

UniRV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE DO DESGASTE ENTRE ARRUELA CONFECIONADA EM MATERIAL
CERÂMICO E AÇO CARBONO APLICADAS EM CAIXA DE TRANSMISSÃO**

LUCAS MARQUES FONSECA

Orientador: Prof^o. Eng. Mec. EDSON ROBERTO DA SILVA

**Monografia apresentada á faculdade de
engenharia mecânica da UniRV -
Universidade de Rio Verde, como parte das
exigências para obtenção do título de bacharel
em Engenharia Mecânica.**

RIO VERDE

2015

UniRV - UNIVERSIDADE DE RIO VERDE
FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE DO DESGASTE ENTRE ARRUELA CONFECIONADA EM MATERIAL
CERÂMICO E AÇO CARBONO APLICADAS EM CAIXA DE TRANSMISSÃO**

LUCAS MARQUES FONSECA

Orientador: Prof^o. Eng. Mec. EDSON ROBERTO DA SILVA

**Monografia apresentada á faculdade de
engenharia mecânica da UniRV -
Universidade de Rio Verde, como parte das
exigências para obtenção do título de bacharel
em Engenharia Mecânica.**

RIO VERDE

2015

FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA

**ANÁLISE DO DESGASTE ENTRE ARRUELA CONFECCIONADA EM MATERIAL
CERÂMICO E AÇO CARBONO APLICADAS EM CAIXA DE TRANSMISSÃO**

LUCAS MARQUES FONSECA

Esta monografia foi julgada adequada para a obtenção da nota da disciplina Trabalho
Conclusão I do Curso de Engenharia Mecânica.

Prof. Edson Roberto da Silva
Orientador

Prof. Ronaldo Lourenço Ferreira
Examinador

Prof. Rodrigo Francisco Borges Lourenço
Examinador

Prof. Dr. Warley Augusto Pereira
Diretor da Faculdade de Engenharia Mecânica

Rio Verde-GO
2015

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho primeiramente aos meus pais, Francisco das chagas pinheiro e Joelma Marques da Silva por sempre me apoiar, incentivar, pelo amor, carinho, dedicação e compreensão em todos os momentos dessa jornada.

A minha esposa, Tainara Martins Toledo pelo amor, confiança, companheirismo e amizade, me apoiando nos momentos mais difíceis e me ajudado a crescer mentalmente.

E aos meus irmãos, Yuri Bosco Marques Pinheiro e Luan Victor Marques Pinheiro por estar presentes em na minha vida proporcionando muitos momentos de alegria.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por estar presente em todos os momentos dessa longa caminhada, e sempre iluminar o caminho correto a ser trilhado.

Aos professores que sempre buscaram sempre nos conceder o máximo de conhecimento, nos ensinando a ser profissionais e humanos exemplares.

Aos companheiros de classe por proporcionar momentos de felicidades e de ajuda nas horas mais difíceis, sempre com palavras de incentivo.

FONSECA, Lucas Marques. ANÁLISE DO DESGASTE ENTRE ARRUELA CONFECCIONADA EM MATERIAL CERÂMICO E AÇO CARBONO APLICADAS EM CAIXA DE TRANSMISSÃO. 2015. Monografia¹ (Graduação em Engenharia Mecânica) – UniRV – Universidade de Rio Verde, Rio Verde, 2015.

RESUMO

O presente trabalho busca por meio de análise prática a melhor opção para arruelas de desgaste em caixa de transmissão entre material cerâmico e aço carbono com análises técnicas do comportamento dos materiais, uma vez que identifica-se um atrito excessivo entre a arruela e o rolamento ou engrenagem, e que as manutenções sempre mostram um desgaste nessas arruelas definindo a substituição do aço carbono por cerâmica é viável. O comparativo busca recriar uma situação de trabalho idêntica a natural dentro de uma caixa de transmissão verificando o melhor lubrificante para o material cerâmico e as melhores condições de trabalho para esse material, também será feita uma análise de temperatura dos dois materiais comparados.

PALAVRAS-CHAVES

Análise, desgaste, materiais cerâmicos.

¹**Orientador:** Prof. Ms. Edson Roberto da Silva. Banca:.

