticas e pôr fim a apresentação das conclusões deve levar em conta o que foi dito sobre o relatório da pesquisa bibliográfica (GIL, 2010).

6.1 Materiais e métodos

Tanto o material do corpo de prova quanto a máquina usada, óleos, ferramentas para medição de temperatura são de uso comum para atividades de medição de desgaste, sendo elas descritas a seguir:

a) Máquina: máquina timken consiste de um motor monofásico de 1 cv de potência com rotação de 1600 Rpm, operando em 110 V, que é acoplado em um redutor aonde é feito o movimento do rolamento. Em sua lateral possui uma alavanca para amplificação da carga onde na extremidade é colocada as cargas para ensaios e na sua base possui um imã aonde é colocado o corpo de prova. Abaixo da alavanca existe um cárter para acomodação do óleo lubrificante, a máquina Tikem pode ser vista na figura 9.

Figura 9- máquina Tikem.



Fonte: Autor

b) Condicionadores Metálicos: foi usado nos ensaios dois condicionadores de mateias de fabricantes diferentes. Foi usado Militec-1 em um dos ensaios, como podemos ver na figura 10.

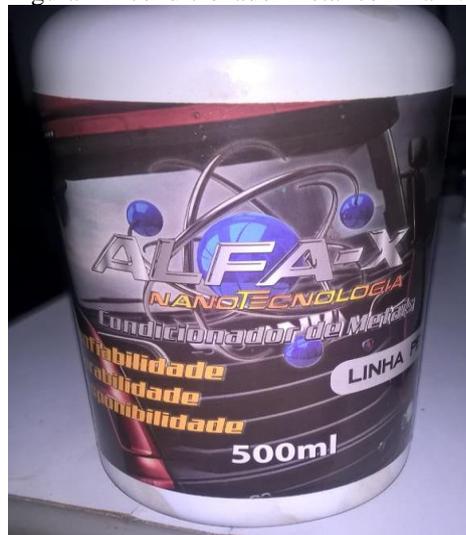
Figura 10- condicionador metálico Militec-1.



Fonte: Autor

Em outro ensaio foi usado Alfa-x, conforme figura 11 abaixo.

Figura 11- condicionador metálico Alfa-x.



Fonte: Autor

c) Óleo lubrificante: para realização de todos ensaios foi usado o óleo lubrificante Honda semissintético com viscosidade SAE 10w30 conforme figura 12.

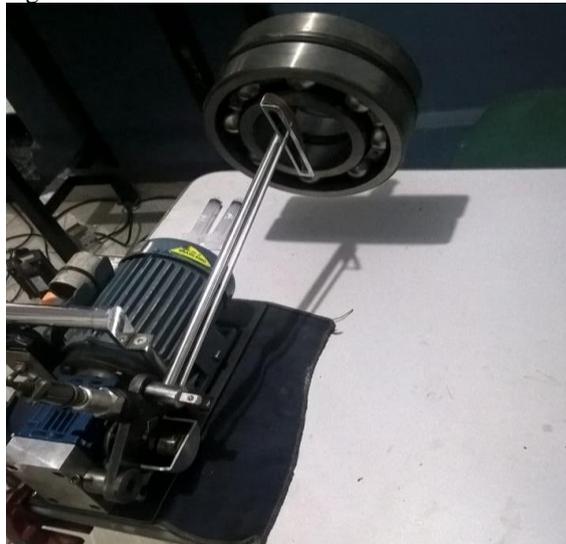
Figura 12- óleo Honda semissintético SAE 10w30.



Fonte: Autor

d) Rolamentos: foram usados 2 rolamentos de 7,5 Kg para carga na alavanca da máquina Tikem, conforme figura 13.

Figura 13- rolamentos no momento do ensaio.



Fonte: Autor

e) Elemento rolante: foram usados 3 elementos rolantes com diâmetros idênticos de 8 mm, conforme figura 14.

Figura 14- elemento rolante.



Fonte: Autor

f) Alicate amperímetro digital: para realizar a medição das correntes nos ensaios foi utilizado um alicate amperímetro digital MT87, conforme figura 15.

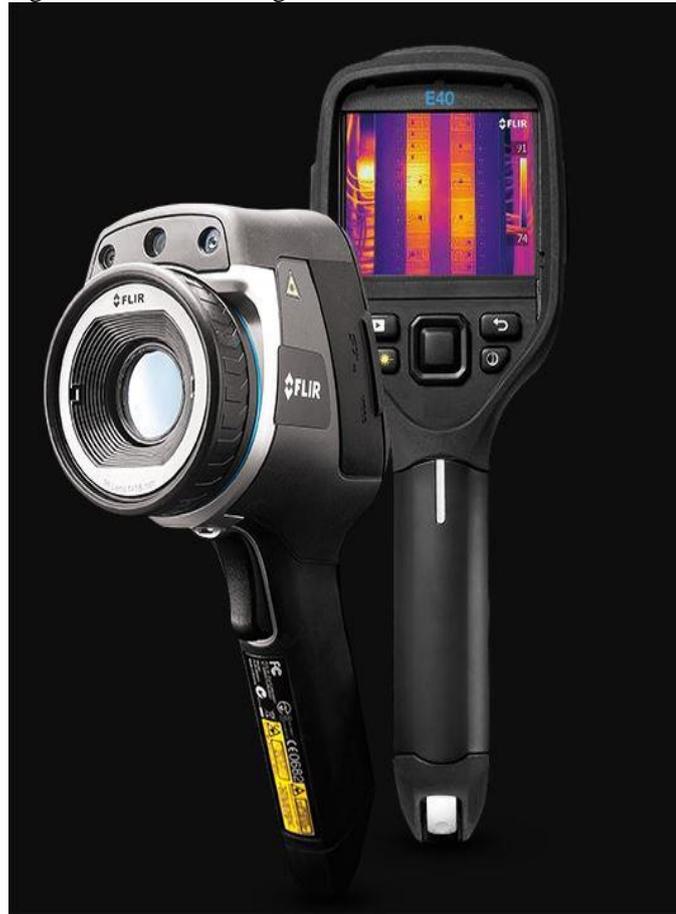
Figura 15- alicate amperímetro digital MT87.



