

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
FATEC SANTO ANDRÉ
Tecnologia Mecânica Automobilística**

**Bruno Farias Mota
João Victor Oliveira de Sousa**

**ANÁLISE DE FALHA EM PEÇAS DE MOTORES:
Pistões, Anéis e Bronzinas**

**Santo André
2021**

Bruno Farias Mota
João Victor Oliveira de Sousa

**ANÁLISE DE FALHA EM PEÇAS DE MOTORES:
Pistões, Anéis e Bronzinas**

Monografia apresentada ao Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística da Fatec Santo André, orientado pelo professor Marco Aurélio Fróes como requisito parcial para obtenção do título de Tecnólogo em Mecânica Automobilística.

Santo André
2021

Bruno Farias Mota
João Victor Oliveira de Sousa

**ANÁLISE DE FALHA EM PEÇAS DE MOTORES:
pistões, anéis e bronzinas**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado a FATEC SANTO ANDRÉ
como requisito parcial à obtenção de título
de Tecnólogo em Mecânica
Automobilística.

Professor Orientador
Prof. Marco Aurélio Fróes

MEMBROS DA BANCA EXAMINADORA

Presidente da Banca
Prof. Marco Aurélio Fróes
Fatec Santo André

Primeiro membro da Banca
Prof. Dr. Edson Caoru Kitani
Fatec Santo André

Segundo Membro da Banca
Prof. Dr. Orlando de Salvo Junior
Fatec Santo André

Local: Fatec Santo André
Horário: 10h (AM)
Data: 11/12/2021

SANTO ANDRÉ
2021

FICHA CATALOGRÁFICA

M917a

Mota, Bruno Farias

Análise de falha em peças de motores: pistões, anéis e bronzinas / Bruno Farias Mota, João Victor Oliveira de Sousa. - Santo André, 2021. – 98f: il.

Trabalho de Conclusão de Curso – FATEC Santo André.
Curso de Tecnologia em Mecânica Automobilística, 2021.

Orientador: Prof. Marco Aurélio Fróes

1. Mecânica. 2. Motores. 3. Desenvolvimento. 4. Peças. 5. Tecnologia. 6. Falha. 7. Manutenção. 8. Produção. 9. Processo de fabricação. 10. Veículos. I. Sousa, João Victor Oliveira de. II. Análise de falha em peças de motores: pistões, anéis e bronzinas.

629.2

Dedicamos esse trabalho aos nossos familiares, amigos e professores que nos apoiaram e ajudaram durante nossa jornada acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelo dom da vida, pela oportunidade de estudar, força de vontade para persistir e superar todas as dificuldades e além de tudo nos proporcionou muita saúde mesmo em tamanho caos que a pandemia provocou. Aos nossos familiares que foram muito solícitos e nos incentivaram com todo carinho e apoio a estudar e construir nossas vidas de forma especial.

Aos colegas de classe que sempre estiveram presente nos momentos difíceis. Ao Eviton Luis Carvalho Santos e ao Alisson Roberto Silva pelas indicações de referências e no auxílio ao entendimento de falhas de motores. Aos professores que investiram tempo, dedicação e muito empenho para transmitir todo conhecimento da forma mais completa possível com extrema qualidade. Ao professor e orientador Marco Aurélio Fróes pelo suporte no pouco tempo que lhe coube, pelo incentivo e paciência que teve na elaboração desse trabalho. A todos que diretamente ou indiretamente fizeram parte de nossa graduação, muito obrigado por todo apoio.

“Nossa maior fraqueza está em desistir. O caminho mais certo de vencer é tentar mais uma vez.” [Thomas Edison](#)

RESUMO

A partir do século XX houve uma crescente utilização de veículos, que de fato serviram para encurtar o tempo de deslocamento, o que permitiu uma mobilidade global muito maior, auxiliando diretamente no comércio e na vida das pessoas. Com isso, houve a necessidade de estudos aprofundados para a fabricação de peças e acessórios. Com o passar dos anos, os processos de fabricação foram se aperfeiçoando, produzindo peças complexas em um período muito curto sendo que antes eram praticamente impossíveis de serem feitas, o que permitiu o desenvolvimento e crescimento dos veículos em escala global. Entretanto, falhas, defeitos e desgaste em peças automotivas, principalmente no motor, é comum e é necessário sempre a devida manutenção e troca por peças novas. Por isso se faz necessário o estudo de falhas de peças de motores automotivos como pistões, anéis e bronzinas para que se possa entender melhor esses defeitos, a fim de uma melhoria constante dos processos de manutenção e uma racionalização sobre as principais causas de falhas que podem ocorrer e com o devido cuidado, serem evitadas.

Palavras-chave: Falhas. Peças de motores. Análise. Dimensional.

ABSTRACT

From the 20th century onwards, there was an increasing use of vehicles which in fact served to shorten travel times and this allowed to increase global mobility, assisting people's lives and commerce. Thus, there was a need for deep studies for the manufacture of parts and accessories. Over the years, the manufacturing processes have been improved, producing complex parts in a very short period, which before were practically impossible to be made and in this way allowed the development and growth of vehicles on a global scale. However, faults, defects, and wear on automotive parts, especially on the engine, are common and it is always necessary to maintain and replace new parts. That is why it is necessary to study the failures of automotive engine parts as pistons, rings, and bearings to better understand these defects to constantly improve maintenance processes and rationalize the main causes of failures that can be avoided with due care.

Keywords: Fault. Engine parts. Analyze. Dimensional.

LISTA DE ILUSTRAÇÃO

Figura 1 – Linha zero	22
Figura 2 – Representação convencional	23
Figura 3 – Campo de Tolerância	25
Figura 4 - Qualidade de trabalho	26
Figura 5 - Ajuste Mecânico	27
Figura 6 - Ajuste Mecânico	27
Figura 7 - Sistema furo base	28
Figura 8 - Sistema eixo base	28
Figura 9 - Folga	29
Figura 10 - Ajuste incerto	30
Figura 11 - Interferência	31
Figura 12 - Sistema de ajustes eixo-base	32
Figura 13 - Indicação da seta no topo do pistão	40
Figura 14 - Desgaste provocado no pistão pela sua montagem de forma invertida	41
Figura 15 - Desgaste provocado no pistão pela sua montagem de forma invertida	41
Figura 16 - Marcas de engripamento no pino	43
Figura 17 - Marcas de engripamento no alojamento	43
Figura 18 - Material do alojamento depositado sobre o pino	44
Figura 19 - Material do alojamento depositado sobre o pino	44
Figura 20 - Desgaste do pistão pelo atrito com o cilindro	45
Figura 21 - Pino atuando fora de sua posição	46
Figura 22 - Pino atuando fora de sua posição (desenho)	46
Figura 23 - Marcas de contato do pino com o cilindro	47
Figura 24 - Marcas de contato na face do pino	48
Figura 25 - Quebra total do pistão pelo deslocamento do pino	48
Figura 26 - Engripamento do pistão	50
Figura 27 - Engripamento do pistão	50
Figura 28 - Engripamento mais intenso na região central da saia	51
Figura 29 - Classificação do desgaste abrasivo	53
Figura 30 - Desgaste abrasivo nas saias do pistão	54
Figura 31 - Desgaste abrasivo nas saias do pistão	54
Figura 32 - Carbonização por excesso de óleo na combustão	56
Figura 33 - Carbonização por excesso de óleo na combustão	56

Figura 34 - Carbonização por combustível irregular	57
Figura 35 - Ruptura entre as canaletas	58
Figura 36 - Ruptura entre as canaletas	58
Figura 37 - Surgimento de trincas	59
Figura 38 - Desenho do centro dos furos do pistão	62
Figura 39 - Desgaste normal de funcionamento	64
Figura 40 - Anéis montados invertidos	65
Figura 41 - Expansores com suas pontas sobrepostas	66
Figura 42 - Anel torto pela montagem incorreta	67
Figura 43 - Adulteração das pontas das molas espaçadoras	68
Figura 44 - Desgaste abrasivo nos anéis	69
Figura 45 - Desgaste abrasivo nos anéis por uma rugosidade excessivo do cilindro	70
Figura 46 - Carbonização no anel	71
Figura 47 - Folga de lubrificação	74
Figura 48 - Desgaste na lateral do flange	76
Figura 49 - Desgaste por erros geométricos	77
Figura 50 - Corpo estranho incrustado na base de apoio da bronzina	78
Figura 51 - Desgaste abrasivo nas bronzinas	79
Figura 52 - Incrustações de corpos estranhos	80
Figura 53 - Desgaste por lubrificação insuficiente	81
Figura 54 - Escoamento da liga antifricção	82
Figura 55 - Desprendimento de material da superfície da bronzina	84
Figura 56 - Análise na superfície de contato dos anéis	91
Figura 57 - Medição do diâmetro de um pistão	92
Figura 58 - Medição do diâmetro de um anel de segmento	92

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Falhas em pistões	85
Gráfico 2 - Pistões: falhas por condições de funcionamento inapropriadas	86
Gráfico 3 - Pistões: Falhas por erro de montagem	86
Gráfico 4 - Falhas em anéis de segmento	87
Gráfico 5 - Anéis - Falhas por condições de funcionamento inapropriadas	87
Gráfico 6 - Anéis: falhas por erros de montagem	88
Gráfico 7 - Falhas em bronzinas	88
Gráfico 8 - Bronzinas: falhas por condições de funcionamento inapropriadas	89
Gráfico 9 - Bronzinas: falhas por montagem	90

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Ajustes recomendados	33
Tabela 2 - Ajustes recomendados sistema furo-base	34

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
FMEA	<i>Failure Mode and Effects Analysis</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
NBR	Norma Técnica Brasileira
PMI	Ponto Morto Inferior
PMS	Ponto Morto Superior

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 Motivação	18
1.2 Objetivos	18
1.3 Conteúdo	19
2 PEÇAS DE REPOSIÇÃO E INTERCAMBIABILIDADE	20
2.1 Tolerâncias e Folgas	20
2.2 Conceitos básicos sobre tolerância	21
2.2.1 Eixo	21
2.2.2 Eixo-base	21
2.2.3 Furo	21
2.2.4 Furo-base	21
2.3 Dimensão	21
2.4 Afastamento Superior (ES, es)	23
2.4.1 Afastamento Inferior (EI, ei)	23
2.4.2 Afastamentos fundamentais	23
2.5 Campo de tolerância	24
2.5.1 Linha zero	25
2.5.2 Tolerância	25
2.5.3 Fator de tolerância padrão (I, i)	25
2.5.4 Graus de Tolerância	26
2.5.5 Escolha da qualidade	26
2.5.6 Ajuste Mecânico	26
2.5.7 Sistema furo base	27
2.5.8 Sistema eixo base	28
2.6 Folga	28
2.6.1 Tipos de folgas	29
2.6.2 Folga mínima	29
2.6.3 Folga máxima	29
2.7 Interferência	30
2.8 Ajuste	31
2.8.1 Ajuste com folga	31
2.8.2 Ajuste com interferência	31
2.8.3 Ajuste incerto	31
2.9 Sistema de ajustes	32

2.9.1 Sistema de ajustes eixo-base	32
2.9.2 Sistema de ajuste furo-base	32
3 MÉTODO DE ANÁLISE DE FALHAS	35
4 NORMA ABNT NBR 13302: RETIFICA DE MOTORES	38
5 PISTÃO	39
5.1 Falhas prematuras em pistões	39
5.2 Falhas prematuras causadas por erros de montagem	39
5.2.1 Montagem do pistão com a seta para o lado incorreto	40
5.2.2 - Engripamento do pino	42
5.2.3 Pino atuando fora de posição	45
5.3 Falhas prematuras causadas por condições de funcionamento inapropriadas	49
5.4.1 Engripamento do pistão	49
5.3.2 Desgaste abrasivo	52
5.3.3 Carbonização no topo do pistão	55
5.3.4 Ruptura entre as canaletas	58
5.4 Falhas por defeito de fabricação	59
5.4.1 Desvios dimensionais	60
5.4.2 Diâmetro do pistão	60
5.4.3 Altura das canaletas	60
5.4.4 Altura de compressão	61
5.4.5 Diâmetro do alojamento dos pinos	61
5.4.6 Descentralização dos furos do pino	61
5.4.7 Seta apontando para o lado errado	62
5.4.8 Presença de trincas	62
6 Anéis de segmento do pistão:	63
6.1 Características normais de trabalho:	63
6.2 Falhas prematuras em anéis:	64
6.3 Falhas prematuras em anéis causadas por erros de montagem	64
6.3.1 Montagem invertida do anel:	64
6.3.2 Montagem sobreposta das pontas da mola helicoidal ou das pontas do espaçador:	66
6.3.3 Montagem dos anéis com ferramentas inadequadas ou danificadas:	67
6.3.4 Adulteração dos anéis	68
6.4 Falhas prematuras em anéis causadas por condições de funcionamento inapropriadas	69
6.4.1 Desgaste abrasivo	69

6.4.2 Carbonização dos anéis	71
6.5 Falhas por defeito de fabricação	72
6.5.1 Desvios dimensionais	72
6.5.2 Diâmetro nominal	72
6.5.3 Altura axial	72
6.5.4 Força tangencial inadequada	73
6.5.5 Marcação Top do anel invertida	73
7 Bronzinas	74
7.1 Falhas prematuras em bronzinas	75
7.2 Falhas prematuras em bronzinas causadas por erros de montagem	75
7.2.1 Folga axial (longitudinal) insuficiente	75
7.2.2 Erros geométricos do colo da árvore de manivela ou dos alojamentos da bronzina	76
7.2.3 Corpos estranhos no alojamento	77
7.3 Falha prematuras causadas por condições de funcionamento inapropriadas	78
7.3.1 Desgaste abrasivo por contaminação	78
7.3.2 Lubrificação Insuficiente	80
7.3.3 Esmagamento da bronzina	82
7.4 Falhas por defeito de fabricação	83
7.4.1 Desvios dimensionais	83
7.4.2 Desplacamento	84
8 FALHAS MAIS COMUNS	85
8.1 Falhas em pistões	85
8.2 Falhas em anéis	87
8.3 Falhas em bronzinas	88
8.4 Falhas por desvio de qualidade das peças	90
9 PROCESSO DE ANÁLISE DAS PEÇAS	91
10 CONCLUSÃO	94
11 PROPOSTAS FUTURAS	95
12 REFERÊNCIAS	96

1 INTRODUÇÃO

Determinar que tipo de falha uma peça mecânica que um motor de combustão interno apresentou, é sempre um grande desafio, ainda mais quando se tem apenas a peça sem as suas contrapartes que atuam juntas e ajudam a entender melhor o que aconteceu com aquele motor e conseqüentemente a possível causa da falha. Entretanto, mesmo sem o conjunto completo do motor, uma análise tem que ser sempre precisa e coerente sendo necessário utilizar todos os recursos disponíveis como ferramentas para uma análise dimensional e até mesmo para uma melhor análise, por exemplo uma câmera mais sofisticada que auxilia em uma identificação de contaminantes na peça ou possíveis falhas do material.