FONSECA, Lucas Marques. ANALYSIS OF WEAR BETWEEN WASHER made of CERAMIC MATERIAL AND CARBON STEEL APPLIED IN TRANSMISSION BOX. 2015. Monograph (Undergraduate in Mechanical Engineering) - UniRV - University of Rio Verde, Rio Verde, 2015.

ABSTRACT

This job search by analyzing practice the best option to wear washers in the gearbox between ceramic and carbon steel with techniques in material performance analysis, since it identifies excessive friction between the washer and the bearing or gear, and that the maintenance always show wear these washers defining the replacement of carbon steel ceramic is feasible. The comparative search recreate a work situation identical to natural within a gearbox checking the best lubricant for the ceramic material and better working conditions for this material will also be made a temperature analysis of the two compared materials.

KEYWORDS

Analysis, wear, ceramic materials.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	07
1.1 OBJETIVO	08
2 REVISÃO BIBLIOGRAFICA	09
2.1 PROPRIEDADES DOS MATERIAIS CERÂMICOS	11
2.2 UTILIZAÇÃO DOS MATERIAIS CERÂMICOS	12
2.3 LIGAS CERÂMICAS	13
2.4 VANTAGENS E DESVANTAGENS DA SUBSTITUIÇÃO DO AÇO CARBÔNICO POR CERÂMICA.....	17
2.5 CAIXAS DE TRANSMISSÃO	14
3 MATERIAIS E MÉTODOS	16
3.1 DADOS INICIAIS DO PROJETO	
3.2 DADOS FINAIS DO PROJETO.....	
3.3 TERMOGRAFIA	

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – ilustração detalhada da caixa de transmissão	15
Figura 2 – arruela de cerâmica	20
Figura 3 – método de desgaste	

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – resistência mecânica de materiais cerâmicos e vidros	09
Tabela 2 – temperatura de fusão dos elementos da cerâmica	12

LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES

Hp – unidade de potência

Gpa - gigapascals

Mpa - megapascals

μm – micro metro

rpm – rotações por minuto

1 INTRODUÇÃO

Com o constante avanço na tecnologia e exigência de durabilidade das máquinas, cada vez mais o avanço da tecnologia procura materiais que tenham custo baixo, resistência, leveza e viabilidade de reposição no mercado. Como a cerâmica é um dos materiais mais abundantes na face da terra é primordial aproveitarmos o máximo o que esse material pode nos oferecer, seu alto desempenho em aplicações que requerem alto desempenho como pastilhas de freio, que requerem alta resistência ao desgaste corrosivo devido o cromo e o berílio presentes em suas propriedades, também ao desgaste abrasivo uma vez que quase todos os elementos em sua composição elevam a dureza do material, leveza e fácil reposição no mercado faz com que seja viável a aplicação em equipamentos de uso no dia a dia. Segundo Padilha(2007), como o aço carbono tem um alto custo de fabricação quando há uma exigência de alta dureza e tratamentos térmicos, alta oxidação em contato com a água coisa que acontece constantemente em máquinas expostas ao ambiente, o material cerâmico pode ser uma alternativa para que se reduza o custo de fabricação de máquinas, pois além de possuir vantagens térmicas, é mais leve, mais resistente ao desgaste e não oxida.

Caixas de transmissão é um sistema que possui uma vida útil muito elevada se bem operada, porém o custo de manutenção quando acontece uma quebra é muito elevado, pois a quebra de uma peça leva a danos em outros elementos. Um exemplo que acontece constantemente é a quebra das arruelas de encosto entre as engrenagens e o eixo, devido ao constante atrito, condições de trabalho, impurezas nos lubrificantes, mau operação e folga nos rolamentos que produzem impactos nas arruelas. Esses fatores geram um desgaste excessivo, trincas e por fim a quebra da arruela que por sua vez desce entre meio as engrenagens em movimento fazendo com que haja um dano nos dentes provocando a quebra da mesma, entra em contato com os rolamentos provocando um desgaste nos roletes ou esferas que podem levar a quebra do rolamento.

Quando ocorre esse tipo de quebra na caixa de transmissão, nem sempre é um dano que possa levar a máquina a parar. Isso leva a uma grande contaminação no óleo lubrificante que por sua vez pode danificar outros componentes, como por exemplo, o diferencial caso use o mesmo óleo usado na caixa de transmissão, filtros também são muito afetados com esse tipo de quebra devido serem projetados somente para reter pequenas partículas de resíduos metálicos.

