

CAPÍTULO I - ANÁLISE DA RECUPERAÇÃO DE DISCO DE FREIO PARA VEÍCULOS DE PASSEIO ATRAVÉS DO PROCESSO DE USINAGEM

ALLAN SADAO KIKUCHI¹
ADRIANA GISELI LEITE CARVALHO²
FLAVIO ANTUNES FERREIRA³

Resumo: Este trabalho aborda uma análise do disco de freio de veículos modelo passeio, após a recuperação através do processo de usinagem. Baseando-se em análises de propriedades importantes que envolvem a usinagem do componente, bem como a eficiência do sistema de frenagem e conseqüentemente a segurança do mesmo, tem-se por objetivo a verificação dos parâmetros do disco de freio antes e após o processo de recuperação. A metodologia utilizada, testes práticos e pesquisas bibliográficas concentradas em um sistema de freio a disco e todos os processos de fabricação. Como resultado identificou-se que os dados obtidos nas análises do disco recuperado chegaram bem próximos aos do disco novo (sem uso) e que alguns fatores podem influenciar em um possível desgaste prematuro das pastilhas, mas que não interfere efetivamente em seu funcionamento. Com isso verifica-se que é possível realizar esse procedimento de recuperação, e que em muitos casos é bastante viável, pelo seu custo ser bem mais baixo comparado com a substituição por um componente novo.

Palavras-chave: Sistema de freio. Processo de usinagem. Recuperação. Disco de freio.

Abstract: This paper discusses an analysis of recovery disc brake model vehicle walk through machining process. Based on analyses of important properties that involve component machining, as well as the braking system efficiency and consequently the safety, has as objective verification of brake disk parameters before and after the recovery process. The methodology used

1 Aluno do curso de Tecnologia em Fabricação Mecânica da Faculdade de Tecnologia SENAI Londrina; allan_kikuchi@hotmail.com

2 Mestre em Engenharia Mecânica. Docente da Faculdade de Tecnologia SENAI de Londrina; adriana.carvalho@sistemafiep.org.br

³ Mestrando em Engenharia Mecânica. Docente da Faculdade de Tecnologia SENAI de Londrina; flavio.ferreira@sistemafiep.org.br

practice tests and bibliographic research concentrated in disc brake system and all manufacturing processes. As a result identified that the data obtained in the analysis of the recovered disk came very close to the new disc (no use) and that some factors may influence in a possible premature wear of the brake pads, but that will not interfere with the effectiveness of your operation. With this it turns out that it is possible to perform this procedure and that in many cases is quite feasible, at your cost be lower compared with the replacement with a new component.

Keywords: Brake System. Machining process. Recovery. Brake disc.

1. INTRODUÇÃO

A indústria automotiva é uma das cadeias produtivas que tem maior produção em escala internacional. Onde o Brasil obteve um grande crescimento, isso devido a sua competência tecnológica e pelo seu potencial de mercado. O que vem sendo ameaçado pela indústria chinesa, coreana e europeia, obrigando o país a pensar em estratégias e ações, que coloque o setor automotivo em condições de se impor no mercado internacional.

É possível perceber o custo elevado da manutenção de veículos, a constante substituição de peças é em muitos casos necessária e recomendada pelos fabricantes. Há casos específicos em que ocorre a restauração do elemento, principalmente nos dias atuais em que a aquisição financeira de um modo geral está baixa, muitos optam por este tipo de serviço por ter um custo mais baixo do que se fosse fazer a troca por um componente novo.

Recuperar um componente envolve algumas etapas de fabricação, e um dos componentes do automóvel que é passível desse procedimento é o disco de freio. Onde devido ao atrito, variações de temperaturas e agentes externos, o mesmo perde suas propriedades de fabricação, que é restaurada através do processo de usinagem.

Tratando do disco de freio a forma de fazer a recuperação é através do processo de usinagem chamado de torneamento, podendo citar como exemplo os motores que ao fim de sua vida útil passa por um processo de restauração, em que as peças condenadas são substituídas por componentes novos, e de acordo com projeto de engenharia alguns elementos são usados novamente para receber tais peças.

A utilização do sistema de freios, veio através do conceito de que, tudo o que se move tem que parar. São dispositivos que foram desenvolvidos, para manter o controle do movimento de rotação de um equipamento, uma

máquina ou de uma roda de um veículo, fazendo com que diminua ou mesmo pare esse movimento, como também pode impedir que esse movimento seja iniciado novamente. Os freios efetuam esse controle através da transformação da energia cinética, imprimida através do movimento do veículo em energia térmica, que é dissipada na forma de calor.

Entre outras, essa necessidade de dissipar o calor, faz com que o sistema de freio a dis-co, seja o mais utilizado atualmente, tanto em carros, caminhões e locomotivas, como também em aviões. Isso devido a suas características de engenharia e propriedades dos materiais em-pregados, que lhes permitem a eficiência do sistema.

O sistema de freios consiste em um dispositivo hidráulico, que é acionado pelo pedal de freio do veículo, fazendo com que os materiais de atrito, disco e pastilha, tambor e lona, entrem em contato causando a fricção entre eles, através de uma pressão na linha de frenagem promovida pelo sistema hidráulico. Tem como objetivo diminuir a velocidade do veículo, parar ou mantê-lo parado.

No caso dos sistemas de freios, entende-se que estes são itens classificados como de segurança, e que devem passar por uma avaliação minuciosa para que possa ser realizada a re-cuperação no disco de freio, seguindo limites de espessura mínima para que o mesmo seja efetuado.

Fabricantes não recomendam o uso da recuperação do disco e sim fazer a substituição do conjunto, entretanto em muitos casos se faz apenas a troca de pastilha e a recuperação do disco de freio por meio do torneamento, para retirar ondulações, empenamentos, ranhuras ou trincas, deixa-lo novamente alinhado para que haja uma maior área de contato entre os componentes ocasionando uma boa frenagem.

Nota-se o preconceito da utilização de uma peça recondicionada efetuando o trabalho que deveria ser feito por um componente sem uso, o qual seria substituído no conjunto. Nos casos de discos de freios, uma análise pode dar a real informação de como atuaria uma peça recondicionada na utilização em veículos, evitando assim a reposição por uma peça nova.

Atrelado a uma maximização da vida útil do elemento, verifica-se a minimização de peças para descarte, o que impacta diretamente em menos energia para fundição de peças su-cateadas.

Sabendo-se que por se tratar de um item de segurança e fazer parte de um conjunto, disco e pastilha de freio que atuam juntos, mas que tem um desgaste diferente um do outro, é importante refletir sobre vários aspectos que envolve uma peça recondicionada, tais como: quais as variações das propriedades de um componente recuperado por meio do processo de

usinagem? Os parâmetros de rugosidade, dureza e empenamento chegariam próximos dos parâmetros de um componente novo? No caso do disco de freio de um veículo de passeio, de-pois de recuperado continuaria atendendo a padrões de segurança, como de espessura mínima?