Esta análise é importante para que se possa fazer um controle de qualidade e aprimoramento das peças, pois com ela é possível identificar possíveis falhas crônicas de um lote de peças e imediatamente tratá-las, é possível ver pontos em que tal peça possa ser melhorada ainda mais e assim verificar se essa peça foi a causadora da falha no motor ou se ela danificou por outros fatores externos do motor.

Dessa forma se faz necessário o aumento de informações e recursos para que se possa ser feita uma análise de falhas em peças com mais precisão e assertividade.

1.1 Motivação

A motivação para realizar esse trabalho é possibilitar que a análise de falhas em peças de motores seja realizada com maior precisão e agilidade contando com novas imagens para identificação das falhas e detalhes estatísticos que auxilia a ter uma visão sistemática sobre o assunto de falhas no motor, ajudando a criar uma ideia sobre as falhas mais comuns e identificar os possíveis erros crônicos.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é estudar as falhas que ocorrem em alguns dos principais componentes do motor de combustão interna como pistões, anéis e bronzinas, entendendo suas causas, conseqüências e como evitá-las.

1.3 Conteúdo

Este trabalho foi dividido da seguinte forma: No capítulo 2 apresentaremos sobre a necessidade da reposição de peças de motores e o conceito de intercambiabilidade junto a explicação de tolerâncias e folgas de acordo com a norma NBR 6158 que as peças de reposição devem atender. No capítulo 3 abordaremos sobre FMEA, um método de análise de falhas que usaremos para nos ajudar a entendermos as falhas que estudaremos neste trabalho. No capítulo 4 daremos uma relevância a norma ABNT 13032, no qual se ressalta a importância de os técnicos responsáveis pela montagem do motor conferirem as dimensões e folgas das peças, assim como suas características e se estão de acordo com as especificações do fabricante para a sua aplicação. Nos capítulos 5, 6 e 7 será apresentado sobre as falhas mais comuns em pistões, anéis e bronzinas respectivamente, abordando assuntos desde o que as peças sofrem sejam elas por fatores humanos, fatores externos, do próprio motor, ou até mesmo da própria peça em si que está relacionado com seu processo de fabricação. Para o capítulo 8 apresentaremos dados estatísticos sobre os tipos de falhas encontrados durante o trabalho de 1 ano na análise de peças. Por fim, no capítulo 9 será abordado uma parte que se explica como realiza a parte experimental e prática para uma análise assertiva de peças.

2 PEÇAS DE REPOSIÇÃO E INTERCAMBIABILIDADE

Inicialmente é importante falarmos sobre o conceito de intercambiabilidade e sua significância para a reposição de uma peça.

A priori, vale salientar dois conceitos importantes: peças de reposição e reparação. Peças de reposição, segundo a Honda (2019), são peças que possuem a finalidade de substituir alguma peça ou componente do veículo. Além disso, para que se possa ter peças boas, é imprescindível que as peças tenham qualidade e disponibilidade. A ideia de qualidade tem relação com o fato de substituir uma peça original para que o desempenho que o veículo tinha não venha a ser comprometido. Esses conceitos estão atrelados a disponibilidade de recursos que está diretamente relacionado com o fator tempo, sendo que o ideal é sempre ter estoque para que o veículo não fique parado.

O segundo ponto importante é a reparação, que consiste basicamente em restaurar uma peça ou componente comprometido sem a sua substituição.

De acordo com o *Ribeiro (2020)* Intercambiável significa “trocar uma coisa por outra” ou que “pode ser trocado ou permutado”, e associando essas definições as peças de reposição e a intercambiabilidade é das peças serem montadas ou substituídas sem que comprometam o seu funcionamento ou o do sistema. E para que as peças sejam intercambiáveis é necessário que eles estejam dentro de suas tolerâncias dimensionais, que nada mais é do que a variação de uma medida, de uma peça durante sua usinagem.

2.1 Tolerâncias e Folgas

Tolerâncias e Folgas são conceitos importantes para uma adequada montagem no motor e na mecânica em geral, por isso a fim de entender melhor as falhas a serem abordadas iremos aprofundar o conhecimento nesses conceitos fundamentais da mecânica.

Com base na norma NBR 6158 (1995), a tolerância é uma variação permitida na medida de uma peça durante a sua usinagem que é na casa de centésimos de milímetro. Esse conceito é importante pelo fato dos equipamentos que utilizamos ser impreciso, mas principalmente pelo fato da mão humana ser um fator problemático,

por conta de atenção, cuidado e até mesmo algum ajuste ou regulagem da máquina, fazendo com que a medida exata não seja alcançada com muitas casas de precisão.

2.2 Conceitos básicos sobre tolerância

Antes de se falar sobre as definições da norma ISO sobre tolerância e folga propriamente dito é importante nos atentarmos às definições básicas que ajudam a entender melhor os conceitos em si, que seguem do item 2.2.1 a 2.4.2 baseados na norma NBR 6158 (1995).

2.2.1 Eixo

Eixo é um termo que se utiliza para se referir a uma determinada forma externa de uma peça ou estrutura.

2.2.2 Eixo-base

De acordo com a Norma NBR 6158 (1995, p. 1) eixo-base é um “eixo cujo afastamento superior é zero.”

2.2.3 Furo

É um termo geral que visa descrever uma característica interna de alguma determinada peça.

2.2.4 Furo-base

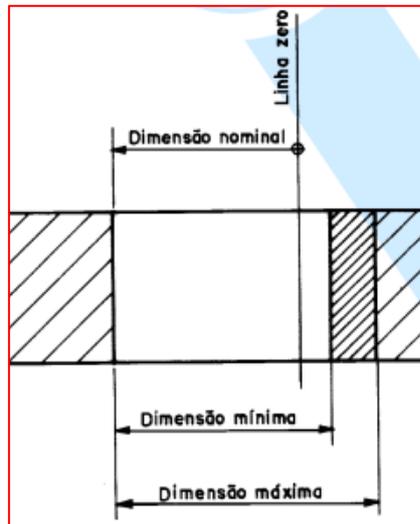
Segundo a norma NBR 6158 (1995, p. 2) furo-base é um “Número que expressa em uma unidade particular o valor numérico de uma dimensão linear.”

2.3 Dimensão

De acordo com a norma NBR 6158 (1995, p. 2) dimensão é definida como “Número que expressa em uma unidade particular o valor numérico de uma dimensão linear.”

- **Dimensão nominal:** a dimensão nominal é o valor que a peça precisa ter, ou seja, é o valor limite dos afastamentos superiores e inferiores mostradas na Figura 1.

Figura 1 - Linha zero



Fonte: Norma NBR 6158 (1995)

- **Dimensão efetiva:** é a medida mensurada por um instrumento de metrologia para saber a medida que determinada peça realmente tem.
- **Dimensão efetiva local:** De acordo com a definição é a medição de dois pontos opostos, sendo que podem ser de qualquer ponto da estrutura.
- **Dimensão limite:** A dimensão limite é aquela que mede dois pontos extremos e que a dimensão efetiva da peça deva estar dentro desse valor.
- **Dimensão Máxima:** Dimensão máxima é maior valor permitido em um determinado elemento ilustrado também na Figura 1.
- **Dimensão Mínima:** A dimensão mínima segundo a definição da norma é o menor valor possível que um elemento pode ter, sendo possível também identificar na Figura 1.

2.4 Afastamento Superior (ES, es)

O afastamento Superior é definido pela norma NBR 6158 (1995) como sendo “Diferença algébrica entre a dimensão máxima e a correspondente dimensão nominal” de acordo com a Figura 3. Para diferenciar onde está localizado o afastamento, adotaram “ES” para afastamentos em furos e “es” para afastamentos em eixos.

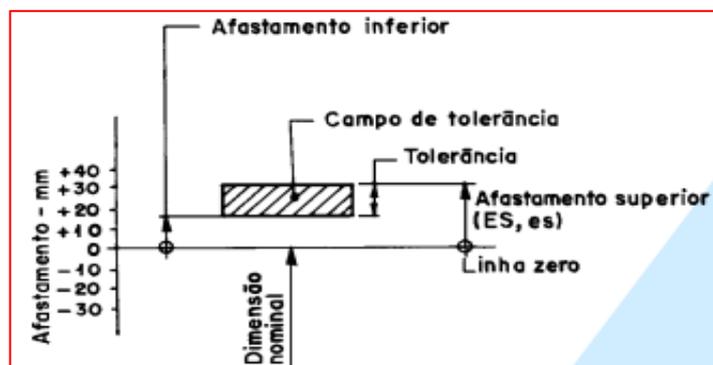
2.4.1 Afastamento Inferior (EI, ei)

Já o afastamento inferior como complemento do superior, pela definição da norma NBR 6158 (1995) o que diferencia é pelo fato de ser uma diferença algébrica entre a dimensão mínima com relação a nominal identificado também na Figura 2. Da mesma maneira o “EI” é uma indicação para os afastamentos inferiores em furos e “ei” para os afastamentos em eixos.

2.4.2 Afastamentos fundamentais

Segundo a norma NBR 6158 (1995) os afastamentos fundamentais são definidos como sendo a “Diferença algébrica entre uma dimensão (dimensão efetiva, dimensão limite, etc.) e a correspondente dimensão nominal” mostrado na Figura 2 novamente.

Figura 2 - Representação convencional



Fonte: Norma NBR 6158 (1995)

2.5 Campo de tolerância

O campo de tolerância segundo a norma NBR 6158 (1995) esse parâmetro é definido como sendo o afastamento superior ou inferior das dimensões das peças, porém por convenção se utiliza como referência o afastamento que está mais próximo da linha zero. De acordo com a definição, o afastamento define o campo de tolerância em si.

Segundo a norma NBR 6158 (1995), foram definidos 21 campos de tolerância, que são representados por letras do alfabeto latino, em que os furos são identificados por letras maiúsculas e os eixos são as letras minúsculas conforme Figura 3.

Furos:

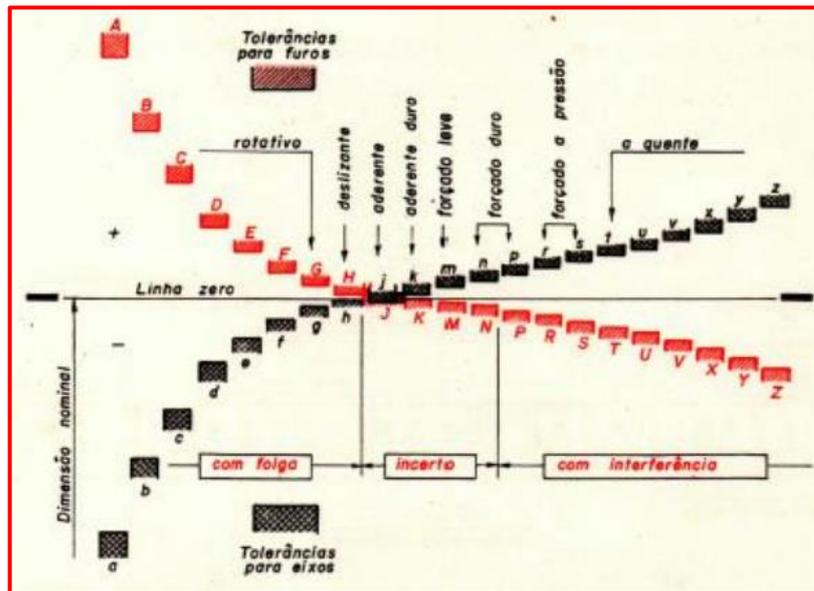
A B C D E F G H I J K M N P R S T U V X Y Z

Eixos:

a b c d e f g h i j k m n p r s t u v x y z

Essas letras têm o objetivo principal de identificar as posições dos campos de tolerância em relação à linha zero, visando simplificar a identificação de qual sistema tal peça se enquadra, se ela será de encaixe com folga ou forçado sob pressão.

Figura 3 - Campo de tolerância



Fonte: Norma NBR 6158 (1995)

2.5.1 Linha zero

De acordo com a NBR 6158 (1995), linha zero é uma linha que representa a dimensão nominal da peça que serve como referência para os afastamentos em uma representação gráfica de tolerâncias e ajustes. Como forma de convenção a linha zero é representada na horizontal com os respectivos afastamentos positivos acima da linha e os afastamentos negativos abaixo da linha de referência que está bem representada na Figura 1 e na Figura 2.

2.5.2 Tolerância

A tolerância é definida pela norma basicamente como sendo uma diferença entre o afastamento superior pelo afastamento inferior, esse termo é um valor sem sinais.