Fonte: Autor

g) Câmera Termográfica: Foi utilizada a câmera termográfica Flir-E40 afim de realizar as medições de temperatura durante os ensaios, a mesma pode ser vista na figura 16.

Figura 16- câmera termográfica Flir-E40.



Fonte: FLIR BRASIL

h) Seringas: Foram utilizadas três seringas para manipulação dos componentes químicos, visando evitar qualquer meio contaminante, as seringas com capacidades de 10 ml e idênticas nas dimensões e vazão, conforme figura 17.

Figura 17- seringas 10 ml.



Fonte: Autor

i) Lixa: Usou-se uma lixa para metal afim de remover possíveis desgastes ocasionados pelos ensaios, conforme figura 18.

Figura 18- lixa para ferro.



Fonte: Autor

6.2 Procedimento de ensaio

Como o objetivo do trabalho é analisar a evolução do atrito dividiu-se em três ensaios afim de utilizar todos os condicionadores e também apenas o óleo lubrificante.

6.2.1 Condições propostas para realização dos ensaios

- a) Foram utilizados ao total 3 elementos rolantes com diâmetros idênticos de 8 mm e a pista externa de um rolamento uc204;
- b) Em ambos condicionadores as instruções de uso são de adicionar 200 ml de condicionador metálico para 4 L de óleo lubrificante. Sendo assim foi definido que para o ensaio em questão 10 ml seria o necessário pois a máquina Tikem transbordaria seu reservatório caso fosse utilizado capacidade superior a 10 ml, para definir a quantidade de condicionador metálico foi usado uma regra de 3 simples, para determinar a quantidade necessária para 10 ml de óleo lubrificante, o cálculo pode ser visto no quadro 1.

Quadro 1- regra de três para determinar quantidade de condicionador metálico.

4000 ml óleo lubrificante	200 ml condicionador metálico
10 ml óleo lubrificante	X ml condicionador metálico
Total necessário	0,5 ml condicionador metálico

Fonte: Autor

c) Após a realização de um ensaio o equipamento foi higienizado com solvente para retirar qualquer resquício de impurezas para realização do próximo ensaio, além do solvente a pista externa do rolamento foi lixada afim de retirar possíveis desgastes ocasionados pelo ensaio anterior, não comprometendo assim os próximos ensaios.

6.2.1.1 Condições lubrificantes para o ensaio

Para cada elemento rolante foi definida uma condição de lubrificação.

- a) Condição 1: Foram adicionados 10 ml de óleo lubrificante SAE 10w30 para realização do ensaio;
- b) Condição 2: Foram adicionados 10 ml de óleo lubrificante SAE 10w30 acrescidos de 0,5 ml de condicionador metálico alfa-x para realização do ensaio;
- c) Condição 3: Foram adicionados 10 ml de óleo lubrificante SAE 10w30 acrescidos de 0,5 ml de condicionador metálico Militec-1.

6.2.1.2 Condições de tempo para o ensaio

Para definição de tempo foi usado o primeiro ensaio como embasamento visto que o mesmo veio a apresentar um leve desgaste com cerca de 10 Kg, abaixo será descrito a forma como foi realizado o primeiro ensaio. Sendo assim foi definido que para os ensaios dois e três inicialmente seria colocada a carga de 7,5 Kg que corresponde a um rolamento e essa seria mantida até 05:20, após esse tempo seria colocado mais um rolamento de 7,5 Kg totalizando 15 Kg, com essa carga o ensaio terminaria com exatos 17 minutos.

6.3 Ensaio

Foram realizados 3 ensaios nas condições descritas acima.

- a) Primeiro elemento rolante: Limpou-se com solvente toda área de trabalho aonde ocorre o atrito, lixou-se a pista externa do rolamento em sequência adicionou-se 10 ml de óleo lubrificante SAE 10w30 ao reservatório da máquina Tikem, junto a isso adicionou-se 7,5 Kg de carga durante 12 minutos e o elemento rolante não apresentou nenhum desgaste. Realizou-se um segundo ensaio agora com 10 Kg acrescentando-se junto ao rolamento de 7,5 um rolamento de 2,5 Kg durante 12 minutos, após o termino do tempo observou-se um pequeno desgaste. Sendo assim foi realizado o terceiro ensaio nesse ensaio adicionou-se 7,5 Kg até 05:20 minutos e após isso um segundo rolamento de 7,5 totalizando-se 15 Kg por 17:00 minutos.
- b) Segundo elemento rolante: Limpou-se com solvente toda área de trabalho aonde ocorre o atrito, lixou-se a pista externa do rolamento em sequência adicionou-se 10 ml de óleo lubrificante SAE 10w30 ao reservatório e 0,5 ml de condicionador metálico Alfa-x. Para iniciar o ensaio adicionou-se 7,5 kg de carga e após 05:20 de ensaio foi acrescentado mais 7,5 Kg de carga, o ensaio teve se termino com 17:00 minutos.
- c) Terceiro elemento rolante: Limpou-se com solvente toda área de trabalho aonde ocorre o atrito, lixou-se a pista externa do rolamento em sequência adicionou-se 10 ml de óleo lubrificante SAE 10w30 ao reservatório e 0,5 ml de condicionador metálico Militec-1. Para iniciar o ensaio adicionou-se 7,5 kg de carga e após 05:20 de ensaio foi acrescentado mais 7,5 Kg de carga, o ensaio teve se termino com 17:00 minutos.