Uma das maneiras de minimizar essas quebras seria aumentando a resistência dos componentes dentro da caixa de transmissão, verificando-se que em muitas das manutenções

o item que mais sofre o desgaste são rolamentos e arruelas de encosto das engrenagens, por esse motivo será feito um comparativo entre o desempenho de uma arruela fabricada em aço carbono tradicional e uma liga cerâmica, para tentar prolongar o tempo de vida útil da caixa de transmissão.

Segundo Ferrante(2002), o material cerâmico é muito resistente ao desgaste e excelente isolante térmico que também é muito útil em caixas de transmissão, pois evita a perda de energia em forma de calor, porém sua resistência a impactos é muito baixa o que só é possível diminuir os efeitos com a adição de elementos específicos para esse fim. Para o aditivo de novos elementos na liga cerâmica é necessário verificar as condições de trabalho e os esforços sofridos pela peça.

Uma vez que há a escolha de uma liga cerâmica para esse tipo de aplicação, deve-se verificar quais são as disponibilidades desse material no mercado.

1.1 Objetivo

O objetivo do presente trabalho é comprovar as reais vantagens da substituição do aço carbono por liga cerâmica em arruelas de encosto utilizadas em caixa de transmissão para evitar o desgaste das engrenagens, com simulação de condições de trabalho similares dentro da máquina.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Estruturas e ligações dos materiais cerâmicos, com análise microscópica dos arranjos e ligas. Comportamento dos elementos com cada tipo de ligação e comparação das ligas tradicionais com as ligas cerâmicas avançadas. Tabelas sobre a temperatura de fusão, características, caráter da ligação em cerâmica, estruturas cristalinas das cerâmicas, ocupação dos interstícios, raios iônicos e exercícios para a melhor concepção do conteúdo. O material busca um aprofundamento da análise no material cerâmico para a melhor escolha da liga no projeto. (CARAM, 2004).

Materiais cerâmicos em suas estruturas são diferentes daquelas presentes em outras classes de materiais porque são compostos por inorgânicos, dois e com muita frequência mais elementos químicos, em aplicações tecnológicas podem ser usadas em uma variedade de morfologia, cada um desses podem ser um monocrystal ou policristalino ou ainda amorfo e podem apresentar uma ou varias fases. (COELHO & TOFFOLI, 2013).

A atuação do engenheiro deve ser estendida ao maior campo possível de pesquisa visando o melhoramento do projeto, uma dessas extensões é a seleção de materiais que envolve uma gama de conhecimento técnicos cuja a amplitude dificilmente pode ser coberta por uma única categoria profissional. Essa atividade deve analisar as aplicações que o material estará sujeito e as variáveis que ele sofrerá para proporcionar o melhor material para o fim desejado, o conceito básico que permeia os procedimentos de seleção pode ser determinado “filosofia do compromisso”. Um exemplo clássico dessa filosofia é o conflito da resistência mecânica com a resistência á propagação de trincas. (FERRANTE, 2002).

Contribuir para um melhor controle da expansão térmica dos materiais cerâmicos através da identificação de todas as variáveis que afetam essa característica. Os fatores iniciais que afetam o coeficiente de dilatação térmica são relacionados em dois grandes grupos, condições de fabricação e composição de massa. Cabe salientar que os efeitos da composição de massa estão sujeitos as condições de fabricação, assim sendo optou-se por estudar primeiro o efeito das condições de processamento para poder interpretar o resultados obtidos nos estudos sobre os efeitos da composição de massa. Estudou-se os efeitos da pressão de compactação e máxima temperatura de queima sobre a expansão térmica de uma composição típica de revestimentos classificados pela norma ISO 13006-2/97, como BIII. (MARINO; BOSCHI, 1998).

Com o inicio do século XXI surgiram novas possibilidades de materiais e de cálculos para esses, cada tipo de material comporta uma propriedade especifica e que proporciona uma

característica ao material fabricado. As principais dificuldades encontradas para o uso desses materiais é que cada tipo de material requer cálculos diferenciados de acordo com suas ligações e estrutura, outra dificuldade é que as ferramentas utilizadas para análise desses materiais também são específicas não podendo ser usado ferramentas convencionais usadas em aço carbono. O objetivo do livro é possibilitar o leitor a analisar e projetar estruturas simples, engloba problemas com barras e vigas, fórmulas aproximativas visando as etapas iniciais de dimensionamento do projeto com exercícios para cada tipo de material. (MENDONÇA, 2005).