2.5.3 Fator de tolerância padrão (I, i)

Segundo a norma NBR 6158 (1995, p. 5) se define essa norma como "fator que é uma função da dimensão nominal e que é usado como base para a determinação da tolerância-padrão do sistema." Em que, para um padrão na convenção a indicação

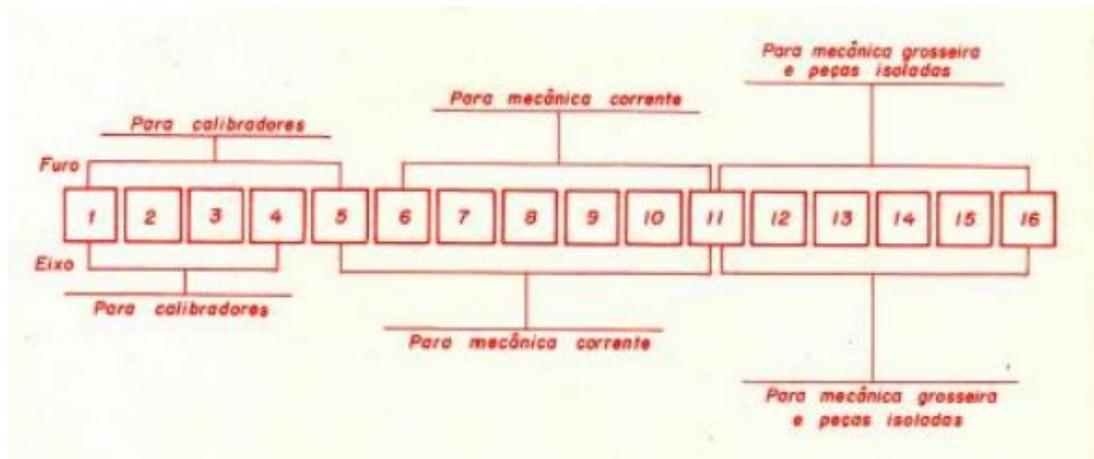
“I” é para dimensões nominais maiores do que 500 mm, enquanto o “i” são para dimensões menores do que 500mm.

2.5.4 Graus de Tolerância

O acabamento e a qualidade variam de acordo com o serviço que determinado equipamento irá realizar, em equipamentos como britadeiras e fresadoras, a qualidade das peças são diferentes pelo fato de a britadeira ser um equipamento mais grosseiro.

Por conta disso, a norma ISO decidiu estabelecer 16 divisões para as qualidades de trabalho, nomeando cada visão conforme Figura 4.

Figura 4 - Qualidade de trabalho



Fonte: Norma NBR 6158 (1995)

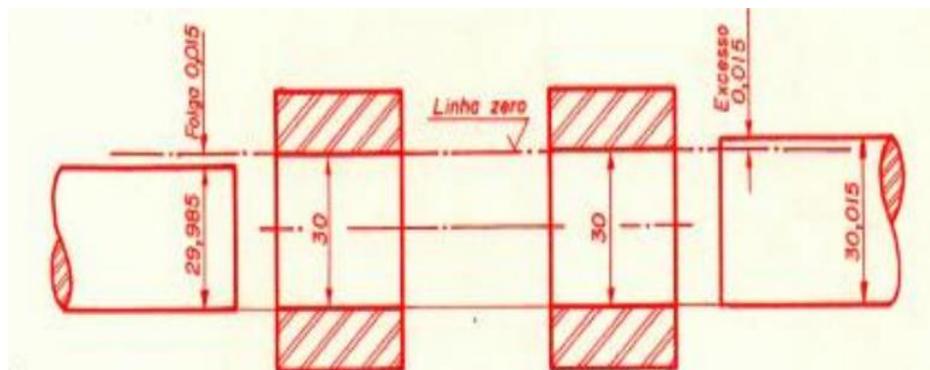
2.5.5 Escolha da qualidade

Em geral, para poder escolher a qualidade é necessário saber como funcionam as divisões feitas pela norma ISO, que basicamente segue uma ordem decrescente, ou seja, quanto mais perto do 1 mais preciso são os equipamentos, conseqüentemente quanto mais perto do 16 mais grosseiro é o equipamento como apresentado na Figura 4.

2.5.6 Ajuste Mecânico

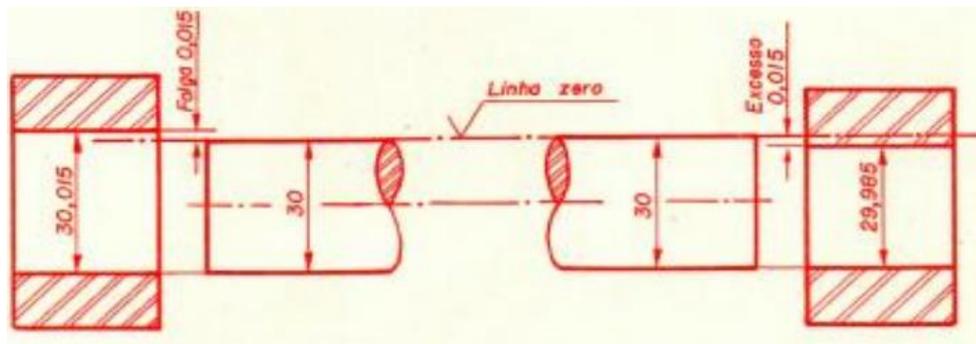
O ajuste mecânico é definido pela norma ISO como um encaixe entre duas peças opostas definidas como macho e fêmea conforme Figura 5 e Figura 6.

Figura 5 - Ajuste Mecânico



Fonte: Norma NBR 6158 (1995)

Figura 6 - Ajuste Mecânico



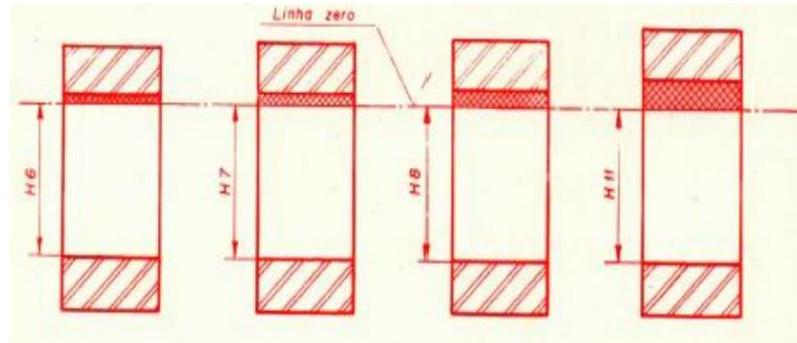
Fonte: Norma NBR 6158 (1995)

Conforme verificado, ambas possuem o ajuste mecânico, porém o que diferencia é nas variações de dimensão, na figura 5 o eixo varia, já na figura 6 as dimensões do furo que variam. A norma ISO definiu alguns ajustes recomendados que são de suma importância dependendo do produto que deseja ser feito seguindo como base a Tabela 1.

2.5.7 Sistema furo base

Nesse sistema basicamente, como o próprio título diz se utiliza o furo como base para padrões e segundo a norma o afastamento do furo em relação à linha zero tem que sempre ser o mesmo valor conforme a Figura 7.

Figura 7 - Sistema furo base

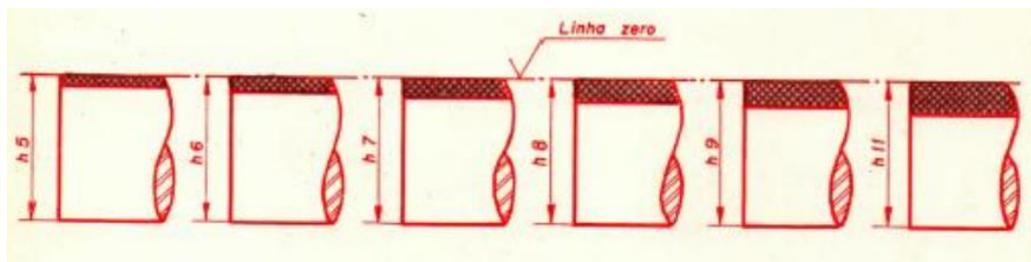


Fonte: Norma NBR 6158 (1995)

2.5.8 Sistema eixo base

Nesse outro sistema, assim como no anterior se segue a mesma linha de raciocínio e utiliza o eixo para os padrões, sendo assim se enquadrar nesse sistema o afastamento superior e com relação à linha zero precisa sempre ser o mesmo valor de acordo com a representação da Figura 8.

Figura 8 - Sistema eixo base

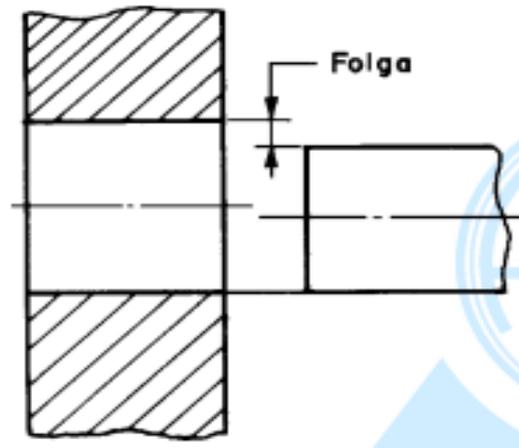


Fonte: Norma NBR 6158 (1995)

2.6 Folga

A folga é definida pela norma NBR 6158 (1995) como sendo uma diferença positiva entre o furo e o eixo conforme Figura 9.

Figura 9 - Folga



Fonte: Norma NBR 6158 (1995)

2.6.1 Tipos de folgas

Existem três tipos de folgas segundo a norma NBR 6158 (1995) que são: ajuste com folga, ajuste com interferência e ajuste incerto.

No ajuste com folga a dimensão do eixo é menor que o furo, já quando possui interferência a dimensão do eixo é maior do que a do furo e por fim o ajuste incerto é quando as dimensões do eixo e do furo se sobrepõem, em que pode ocorrer folga ou interferência entre o furo e o eixo durante a montagem.

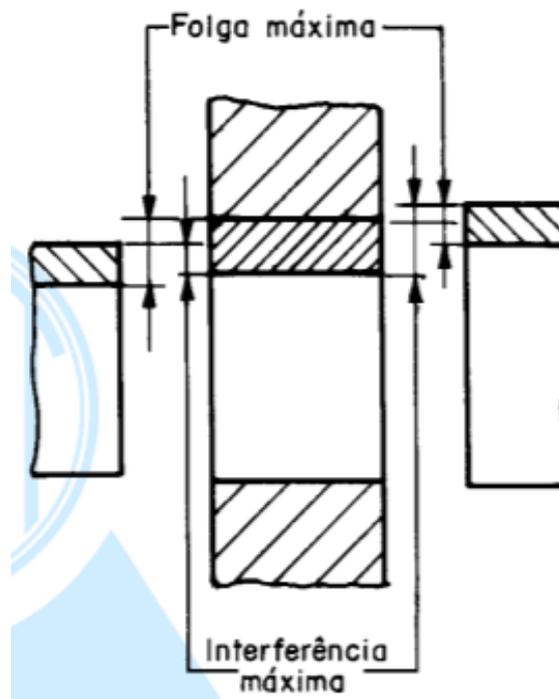
2.6.2 Folga mínima

Esse termo é definido segunda a NBR 6158 (1995) como o valor retirado entre a dimensão máxima do eixo e o valor mínimo.

2.6.3 Folga máxima

Esse outro termo segue a mesma ideia do anterior conforme a norma NBR 6158 (1995), só que de forma oposta, ou seja, é um valor mensurado entre a dimensão máxima do furo e o valor mínimo do furo conforme a Figura 10.

Figura 10 – Ajuste incerto



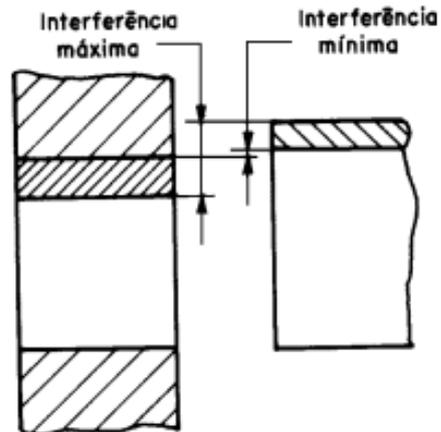
Fonte: Norma NBR 6158 (1995)

2.7 Interferência

De acordo com a NBR 6158 (1995) a interferência, assim como folga, é uma diferença entre as dimensões do furo e do eixo, mas com uma diferença, o resultado da interferência é negativo. A interferência ocorre quando o eixo é maior do que o furo, o que dificulta em uma situação de montagem, se utilizando de acessórios para a entrada forçada de um eixo, por exemplo.

Ainda de acordo com a norma existem dois tipos de interferência, sendo a Interferência mínima definido como sendo a dimensão mínima do eixo e máxima do furo, como falado anteriormente esse valor é dado como sendo negativo como forma de convenção. E a interferência máxima, que ao invés de ser a dimensão mínima do eixo é a dimensão mínima do furo e máxima do eixo como pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 - Interferência



Fonte: Norma NBR 6158 (1995)

2.8 Ajuste

Segundo a norma NBR 6158 (1995, p.5) o ajuste é a “relação resultante da diferença, antes da montagem, entre as dimensões dos dois elementos a serem montados”.

2.8.1 Ajuste com folga

No ajuste com folga a dimensão do furo será sempre maior ou igual ao valor máximo do eixo resultando em uma folga entre furo e eixo, conforme NBR 6158 (1995).

2.8.2 Ajuste com interferência

Neste tipo de ajuste a dimensão do furo será sempre menor ou igual a dimensão do eixo, sendo assim a sua montagem se dá por interferência de acordo com a NBR 6158 (1995).