6.4 Análise estatística dos dados coletados

Durante os ensaios foram registradas as temperaturas através de câmera termográfica, além da medição das correntes através do alicate amperímetro digital e posteriormente foi analisado em microscópio a dimensão dos desgastes ocorridos durante os ensaios.

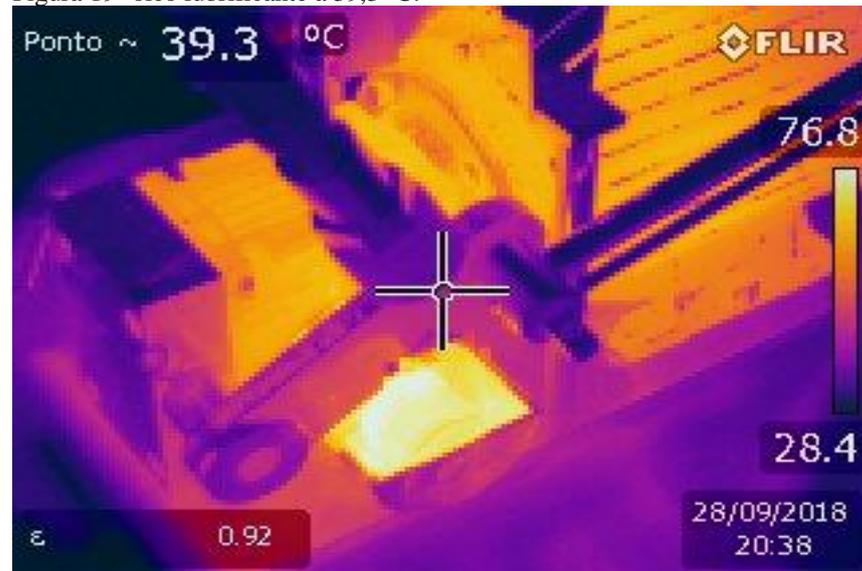
Afim de se obter uma precisão maior dos desgastes, usou-se as imagens obtidas através do microscópio no software AutoCAD para cálculo do diâmetro desgastado.

6.5 Análises de temperatura durante os ensaios

Durantes os três ensaios as temperaturas tiveram certa oscilação até se estabilizarem. Usando a câmera termográfica foi possível captar as temperaturas em diferentes tempos de ensaio. Abaixo é possível ver como a temperatura dos fluidos e da pista externa do rolamento se comportaram.

a) Primeiro ensaio usando apenas óleo lubrificante SAE 10w30: No primeiro ensaio onde foi utilizado apenas óleo lubrificante SAE 10w30, se fez uso de 7,5 Kg. A temperatura com 8 minutos de teste atingiu a temperatura de aproximadamente 39,3 °C como pode ser visto na figura 19.

Figura 19- óleo lubrificante a 39,3 °C.



Fonte: Autor

No segundo ensaio onde se utilizou-se a princípio a carga de 7,5 Kg e com 5:20 minutos acrescentou-se 2,5 Kg totalizando assim 10 Kg, observou-se que com 10 minutos de ensaio a temperatura do fluido foi de aproximadamente 113 °C, conforme figura 20.

Figura 20- óleo lubrificante a 113 °C.



Fonte: Autor

No terceiro ensaio usando até 5:20 minutos 7,5 Kg e após esse período utilizando 15 Kg de carga observou-se que o óleo lubrificante começou a oxidar devido a temperatura estar superior a 200°C, oxidação essa que é possível visualizar na figura 21.

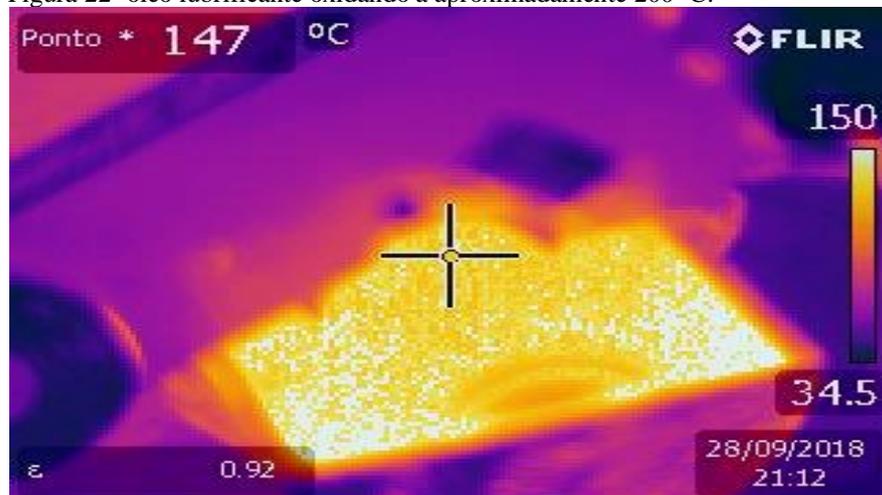
Figura 21- cárter com óleo lubrificante em oxidação.



Fonte: Autor

Infelizmente a câmera termográfica no momento do registro estava ajustada para limitar a temperatura até 150 °C, porém a real temperatura do momento foi superior aos 200° C, pois é possível ver que o óleo lubrificante começou a oxidar com 10 minutos de ensaio, conforme fica nítido na figura 22.

Figura 22- óleo lubrificante oxidando a aproximadamente 200 °C.



Fonte: Autor

b) Segundo ensaio usando óleo lubrificante SAE 10w30 acrescido de condicionador metálico Alfa-x: foi realizado apenas um único teste pois com embasamento no primeiro teste aonde se obteve um desgaste considerável com 15 Kg, adotou-se essa carga para o ensaio. Como no ensaio anterior utilizou-se 7,5 Kg até 5:20 minutos de ensaio, após isso acresceu-se 7,5 Kg de carga totalizando assim 15 Kg, nesse ensaio a câmera termográfica já havia sido ajustada previamente para conseguir captar temperaturas superiores a 150 °C. Com 9 minutos de ensaio foi registrado a temperatura de 166 °C, temperatura essa que se estabilizou até o termino do ensaio com 17 minutos, a figura 23 mostra o momento onde a temperatura se estabilizou-se.