O presente projeto terá como base de seu recorte de pesquisa, a análise de recuperação de disco de freio para veículos de passeio através do processo de usinagem, verificando o di-mensionamento do disco antes e após o processo, assim como a sua rugosidade, empenamento, dureza e trincas superficiais.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Sistema de freio

Segundo Silveira (2010), o sistema de freios é uma das partes vitais e mais importantes de um veículo, desse modo ele é projetado para se obter o máximo de rendimento e que exija o mínimo de manutenção. Com o dimensionamento correto, ajustado e conservado, irá garantir uma frenagem segura ao motorista nas mais diversas condições de trafego, se deparando com uma emergência ou mesmo para obedecer um sinal de transito. Deve estar capacitado para que o veículo pare com a menor distancia possível em qualquer circunstância de uso, seja ela a velocidade exercida, tipo de pista ou piso, também deve ser extremamente confiável, por se tratar de um componente de segurança fundamental não pode ser prejudicado por elementos externos como a variação de temperatura, água e poeira. Seu rendimento deve se manter alto mesmo com o desgaste de seus componentes e ter o mínimo de regulagens e manutenções.

De acordo com Brezolin (2007), em virtude de sua influência direta na segurança veicular, o sistema de freio possui uma grande importância em qualquer veículo, o que o torna no projeto um item crítico. Entre algumas formas de energia, os sistemas de freio são dispositivos que convertem energia cinética em energia térmica, e sua quantidade é proporcional ao movimento exercido pelo veículo. O propósito dos sistemas de freio na prática é manter o veículo parado, reduzir sua velocidade ou se manter em uma determinada velocidade, conforme a situação em que o veículo irá impor sua necessidade. O sistema hidráulico é gerada uma pressão através de fluido e o pneumático por ar.

Segundo Casaril (2013), o fenômeno de frenagem do veículo se dá através do contato entre a pastilha, fixa à estrutura do carro, e o disco, que

gira com a roda do veículo. Quando o pedal de freio é acionado, gerando pressão no sistema hidráulico ou pneumático do veículo, a pastilha é pressionada contra o disco. Essa interface tem um nível de atrito elevado, provocando um torque de frenagem contrário ao movimento do veículo, fazendo com que o mesmo diminua sua velocidade ou aceleração.

Segundo o manual Nakata para sistema de freios, o sistema de frenagem utilizando disco é o sistema mais utilizado nos dias atuais, além de automóveis e motocicletas, podemos ainda encontrar esse sistema em aviões e locomotivas. Outro sistema é o de freio a tambor, que por ter um menor desempenho é utilizado nas rodas traseiras de veículos leves, visto que a necessidade de uma melhor frenagem se encontra nas rodas dianteiras e também pelo seu baixo custo comparado ao sistema de disco e pastilha.

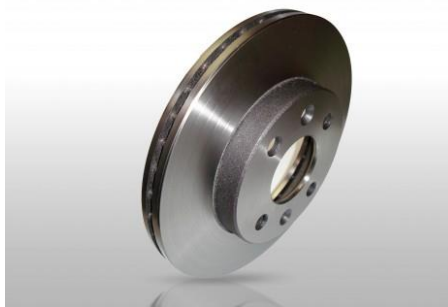
Além de se tratar de um item de segurança o sistema de freio é de alta importância e deve se ter bastante cuidado e atenção no projeto do veículo, tem como objetivo diminuir a velocidade, parar ou manter o veículo parado.

2.1.1 Disco

Segundo Alves (2015), o disco é fixado a uma roda que é presa a um eixo, de modo que sua velocidade angular é igual a deste elemento rotativo, uma força de resistência ao movimento surge quando ocorre o contato com as pastilhas, a força de atrito. A força de atrito gerada pelo contato da pastilha com o disco cria um torque contrário ao sentido de rotação. Este torque é sentido por todo eixo rotativo onde o disco está acoplado, diminuindo sua velocidade, e consequentemente do veículo. Esses elementos podem ter geometrias e tamanhos diferentes, suprimindo a necessidade de cada projeto, rasgos e furos podem ser feitos para promover a descontaminação do mesmo durante seu uso, como também geometrias para auxiliar a dissipação de calor para o ambiente.

Os discos de freio podem ser fabricados de metais, como liga de aço, ferro fundido e também de materiais compósitos e cerâmicos, se leva em conta a escolha deste material por diversos fatores, como o seu custo, peso, dissipação de calor entre outros. De acordo com Eriksson (2002), em veículos que não demandam tanto do sistema de frenagem, é mais comumente feito em ferro fundido, por apresentar ótimas propriedades para dissipação térmica, resistência mecânica suficiente, satisfatória resistência ao desgaste, fácil fabricação em grande escala e preço acessível. A figura 1 mostra o disco de freio que é muito utilizado nos veículos atuais, fabricado em ferro fundido cinzento e do tipo ventilado.

Figura1-Disco de freio



Fonte: Infomotor

Atualmente o disco de freio feito de ferro fundido cinzento é o mais utilizado nos veículos, por atender todos os requisitos necessários para uma para que se obtenha uma alta eficiência e que consequentemente irá aumentar a segurança nos sistemas de frenagens veiculares.

2.1.2 Pastilha

De acordo com Alves (2015), as pastilhas de freio são projetadas para se obter uma elevada fricção no contato com os discos, para que transforme de forma rápida a energia cinética em energia térmica, se a taxa de transformação for alta a eficiência deste sistema de freio também será. A base da pastilha de freio é feita com aço de elevada resistência mecânica, e os chanfros presentes nos materiais de atrito são para preservar o conforto quanto ao acionamento e ruído, conforme mostra a figura 2.

Figura 2-Pastilha de freio



Fonte: Barra freios

Atualmente as pastilhas são feitas de aço, cerâmica, vidro picado, fibras minerais, aramida, celulose, dentre outros. Sua escolha deve levar em conta a longevidade do material, níveis de ruído e seu poder de fricção, necessitam ser a prova d água, sua eficiência de frenagem não pode ser afetada de forma considerável quando submetidas a condições em que a água esteja presente, esse é um fator de grande importância, sendo que os veículos que as utilizam estão sujeitos as mais diversas condições de uso. Segundo Eriksson (2002), o processo de fabricação é geralmente a compactação a quente, e são utilizados de 10 a 20 componentes diferentes, o quadro 01 demonstra quais são estes componentes.