O presente livro tem o objetivo de auxiliar estudantes na escolha de materiais, aborda materiais cristalinos, amorfos e parcialmente cristalinos. As técnicas de análise micro estrutural também foram tratadas com maior detalhe, materiais são substâncias com propriedades que as tornam úteis em construção de máquinas. A classificação dos materiais se dá por três grupos principais: materiais metálicos, materiais cerâmicos e materiais polímeros. Os materiais metálicos normalmente são combinações de elementos metálicos, materiais cerâmicos são normalmente combinações de metais com elementos não metálicos, polímeros são constituídos de macromoléculas orgânicas, sintéticas ou naturais. (PADILHA, 2007).

Com a necessidade de desenvolvimento na área de engenharia e ciência dos materiais tem havido sensíveis mudanças nos procedimentos que visam introduzir a engenharia e a ciência dos materiais no dia a dia do estudante técnico do nível de graduação. O livro visa a incorporação de uma orientação de estudo dirigida ao estudante, com isso fica introdutório mais do que uma apresentação de conceitos organizados e relações úteis. São feitas também considerações sobre características estruturais a nível atômico e a nível eletrônico provendo uma base para compreensão das propriedades de metais monofásicos, polímeros e cerâmicos. Outras modificações relevantes incluem uma reorganização dos efeitos do tamanho de grão sobre as propriedades, cinética de recristalização no recozimento e no trabalho a quente. (VAN VLACK, 1984).

Os autores enfatizam que o nível do artigo é apenas introdutório. Embora o comportamento mecânico dos materiais cerâmicos seja, em diversos aspectos, superior ao de outros materiais, algumas características são negativas. Uma das razões porque os materiais cerâmicos não são empregados mais amplamente em materiais com fins estruturais é a fratura frágil, normalmente não apresentam deformação plástica apreciável, sua resistência ao impacto é reduzida, baixa tenacidade, é comum encontrar grandes variações da resistência a fratura entre corpos de prova ou peças de um mesmo lote e sofrem um fenômeno conhecido

como fadiga estática, que leva a diminuição de sua resistência a fratura com o tempo aplicação de carga. (ZANOTTO & MIGLIORE, 1991).

2.1 Propriedades dos materiais cerâmicos

Segundo Caram(2004), materiais cerâmicos são substâncias inorgânicas, não metálicas constituídas de elementos metálicos e não metálicos, suas propriedades variam de acordo com suas ligações químicas. Na indústria são classificadas em dois grupos, cerâmicas tradicionais e cerâmicas avançadas.

Os compostos básicos das cerâmicas tradicionais segundo Caram(2004) são:

- Argila: Al_2O_3 , SiO_2 , H_2O com outros óxidos (TiO_2 , Fe_2O_3 , MgO , CaO , Na_2O , K_2O);
- Sílica: SiO_2 ;
- Feldspato: $\text{K}_2\text{O}-\text{Al}_2\text{O}_3-6\text{SiO}_2$.

As cerâmicas avançadas possuem os seguintes compostos:

- Óxidos: Al_2O_3 ;
- Carbonetos: SiC ;
- Nitretos: Si_3N_4 .

Materiais cerâmicos, segundo M Ferrante(2002), a maioria são frágeis e exibem comportamento elástico até o ponto de fratura, e mesmo assim a resistência desses materiais a fratura (σ_f) é bem menor do que a resistência teórica (< 20 GPa), como mostra a tabela 2.1.

Tabela 1 – resistência mecânica de materiais cerâmicos e vidros

Material	Estrutura	Resistência (MPa)	
		Tração	Compressão
Al_2O_3	Policristal	206	31.000
MgO	Policristal	194	-
SiC	Policristal	171	1.050
Si_3N_4	Policristal	137	600
WC	Policristal	343	540
Cimento, porcelana	Semi-amorfo	4	687
Vidro comum	Amorfo	70	-
Vidro borossilicato	Fibras (10 μm diâm.)	3.730	-
Sílica	Fibras (10 μm diâm.)	13.800	-
Carbono	Wiskers (5 μm diâm.)	19.600	-

Fonte: Ferrante, 2002

Segundo Mendonça (2005), fibras cerâmicas são incapazes de suportar estados multiaxiais de tensões, apenas tensões tratativas na direção axial das fibras. Geralmente são usadas como reforço de matrizes metálicas e cerâmicas para utilizações que envolvem altas temperaturas e tolerâncias de dimensões justas.