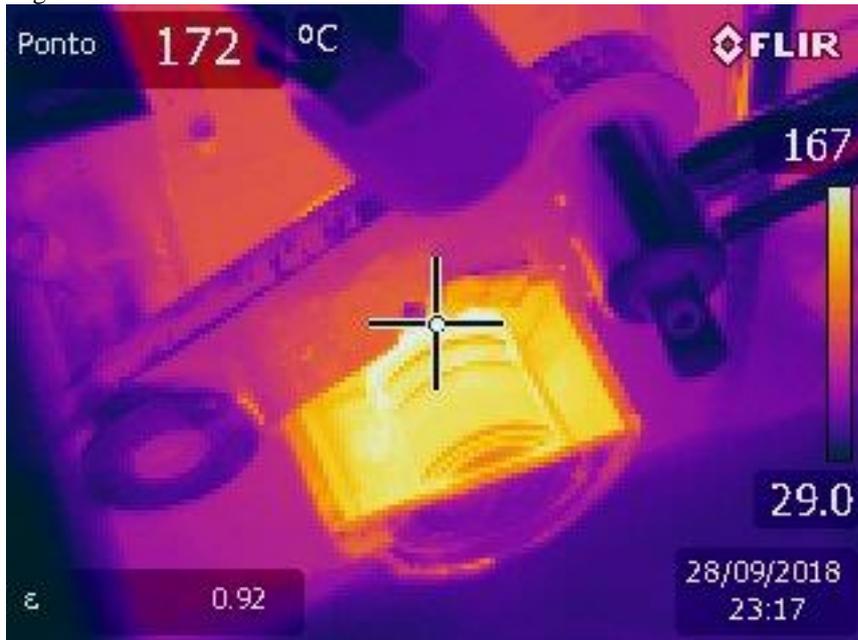
Figura 23- óleo lubrificante estabilizado a 166 °C.



Fonte: Autor

c) Terceiro ensaio usando óleo lubrificante SAE 10w30 acrescido de condicionador metálico Militec-1: Seguindo o mesmo procedimento do ensaio anterior realizou-se um único ensaio, iniciou-se com 7,5 Kg e ao atingir 5:20 minutos acrescentou-se 7,5 Kg de carga, com 11 minutos de ensaio registou-se uma estabilização de 172 °C, como pode ser visto na figura 24.

Figura 24- óleo lubrificante estabilizado a 172 °C.



Fonte: Autor

6.8 Medição das correntes durante os ensaios

Para realizar a medição da corrente durante os ensaios foi utilizado um alicate amperímetro digital, o local usado para realizar a medição foi nos cabos de energia que chegam até o motor da máquina tinkem, conforme figura 25.

Figura 25- Cabos de energia onde se mediu a corrente.



Fonte: Autor

Em todos os três ensaios a corrente se manteve estável e inalterada, mesmo quando se usou a carga máxima de 15 Kg, a corrente se manteve em 1,06 A.

6.6 Análise laboratorial dos desgastes oriundos dos ensaios

Após realizar os ensaios com os elementos rolantes, foi feita uma análise laboratorial afim de visualizar melhor os desgastes ocorridos durante os ensaios, pois a com ótica humana ficaria inviável qualquer análise desse tipo.

Sendo assim foi usado o microscópio que tem a capacidade de aumento de 20 vezes, o microscópio pode ser visto na figura 26.

Figura 26- Microscópio BEL.



Fonte: Autor

Analisando os elementos rolantes dos ensaios foi possível visualizar que houve uma pequena diferença no diâmetro do desgaste nos ensaios. Na figura 27 podemos ver o primeiro elemento rolante que foi utilizado para sua lubrificação apenas óleo lubrificante SAE 10w30.

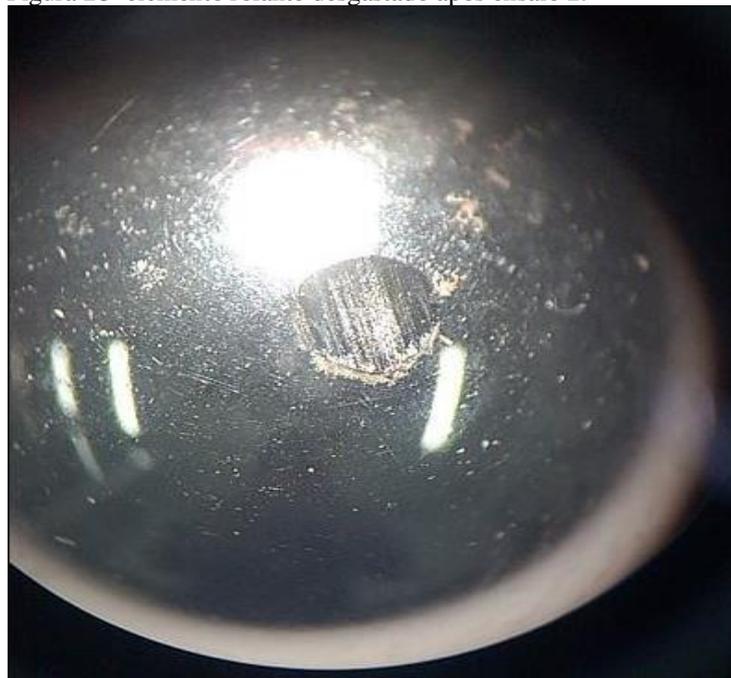
Figura 27- elemento rolante desgastado após ensaio 1.