Quadro 1-Componentes e suas funções

Componente	Função
Aglutinante	Seu papel é manter a estrutura unida formando uma matriz termicamente estável. Geralmente são usadas resinas fenólicas termofixas. A adição de borracha permite um maior umedecimento da matriz
Materiais estruturais	São responsáveis pela resistência mecânica. São usados carbono, aramida (Kevlar®), metais, vidro picado
Enchimento	Traz uma facilidade para a confecção das pastilhas e preenche o espaço sem altos custos. Mica, vermiculita ou sulfato de bário são usados como enchimento
Aditivos para fricção	Alguns materiais são adicionados para aumentar o coeficiente de atrito entre as superfícies da pastilha e do disco, como por exemplo, partículas abrasivas (silício e alumínio). Lubrificantes sólidos como o grafite são utilizados para promover uma estabilidade do coeficiente de atrito em elevadas temperaturas de operação. O silício adicionado para aumentar o coeficiente de atrito ainda promove uma superfície de contato mais aderente, removendo óxidos e outros filmes da superfície do disco.

Fonte: Eriksson (2002)

Cada material empregado na fabricação de pastilhas de freio, tem por função garantir a boa eficiência do componente no sistema.

2.2 Sistema de freio a disco

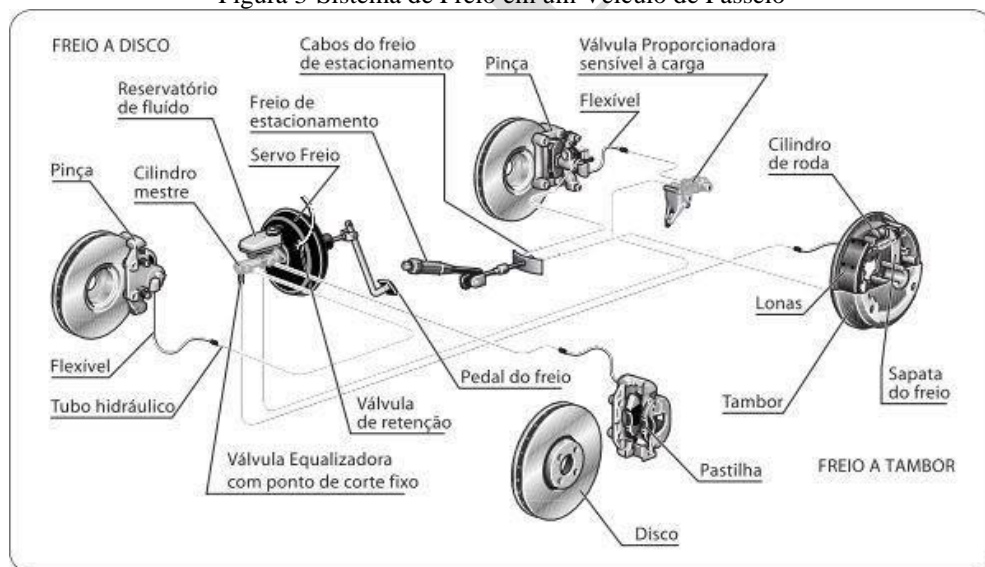
Segundo Macnaughton (1998) o sistema de freio utilizado em veículos nos dias atuais começou a ser usado em 1951, na corrida das 500 milhas de Indianápolis, nos EUA, pelos irmãos Conze. Com o passar do tempo e com o surgimento de novas tecnologias esse sistema vem sendo aprimorado, e devido a essa evolução freios mais confiáveis e eficazes são encontrados nos carros atualmente.

O manual Nakata para sistemas de freio diz que o freio a disco é o sistema mais utilizado atualmente. Além de automóveis e caminhões, podemos encontra-lo também em aviões e locomotivas.

De acordo com Orthwein (2004) o aço inoxidável, ferro fundido cinzento e o aço – carbono estão entre os materiais que são mais utilizados para a fabricação de discos de freio. Novos tipos de materiais estão sendo usados na indústria automotiva, em evidencia estão os discos fabricados em alumínio, cerâmica e o carbono, que atendem a solicitações de automóveis de alto desempenho.

Abaixo, a Figura 3 irá mostrar o sistema de freio de um veículo modelo passeio de uma forma geral, onde está representado o sistema de freio a tambor nas rodas traseiras, que não é o foco deste trabalho. E temos o sistema de freio a disco nas rodas dianteiras.

Figura 3-Sistema de Freio em um Veículo de Passeio



Fonte: Nakata

O freio a disco consiste basicamente do contato das pastilhas no disco, as pastilhas são pressionadas contra o disco por um embolo que está ligado a pinça de freio, que é acionada por um sistema hidráulico que está associado diretamente ao pedal de freio, já o disco é aparafusado no cubo da roda e a roda fixada ao disco.

O sistema conhecido como misto é composto por freio a disco nas rodas dianteiras e freio a tambor nas rodas traseiras, este conjunto é o mais comumente utilizado nos veículos de passeio. Também existem os veículos que são fabricados com freio a disco nas quatro rodas e isso está ligado diretamente a potência de cada veículo.

Usualmente falando percebe-se que a troca se dá em média de dois em alguns casos até três jogos de pastilhas a cada troca de disco de freio, por isso este método de usinagem nesse componente é muito utilizado nas oficinas mecânicas.

Mas não somente por isso é feito esse procedimento, em muitos casos discos com pouco uso e ainda considerados novos sofrem eventuais avarias como empenamento, por exemplo, seria uma delas, em que o mesmo apresenta ondulações não proporcionando uma boa área de contato entre o conjunto e conseqüentemente o sistema de frenagem com baixo rendimento e também ocasionando vibrações no pedal de freio.

2.3 Ferro fundido cinzento

De acordo com Hect et al (1996), atualmente o ferro fundido cinzento perlítico com grafita lamelar é o material mais tradicional, assim como o mais utilizado para fabricação de discos e tambores de freio para veículos. Sua principal vantagem é a alta condutividade térmica, afirmada pela estrutura continuada da grafita, dissipando calor com eficácia.

Os materiais indicados para a produção de discos de freio são os ferros fundidos, porque além de ter uma produção de baixo custo, possuem uma condutividade térmica excelente, o que ajuda a dissipar o calor gerado durante a frenagem que é proveniente da fricção da pastilha com o disco de freio, e a capacidade de absorver vibrações, características essenciais para este tipo de componente.

Segundo Serbino (2005), o ferro fundido cinzento é um dos materiais que possui melhores características de fundição e apresenta uma das menores temperaturas de fusão dentre as ligas ferrosas. Sua contratura na passagem líquida para sólido é pequena, beneficiando a aquisição de peças sem defeitos

internos. Para grande parte das aplicações pode ser utilizado no estado bruto de solidificação.

Vários materiais seriam capazes de atender a solicitação. Mas por manter melhor estabilidade de comportamento, facilidade produtiva e custo de matéria prima relativamente baixo quando comparado aos outros, faz com que o ferro fundido seja um material muito utilizado na fabricação de freios veiculares.