2.2 Utilização dos materiais cerâmicos

Segundo Edgar e Angelo (1991) são varias as utilizações para materiais cerâmicos, devido sua alta resistência ao desgaste e a temperatura. Assim como o aço, não existe uma aplicação específica para esse material alguns dos exemplos mais usados são facas que devem possuir alta dureza, bom comportamento mecânico e flexibilidade devido sua flambagem. Naves espaciais onde o material cerâmico e bem empregado devido sua alta resistência a temperatura e rápida dissipação do calor, uma vez que aquecida em um forno a 1260°C pode-se toca-la com as mãos após 10 segundos, nenhum outro material suportaria a temperatura do retorno de uma nave a terra. Peças automotivas que exigem uma alta resistência ao atrito e a temperatura, como embreagens, disco de freio, arruelas de encosto e discos de transmissão automática. Revestimento em materiais elétricos que envolvem altas tensões e temperaturas, é recomendável o uso de fibras cerâmicas para diminuir o risco de danos no revestimento e acidentes elétricos, pois é um material não metálico. Revestimentos em fornos buscando o maior aproveitamento do calor gerado pelo forno a cerâmica se torna o material que tem o melhor custo beneficio para essa utilização, não se danifica com o tempo e não proporciona dificuldade para sua instalação. Peças de decoração porém as cerâmicas avançadas não entram nessa aplicação, pois seu custo é muito avançado e sua utilização não requer propriedades que o material possui, a cerâmica comum se torna o único material viável para essa aplicação. Os eletrodomésticos cada vez mais estão utilizando a cerâmica como matéria prima, principalmente os que trabalham em elevadas temperaturas, como ferros de passar roupas e pranchas de cabelo. O motor é uma das maquinas que possuem um atrito extremo devido seu contato ser direto e continuo, um revestimento de cilindro é formado por uma liga de ferro fundido que deve suportar um elevado atrito e uma temperatura de aproximadamente 110°C.

O aço carbono tem uma desvantagem considerável em motores a combustão interna, pois tem uma elevada dilatação em altas temperaturas elevando o atrito interno havendo também a perda de resistência do material e resistência mecânica. O material cerâmico não dilata em altas temperaturas e não perde resistência ao desgaste e resistência mecânica, essas vantagens estão sendo muito importante para melhorar o desempenho do motor.

2.3 Ligas cerâmicas

As ligas cerâmicas tem por finalidade dar aos materiais cerâmicos propriedades que eles não possuem como, resistência a impactos, resistência a pressão uma vez que a cerâmica quebra com facilidade devido sua estrutura cristalina, existem inúmeros elementos que podem adicionar características a cerâmica, segundo Coelho e Toffoli(2013) alguns dos elementos adicionados as ligas cerâmicas são:

- **Alumínio(Al):** O alumínio é um elemento utilizado com a finalidade de diminuir o intervalo de fusão nas ligas de Cromo-Níquel. Funciona como um elemento que proporciona dureza.
- **Berílio(Be):** O berílio também diminui o intervalo de fusão também elevando a dureza, facilita a fundição e melhora os resultados de polimento. Também é um elemento endurecedor e controla a formação de óxidos. É importante ressaltar que é um elemento bastante nocivo para a saúde.
- **Boro(B):** O boro é um elemento desoxidante. Nas ligas de Cromo-Níquel também eleva a dureza reduzindo a tensão superficial das ligas fundidas para melhorar o comportamento durante a soldagem. Ligas de Cromo-Níquel, isentas de berílio, que contém boro, fluem durante a fundição, diferente das ligas de Cromo-Níquel-Berílio, que não escoam. O boro reduz a ductilidade e aumenta a dureza da liga.
- **Cromo(Cr):** Também é um elemento endurecedor, que por sua inércia química, contribui para a resistência à corrosão das ligas à base de Níquel Cobalto.
- **Cobalto(Co):** O cobalto é uma alternativa às ligas de Níquel, porem esse elemento dificulta o acabamento. O Cobalto aparece também em algumas ligas de alto conteúdo de Paládio buscando aumentar o coeficiente de expansão térmica e para melhorar as características dinâmicas da liga.
- **Cobre(Cu):** O Cobre além de endurecer ainda melhora a dinâmica de uma liga. Diminui o intervalo de fusão e interagindo com a Platina, Paládio, Prata e ouro, provocando um melhor resultado ao tratamento térmico nas ligas baseadas nestes metais. O Cobre também influencia na formação de óxido para a união de cerâmica e metal que é muito importante, diminui ligeiramente a densidade de uma liga deixando o material mais leve, realçando a passividade química nas ligas com alto conteúdo de Paládio.