2.8.3 Ajuste incerto

Neste tipo de ajuste a montagem poderá ser tanto por folga como por interferência entre o furo e o eixo, ou seja, suas tolerâncias se sobrepõem parcialmente ou totalmente, segundo NBR 6158 (1995).

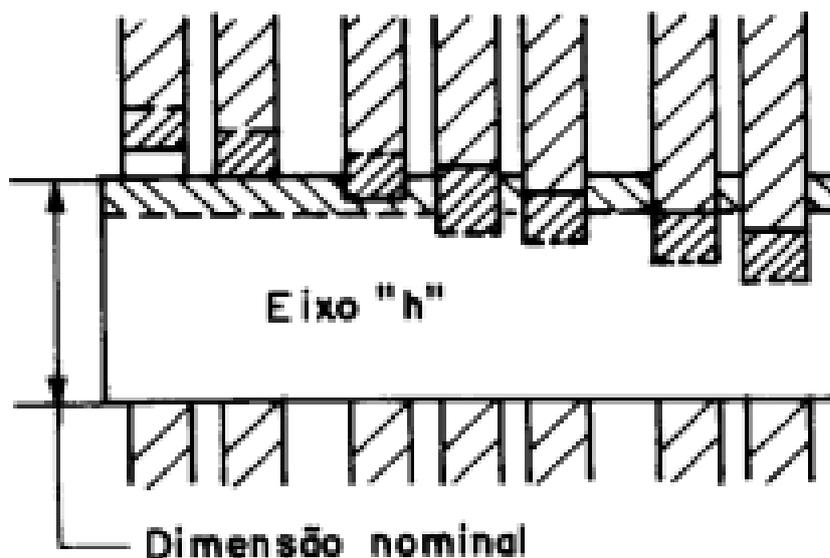
2.9 Sistema de ajustes

Segundo a norma NBR 6158 (1995, p. 7) o sistema de ajustes é um “Sistema compreendendo eixos e furos pertencentes a um sistema de tolerâncias.”

2.9.1 Sistema de ajustes eixo-base

Nesse sistema segundo a NBR 6158 (1995) o eixo tem as suas dimensões idênticas à nominal, ou seja, o valor do afastamento é zero. As folgas são obtidas a partir da ajuda das interferências dos furos com várias faixas de tolerâncias enquanto o eixo tem somente uma faixa como pode ser identificado na Figura 12.

Figura 12 - Sistema de ajustes eixo-base

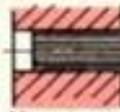
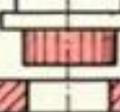


Fonte: NBR 6158 (1995)

2.9.2 Sistema de ajuste furo-base

Assim como no item anterior de acordo com a norma NBR 6158 (1995), a ideia por trás desse sistema é basicamente a mesma, porém não será utilizado o eixo como base, mas sim o furo, logo o furo tem as dimensões de acordo com a nominal, então o valor do afastamento será zero e as folgas são adotados de acordo com a variação de tolerância dos eixos e os furos com afastamento zero conforme a Tabela 2.

Tabela 1 - Ajustes recomendados

AJUSTES RECOMENDADOS							
	TIPO DE AJUSTE	EXEMPLO DE AJUSTE	EXTRA	MECÂNICA	MECÂNICA	MECÂNICA	EXEMPLO DE APLICAÇÃO
			PRECISO	PRECISA	MÉDIA	ORDINÁRIA	
PEÇAS MÓVEIS (uma com relação a outra)	LIVRE	 Montagem à mão, com facilidade.	$H_6 e_7$	$H_7 e_7$ $H_7 e_8$	$H_8 e_9$	$H_{11} a_{11}$	Peças cujos funcionamentos necessitam de folga por força de dilatação, mau alinhamento, etc..
	ROTATIVO	 Montagem à mão podendo girar sem esforço.	$H_6 f_6$	$H_7 f_7$	$H_8 f_8$	$H_{10} d_{10}$ $H_{11} d_{11}$	Peças que giram ou deslizam com boa lubrificação. Ex.: eixos, mancais, etc..
	DESLIZANTE	 Montagem à mão com leve pressão.	$H_6 g_5$	$H_7 g_6$	$H_8 g_8$ $H_8 h_8$	$H_{10} h_{10}$ $H_{11} h_{11}$	Peças que deslizam ou giram com grande precisão. Ex.: anéis de rolamentos, corredeiras, etc..
PEÇAS FIXAS (uma com relação a outra)	DESLIZANTE JUSTO	 Montagem à mão, porém, necessitando de algum esforço.	$H_6 h_5$	$H_7 f_6$			Encaixes fixos de precisão, órgãos lubrificados deslocáveis à mão. Ex.: punções, guias, etc..
	ADERENTE FORÇADO LEVE	 Montagem com auxílio de martelo.	$H_6 j_5$	$H_7 j_6$			Órgãos que necessitam de frequentes desmontagens. Ex.: polias, engrenagens, rolamentos, etc..
	FORÇADO DURO	 Montagem com auxílio de martelo pesado.	$H_6 m_5$	$H_7 m_6$			Órgãos possíveis de montagens e desmontagens sem deterioração das peças.
	À PRESSÃO COM ESFÓRÇO	 Montagem com auxílio de balancim ou por dilatação.	$H_6 p_5$	$H_7 p_6$			Peças impossíveis de serem desmontadas sem deterioração. Ex.: buchas à pressão, etc..

Fonte: Norma NBR 6158 (1995)

Tabela 2 - Ajustes recomendados sistema furo-base

AJUSTES RECOMENDADOS - SISTEMA FURO BASE H7											
Tolerâncias em milésimos de milímetros = 1 μ											
Dimensão nominal mm		FURO 	E I X O								
acima de	até	H7	f7	g6	h6	j6	k6	m6	n6	r6	S6
-	3	0 + 9	- 7 - 16	- 3 - 10	0 - 7	+ 6 - 1	+ 6 0	+ 9 + 2	+ 13 + 6	+ 10 + 12	+ 22 + 15
3	6	0 + 12	- 10 - 22	- 4 - 12	0 - 8	+ 7 - 1	+ 9 + 1	+ 12 + 4	+ 16 + 8	+ 23 + 15	+ 27 + 19
6	10	0 + 15	- 13 - 28	- 5 - 14	0 - 9	+ 7 - 2	+ 10 + 1	+ 15 + 6	+ 19 + 10	+ 28 + 19	+ 32 + 23
10	18	0 + 18	- 16 - 34	- 6 - 17	0 - 11	+ 8 - 3	+ 2 + 1	+ 18 + 7	+ 23 + 12	+ 34 + 23	+ 39 + 28
18	30	0 + 21	- 20 - 41	- 7 - 20	0 - 13	+ 9 - 4	+ 15 + 2	+ 21 + 8	+ 28 + 15	+ 41 + 28	+ 48 + 35
30	50	0 + 25	- 25 - 50	- 9 - 25	0 - 16	+ 11 - 5	+ 18 + 2	+ 25 + 9	+ 33 + 17	+ 50 + 34	+ 59 + 43
50	65	0	- 30	- 10	0	+ 12	+ 21	+ 30	+ 39	+ 60 + 41	+ 72 + 53
65	80	+ 30	- 60	- 29	- 19	- 7	+ 2	+ 11	+ 20	+ 62 + 43	+ 78 + 59
80	100	+ 30	- 36	- 12	0	+ 13	+ 25	+ 35	+ 45	+ 73 + 51	+ 93 + 71
100	120	+ 35	- 71	- 34	- 22	- 9	+ 3	+ 13	+ 23	+ 76 + 54	+ 101 + 79
120	140	0	- 43	- 14	0	+ 14	+ 28	+ 40	+ 52	+ 88 + 63	+ 117 + 92
140	160	+ 40	- 83	- 39	- 25	- 11	+ 3	+ 15	+ 27	+ 90 + 65	+ 125 + 100
160	180									+ 93 + 68	+ 133 + 108
180	200	0	- 50	- 15	0	+ 16	+ 33	+ 46	+ 60	+ 106 + 77	+ 151 + 122
200	225	+ 46	- 96	- 44	- 29	- 13	+ 4	+ 17	+ 31	+ 109 + 80	+ 159 + 130
225	250									+ 113 + 84	+ 169 + 140
250	280	0	- 56	- 17	0	+ 16	+ 36	+ 12	+ 66	+ 126 + 94	+ 190 + 158
280	315	+ 52	- 108	- 49	- 32	- 16	+ 4	+ 20	+ 34	+ 130 + 98	+ 202 + 170
315	355	0	- 62	- 18	0	+ 18	+ 40	+ 57	+ 73	+ 144 + 108	+ 226 + 190
355	400	+ 57	- 119	- 54	- 36	- 18	+ 4	+ 21	+ 37	+ 150 + 114	+ 244 + 208
400	450	0	- 68	- 20	0	+ 20	+ 45	+ 63	+ 80	+ 166 + 126	+ 272 + 232
450	500	+ 63	- 131	- 60	- 40	- 20	+ 5	+ 23	+ 40	+ 172 + 180	+ 292 + 252

Nota:- Para ajustes com outros campos de tolerâncias, existem outras tabelas.

Fonte: Norma NBR 6158 (1995)

3 MÉTODO DE ANÁLISE DE FALHAS

Segundo Oliveira (1994 *apud* NBR 5462; Oliveira, 2012) a Associação Brasileira de Norma Técnicas (ABNT), na norma NBR 5462 (1994), adota a sigla originária do inglês FMEA, *Failure Mode and Effects Analysis*, e a traduz como sendo Análise dos Modos de Falha e seus Efeitos. Ainda segundo Oliveira, a norma define FMEA como um método qualitativo de análise de confiabilidade que envolve o estudo dos modos de falhas que podem existir para cada item, a determinação dos efeitos de cada modo de falha sobre os outros itens e sobre a função específica do conjunto.

Para explicarmos melhor sobre FMEA é necessário entendermos o modo de falha citado pela norma, segundo Sakurada (2001, p. 49), pode ter várias definições mas com o mesmo significado sendo a “maneira na qual o defeito se apresenta” ou “maneira que o componente deixa de executar sua função ou desobedecer as especificações” por exemplo, ou seja, modo de falha é a causa da falha ou a maneira em que uma peça pare de desempenhar seu papel, logo para ser feita a análise do modo de falha é necessário olhar para cada componente de uma maneira diferente já que cada um terá sua função, material e modo de fabricação.

Existem 2 tipos de modo de falhas: o Funcional que é quando olhamos para a função de uma determinada peça e seu modo de falha aparecerá quando ele deixar de executar essa função e o outro tipo é a estrutural, no qual é necessário informações de projeto da engenharia e seu modo de falha será quando a peça fugir das suas dimensões e características originais apresentando por exemplo, um desgaste prematuro.

É importante também entendermos o conceito de Efeito e Causa neste contexto de falhas. De acordo com Sakurada (2001), efeito é a forma ou maneira de como a falha se manifesta ou é percebida dentro de um sistema produzindo efeitos externos, já a causa são os motivos que levaram a aquele modo de falha ocorrer, podendo ser erros em componentes que atuam em conjunto com a peça em questão, erros por fatores ambientais, erros humanos ou da própria peça.

FMEA é uma junção de todos estes conceitos apresentados por Sakurada (2001), ou seja, é um método de estudo dos modos de falhas de cada peça, sistemas

e processos em que cada item é olhado de uma maneira já que eles podem apresentar diversos modos de falhas diferentes.

É avaliado ainda os efeitos produzidos por elas e suas causas, uma questão que pode ser complexa, pois apesar de existirem diversos modos de falhas, os seus efeitos apresentados ainda podem ser os mesmos ou semelhantes, mas possuem causas diferentes, por exemplo a detonação e a pré-ignição que são problemas que acontecem na câmara de combustão do motor e ocasiona a queima do combustível antes do momento ideal.

A detonação segundo o Rodrigues da *Quatro Rodas (2017)* é causada por combustível de baixa octanagem ou uma mistura ar-combustível não homogênea fazendo com que essa mistura não suporte a compressão e cause uma autocombustão antes da centelha, gerando uma pressão bem maior. Já a pré-ignição é causada por um superaquecimento do motor ou por pontos carboníferos no topo do pistão provocando a inflamação da mistura ar-combustível e fazendo com que haja uma combustão antes da centelha principal. Como podemos ver, são dois problemas que têm efeitos semelhantes na combustão do motor, mas possuem causas diferentes.

Esta análise de forma geral irá permitir que olhemos cada peça com seu respectivo modo de falha descrevendo suas principais causas e seu impacto resultante e nos permitirá entendermos melhor as falhas, permitindo que tais problemas possam ser evitados, tomando as devidas providências e ainda auxiliando no desenvolvimento tanto da análise quanto do produto em uma melhoria contínua.

Muitas empresas utilizam e desenvolvem novos formulários de FMEA como uma ferramenta para analisar as falhas e o desenvolvimento de seus produtos ou processos, porém o objetivo deste trabalho não é desenvolver um documento FMEA para cada peça e seu modo de falha, mas sim utilizar alguns dos tópicos desses formulários apresentados por Sakurada (2001), sendo eles:

- Função: Neste tópico iremos explicar qual a função da peça no sistema para nos darmos referência para sua análise.

- Modo potencial de falha: Aqui analisaremos o tipo de falha em que uma determinada peça sofreu levando em consideração a sua função que ela deixou de ser executada ou teve seu rendimento comprometido e as suas especificações de projeto.
- Efeitos potenciais de falha: Neste deve ser analisado as consequências decorrentes do modo de falha e que afetam o sistema e deve ser mostrado seus sintomas ou como percebê-las quando o defeito aparecer.
- Causas potenciais da falha: Aqui será apresentado as causas que ocasionaram as falhas da peça, podendo ser erro da própria peça, erro de montagem, falha das contrapartes atuantes da peça ou de outras componentes vizinhos ou por fatores do ambiente do sistema.
- Ações recomendadas: Neste tópico iremos sugerir ações que devem ser tomadas a fim das falhas apresentadas serem evitadas.