2.4 Processo de usinagem

De acordo com o manual técnico Frasle para linha leve, as superfícies de atrito dos discos de freio atuam diretamente sobre a vida útil das pastilhas. Trincas, fissuras térmicas e sulcos devem ser removidos por usinagem dessas superfícies toda vez que forem sensíveis ao tato. Por outro lado, os discos de freio só devem ser usinados até o limite de segurança recomendado pelo fabricante. Recomenda-se a substituição dos mesmos toda vez que a espessura real da peça for igual ou inferior à dimensão gravada no próprio disco.

Todas imperfeições encontradas nos discos de freio ocasionadas por diversos fatores, devem ser retiradas pelo processo da usinagem chamado de torneamento, mas somente até o seu limite de espessura.

Segundo Chiaverini (1986), o torneamento é uma operação de qual o sólido indefinido gira ao redor do eixo do torno que realiza o trabalho de usinagem, no mesmo tempo em que uma ferramenta de corte retira o material perifericamente, para transformá-lo em uma peça bem definida, tanto em relação as dimensões quanto na sua forma.

Como torneamento entende-se o processo mecânico de usinagem para geração de perfis cilíndricos. A peça gira em torno do eixo de rotação da máquina, enquanto uma ferramenta monocortante avança, arrancando material, no sentido de formar sua superfície. (VENTURA,2008)

O torneamento é um processo da usinagem que consegue eliminar todas as irregularidades encontradas na peça, com alta precisão e um ótimo acabamento.

2.5 Principais problemas em disco de freio

De acordo com Lombriller (2002), o uso contínuo dos veículos resultam em tensões cíclicas, que podem ocasionar fadiga, alastrando-se trincas no disco de freio, que poderá resultar na quebra do mesmo.

Segundo Maluf (2007), diversos componentes utilizados em sistemas de freio de veículos automotivos, como os discos, estão sujeitos a alterações de temperatura durante seu uso. O gradiente térmico induzido nas várias regiões da peça durante a frenagem pode fazer com que ocorra tensões internas, e a repetição destes ciclos térmicos pode ocasionar a nucleação e a propagação de trincas por fadiga.

Baseado nas ideias de Brezolin (2007), a geração de trincas térmicas está ligada diretamente à característica estrutural de rigidez dos materiais de atrito que, adicionada a deformações e fluxos de calor não uniformes dos discos de freio, fazem com que as trincas térmicas apareçam na superfície de atrito dos discos de freio de veículos comerciais.

As trincas superficiais são decorrentes do atrito entre materiais com estrutura rígida que ocasionam uma alta temperatura, e por haver deformações nos elementos, esse fluxo de calor se encontra de maneira variada, onde nas partes com uma superfície de contato maior a temperatura gerada é mais alta e essa não uniformidade irá favorecer no aparecimento de trincas nos discos de freio.

2.6 Ensaio de materiais

2.6.1 Instrumentos de medição

Segundo o Vocabulário Internacional de Termos Fundamentais e Gerais de Metrologia – VIM (2000), a metrologia pode ser definida como a ciência da medição.

A metrologia admite avaliar a qualidade e determinar a quantidade de um certo elemento, matéria ou substância, determina a sua grandeza, de uma forma mais precisa atribuir-lhe um valor. A grandeza determina o que está sendo medindo, estando diretamente relacionada com a unidade estreitamente associada com a variável física.

Segundo o Guia para a Expressão da Incerteza da Medição (1998), o objetivo de uma medição é determinar o valor de uma de uma grandeza específica a ser medida, começando com a especificação apropriada do método de medição e de seu procedimento.

Sistema Internacional de Unidades (SI), é o sistema de unidades de medidas mais usado atualmente. O quadro 2 mostra suas grandezas.

Quadro 2- Grandezas e suas unidades

Grandeza	Unidades	
	Nome	Símbolo
Comprimento	Metro	m
Massa	Quilograma	kg
Tempo	Segundo	s
Intensidade de corrente elétrica	<i>Ampère</i>	A
Temperatura	Kelvin	K
Quantidade de matéria	Mol	mol
Intensidade luminosa	Candela	cd

Fonte: Adaptado Vim (2000)

Segundo o VIM (2000), o instrumento de medição é o dispositivo empregado para a prática de uma medição, sozinho ou em conjunto com dispositivo (s) complementar (es), fornecendo informação a respeito do valor físico do variável objeto da medição. Os instrumentos podem ser classificados pelas suas características e pela sua aplicação.

O instrumento de medição digital, é o que sua medição fornece um sinal de saída ou uma indicação em uma escala quantizada, ou seja, na forma digital.

2.6.2 Análise da rugosidade superficial

A rugosidade de uma superfície é composta de irregularidades finas ou de erros micro geométricos resultantes de ação inerente ao processo de corte (marcas de avanço, aresta postiça de corte, desgaste da ferramenta etc.). (Machado et al.,2011, pág. 299)

Segundo Norma NBR ISO 4287/2002 a definição de Rugosidade é o conjunto de desvios micro geométricos, caracterizado pelas pequenas saliências e reentrâncias presentes em uma superfície.

Segundo Camargo (2002), uma superfície perfeita que não tenha falhas de forma ou aspecto da superfície secundária e de acabamento que seriam falhas de maior geometria, ou de menor geometria como marcas de fabricação, na realidade não existem são apenas uma referência. As rugosidades podem ser causadas por vibrações e flexões da ferramenta ou devido à força de usinagem, temperatura de corte ou a erros de fixação da peça ou ferramenta. (Machado *et al.*,2011, pág. 298)

De acordo com Calil e Boehs (2004), a superfície de uma peça pode atingir consideravelmente diversas propriedades como resistência mecânica, fluxo de fluidos, fadiga, transmissão de calor e desgaste.

De acordo com Batista (2006), depois dos processos de usinagem, obtém-se uma superfície atual que pode ser medida e avaliada com relação com a superfície ideal. Se passar-se um plano perpendicular à superfície atual, tem-se o perfil atual da peça usinada. Deste perfil atual, depois de medido e filtrado para tornar mínimo os erros de maior geometria, se adquire o perfil de rugosidade.

De acordo com Calil e Boehs (2004), a superfície de uma peça pode atingir consideravelmente diversas propriedades como resistência mecânica, fluxo de fluidos, fadiga, transmissão de calor e desgaste.

A rugosidade é proveniente de pequenas irregularidades formadas pelo processo de corte em que a peça foi submetida, e podem ser causadas por erros gerados no procedimento do mesmo.