Fonte: Autor

O segundo elemento rolante que no ensaio teve como meio lubrificante óleo SAE 10w30 acrescido de condicionador metálico Alfa-x apresentou um desgaste um pouco menor que o elemento rolante do primeiro ensaio, a figura 28 representa esse desgaste.

Figura 28- elemento rolante desgastado após ensaio 2.



Fonte: Autor

O terceiro elemento rolante que no ensaio teve como meio lubrificante óleo SAE 10w30 acrescido de condicionador metálico Militec-1, apresentou um desgaste parecido com o elemento rolante do ensaio 2, conforme figura 29.

Figura 29- elemento rolante desgastado após ensaio 3.



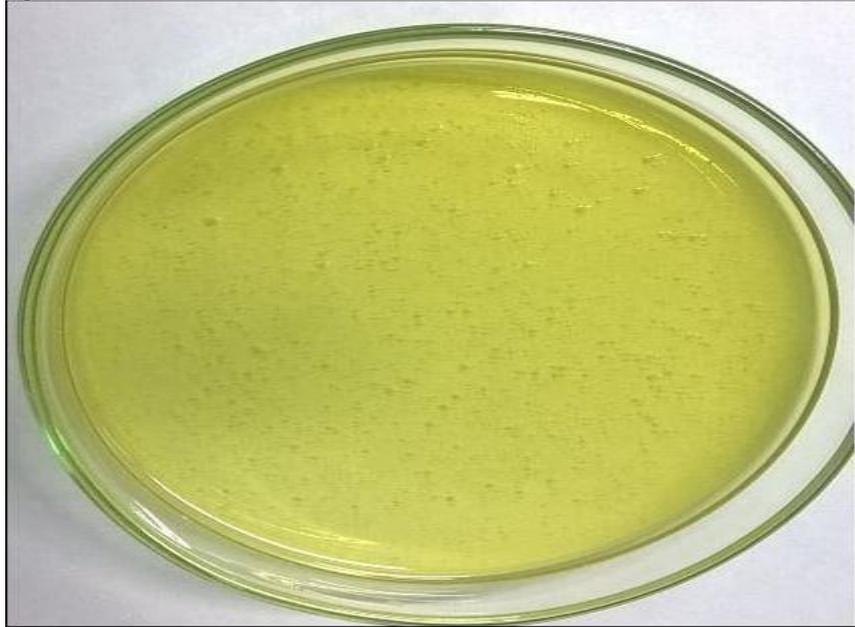
Fonte: Autor

6.7 Coloração do óleo lubrificante após ensaios

Após os ensaios houve uma mudança brusca de coloração nos óleos lubrificantes, sendo assim foi usado placas de petri para analisar tais colorações.

Pode-se observar que o óleo SAE 10w30 antes de ser submetido aos ensaios possui uma coloração amarelada, conforme figura 30.

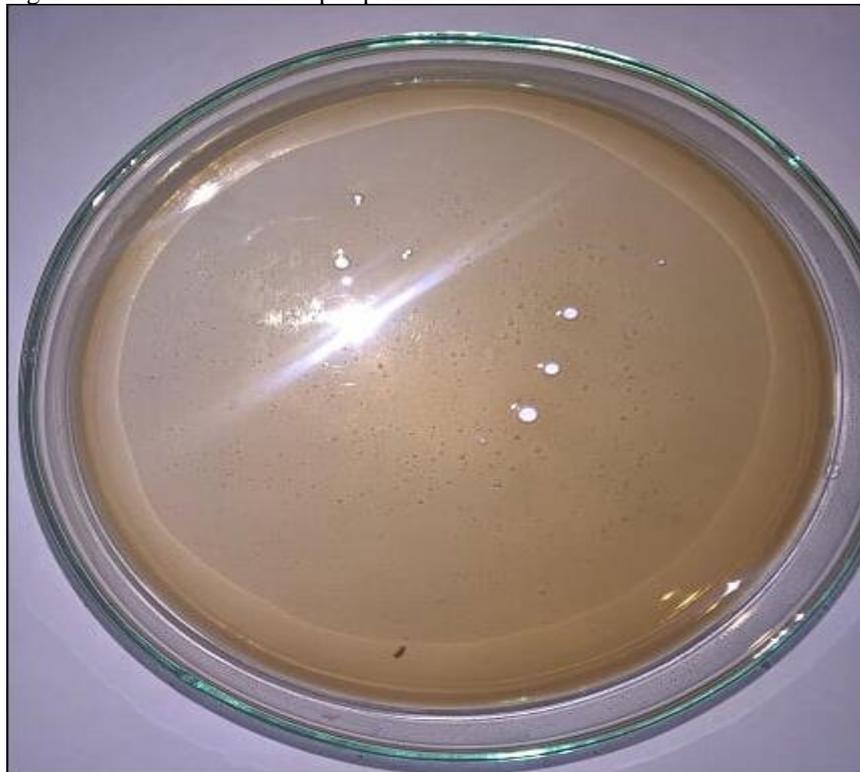
Figura 30- óleo lubrificante antes do uso.



Fonte: Autor

Após ser utilizado no ensaio a coloração do óleo muda de amarelada para um tom de amarelo escuro, conforme figura 31.

Figura 31- óleo lubrificante após primeiro ensaio.



Fonte: Autor

Já o óleo SAE 10w30 quando acrescido com condicionador metálico Alfa-x e submetido aos ensaios, apresentou ao término uma coloração amarelada com muitos tons de preto, conforme figura 32.

Figura 32- óleo lubrificante após segundo ensaio.



Fonte: Autor

Quando acrescido de condicionador metálico Militec-1 o óleo SAE 10w30 apresentou uma coloração bem parecida com a coloração do primeiro ensaio, onde não se fez uso de condicionador metálico, conforme figura 33.

Figura 33- óleo lubrificante após o terceiro ensaio.