4 NORMA ABNT NBR 13302: RETIFICA DE MOTORES

A norma ABNT NBR 13302:2008 Versão Corrigida:2009 Veículos rodoviários automotores - Retífica de motores de alternativos de combustão interna estabelece normas para o processo de desmontagem e retíficas e montagem nos motores de combustão interna.

Esses procedimentos fazem com que o técnico responsável pela montagem do motor faça inspeções visuais e dimensionais das peças, executem o serviço de retifica em todas as peças que seja necessário e durante a montagem do motor conferir os ajustes dimensionais das peças, sejam por folga ou interferência, se estão todos dentro dos parâmetros adequados para os seus devidos funcionamentos.

Esta norma é de extrema importância para a manutenção de motores de combustão interna, uma vez que se seguido seus procedimentos todos os ajustes do motor estarão adequados para o perfeito funcionamento, evitando assim possíveis falhas dentro do motor.

5 PISTÃO

O pistão será a primeira peça que iremos abordar sobre suas falhas, mas primeiro vamos entender suas principais funções dentro de um motor de combustão interno.

O pistão possui algumas funções essenciais dentro de um motor de combustão interna, sendo eles: comprimir ar ou a mistura ar-combustível para gerar um aumento de pressão e temperatura dentro da câmara para que se possa ter uma combustão adequada para o motor, transmitir a energia gerada pela combustão para a biela, expelir para fora da câmara os gases resultantes da combustão e dissipar a carga térmica recebida através dos anéis e dos cilindros, de acordo com as notas de aulas.

Para que os pistões exerçam suas funções adequadamente é necessário que a montagem e as condições do motor também estejam adequadas, isto é, tanto o cilindro como o pistão devem atender as tolerâncias dimensionais e geométricas especificadas pelo fabricante do motor, o sistema de lubrificação deve estar funcionando em sua pressão especificada para o motor e com o óleo em perfeitas condições sem estar degradado ou contaminado, o sistema de arrefecimento do motor deve estar funcionando adequadamente, entre várias outras condições.

5.1 Falhas prematuras em pistões

Os pistões terão a vida útil reduzida caso sejam submetidos a condições de funcionamento inapropriadas dentro de um motor, seja por erro do sistema em geral do motor, erros de montagem, combustível adulterado ou caso o pistão tenha um desvio de qualidade em sua fabricação.

5.2 Falhas prematuras causadas por erros de montagem

Tomando como base o manual de falhas prematuras de pistões da Takao do Brasil (2021c) entende-se como falhas prematura por erro de montagem, qualquer tipo de falha que venha a ser causado por imperícia, imprudência ou negligência do técnico responsável pela montagem do motor, que efetua a sua montagem sem averiguar com base em manuais ou tabelas técnicas de montagem do motor, se os ajustes por folgas ou interferência, estão dentro dos parâmetros adequados.

Além disso, se caracteriza por erro de montagem, o aquecimento da biela para a montagem no pistão em uma temperatura inadequada, montagem do motor em um ambiente agressivo sujeito a partículas que contaminam o motor e a não efetivação de uma limpeza adequada durante a sua montagem, entre outros que iremos abordar mais adiante.

5.2.1 Montagem do pistão com a seta para o lado incorreto

Todos os pistões possuem um lado correto em que eles devem ser montados, e eles possuem uma seta em seus topos que indicam isto conforme Figura 13. O lado correto de sua montagem depende da especificação que o fabricante do motor determinou, podendo a seta apontar para a polia ou para o volante do motor, de acordo com as notas de aula.

Figura 13 - Indicação da seta no topo do pistão



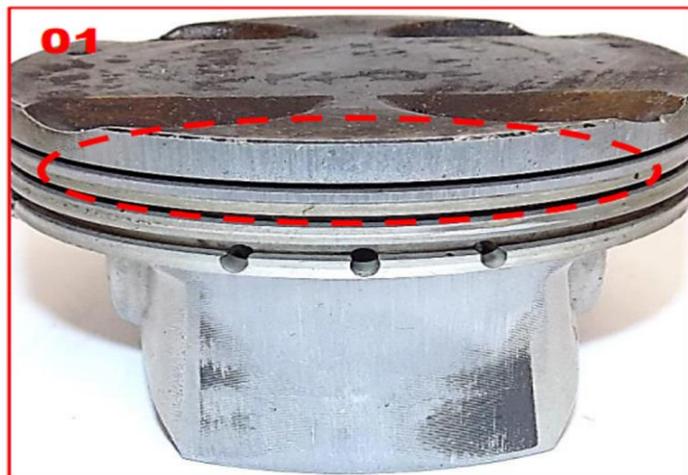
Fonte: Autoria própria (2021)

Isto é necessário pois os pistões não são simétricos, eles possuem o seu furo do pino descentralizado em relação ao seu eixo de simetria, pois segundo a Takao do Brasil (2021a) esta descentralização é projetada para que o pistão possua um apoio durante a compressão e para auxiliar também no seu apoio nos momentos em que ele vai de PMS (Ponto Morto Superior) a PMI (Ponto Morto Inferior), fazendo com que haja uma redução de ruídos e vibrações provocados pelos movimentos secundários do pistão.

Ainda de acordo com a Takao do Brasil (2021c) quando se efetua a montagem do pistão com sua posição invertida, ele perdera o seu ponto de apoio durante a compressão, e ao sofrer a força da combustão ele se chocará de forma mais brusca com a parede do cilindro ao mudar sua direção de sentido.

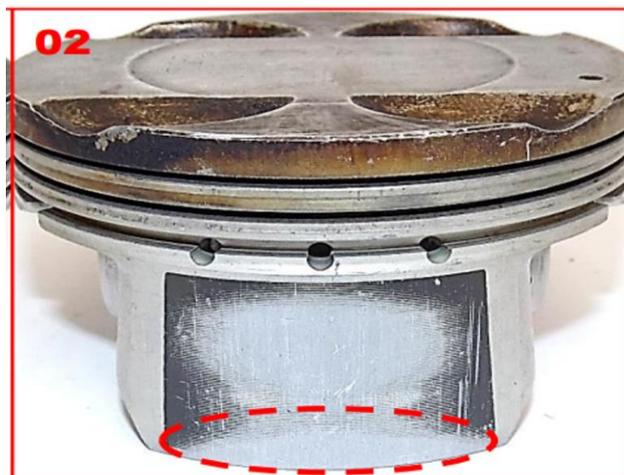
Esta anomalia irá causar maiores ruídos e vibrações no motor, como um fenômeno comumente chamado de “batida de saia”. Já o pistão sofrerá marcas de desgaste na região do seu topo em um lado da saia conforme Figura 14 e em sua borda inferior do outro lado da saia, como mostra na Figura 15.

Figura 14 - Desgaste provocado no pistão pela sua montagem de forma invertida



Fonte: Takao do Brasil (2021c)

Figura 15 - Desgaste provocado no pistão pela sua montagem de forma invertida



Fonte: Takao do Brasil (2021c)

Ações recomendadas: ler os manuais de montagem do motor e prestar atenção para que lado o pistão deve ser montado com base para onde a sua seta de referência deve apontar.

5.2.2 - Engripamento do pino

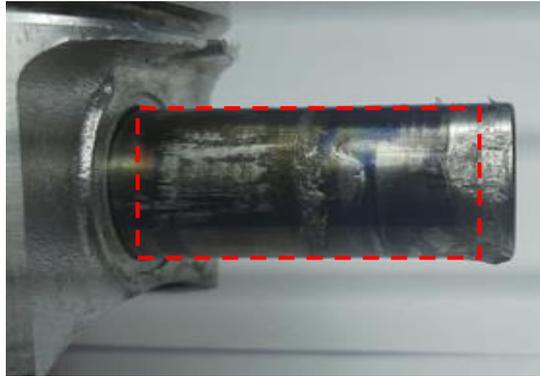
Uma das maiores falhas que um pistão sofre é durante a sua montagem na biela, principalmente para pinos fixos na biela, em que são montados por interferência. Para este processo de acordo com Gonçalves (2014) é necessário aquecer o pé da biela (local onde o pino irá entrar) em uma temperatura que depende da recomendação do fabricante da biela, podendo variar de 240°C a 320°C, de maneira que esta temperatura seja controlada, no qual recomenda-se o uso de fornos elétricos ou aquecimento por indução. Ainda é necessário que os pinos e os alojamentos do pistão sejam lubrificados antes de sua aplicação na biela.

Caso durante a montagem não seja respeitado o limite de temperatura máxima definido para a biela e/ou sua montagem seja feita a seco, sem uma lubrificação, o pino poderá travar no lado que atravessou o furo da biela ou até nos dois lados, isso pois o pino irá dilatar e empenar com o calor recebido da biela de maneira abrupta segundo a Takao do Brasil (2021c).

Explicando de forma mais objetiva, o engripamento nada mais é que um fenômeno e termo muito utilizado na mecânica, no qual pode ser definido como sendo a impossibilidade de movimento ocasionada por uma pressão excessiva e é o que acontece com o pino caso haja uma dilatação excessiva.

Das Figuras 16 a 19 são ilustrações de engripamento sendo perceptível a falha uma vez que há depósitos de material do alojamento do pistão no pino, bem como sua coloração azul e amarela, indicando ainda mais o aquecimento excessivo da biela durante a sua montagem no pistão.

Figura 16 - Marcas de engripamento no pino



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 17 - Marcas de engripamento no alojamento



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 18 - Material do alojamento depositado sobre o pino



Fonte: autoria própria (2021)

Figura 19 - Material do alojamento depositado sobre o pino



Fonte: Autoria própria (2021)

Durante a montagem da biela muitas vezes pode não ser perceptível essa falha já que a biela mesmo com pouca folga entre pino e alojamento irá se movimentar, porém se montado no motor, em poucos instantes de funcionamento com o aquecimento do motor, irá ocorrer mais dilatação no pino que terminará de estrangular a folga com seu alojamento, travando imediatamente o conjunto pistão, pino e biela dentro do cilindro podendo gerar enorme desgaste na saia pelo atrito abrupto com a parede do cilindro conforme a Figura 20.

Figura 20 - Desgaste do pistão pelo atrito com o cilindro



Fonte: A autoria própria (2021)

Ações recomendadas: antes da montagem do pistão na biela, verificar se o pino consegue passar pelos dois alojamentos do pistão sem muito esforço com o objetivo de verificar uma descentralização dos furos; ser efetuado aquecimento das bielas na temperatura recomendada pelo fabricante de maneira controlada com uso de fornos elétricos ou aquecimento por indução e a lubrificação do pino e alojamento.

5.2.3 Pino atuando fora de posição

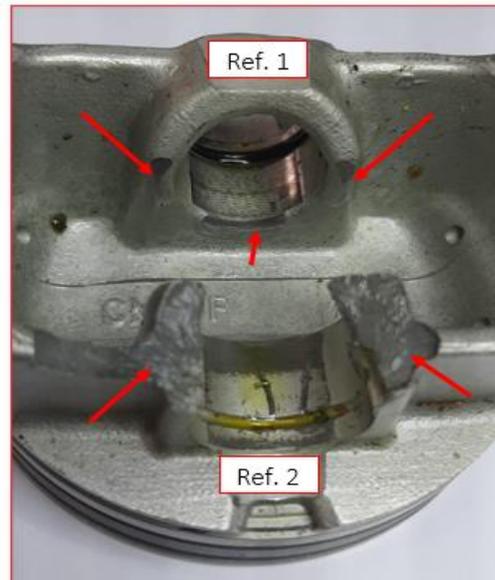
Para os chamados pinos flutuantes, que não são fixos na biela, é necessário a montagem de travas ou argolas nos alojamentos dos pinos, para evitar o seu deslocamento para fora do pistão.

De acordo com a Takao do Brasil (2021c) caso não seja realizada a montagem dos pistões com pinos flutuantes sem as travas ou sejam montadas de maneira errada de forma que as travas não cumpram suas funções, o pino poderá correr para fora de seu alojamento de forma que ele se apoie no cilindro e a atue fora de sua posição, sem estar paralelo e nem perpendicular. Esta ocorrência irá fazer com que o pino gere desgaste ou deformação no alojamento oposto do qual ele saiu e poderá causar ruptura ou trincas por esforço de flexão no lado do alojamento em que ele se deslocou.

Nas Figuras 21 e 22, é perceptível que o pino desgastou e deformou o alojamento ao lado oposto em que ele se deslocou, conforme a referência 1 da

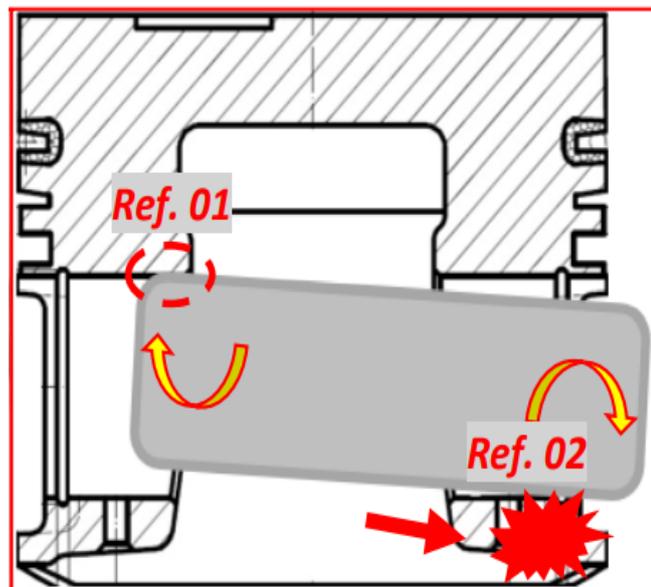
imagem, porém quando se fala da Referência 2, pelo fato de o pino atuar forçando sobre o alojamento em que ele se deslocou para fora pode causar a sua ruptura por esforço de flexão.