2.6.3 Ensaio de dureza

Segundo Maneiro (2006), um dos ensaios mecânicos mais praticados é o de dureza, porque apresenta interessantes vantagens sobre os demais, simplicidade e custo são algumas delas, pois as preparações dos corpos de prova não necessitam ser complexa, no máximo limpar, lixar e polir, e o equipamento é relativamente barato. Além disso o ensaio é considerado não destrutivo, pois não há fratura e nem deformação da amostra. Assim é um ensaio que pode fornecer outras informações tais como limite de resistência, tensão residual e módulo de elasticidade. Os primeiros ensaios de dureza foram baseados em minerais naturais, com uma escala construída unicamente em função da habilidade de um material riscar outro material mais macio. (CALLISTER; RETHWISCH, 2013, p.149)

Callister (2002) menciona que a dureza é uma propriedade mecânica do material que esta relacionada a dificuldade de deformação plástica localizada, ou seja, é a resistência que o material apresenta a pequenos riscos ou impressões, assim como a facilidade do mesmo.

De acordo com Souza et al. (2009), uma relevante propriedade física dos materiais é a dureza de uma superfície. Podendo ser definida como a resistência apresentada pelos sólidos penetração de uma ponta, pode ser considerada como uma indicação direta da resistência do material ao desgaste, da capacidade do material de resistir a esforços além da resistência a abrasão.

De acordo com Callister (2013), nos ensaios Brinell, um penetrador esférico e duro é empenhado contra a superfície do material a ser testado. O diâmetro do penetrador de aço endurecido (ou de carbeto de tungstênio) é de 10,00 mm (0,394). As cargas-padrão alteram entre 500 e 300 kg, em incrementos de 500 kg. Durante um ensaio, a carga é conservada constante por um tempo especificado (entre 10 e 30 s). Os materiais mais duros demandam a aplicação de cargas maiores.

Ainda de acordo com Callister (2013), esse diâmetro é medido com um microscópio especial de baixo aumento, utilizando uma escala que esta gravada na ocular. O diâmetro medido é então convertido no número HB apropriado com o ajuda de um gráfico; apenas uma única escala é agregada com esse método.

A dureza é uma propriedade mecânica bastante utilizada na comparação e especificação de materiais, sua resistência varia conforme a área de aplicação, na mecânica é a resistência a penetração de um material em outro. Este termo dureza pode também estar ligado à resistência a corte, risco e flexão.

2.6.4 Ensaio de líquido penetrante

O ensaio por líquidos penetrantes é um método desenvolvido especialmente para a detecção de descontinuidades essencialmente superficiais, e ainda que estejam abertas na superfície do material. (ANDREUCCI, 2013, p.4)

Segundo Andreucci (2013), este tipo de ensaio se divide em seis etapas principais, começando com a limpeza e secagem da peça a que irá se realizar o ensaio, removendo qualquer tipo de contaminante. Aplicação do líquido penetrante geralmente de cor vermelha, sobre a sua superfície para que penetre em sua descontinuidade. Remover o excesso do penetrante com produtos adequados, não deixando nenhum tipo de resíduo. Aplicação do revelador que usualmente é um pó fino e branco, onde irá absorver o penetrante das descontinuidades e revelando-as.

Avaliar e inspecionar as aberturas, através das manchas produzidas pela absorção do penetrante, em boas condições de luminosidade. Por último deve ser feita a limpeza de todos os resíduos de produtos, para que não prejudique qualquer etapa posterior em que a peça será submetida. Os produtos penetrantes são classificados segundo a norma Petrobras N-1596 conforme mostra a quadro 3.

Quadro 3-Produtos penetrantes

Penetrante		Remoção do Excesso de Penetrante		Revelador	
Tipo	Designação	Método	Designação	Forma	Designação
I	Penetrante fluorescente	A	Água	a	Seco
II	Penetrante de contraste colorido	B	Emulsificante lipofílico	b	Solúvel em água
		C	Solvente	c	Em suspensão na água
		D	Emulsificante hidrofílico	d	Diluído em solvente

Fonte: Adaptado da norma Petrobras N-1596

Segundo a norma Petrobras N-1596, para a qualidade procedimento de inspeção, deve ser efetuada uma avaliação do procedimento, verificando sua compatibilidade com sua aplicação.

3 METODOLOGIA

Será analisado neste trabalho a rugosidade, dureza, empenamento e as trincas superficiais, bem como espessura mínima dentro dos limites de segurança. Sendo observado quais as variações de propriedades de uma peça recondicionada no caso um disco de freio que será recuperado pelo processo de usinagem. Utilizará para este fim, fundamentos práticos e teóricos bibliográficos nas áreas de materiais, projetos, processo de usinagem e frenagem automotiva leve. Analisando as variações das propriedades do disco de freio de um veículo de passeio após sua recuperação por meio de processo de usinagem, visto que tanto suas propriedades quanto os seus parâmetros irão indicar a viabilidade do processo, sendo que os dados obtidos devem chegar próximos aos dados do componente sem uso (novo), assim como não ultrapassar o limite de espessura do mesmo.

3.1 Coleta de dados

Foi realizado a coleta de dados sobre o disco de freio sem uso onde foi identificado que o mesmo se trata de um disco de ferro fundido cinzento, do tipo ventilado, com limite de espessura de 16mm, do fabricante Volkswagen Gol 1.0 ano 2012, assim como o disco usado antes e após a

recuperação, ambos com as mesmas especificações, na figura 4 (a) observa-se um disco de freio novo, na figura 4 (b) disco de freio usado e na figura 4 (c) disco de freio recuperado.

Figura 4 (a): Disco de freio novo



Figura 4 (b): Disco de freio usado



Figura 4 (c): Disco de freio recuperado



Fonte: Do autor

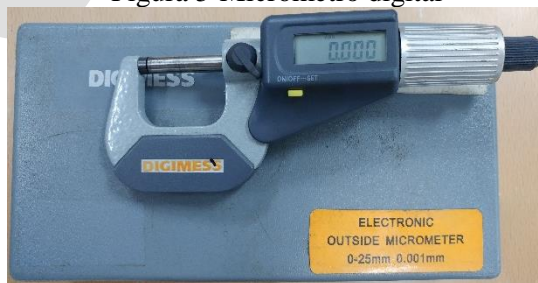
O disco apresenta diferentes aspectos visuais, sendo o recuperado com o aspecto visualmente bem próximo ao do componente novo e o usado diferente de ambos.

3.2 Equipamentos

3.2.1 Micrômetro

Para medir as espessuras dos discos foi utilizado um micrômetro externo digital da marca digimes com capacidade de 0-25mm e resolução de 0,001mm como mostra a figura 5.

Figura 5-Micrômetro digital



Fonte: Do autor

O micrômetro é um instrumento que possibilita medições rigorosas e exatas, o modelo digital é próprio para controle estatístico de processos, pois permite se realizar uma leitura rápida sem erros de paralaxe.