Fonte: Autor

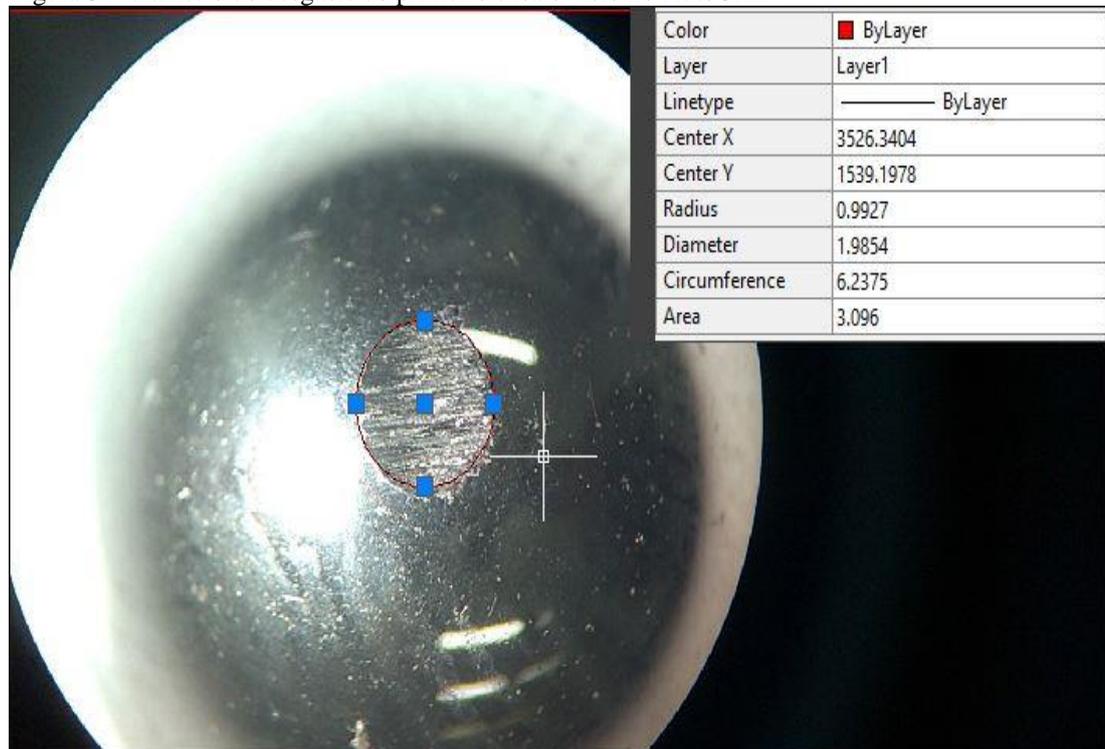
7.0 CALCULO DO DIAMETRO DESGASTADO NOS ENSAIOS

Através das imagens obtidas pela análise microscópica foi possível visualizar com clareza os diâmetros dos desgastes durante os ensaios, afim de se obter uma maior precisão foi feito o cálculo dessas áreas utilizando um software de dimensionamento, o AutoCAD.

Usando como referência em todos os cálculos as dimensões de 8 mm de diâmetro total para os elementos rolantes o software mostrou que houve uma diferença de diâmetro nos desgastes.

O primeiro elemento rolante que teve como meio lubrificante apenas óleo SAE 10w30 apresentou um diâmetro de desgaste de 1,9854 mm, conforme figura 34.

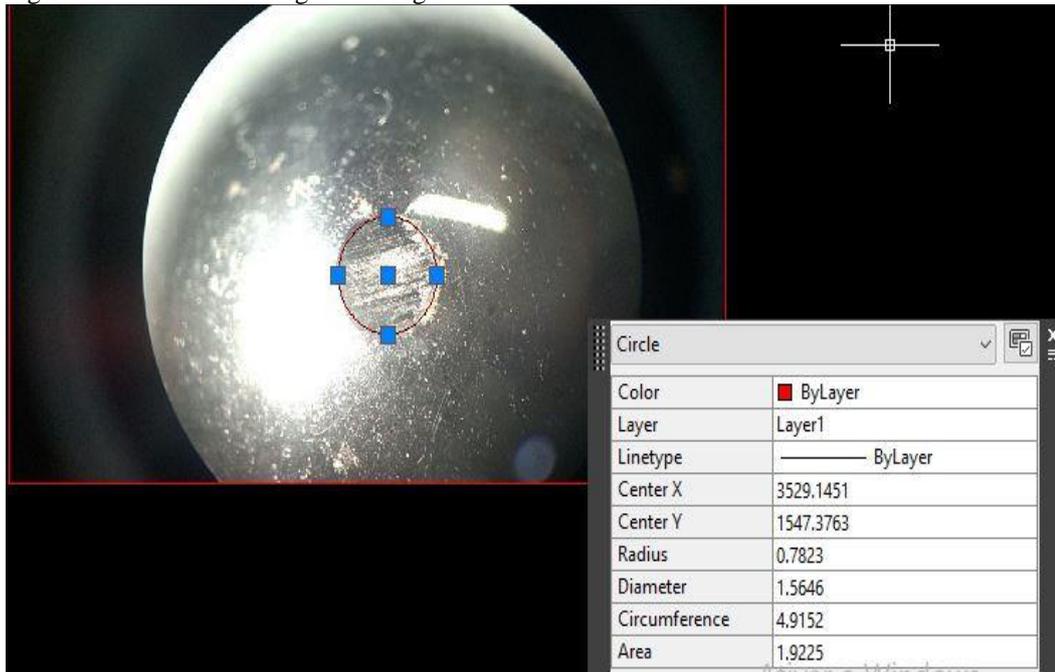
Figura 34- diâmetro do desgaste do primeiro ensaio visto no AutoCAD.



Fonte: Autor

O segundo elemento rolante que teve como meio lubrificante óleo SAE 10w30 acrescido de condicionador metálico Alfa-x apresentou diâmetro de 1,5646 mm, conforme figura 35.