- **Gálio(Ga):** O Gálio é utilizado em ligas livres de Prata com a compensação da queda no coeficiente de expansão térmica devido à ausência da Prata.
- **Ouro(Au):** O Ouro é considerado um metal nobre e que possui um nível elevado de resistência à corrosão. O ouro facilita o trabalho e o acabamento, algumas das contra indicações do ouro é o seu alto custo e o aumento da densidade da liga provocando um aumento no peso do material. Sem dúvida, define à liga uma cor amarela, altamente estética, se estiver em proporção suficiente e dependendo da composição da liga. Esta coloração amarela se altera frequentemente por uma adição de metais brancos, tais como o Paládio e a Prata.

Segundo Van Vlack (1984) os materiais cerâmicos possuem fases que são compostos de elementos metálicos e não metálicos, alguns destes compostos variando do Al_2O_3 até os vidros inorgânicos, entrando nos produtos de argila e chegando aos materiais mais sofisticados piezelétricos, tais como o $Pb(Zr,Ti)O_3$.

Segundo Caram (2004) os elementos que formam o material cerâmico possuem temperaturas de fusão muito elevada, o que comporta ao material uma elevada resistência a temperaturas.

Tabela 2 – temperatura de fusão dos elementos da cerâmica.

COMPOSTO	T _{FUSÃO} (°C)	COMPOSTO	T _{FUSÃO} (°C)
HfC	4.150	B ₄ C	2.450
TiC	3.120	AL ₂ O ₃	2.050
WC	2.850	SiO ₂	1.715
MgO	2.798	Si ₃ N ₄	1.900
SiC	2.500	TiO ₂	1.605

Fonte: Caram, 2004.

2.4 Vantagens e desvantagens da substituição do aço carbono por cerâmica

O material cerâmico possui vantagens significativas quando o assunto é desempenho em aplicações que necessitam de resistência a desgaste abrasivo e corrosivo, ambientes com variações térmicas ou temperaturas elevadas contínuas e ainda na oxidação em contato com líquidos. Porém o custo do material cerâmico é mais elevado o que deve ser compensado com desempenho.

Quando se analisa um material para implantar em um projeto deve-se verificar cada fator que possa viabilizar ou inviabilizar o seu uso, um dos fatores importantes que deve obter

um respaldo é o custo do material. Segundo Padilha(2007) a cerâmica avançada tem um custo de 27.500 US\$/toneladas em quanto o aço doce sem nenhum tipo de tratamento custa 350 US\$/tonelada. Uma variável que implica no custo benefício do aço é o tipo de tratamento que ele deverá sofrer para obter uma resistência ao desgaste abrasivo que suporte a aplicação solicitada.

Apesar de o aço carbono oferecer um custo de fabricação mais barato, a fragilidade em contato com a água devido sua oxidação e seu coeficiente de dilatação térmica ser muito elevado se torna um empecilho para utilização em máquinas que trabalham com umidade, alta temperatura e medidas justas. Segundo Marino e Boschi (1998) para cada tipo de liga cerâmica existe um coeficiente de dilatação térmica tendo como variável os elementos que foram utilizados e a quantidade de cada elemento.