3.2.2 Relógio comparador

Na medição de empenamento dos discos de freio foi utilizado um relógio comparador da marca zaas com capacidade de 0-10mm e resolução de 0,01mm (figura 6).

Figura 6-Relógio comparador



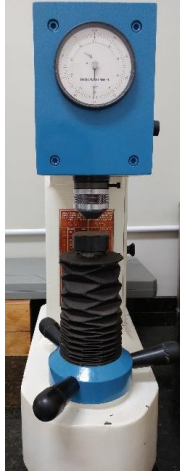
Fonte: Do autor

O relógio comparador é um instrumento de medição por comparação, equipado com uma escala e um ponteiro, interligados por diversos mecanismos a uma ponta de contato. Quando o ponta de contato sofre uma pressão e o ponteiro gira em sentido horário, sua diferença é positiva, significa que a peça apresenta maior dimensão que a estabelecida. Se o ponteiro girar em sentido anti-horário, a diferença será negativa, ou seja, a peça apresenta menor dimensão que a estabelecida.

3.2.3 Durômetro

A análise de dureza foi realizado em um medidor de dureza da marca indústécnica modelo de bancada com leitura analógica para ensaios de dureza rockwell normal, superficial e a brinell, seguindo a norma NBRNM187 (05/1999) Materiais metálicos - Dureza Brinell - Parte 1: Medição da dureza Brinell - Parte 2: Calibração de máquinas de medir dureza Brinell - Parte 3: Calibração de blocos padrão a serem usados na calibração de máquinas de medir dureza Brinell que foi a escala empregada para realização dos testes (figura 7).

Figura 7- Durômetro



Fonte: Do autor

A maioria dos ensaios de dureza estáticos consiste na impressão de uma pequena marca feita na superfície da peça, pela aplicação de pressão, com uma ponta de penetração. É muito utilizado para se obter sua resistência ao desgaste, controle de qualidade de tratamentos térmicos, resistência mecânica através do uso de tabelas de correlação, pesquisa e desenvolvimento de novas ligas e materiais entre outros. É considerado não destrutivo, deixando apenas uma marca que não irá comprometer o uso da peça ou corpo de prova.

3.2.4 Rugosímetro

Para análise de rugosidade o instrumento utilizado foi o rugosímetro surfstest sj-201p da marca mitutoyo com método de medição indutivo diferencial e capacidade de $350\mu\text{m}$, atendendo a Norma NBR ISO 4287/2002 para especificação da rugosidade (figura 8).

O rugosímetro é um equipamento eletrônico largamente empregado na indústria para conferência de superfície de peças e ferramentas (rugosidade). Garante um alto parâmetro de qualidade nas medições, sendo destinado à análise dos problemas referentes à rugosidade de superfícies.

O equipamento empregado na recuperação do disco de freio, foi um torno mecânico da marca rebitex com capacidade de disco de até 400 mm de diâmetro, equipamento próprio para o procedimento (Figura 10).

Figura 10-Torno



Fonte: Do autor

O torno mecânico é uma máquina operatriz muito versátil, utilizada no acabamento ou na confecção peças. Esta máquina-ferramenta permite a usinagem de variados componentes mecânicos, possibilita a transformação do material em seu estado bruto, em peças que podem ter seções circulares. No caso do equipamento para recuperação de disco de freio, trata-se de um torno mecânico de pequeno porte, onde possui um eixo e um cone acoplado para o encaixe do disco onde faz o movimento de revolução, e um carrinho de curso transversal, com duas ferramentas fixadas na ponta de seu eixo que avançam na peça realizando sua usinagem.

4 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentadas as análises e os resultados obtidos no presente estudo.

4.1 Medidas de espessura

Foram realizadas medições de espessura no disco sem uso, no disco usado antes da recuperação e no disco após a recuperação, em todos foram feitas três medições em pontos diferentes (0° , 120° , 240°), e posteriormente uma média de cada uma delas, na figura 11 (a) mostra a espessura do disco novo, na figura 11 (b) espessura do disco usado e na figura 11 (c) espessura do disco recuperado.

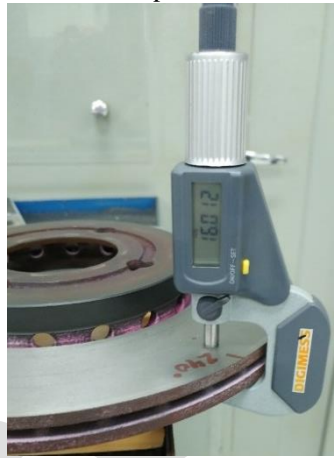
Figura 11 (a): Disco de freio novo



Figura 11 (b): Disco de freio usado



Figura 11 (c): Disco de freio recuperado



Fonte: Do autor

Observa-se que a espessura dos discos estão conforme suas especificações e dentro do seu limite mínimo de espessura, conforme demonstrado na tabela 1

Tabela 1-Medidas de espessura

Ângulo de Posicionamento	Espessura Disco de Freio (mm)		
	Novo	Usado	Recuperado
0°	17,949	16,625	16,012
120°	17,956	16,621	16,013
240°	17,947	16,620	16,012
Média	17,950	16,622	16,012

Fonte: Do autor

Os dados obtidos nas espessuras dos discos mostram que, o disco novo atende seu padrão de fabricação, o usado é menor devido ao seu uso efetivo de trabalho (km), e percebe-se a diferença de medida do disco usado para o recuperado é pouca, mostrando que sua usinagem de recuperação retira somente as imperfeições do componente. Observa-se que a vida útil de um disco novo é de 2mm, sendo que ele obtém uma espessura de 18mm e um limite de espessura especificado pelo fabricante de 16mm.

4.2 Ensaio de dureza

Os ensaios de dureza também foram realizados no disco novo, usado e recuperado com medições em três pontos diferentes em cada disco, e a média de cada um, conforme mostra a figura 12 (a) dureza do disco novo, figura 12 (b) dureza do disco usado e figura 12 (c) dureza do disco recuperado.

Figura 12 (a): Disco de freio novo



Figura 12 (b): Disco de freio usado



Figura 12 (c): Disco de freio recuperado



Fonte: Do autor

No ensaio de dureza mostra que, a dureza do disco usado é menor que a do disco novo, e a dureza do disco recuperado já é semelhante ao do componente novo, os dados obtidos na figura 12 (a), 12 (b) e 12 (c) são apresentados na escala de leitura C, e convertidos para HB Brinell como podemos observar na tabela 2.