Figura 21 - Pino atuando fora de sua posição



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 22 - Pino atuando fora de sua posição (desenho)



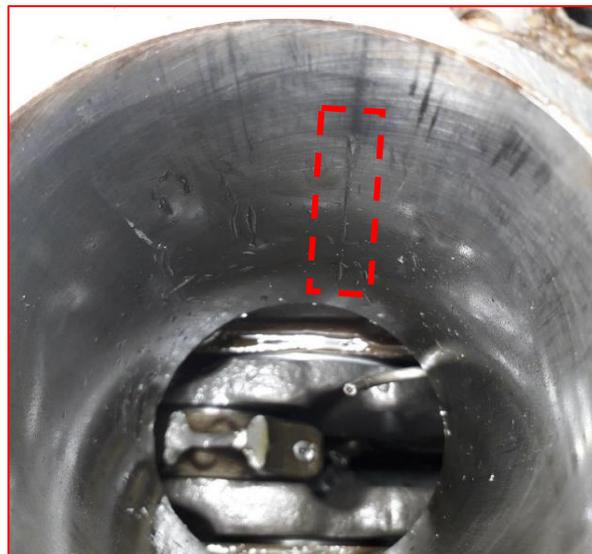
Fonte Takao do Brasil (2021c)

Além da montagem incorreta da trava, outro problema que pode levar o pino se deslocar para fora de seu alojamento é a montagem do pino junto a irregularidades na biela, com ela podendo estar torta, deformada ou empenada de maneira que a biela atue sem perpendicularidade e paralelismo no conjunto pistão, biela e cilindro fazendo com que gere esforços que forcem o pino para fora de seu alojamento.

Esta falha além dos danos causados ao pistão, pode levar a falha prematura do cilindro, já que o pino irá se apoiar no mesmo e com os movimentos longitudinais do pistão, a camisa irá sofrer deformações por excesso de atrito com o pino.

Nas Figuras 23, 24 e 25 exemplificam bem o dano que pode causar ao motor caso não seja feita a correta montagem do pino, podendo levar a uma falha catastrófica de todo o pistão e conseqüentemente danos ao cilindro do motor e demais peças.

Figura 23 - Marcas de contato do pino com o cilindro



Fonte: Aatoria própria (2021)

Figura 24 - Marcas de contato na face do pino



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 25 - Quebra total do pistão pelo deslocamento do pino



Fonte: Autoria própria (2021)

Ações recomendadas: utilizar as ferramentas adequadas para a montagem das argolas e travas para que elas não sejam danificadas; averiguar o estado das bielas a fim de encontrar irregularidades como seu empenamento ou deformações e corrigi-las ou se necessário trocá-las.

5.3 Falhas prematuras causadas por condições de funcionamento inapropriadas

Tomando como base a Takao Brasil (2021c) entende-se como condições de funcionamento inapropriadas entende-se por qualquer avaria dentro motor que prejudique o funcionamento dos pistões, como uma combustão irregular provocado por combustível de má qualidade, problemas no sistema de lubrificação do motor ou no sistema de arrefecimento entre outros que iremos falar logo abaixo.

5.4.1 Engripamento do pistão

Segundo o manual de falhas prematuras da Mahle (2019a) o coeficiente de dilatação do pistão é maior do que o do cilindro, portanto, as folgas entre pistões e cilindro que já são pequenas tendem a serem menores ainda quando o motor entra em funcionamento e o pistão dilata.

Caso ocorra um superaquecimento do pistão ou ainda seja realizado uma montagem do conjunto pistão e cilindro com folgas menores do que a especificada no manual de montagem do motor, com a expansão volumétrica do material do pistão, ocorre o estrangulamento da folga de óleo e o rompimento do filme de óleo que separa o pistão do cilindro gerando um contato metal-metal entre as peças e formando o desgaste característico do engripamento como mostra as Figuras 26 e 27.

Figura 26 - Engripamento do pistão



Fonte: Aatoria própria (2021)

Figura 27 - Engripamento do pistão



Fonte: Aatoria própria (2021)

O lado da saia que vai sofrer o maior desgaste sempre é o lado que apoia no cilindro durante a compressão, segundo a Takao do Brasil (2021c).

As maiores causas quanto a um superaquecimento do pistão que ocasione sua dilatação pode estar relacionada a qualquer tipo de avaria no sistema de arrefecimento do motor, que como destaca o Manual de Falhas da Mahle (2019a), pode estar relacionada ao engripamento da válvula termostática que pode permitir que o líquido de arrefecimento já quente não passe pelo radiador, problemas na bomba d'água de tal modo que não gere vazão suficiente do líquido de arrefecimento para o funcionamento adequado do sistema e até problemas no radiador que não faça uma troca térmica adequada. Todos esses fatores podem contribuir para um aquecimento excessivo de todo o motor e inclusive do pistão, podendo gerar o fenômeno de engripamento.

Segundo a Takao do Brasil (2021c), o engripamento pode ter como causa ainda problemas por uma lubrificação deficiente, seja por uma insuficiência de óleo ou até sua diluição por excesso de combustível durante a combustão de modo que o engripamento comece na região central da saia e se expanda para as laterais como mostrado na Figura 28.

Figura 28 - Engripamento mais intenso na região central da saia



Fonte: Aatoria própria (2021)

Ações recomendadas: ainda como destaca o manual de falhas da Mahle (2019a) é essencial que seja feita periodicamente a revisão e manutenção de todo o sistema de arrefecimento do motor; é necessário que seja feita a montagem dos pistões com as folgas adequadas especificadas no manual de montagem do motor feita pelo fabricante evitando que os pistões sejam montados com uma folga insuficiente.

5.3.2 Desgaste abrasivo

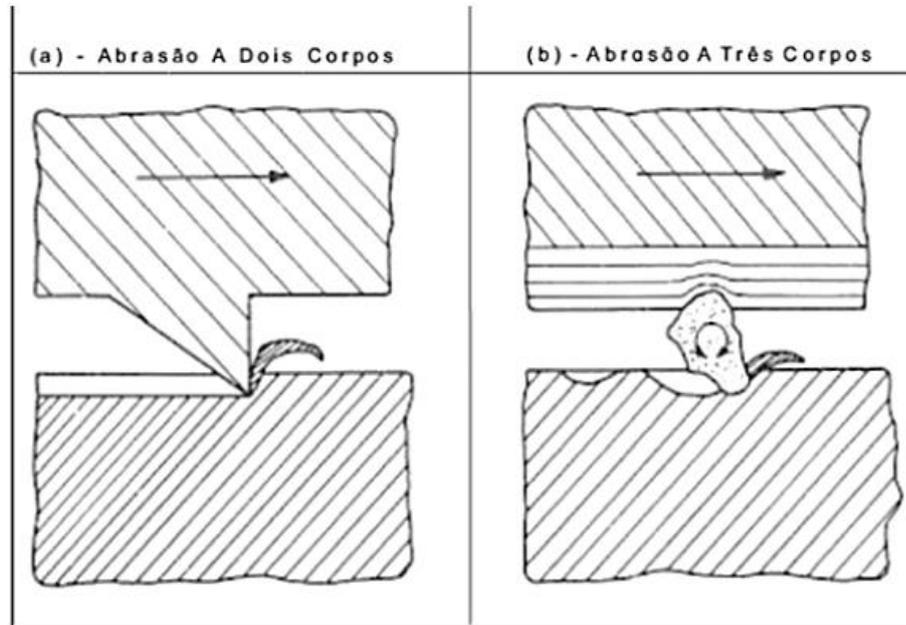
O desgaste abrasivo é uma das falhas mais comuns que podem acontecer no motor para diversas peças além dos pistões, como bronzinas, anéis e bomba de óleo, por exemplo.

Ela pode se caracterizar tanto por erros de montagem como por condições de funcionamento inapropriadas no motor, levando a um desgaste excessivo nas saias dos pistões.

Antes de falarmos sobre o desgaste causado nos pistões vamos primeiro definir o desgaste abrasivo. Segundo a Rijeza Metalurgia (2020), o desgaste pode ser definido como um dano causado na superfície pela interação mecânica com outra superfície, corpo ou fluido. Portanto se trata de um fenômeno em que ocorre a perda de material conforme um determinado sistema continue a funcionar em função do atrito entre os componentes.

O mecanismo de desgaste abrasivo pode acontecer de duas formas, a primeira é quando se tem a interação entre 2 corpos, causados por duas superfícies rugosas que estão em contato entre si. Já a segunda forma, é a interação entre 3 corpos quando se tem um corpo sólido entre duas superfícies e acontecerá a remoção de material da superfície de menor dureza como exemplifica a Figura 29.

Figura 29 - Classificação do desgaste abrasivo

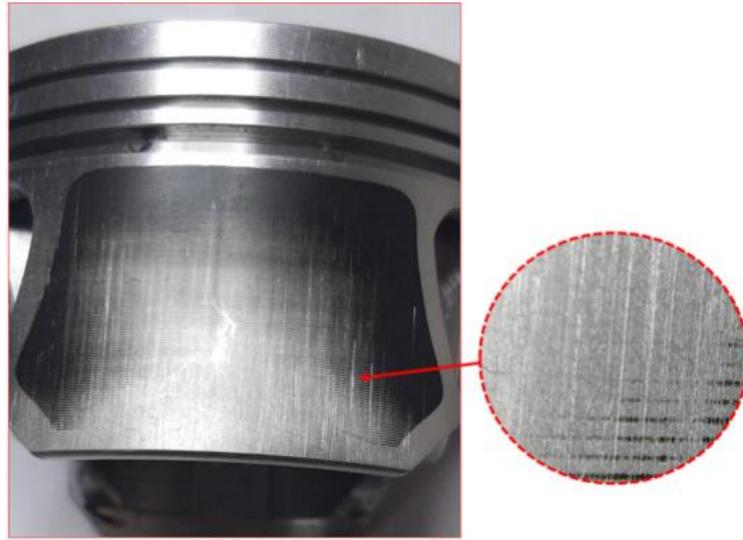


Fonte: Marin (2010).

O mecanismo de desgaste abrasivo nos pistões, de acordo com a Takao do Brasil (2021c), acontece quando partículas estranhas adentram a câmara de combustão do motor e rompem o filme de óleo entre pistão e cilindro arranhando as suas superfícies como no desgaste abrasivo a 3 corpos, retirando pequenas porções do material de menor dureza e gerando novos contaminantes no motor, agravando ainda mais o problema. Ainda existe a possibilidade de o desgaste ter sido a 2 corpos, caso o brunimento do cilindro esteja com uma alta rugosidade, ou seja, excesso de picos, que em contato com a saia e canaletas dos pistões levará a um desgaste prematuro.

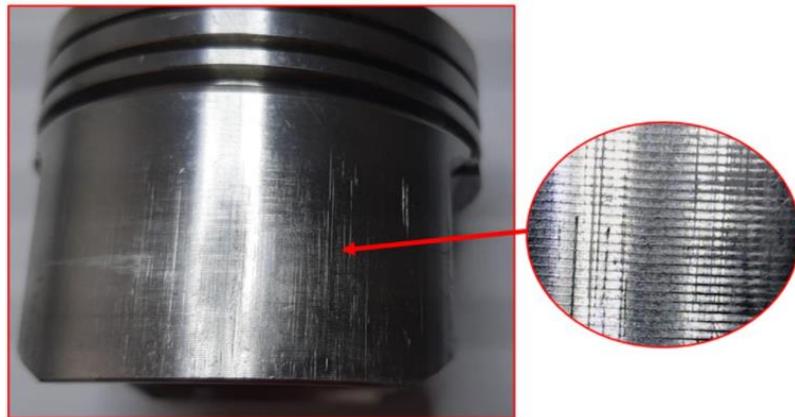
Esta falha é facilmente percebida por riscos cortantes verticais no seu sentido de funcionamento dos pistões e uma coloração opaca. Caso o pistão possua uma camada de grafite será mais perceptível a remoção deste material conforme as Figuras 30 e 31.

Figura 30 - Desgaste abrasivo nas saias do pistão



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 31 - Desgaste abrasivo nas saias do pistão



Fonte: Autoria própria (2021)

Existem diversos fatores que possa levar a este tipo de falha segundo a Takao do Brasil (2021c), sendo eles:

- Óleo lubrificante contaminado: o funcionamento dos pistões junto a um óleo lubrificante com corpos estranhos pode levar ao mecanismo de desgaste abrasivo a 3 corpos. Esta irregularidade pode ser consequência da não efetivação de uma limpeza adequada do motor pelo técnico responsável durante a sua montagem, bem como a montagem em um ambiente não adequado que contenha a presença de terra, poeira, areia ou qualquer partícula

que adentre o motor quando aberto para sua montagem, de forma que fique contido corpos abrasivos dentro do motor. Pode ser causado ainda por uma falha prematura de uma peça dentro do motor, de maneira que libere limalhas no óleo lubrificante, causando um desgaste excessivo em todo o sistema.

- Entrada de partículas estranhas pela linha de admissão do motor: esta causa é ligada ao filtro de ar, caso o motor funcione com um filtro de ar já saturado ou até mesmo ausente, será propício a entrada de partículas estranhas pela linha de admissão de ar para dentro da câmara de combustão, causando desgaste abrasivo a 3 corpos.
- Brunimento fora do especificado: um brunimento no cilindro com uma rugosidade muito acima da recomendada e sem a efetuação do processo de *plateau honing* (processo realizado após o brunimento que quebra os picos mais elevados do cilindro, diminuindo sua rugosidade), resultará em um cilindro com excesso de picos elevados em sua superfície que em contato com o pistão levará a um desgaste abrasivo a 2 corpos.