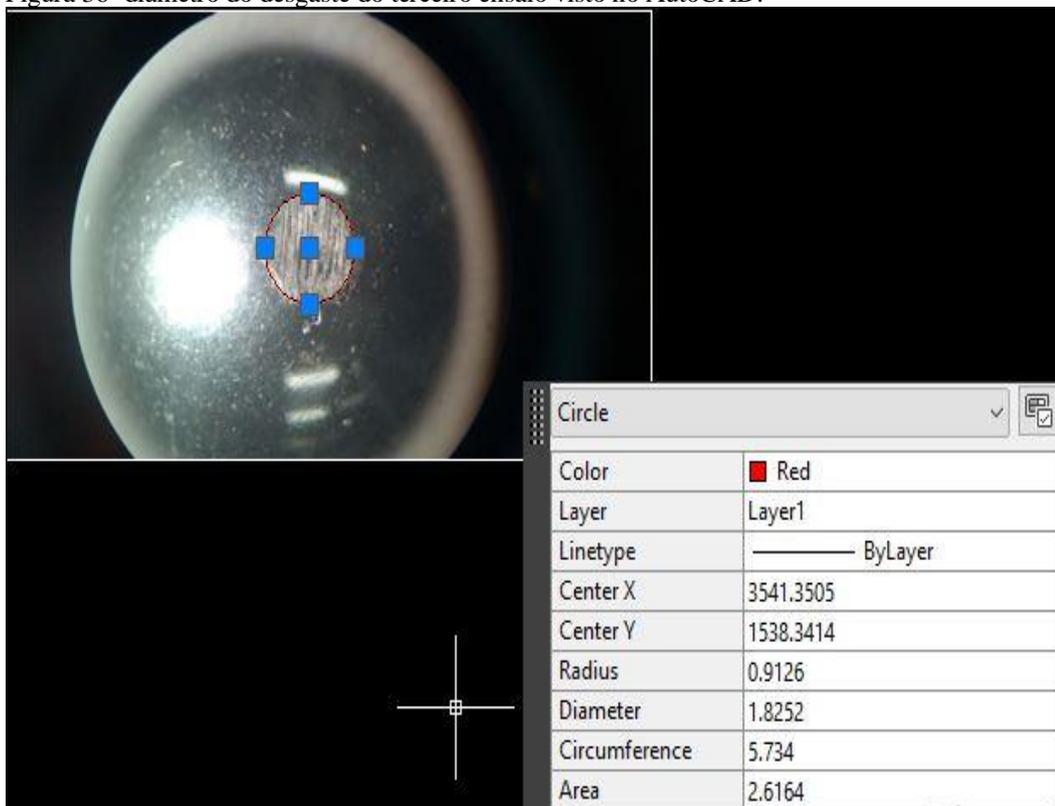
Figura 35- diâmetro do desgaste do segundo ensaio visto no AutoCAD.



Fonte: Autor

O terceiro elemento rolante que teve como meio lubrificante óleo SAE 10w30 acrescido de condicionador metálico Militec-1 apresentou diâmetro de 1,8252 mm, conforme figura 36.

Figura 36- diâmetro do desgaste do terceiro ensaio visto no AutoCAD.



Fonte: Autor

8.0 RESULTADOS E DISCUSÕES

Após realização dos ensaios e todas análises, foram obtidos os resultados apresentados na tabela 1.

Tabela 1- resultados obtidos após realização dos ensaios.

Ensaio	Carga mínima	Carga máxima	Tempo de ensaio	Temperatura máxima	Diâmetro do desgaste
1	7,5 Kg	15 Kg	12 minutos	≈200 °C	1,9854 mm
2	7,5 Kg	15 Kg	12 minutos	147 °C	1,5646 mm
3	7,5 Kg	15 Kg	12 minutos	166 °C	1,8252 mm

Fonte: Autor

8.1 Resultados Gerais

Houve a diminuição da área desgastada quando aplicado o condicionador metálico em relação a sua não aplicação, isso constata que a camada criada pelo mesmo é eficaz.

No primeiro apesar da câmara termográfica não ter registrado a temperatura real no auge do ensaio, através de fotos pode-se ver que o óleo lubrificante começou a oxidar, com isso pressupõe que a temperatura estava superior a 200 °C.

No segundo ensaio a temperatura se estabilizou em 147 °C, em comparação com o primeiro ensaio a temperatura se manteve mais de 50 °C abaixo que em relação ao ensaio anterior.

No terceiro ensaio a temperatura também se manteve estabilizada, porém em 166 °C, em comparação ao primeiro ensaio, a temperatura ficou aproximadamente 50 °C abaixo. Em relação ao segundo ensaio a temperatura ficou 19 °C a cima.

Em relação ao diâmetro do desgaste observa-se que para as proporções do elemento rolante que é de 8 mm, as diferenças são significativas.

A corrente se manteve inalterada durante todos os ensaios.

9.0 CONCLUSÃO

Analisando os valores obtidos no primeiro ensaio aonde não se utilizou-se condicionador comparados com os resultados dos ensaios que se fez uso dos condicionadores metálicos, pode-se afirmar que para os requisitos analisados, os condicionadores de metais cumprem com as características com as quais se comprometem. Mas é bom lembrar que são necessários outros testes para análise de outros fatores que também são importantes para avaliar se o condicionador metálico é viável ou não no uso em escala industrial ou até mesmo para componentes mecânicos mais robustos e sob circunstâncias extremas.

Vale ressaltar que a principal intenção desse trabalho é analisar primeiramente a influência do condicionador metálico no processo de desgaste. Sendo esse fluido pouco difundido no meio industrial.