Tabela 2-Dureza Brinell HB

Ângulo de Posicionamento	Dureza Brinell (HB)					
	Novo		Usado		Recuperado	
	(C)	(HB)	(C)	(HB)	(C)	(HB)
0°	50	188	47	178	49	185
120°	47	178	44	169	46	175
240°	49	185	42	163	49	185
Média	49	184	44	169	48	182

Fonte: Do autor

Na dureza do disco usado, mostra-se inferior ao do disco novo, isso devido a suas variações de temperaturas e agentes externos pelo qual são submetidos pelo seu efetivo trabalho, já no disco recuperado observa-se que essa dureza é restaurada, chegando bem próximo a dureza do componente novo.

4.3 Análises da rugosidade

As análises de rugosidade seguiram as mesmas sequencias das etapas anteriores, coforme apresentado na figura 13 (a), figura 13 (b) e figura 13 (c).

Figura 13 (a): Disco de freio novo



Figura 13 (b): Disco de freio usado



Figura 13 (c): Disco de freio recuperado



Fonte: Do autor

A rugosidade obtida no disco usado mostra-se inferior ao do disco novo, e rugosidade do disco recuperado superior ao novo como se observa na Tabela 3.

Tabela 3-Rugosidade na Superfície do Disco

Ângulo de Posicionamento	Rugosidade (μm)		
	Novo	Usado	Recuperado
0°	1,03	0,58	3,44
120°	1,15	0,55	3,38
240°	1,00	0,63	3,18
Média	1,06	0,58	3,33

Fonte: Do autor

No disco usado a rugosidade se apresenta inferior ao disco novo, pois o mesmo apresenta uma espécie de polimento, causado pela fricção entre os materiais de atrito e variações de temperaturas, a superioridade de rugosidade

obtida no disco recuperado se da ao fato da máquina e ferramenta utilizada no processo de usinagem, não serem empregadas da mesma tecnologia usada pelo fabricante na confecção do disco novo.

4.4 Empenamento

As medições de empenamento foram feitas diretamente no veículo, com o disco de freio fixado no cubo de roda exercendo seu efetivo trabalho, em três pontos da área de atrito dos disco (superior, médio e inferior) e feito uma média desses valores, observa-se na figura 14 (a) a medição do disco novo, figura 14 (b) do disco usado e figura 14 (c) do disco recuperado.

Figura 14 (a): Disco de freio novo



Figura 14 (b): Disco de freio usado



Figura 14 (c): Disco de freio recuperado



Fonte: Do autor

O empenamento do disco usado mostrou-se menor que do disco novo, e do disco recuperado maior que ambos os componentes, as diferenças encontradas no empenamento dos discos são mínimas, e todas medidas com um grau de empenamento consideravelmente baixo, não comprometendo a eficiência do sistema, como apresentado na tabela 4.

Tabela 4-Medidas de Empenamento

Ângulo de Posicionamento	Empenamento (mm)		
	Novo	Usado	Recuperado
0°	0,5	0,3	0,7
120°	0,4	0,2	0,6
240°	0,3	0,2	0,4
Média	0,4	0,2	0,6

Fonte: Do autor

4.5 Trincas superficiais

A análise de trincas foi realizada em todos os discos, como mostra a figura 15 (a) disco novo, 15 (b) disco usado e figura 15 (c) disco recuperado.

Figura 15 (a): Disco de freio novo

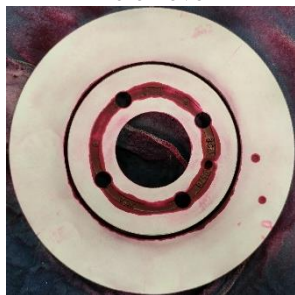
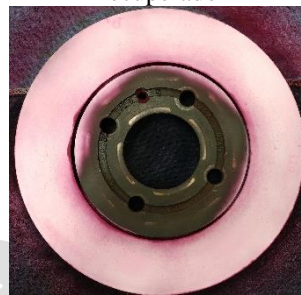


Figura 15 (b): Disco de freio usado



Figura 15 (c): Disco de freio recuperado



Fonte: Do autor

Em nenhum disco foram encontradas trincas, seja no disco novo por algum defeito de fabricação, no disco usado pela rigidez dos materiais de atrito e os fluxos de calor não uniformes, como também não obteve nenhuma trinca na usinagem de recuperação do componente. Nota-se pontos presentes no disco, os mesmos se referem a indicação do seu limite de espessura.

4.6 Usinagem de recuperação

A usinagem de recuperação do disco foi realizada em um torno específico para usinagem de disco de freio utilizando ferramentas de metal duro (figura 16).

Figura 16-Torneamento



Fonte: Do autor

Nota-se que na usinagem de recuperação do disco, todos os defeitos aparentes no disco usado, causados pelo seu efetivo trabalho são removidos, recuperando o aspecto de um componente novo.

No presente trabalho foram analisados aspectos relevantes para possíveis defeitos em discos de freio, assim como na usinagem dos mesmos, parâmetros que influenciam diretamente no bom funcionamento do sistema de frenagem de veículos leves e conseqüentemente em sua segurança.

Grande parte dos dados obtidos nas análises mostrou que os parâmetros do disco recuperado chegaram próximos ao do componente sem uso. O único dado que se distanciou mais foi na análise de rugosidade, em que no disco usado antes da recuperação apresentou um nível menor, pelo fato do disco apresentar uma espécie de polimento devido ao contato dos materiais e das temperaturas de trabalho.

Quanto ao procedimento de recuperação, o nível da rugosidade foi maior que o do componente novo, devido a ferramenta e a máquina utilizada na usinagem de recuperação, pois as mesmas não possuem a mesma tecnologia usada pelos fabricantes, o que pode vir a causar um possível desgaste prematuro das pastilhas. Outro fator obtido foi que ambos os componentes não apresentaram nenhum tipo de trincas.

5 CONCLUSÃO

Através das pesquisas bibliográficas realizadas afim de maior compreensão do sistema de freios automotivos, e dos fatores que envolvem a usinagem de recuperação, visto que estes são aspectos fundamentais para o bom funcionamento do sistema de frenagem, foram realizadas análises, e essas mostraram que os parâmetros do disco usado após passar pelo processo de recuperação, chegaram bem próximos aos do disco sem uso.

Concluindo que é possível realizar esse procedimento, pois não terá suas propriedades afetadas, e que em muitos casos ele se torna bastante viável. Casos esses que devem ser bem avaliados, por que se trata de inúmeros fatores que irão levar a diferentes desgastes dos componentes, como os materiais de que eles são produzidos, e de qual forma o condutor realiza as frenagens em seus veículos, sendo a maneira correta de frenagem sempre utilizando do freio motor, ou seja, com o carro engatado em alguma marcha e nunca em ponto morto, mesmo em descidas, utilizando de frenagens suaves e nunca de forma abrupta.