Quando realizado uma análise dimensional no diâmetro do pistão pode ser visto que haverá uma redução considerável de seu diâmetro efetivo, resultando em uma folga excessiva do pistão dentro do cilindro.

Ações recomendadas: efetuar a montagem do motor em um ambiente adequado e limpo; efetuar a limpeza do motor e seus componentes antes, durante e após sua montagem a fim de eliminar qualquer partícula abrasiva que possa ficar contida em seu interior; efetuar a revisão do filtro de ar e trocá-lo se necessário; realizar o processo de brunimento com ferramentas adequadas e com sua rugosidade dentro dos parâmetros especificados pelo fabricante; realizar o processo de *plateau honing* para quebra de picos após o processo de brunimento.

5.3.3 Carbonização no topo do pistão

A presença de depósitos carboníferos nos topos dos pistões pode estar relacionada ao excesso de óleo presente na combustão ou até por irregularidades no combustível, podendo ser inadequado para o motor ou adulterado.

Quando a carbonização parte da queima de óleo na combustão segundo a Takao do Brasil (2021c) será possível notar manchas amarelas e depósitos carboníferos ao redor da zona de fogo como pode ser visto nas Figuras 32 e 33.

Figura 32 - Carbonização por excesso de óleo na combustão



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 33 - Carbonização por excesso de óleo na combustão



Fonte: Autoria própria (2021)

Para este tipo de carbonização pode haver diversas causas como destaca a Takao do Brasil (2021c), podendo ser por qualquer irregularidade nos anéis de forma que eles não façam a vedação da câmara de combustão adequadamente permitindo a passagem do óleo, não conferência dimensional dos anéis e cilindros da folga entre anéis e canaletas dos pistões, qualquer irregularidade nos cilindros de forma que prejudique a vedação dos anéis bem como um brunimento com uma rugosidade fora dos parâmetros ou qualquer corpo abrasivo presente no cilindro que venha gerar um desgaste prematuro dos anéis, pistões e cilindros permitindo um excesso de passagem

de óleo para câmara de combustão. A queima de óleo pode estar relacionada ainda a vazamentos nos retentores e guias de válvula e até por trincas no cabeçote.

O uso de combustível irregular pode gerar o mesmo problema, pois com um combustível de má qualidade haverá uma queima incompleta durante a combustão permitindo que resíduos do combustível fiquem dentro da câmara de combustão resultando na carbonização do topo do pistão como na Figura 34.

Figura 34 - Carbonização por combustível irregular



Fonte: A autoria própria (2021)

Acontece que em ambos os casos pode levar o pistão a outra falha: a pré-ignição.

Ações recomendadas: averiguar as dimensões dos anéis e cilindros para que não ocorra a passagem de óleo; realizar processo de brunimento dentro dos parâmetros adequadas para que os anéis não se desgastam prematuramente; verificar estado do cabeçote a fim de encontrar trincas; averiguar e trocar se necessário retentores e guias de válvulas; evitar o uso de combustível de má qualidade ou adulterado.

5.3.4 Ruptura entre as canaletas

A ruptura entre canaletas, mostrada nas Figuras 35 e 36, é uma falha comum acometida tanto em pistões de motor ciclo Otto como a Diesel e é uma falha que segundo a Mahle (2019a) é uma consequência da elevação repentina do pico de pressão de combustão em que o pistão fica sujeito a maiores cargas mecânicas e térmicas do que ele foi projetado a suportar.

Figura 35 - Ruptura entre as canaletas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 36 - Ruptura entre as canaletas



Fonte: Autoria própria (2021)

A Takao do Brasil (2021c) ainda explica que esta quebra dos pistões ocorre devido a vibração excessiva dos anéis, por consequência da alta carga da combustão, que vai gerando a falha por fadiga nas paredes entre canaletas, provocando trincas que quando atravessam toda a parede entre canaletas causa a sua ruptura conforme indica a seta vermelha na Figura 37.

Figura 37 - Surgimento de trincas



Fonte: Autoria própria (2021)

A elevação do pico de pressão de combustão que pode levar o pistão a essa falha tem como principais causas o fenômeno de Detonação já citado anteriormente. Como ressalta a Takao do Brasil (2021c), este fenômeno é uma autocombustão do combustível injetado de baixa octanagem que gera impacto com as frentes de chamas da ignição, provocando uma elevação súbita no pico de pressão dentro da câmara de combustão provocando um superaquecimento e uma vibração dos pistões e anéis, podendo levar a ruptura da canaleta.

Ações recomendadas: evitar o uso de combustível adulterado.

5.4 Falhas por defeito de fabricação

Se caracteriza como defeito de fabricação de peças com valores dimensionais fora do tolerável ou peças com padrões diferentes do original que possa levar a falha do sistema ou qualquer tipo de avaria presente em sua estrutura.

5.4.1 Desvios dimensionais

Para o adequado funcionamento no motor assim como as suas contrapartes devem estar dentro de suas medidas especificadas os pistões devem atender aos mesmos requisitos.

Portanto a algumas medidas essenciais que devem estar dentro da medida tolerável do pistão sendo elas: diâmetro do pistão, altura de suas canaletas, altura de compressão e diâmetro do alojamento dos pinos.

5.4.2 Diâmetro do pistão

O diâmetro do pistão é quem define a folga entre os pistões e cilindros, normalmente se faz sua medição na região da saia pois os pistões não são totalmente cilíndricos, eles possuem um formato abaulado, e sua medição deve ser realizada no ponto de maior medida

Pelo projeto do motor cada pistão terá a sua medida baseada na folga projetada, portanto um pistão com diâmetro menor que o especificado acarretará uma folga excessiva prejudicando a formação do filme de óleo na parede do cilindro e podendo permitir que ocorra a batida de saia, pois o pistão não terá um apoio adequado e irá se movimentar ao mudar de direção.

Já um pistão acima de sua medida provoca uma folga insuficiente, fazendo que com a dilatação do pistão ele esteja mais propício a se agarrar com as paredes do cilindro, estrangulando a folga de óleo e provocando o fenômeno de engripamento.

5.4.3 Altura das canaletas

Essa medida tem maior influência sobre o funcionamento dos anéis de segmento.

Segundo Kolbensmidt (2018) uma altura da canaleta acima do limite pode provocar uma vibração excessiva dos anéis além disso sua torção excessiva gera um desgaste irregular e maior consumo de óleo. Uma altura abaixo do especificado pode ocasionar o travamento dos anéis na canaleta quando mediante a temperatura do

sistema o que impacta diretamente na dissipação de calor dos pistões realizada pelos anéis que não será mais efetiva e pode ocasionar um superaquecimento do pistão.

5.4.4 Altura de compressão

Essa medida impacta diretamente na taxa de compressão do motor e sua medição é realizada do centro do pino até seu topo.

Uma altura acima do especificado além de aumentar a taxa de compressão, se for uma altura muito elevada pode fazer com que a projeção dos pistões passe a do cilindro e provocar um impacto direto com as válvulas de admissão e escape no seu funcionamento.

Uma altura abaixo do especificado diminui a taxa de compressão pois o volume residual dentro da câmara de combustão será maior, afetando desempenho e consumo do veículo.

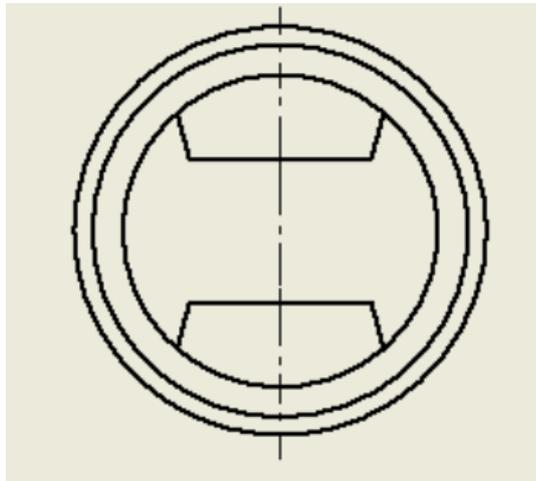
5.4.5 Diâmetro do alojamento dos pinos

Esta medida impacta diretamente no funcionamento dos pinos, um diâmetro acima do tolerável provocará uma folga excessiva entre alojamento e pino ocasionando ruído e um diâmetro abaixo provoca uma folga insuficiente podendo provocar travamento do pino quando dilatado mediante as temperaturas do motor.

5.4.6 Descentralização dos furos do pino

Os dois furos para encaixe do pino devem ser perfeitamente alinhados para a montagem do pino como ilustra a Figura 38, com uma descentralização desses furos o pino não conseguiria atravessar os dois furos e sua montagem não seria possível.

Figura 38 - Desenho do centro dos furos do pistão



Fonte: Autoria própria (2021)

5.4.7 Seta apontando para o lado errado

Assim como os técnicos responsáveis pela montagem do motor devem prestar atenção para que lado se monta o pistão usando como referência a seta, os pistões também devem respeitar essas indicações.

Uma gravação da seta para o lado incorreto dos pistões, levará ao técnico a montagem incorreta sem que ele perceba, provocando o mesmo tipo de falha descrito no item 5.2.1.

5.4.8 Presença de trincas

A presença de trincas na estrutura do pistão, seja na saia, na região do cubo ou em seu topo podem levar a uma maior falha do pistão quando entrar em funcionamento, pois com toda a carga gerada pela combustão o pistão não suportará e a trinca pode se expandir até sua quebra total.

6 Anéis de segmento do pistão:

Os anéis de segmento possuem basicamente 3 funções dentro de um motor de combustão interno, sendo eles: vedar a câmara de combustão, controlar a lubrificação dentro do cilindro e dissipar calor, segundo a Mahle (2019b).

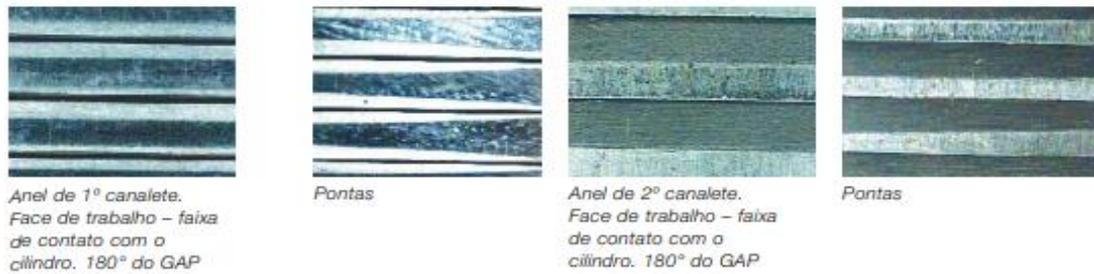
Os anéis de segmento do pistão são constituídos de 3 anéis chamados de anel de compressão, anel raspador, anel de óleo com mola e cada um tem sua principal função, sendo elas:

- Anel de compressão: esse anel tem a função de manter a pressão na câmara de combustão servindo para ter o máximo de contato entre o pistão com o cilindro.
- Anel raspador: tem a função de controlar a lubrificação na parede do pistão, atuando em conjunto como o anel de compressão, ou seja, mantém a pressão na câmara de combustão.
- Anel de óleo com mola ou sem mola: assim como o anel raspador o anel de óleo com mola ou sem mola ajuda a controlar o óleo lubrificante na parede do pistão, no entanto o que difere do anel raspador são as molas que asseguram a pressão contra a parede do cilindro.

6.1 Características normais de trabalho:

As características normais de trabalho dos anéis de segmento do pistão, conforme a Figura 39 têm relação direta com sua forma de trabalho pelo fato do desgaste feito ao longo de sua vida útil com as paredes do pistão ser conciliável com a vida útil total do conjunto motriz que na sua maioria é a composição de componentes tais como: componentes de válvulas, pistões, juntas homocinéticas, conjuntos de embreagem, transportadoras e anéis de encaixe.

Figura 39 - Desgaste normal de funcionamento



Fonte: Mahle (2019b)

6.2 Falhas prematuras em anéis:

Os anéis de segmento terão as suas vidas úteis reduzida caso sejam submetidos a condições de funcionamento inapropriadas dentro de um motor, seja por erro do sistema em geral do motor, erros de montagem como o brunimento, combustível adulterado causando uma combustão irregular ou caso os anéis não atendam as especificações de material ou dimensionais do fabricante.

6.3 Falhas prematuras em anéis causadas por erros de montagem

Entende-se como falhas prematura por erro de montagem, qualquer tipo de falha que venha a ser causado por imperícia, imprudência ou negligência do técnico responsável pela montagem do motor, que efetua a sua montagem sem averiguar com base em manuais ou tabelas técnicas de montagem do motor, se os ajustes por folgas estão dentro dos parâmetros adequados.

Além disso, se caracteriza por erro de montagem, montagem invertida do anel, montagem com corpo estranho, montagem sobreposta das pontas da mola helicoidal ou das pontas do espaçador e até mesmo danos ou rupturas pelo fato de não ser utilizado uma ferramenta adequada e entre vários outros aspectos que iremos abordar a seguir.

6.3.1 Montagem invertida do anel:

Em geral, grande parte dos anéis possuem seu lado correto de montagem que é identificado por uma marcação próximo as pontas dos anéis, e esta marcação deve estar apontada para cima. Realizando uma análise visual é possível identificar que os

anéis foram montados invertidos pelo fato da identificação na lateral no anel virada para baixo do pistão conforme a Figura 40.

Figura 40 - Anéis montados invertidos



Fonte: Takao do Brasil (2021a)

Quando a montagem dos anéis é invertida eles não cumprem o papel que deveriam, logo a retenção de gases na câmara de combustão não será feita de forma efetiva, permitindo que esses gases da combustão passem com maior facilidade para o cárter que é o local onde assegura a lubrificação do motor que reduz os atritos e evita o superaquecimento do motor. Portanto, com o anel montado invertido o consumo de lubrificantes do motor aumenta porque ao invés de raspar o óleo, ele será não será removido e passa a ser queimado com a mistura de ar combustível dentro da câmara de combustão.