Com base nos ensaios e resultados obtidos, o condicionador metálico se mostrou eficiente, pois no primeiro ensaio quando não se fez o uso do mesmo o desgaste foi de 24,82% da área do elemento rolante, comparando com o segundo e terceiro ensaio aonde se obteve 19,55% e 22,82% os números mostram que o condicionador metálico reduz de forma considerável o desgaste.

O que pode-se perceber é que durante a fase de elaboração do referencial teórico e na fase de execução dos ensaios deste trabalho foi, a dificuldade em se obter embasamento teórico e disponibilidades de informações atualizadas, literaturas e artigos que abordem de forma concisa e profunda o assunto proposto no trabalho. Além das poucas estruturais laboratoriais para realizações de outros ensaios, que também são necessários para se obter resultados mais confiáveis.

10 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

Segue abaixo algumas propostas para trabalhos futuros:

- a) Repetir os ensaios, usando elementos rolantes com diâmetros maiores, o que pode aumentar o atrito visto que a área de contato entre elemento rolante e pista externa do rolamento seria maior:
- b) Realizar o ensaio usando cargas maiores e tempos de ensaios maiores, com isso poderia se observar o comportamento do óleo lubrificante em temperaturas mais altas.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. BRASÍLIA: Agência Nacional do petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, 2017. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/petroleo-e-derivados2/lubrificantes>>. Acesso em: 16 ago. 2018.

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

CARRETEIRO; BELMIRO. **Lubrificantes e lubrificação industrial**. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.

COPPINI, N.L.; FERREIRA, S. S.; ALVES, D. J.; BAPTISTA, E. A. Maximização da Produtividade e Minimização de Custos na Produção de Furos com Brocas Especiais. In: VIII CONGRESSO NACIONAL DE ENGENHARIA MECÂNICA, Uberlândia. **Conem**, Minas Gerais, 2014. p. 224, ref. 1-9.

CENTRO UNIVERSITARIO DO SUL DE MINAS, **Técnicas para elaboração de trabalhos acadêmicos, 2012**. Disponível em: <<http://portaldoaluno.unis.edu.br/wp-content/uploads/sites/65/2015/09/Manual-Normatização.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2018.

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

DEMÉTRIO, V.B. **Desenvolvimento de aços auto lubrificantes via compactação de pós granulados**. Dissertação de Mestrado, Programa de pós-graduação em ciência e engenharia de materiais- Universidade Federal De Santa Catarina, 2012.

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

DOS ANJOS, G.C.; **Utilização de matérias primas vegetais para a aplicabilidade como inibidores de corrosão**. Dissertação de Mestrado, Universidade federal do Rio Grande do Norte, Rio Grande do Norte, 2012.

DUARTE; RUNGE. **Lubrificantes nas industriais**. São Paulo: Triboconcept, 1989.

FISCHER, Ulrich. **Manual de tecnologia metal mecânica**. 46. ed. São Paulo: Edgard blucher, 2008. p. 28.

FLIR do BRASIL, **Produtos, 2018**. Disponível em <<https://www.flir.com.br/support/products/e40/#Resources>>. Acesso em:01 ago. 2018.

GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2007.

GIL, C. G. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.

HARRIS, T.A., Kotzalas, M. N., **Essential Concepts of Bearing Technology**, 5 th Edition, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2007.

JOST, H. P. “**Tribology-origin and future**”, Wear, v.136, pp.1-17, 1990.

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

KRIONI, N. K. Frictional Properties of Metallic Surfaces Separated by a solid lubricant film at high temperature. **Russian Engineering Reseach**, v. 32, n.1, p. 111-113, 2012.

LIMA, G.S. **Curso técnico lubrificação Industrial**. Disciplina de elementos orgânicos de máquinas, Departamento de Engenharia Mecânica (DEMec), Minas Gerais, 2011)

LUBRIFICAÇÃO industrial. Rio de Janeiro: [s.n.], [19-], 111 p.

MASSOTI, J. G. B.: **Metodologia para Análise de Defeitos em Rolamentos e Cálculo da Vida Remanescente à Fadiga**. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011

MATOS, P. R. R. **Utilização de óleos vegetais como bases lubrificantes**. 125 f. Tese (Mestrado em Físico-química) – Universidade de Brasília, Distrito Federal, 2011.

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

OBARA, R. B. **Avaliação do desgaste em cilindros de motores de combustão interna - mapeamento de mecanismos e quantificação do desgaste**. 2018. 329 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica de Projeto de Fabricação) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo.

PINHO, A. F.; MONTEVECHI, J. A. B.; MARINS, F. A. S. Metodologia para utilização de algoritmos genéticos em modelos de simulação computacional em ambientes de manufatura. **Revista P&D em Engenharia de Produção**. V.08, n.1, p.01-05, 2010.

POLIT, D. F.; BECK, C. T.; HUNGLER, B. P. **Fundamentos de pesquisa em enfermagem: métodos, avaliação e utilização**. 5. ed. Porto Alegre: Artmed, 2004.

SINATORA, A. **“Tribologia: um resgate histórico e o estado da arte”**, Prova de Erudição, São Paulo, 2005.

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

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

SANTANA, J.S.; FARIAS, A.C.M.F.; DE SANTANA, J.S.; BARBOSA, C.R.F.; MEDEIROS, J.T.N. Rio Grande do Norte **Estudo tribológico de óleos biodegradáveis de coco e rícino através de ensaios abrasivos**. *Holos*, V.4, n.26, 2010.

SKF Group, **General Catalogue**, 6000 EN, Gothenburg, 2005.

SOUZA, E. M.; ROSA, A. F. C.; BAPTISTA, E.A; COPPINI, N.L. **New Operational Support System for Cutting Process Optimization**. In: international Conference on Industrial Engineering and Operations Management- ICIEON, Guimarães, Portugal. 2012.

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

STREETER, V. L. **Mecânica dos fluidos**. 7. ed. São Paulo: Mc Graw-hill, 1982.