Para substituição de peças fabricadas em aço carbono por uma liga cerâmica deve ser analisado diversos fatores envolvendo a aplicação da peça, um fator muito importante é o tempo que a peça fabricada em aço carbono suporta antes que se danifique e o tempo de trabalho projetado para a máquina antes da quebra. Caixas de transmissão são máquinas projetadas para terem um tempo de trabalho elevado uma vez que tem um alto custo de manutenção quando há a quebra. Os desgastes mais comuns são de rolamentos, engrenagens, arruelas de encosto e base de rolamento no eixo observando-se que o desgaste nas arruelas de encosto leva a danos em outros elementos da máquina a utilização de um material que suporte o trabalho desenvolvendo o mínimo de desgaste possível eleva o tempo de vida da máquina como um todo.

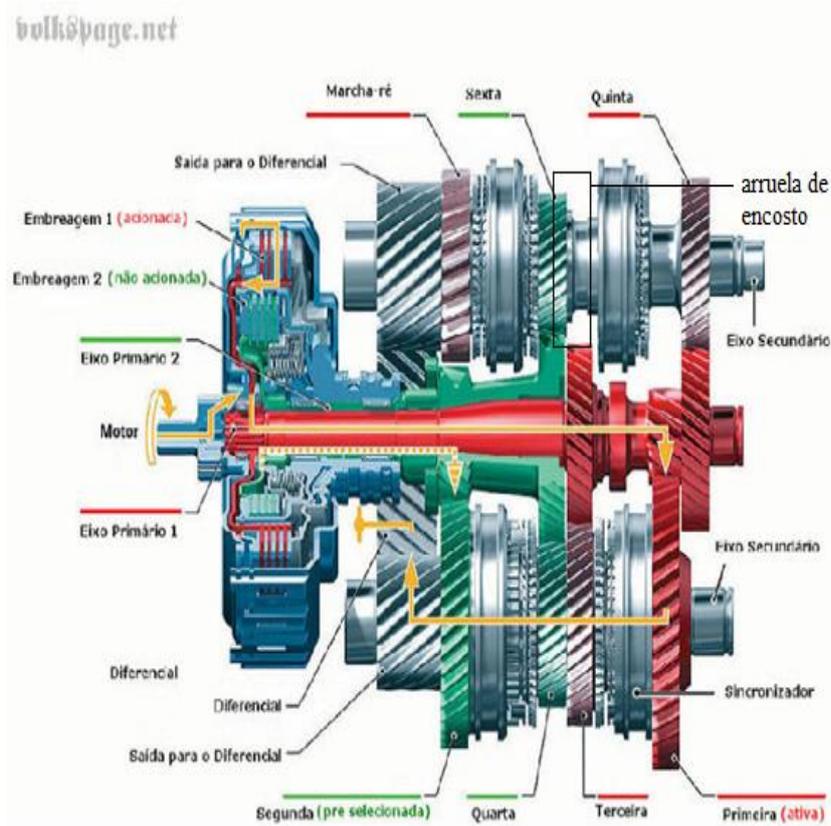
As arruelas de folga possuem a função de fazer com que o conjunto de engrenagens do eixo trabalhe com uma determinada folga entre elas, as engrenagens que ficam entre a arruela giram juntas e na mesma rotação do eixo fazendo com que não haja um desgaste abrasivo, porém como as engrenagens secundárias giram em rotações diferentes geram pequenos impactos nas arruelas tornando necessário o uso de elementos na liga cerâmica que produzam também resistência mecânica no material.

Arruelas de desgaste tem a função de separar peças giratórias de outras ou de peças fixas, geralmente se localizam em meio a duas engrenagens que giram em rotações ou sentidos diferentes e engrenagens da base do eixo ou da carcaça. Elas devem absorver esse desgaste para não danificar as peças que efetuam o trabalho, pois a substituição da peça torna muito mais caro que a substituição da arruela, por isso é viável o aumento da resistência ao desgaste da arruela porém não mais do que as peças que estão em contato direto com ela.

2.5 Caixa de transmissão

Caixa de câmbio ou caixa de velocidade foi desenvolvida com o propósito de alterar a rotação fornecida pelo motor e destinada ao diferencial e conseqüentemente as rodas, após a rotação promovida pelo motor iniciar o movimento no eixo primário como ilustrado na figura 1 indica como o movimento se propaga entre as engrenagens e como elas reagem ao movimento.

Cada par de engrenagens proporciona uma rotação e torque diferenciado a arvore de saída, no eixo primário a engrenagem da 1º marcha deve ser a que possui menor diâmetro e no eixo secundário deve ser a que possui o maior diâmetro.