No entanto há casos em que a vida útil da pastilha de freio irá chegar ao seu fim, enquanto a do disco ainda estará na metade. Neste caso deve-se levar em conta o fator econômico visto que o preço do disco utilizado no estudo é de R\$382,00 reais enquanto a usinagem de recuperação teve um custo de R\$25,00 reais, lembrando que quanto mais atual for a tecnologia empregada no procedimento utilizado, melhor será o resultado obtido.

No caso do disco usado na pesquisa, seu desgaste estava bem avançado, com uma espessura de 16,622mm, e ele chegou a uma medida de 16,012mm após o processo, sendo esse viável para o estudo, pois não chegou ao seu limite de espessura que é de 16mm, mas em um caso real de utilização, essa medida de espessura não é recomendada se realizar a recuperação. Tal situação justifica-se, pois, se chegou bem próximo ao seu limite, ou seja, irá restar uma pequena parte de sua vida útil a ser aproveitada. Como sugestões para pesquisas futuras: a) análise do desgaste da pastilha de freio sobre a influência de um disco recuperado; b) influência dos materiais empregados no desgaste em pastilha de freio; c) materiais de fricção empregados no sistema de freio automotivo.

REFERÊNCIAS

ALVES, Raphael Hayashi. **ANÁLISE DE DESGASTE EM MATERIAIS APLICADOS EM DISCOS DE FREIO**, 2015. Disponível em:

<<http://repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/123085/000823419.pdf?sequence=1>> Acesso em 14 de Maio de 2016.

ANDREUCCI, Ricardo. **LIQUIDOS PENETRANTES**, 2013. Disponível em: [www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/LP-](http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/LP-2013_pdf%20substituir.pdf)

[2013_pdf%20substituir.pdf](http://www.abendi.org.br/abendi/Upload/file/biblioteca/LP-2013_pdf%20substituir.pdf). Acesso em 25 de Maio de 2016.

BATISTA, Marcelo Ferreira. **ESTUDO DA RUGOSIDADE DE SUPERFÍCIES PLANAS USINADAS POR FRESAS DE TOPO ESFÉRICO**, 2006. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18145/tde-13032007-234237/pt-br.php>>. Acesso em: 22 de mar. 2017.

BREZOLIN, André. **Estudo de Geração de Trincas Térmicas em Discos de Freios de Veículos Comerciais**, 2007. Disponível em:

<<https://repositorio.ucs.br/xmlui/bitstream/handle/11338/207/Dissertacao%2>

0Andre%20Brezolin.pdf;jsessionid=1E6DC73A1049DACAC71064F753138147?sequence=1>. Acesso em 2 de Maio de 2016.

CAMARGO, R. (2002). **Rugosidade superficial nas operações de torneamento**. Santa Bárbara D`Oeste: SENAI.

CALIL, L.F.P.; BOEHS, L. (2004). **A atenção dada pelas empresas à textura das superfícies usinadas**. Máquinas e Metais, São Paulo, v.41, n.466, p.142, nov.

CASARIL, Alexandre. **TENACIDADE À FRATURA DE MATERIAIS COMPÓSITOS DE FRICÇÃO COMO REQUISITO DE PROJETO DE COMPONENTES DE FRENAGEM PARA A INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA**, 2013. Disponível em: <<http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/86468>>. Acesso em: 21 de mar. 2017.

CALLISTER, Jr.; WILLIAM, D., 2002, **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**, Editora LTC, São Paulo, 5ed., p. 78-85.

DINIZ, Anselmo Eduardo; Francisco Carlos Marcondes; Nivaldo Lemos Coppini. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. – 8 ed. São Paulo; Artliber Editor p.249,2013

ERIKSSON, M.; BERGMAN, F.; JACOBSON, S. **On the Nature of Tribological Contact in Automotive Brakes**. Wear, Uppsala, n.252, p.26-36, 2002.

INMETRO. **Avaliação de dados de medição — Guia para a expressão de incerteza de medição**, 2008. Disponível em: <http://www.inmetro.gov.br/noticias/conteudo/iso_gum_versao_site.pdf>. Acesso em: 28 de mai. 2017.

INMETRO. **Vocabulário internacional de termos fundamentais e gerais de metrologia**. 2, ed, Brasília, SENAI/DN, p. 13-35, 2000.

IOMBRILLER, S. F. **“Análise térmica e dinâmica do Sistema de Freio a Disco de Veículos Comerciais Pesados”**. Dissertação (doutorado em

Engenharia Mecânica), São Carlos: USP – Universidade de São Paulo, p. 177, 2002.

MACHADO, Alisson Rocha ... [et al.]. **Teoria da usinagem dos matérias** - 2. Ed. – São Paulo; Blucher p. 299, 2011.

MACKIN, T.J., “**Thermal cracking in disc brakes**”, Engineering Failure Analysis, February 2002, Vol. 9, no. 1, pp. 63-76(14).

MALUF, Omar. **FADIGA TERMOMECAÂNICA EM LIGAS DE FERRO FUNDIDO CINZENTO PARA DISCOS DE FREIO AUTOMOTIVOS**, 2007. Disponível em:
<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-23062009-151607/pt-br.php>>. Acesso em: 22 de mar. 2017.

MANEIRO, M. A. G., RODRÍGUEZ, J., 2006, “**A Procedure to Prevent Pile up Effects on the Analysis of Spherical Indention data in Elastic-Plastic Materials**”, Mechanics of Materials, Madrid, Spain.

Manual Nakata para sistema de freio. Disponível em:
<<http://www.nakata.com.br/files/catalogo/arquivo/3.pdf>>. Acesso em 24 de Abril de 2016.

Manual Técnico linha leve Frasle. Disponível em:
<http://www.freiar.com.br/portal/images/3202014-43010-pm_Manual%20Tec%20Linha%20Leve%202014.pdf>. Acesso em 28 de Maio de 2016.

O Mundo da Usinagem. Disponível em:
<<http://www.omundodausinagem.com.br/pdf/48.pdf>>. Acesso em 4 de Junho de 2016.

ORTHWEIN, W.C., **Clutches and Brakes – Design and Selection**, 2 ed. New York, Marcel Dekker, 2004.

SILVEIRA, Rafael. **DIMENSIONAMENTO E PROJETO DO SISTEMA DE FREIOS DE UM VEICULO FORA DE ESTRADA TIPO BAJA**, 2010. Disponível em:
<<http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/TM053/Bibliografia/freios/%5BBR%5D>

[%20-%20TCC%20freio%202010%20-%20Rafael%20Silveira.pdf](#)>. Acesso em: 23 de mar. 2017.

SOUZA, R.O.A. et al., Janeiro / Março, 2009, “**Avaliação da Dureza Vickers de Resinas Compostas de Uso Direto e Indireto**”, Cienc. Odontol. Bras., v.12, n.1, p.23-30.

e-TEC