Fonte: eletricabasicsa.xpg.uou.com.br

FIGURA 1 – imagem detalhada da caixa de transmissão

A figura acima ilustra todos os componentes presentes em uma caixa de transmissão manual, as arruelas em análise estão localizadas entre engrenagens rotativas e eixos uma vez que elas somente irão girar na mesma velocidade do eixo quando estiver engrenada pela luva

de acoplamento. Por esse motivo é necessário que haja um intermédio entre os dois elementos para evitar esse desgaste, o projeto busca indicar o melhor material para esse elemento.

A figura 2 mostra uma ilustração da arruela de cerâmica, utilizada para receber o desgaste provocado pela rotação da engrenagem.



Fonte: <http://portuguese.alibaba.com/>

FIGURA2:arruela de cerâmica

3 MATERIAIS E METODOS

O projeto utiliza um motor de 1.5 hp com rotação de 1760 rpm para simular a rotação fornecida pelo motor, terá uma rotação contínua e com tempo de 24 horas para cada material sendo utilizado um óleo lubrificante próprio para redutor reproduzindo o desgaste natural da máquina na arruela. Também é utilizado um rugosímetro para medir o desgaste produzido na superfície das duas arruelas.

As arruelas encontram-se fixas em um suporte parafusado na carcaça do redutor que não permitirá que ela se movimente, na ponta do eixo será acoplado uma arruela de aço carbono utilizada em caixa de transmissão pressionada por uma mola para simular um esforço excessivo que provoca o desgaste na arruela de aço carbono e de cerâmica.



Fonte: própria do autor

FIGURA3: método de desgaste

3.1 Dados iniciais do projeto

- Diâmetro da arruela de cerâmica: 10,055 mm;
- Diâmetro da arruela de aço carbono: 10,065 mm;
- Diâmetro da arruela de desgaste: 7,383 mm;
- Rugosidade da arruela de cerâmica: 0,010 μm ;
- Rugosidade da arruela de aço carbono: 0,011 μm ;
- Rugosidade da arruela de desgaste: 0,365 μm ;

3.2 Dados finais do projeto

- Diâmetro da arruela de cerâmica: 10,055 mm;
- Diâmetro da arruela de aço carbono: 10,065 mm;
- Diâmetro da arruela de desgaste: 7,383 mm;
- Rugosidade da arruela de cerâmica: 0,011 μm ;
- Rugosidade da arruela de aço carbono: 0,027 μm ;
- Rugosidade da arruela de desgaste: 0,385 μm ;

O aumento relativamente alto da rugosidade na arruela de aço carbono revela que houve um aumento de 145% na peça, enquanto na arruela de cerâmica houve um aumento de 10% na rugosidade demonstrando sua capacidade de resistência ao desgaste em condições extremas de trabalho.

3.3 Termografia

A termografia revela por meio de fotos térmicas da temperatura de trabalho qual o nível de atrito que está sendo produzido durante o processo, inicialmente o equipamento e o óleo estão a temperatura ambiente de 36°C, após as análises os dados mostram que a arruela de cerâmica em desgaste produz menos calor que a arruela de aço carbono demonstrando que seu atrito é menor e conseqüentemente o desgaste também se torna menor.

REFERÊNCIAS

CARAM, R. **Estruturas e propriedades dos materiais, materiais cerâmicos**. São Paulo: Unicamp, 2004.

COELHO, A.; TOFOLLI, S. **Estrutura cristalina dos materiais cerâmicos**. São Paulo: PMT-EPUSP, 2013.

FERRANTE, M. **Seleção de materiais. 2º Ed.** São Paulo: Edufscar, 2002.

MARINO, L.; BOSCHI, A. **A expansão térmica de materiais cerâmicos parte II: efeito das condições de fabricação**. São Carlos: Ufscar, 1998.

MENDONÇA, P. **Materiais compostos e estruturas sanduíche**. São Paulo: Manole, 2005.

PADILHA, A. **Materiais de engenharia**. São Paulo: Hemus, 2007.

VAN VLACK, L. **Princípios de ciência e tecnologia dos materiais. 4º ed.** Rio de Janeiro: Elsevier, 1984.

ZANOTTO, E & MIGLIORE, A. **propriedades mecânicas de materiais cerâmicos: uma introdução**. São Carlos: Ufscar, 1991.