Essa falha de montagem também poderá aumentar o nível de contaminação do óleo por conta do maior aumento dos gases no cárter, diminuindo a vida útil do próprio lubrificante que a longo prazo irá danificar outros componentes do motor como bielas, mancais de bronzina e buchas, além de que irá causar um aumento do consumo de óleo.

Ações recomendadas: prestar atenção na marcação top dos anéis e montá-las nos pistões com essas marcações para cima.

6.3.2 Montagem sobreposta das pontas da mola helicoidal ou das pontas do espaçador:

Esta falha se caracteriza pela montagem das molas ou do espaçador da 3ª canaleta com suas pontas sobrepostas com mostra a Figura 41. Esse tipo de falha faz com que a pressão radial do anel fique comprometida fazendo com que o consumo de óleo lubrificante aumente por conta da falta de pressão nas paredes do cilindro.

Figura 41 -Expansores com suas pontas sobrepostas



Fonte: autoria própria (2021)

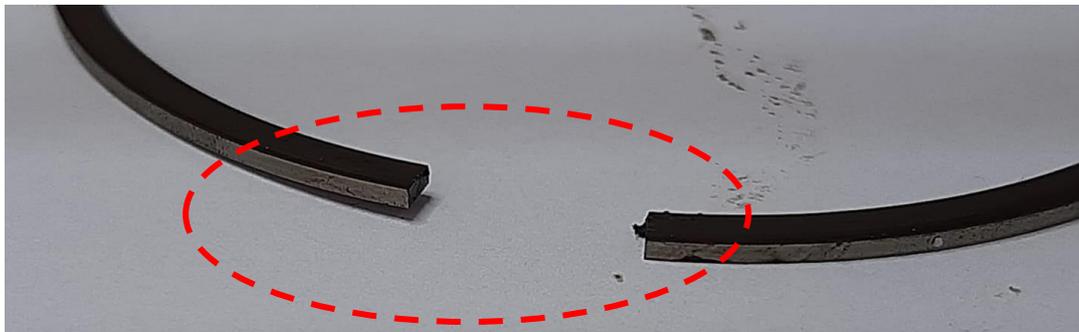
Ações recomendadas: para corrigir essa falha o correto é necessário desmontar e montar da seguinte forma: se possuir dois anéis, montar a mola do anel de óleo com as pontas defasadas a 180° do GAP¹ (folga do anel); se possuir três anéis, é necessário montar os anéis sem sobrepor as pontas do espaçador.

¹ GAP - Folga entre pontas dos anéis.

6.3.3 Montagem dos anéis com ferramentas inadequadas ou danificadas:

A utilização de equipamentos inadequados ou danificados na montagem dos anéis do motor é um grande problema pelo fato de comprometer os anéis, como mostra a Figura 42 que conseqüentemente comprometem o funcionamento do sistema no quesito vedação e movimentação de rotação. Esses problemas podem gerar outro problema que seria o desgaste irregular tanto na face do anel quanto na face do cilindro aumentando o fluxo de gases do motor para o cárter que, conseqüentemente, irá aumentar o consumo de óleo do *Blow-by* que é definido como sendo o fluxo de gases da combustão para o cárter.

Figura 42 - Anel torto pela montagem incorreta



Fonte: Autoria própria (2021)

- *Blow-by*:

De acordo com Camerini (2010) o *Blow-by* é uma condição dos gases do motor que passam da câmara de combustão para o cárter através dos anéis dos pistões, porém se os anéis possuírem algum tipo de falha que permite o fluxo em excesso de gases advindas do motor para o cárter poderá certamente ter um problema. Esse fluxo na realidade não pode ser evitado completamente, apenas controlado, logo, dentro de certas condições e parâmetros especificados pela fábrica é uma condição normal. Esses gases, quando passam para o cárter se misturam aos gases de vapor do óleo, e então são recirculados para a câmara de combustão e não são liberados na natureza para que a contaminação do ar não ocorra como acontecia antes da regulamentação do PROCONVE. Quando os gases entram em contato com o óleo, existe também uma possibilidade da pressão que ocorre com o fluxo excessivo de

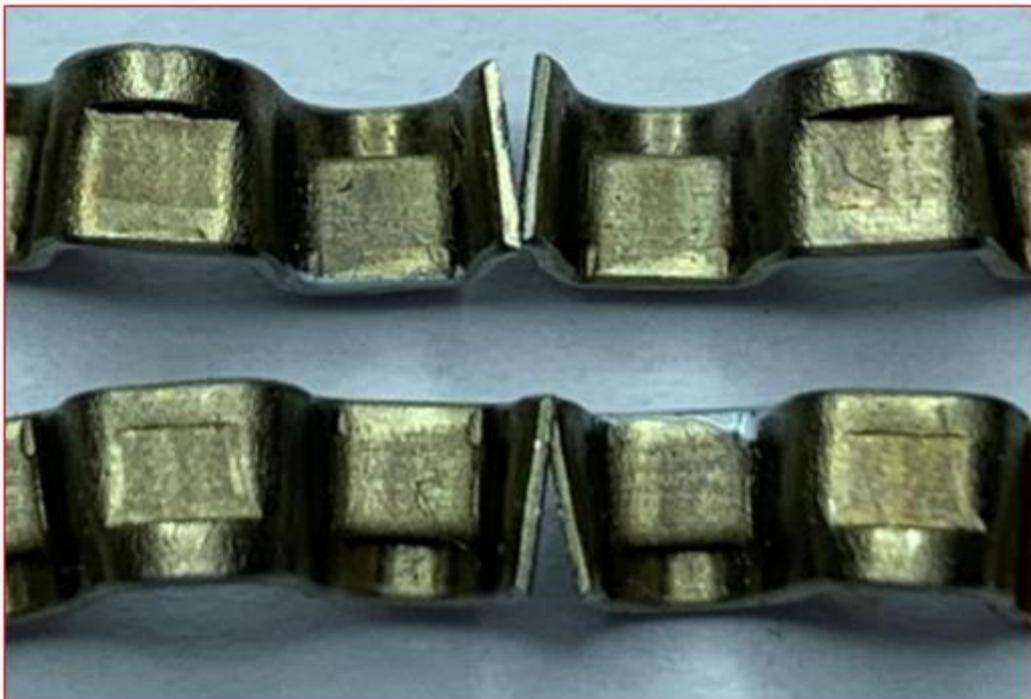
gases, empurrando um pouco do óleo para fora da porta da vareta, por tanto, ao fazer uma inspeção na vareta de óleo do motor será possível identificar o óleo, sendo um indicativo para o possível problema de *Blow-by*.

Ações recomendadas: para a correção desses problemas é necessário se atentar a algumas especificações quando for montar o motor, não podendo utilizar as mãos para a abertura dos anéis nem utilizar ferramentas erradas que podem danificar o componente, utilizando a ferramenta correta estando em boas condições como o alicate expensor para anéis.

6.3.4 Adulteração dos anéis

A adulteração dos anéis tem por objetivo diminuir o diâmetro externo dos anéis para que seja possível a adaptação deles em condições diferentes como mostra a Figura 43.

Figura 43 - Adulteração das pontas das molas espaçadoras



Fonte: Aatoria própria (2021)

Ações recomendadas: para que não ocorra esse tipo de problema a recomendação é não promover nenhum tipo de modificação nos anéis e deve ser utilizado os anéis específicos para cada utilização.

6.4 Falhas prematuras em anéis causadas por condições de funcionamento inapropriadas

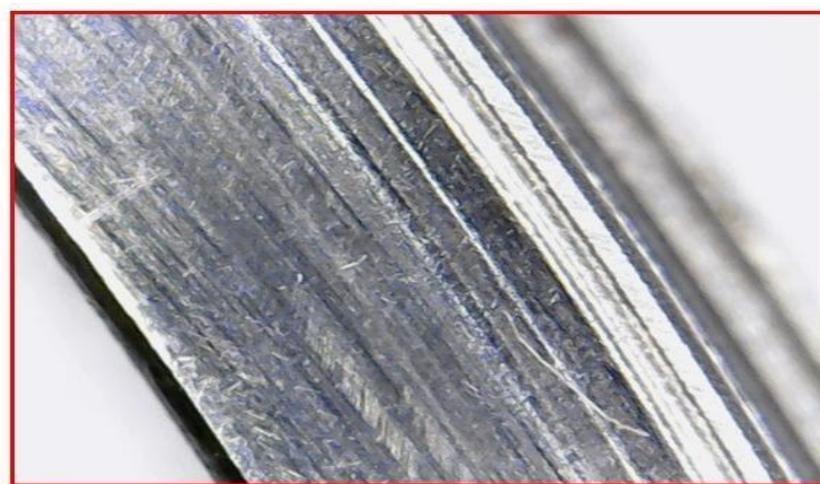
Como condições de funcionamento inapropriadas entende-se por qualquer avaria dentro motor que prejudique o funcionamento dos anéis, como uma combustão irregular provocado por combustível de má qualidade, brunimento fora do especificado, óleo lubrificante contaminado entre outros que iremos citar logo a seguir.

6.4.1 Desgaste abrasivo

Esta falha se caracteriza pelas mesmas causas descritos no item 5.3.2 sobre desgaste abrasivo nos pistões e também destacado pelo Takao do Brasil (2021a), sendo causado por óleo lubrificante contaminado com partículas abrasivas, admissão de partículas pelo sistema de alimentação de ar e/ou um brunimento fora dos parâmetros com uma rugosidade alta.

Esse tipo de falha é possível identificá-la por uma inspeção visual, no qual a face do anel apresenta corpos estranhos que leva a contaminação do sistema e/ou riscos profundos e excessivos durante toda superfície de trabalho dos anéis como mostra a Figura 44 além de ter como consequência o aumentando o consumo de óleo do motor e promovendo desgaste irregular dos cilindros.

Figura 44 - Desgaste abrasivo nos anéis



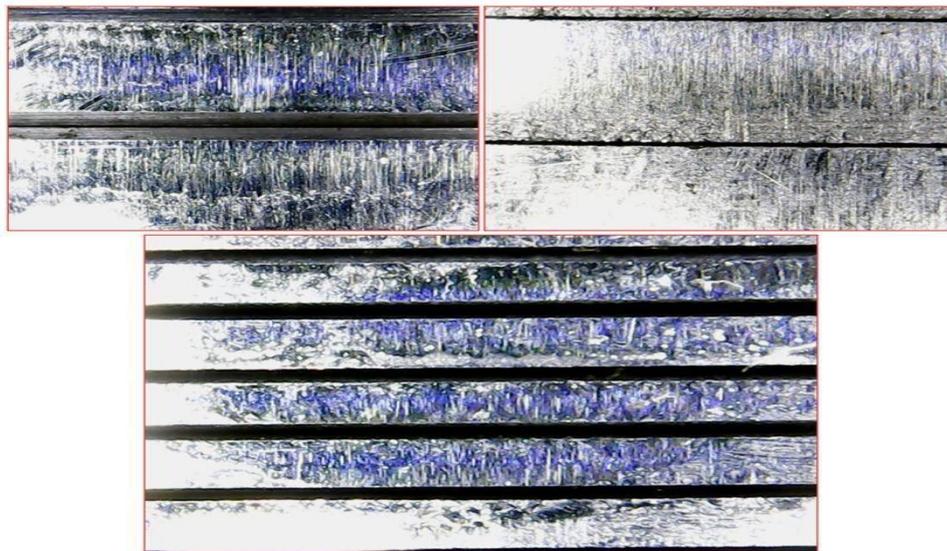
Fonte: Aatoria própria (2021)

A contaminação por abrasivo ocorre por partículas sólidas tais quais areia, poeira e entre outros que acarretam o desgaste prematuro e riscos nos cilindros e saias dos pistões. Essa contaminação pode ocorrer por falha do sistema de filtração de ar que pode ter sofrido algum furo ou então teve alguma aplicação incorreta, além das mangueiras de ar poderem estar furadas ou rachadas. Além desses casos, a contaminação pode ter vindo dos resíduos de usinagem.

Já o brunimento, é um acabamento feito na lateral interna do cilindro que tem por objetivo assentar os anéis do pistão e reter o óleo para a lubrificação das paredes do cilindro para que a movimentação do pistão junto dos anéis seja feita de forma mais “suave”. No entanto, a rugosidade desse processo em excesso dificulta o assentamento dos anéis e a baixa rugosidade também traz problemas em relação a retenção dos óleos lubrificantes.

A rugosidade em excesso como já dito antes, causa desgaste abrasivo a 2 corpos nos anéis, resultando em um mau assentamento dos anéis dentro de cilindro e a redução da sua vida útil por conta do desgaste sofrido, conforme a Figura 45 resultando no maior consumo de óleo já que os anéis não terão mais eficiência em suas funções de vedar a câmara de combustão.

Figura 45 - Desgaste abrasivo nos anéis por uma rugosidade excessivo do cilindro



Fonte: Aatoria própria (2021)

Ações recomendadas: para a correção dessas falhas se faz necessário utilizar elementos que filtram o ar de forma efetiva; fazer inspeção dos filtros e dos dutos de ar periodicamente; antes, durante e após da montagem do motor limpar todos os componentes de forma correta a fim de evitar que partículas estranhas fiquem contidas dentro do motor e contaminem todo o sistema; realizar o processo de brunimento de forma correta segundo as especificações da montadora a fim de evitar um superfície do cilindro muito rugosa.

6.4.2 Carbonização dos anéis

A carbonização dos anéis como mostra a Figura 46 tem como a maior causa uma combustão irregular pelo combustível de má qualidade ou até adulterado e ela se faz mais presente nos anéis de compressão pois é o anel que sofre com a maior frente da chama da combustão.

Figura 46 - Carbonização no anel



Fonte: Autoria própria (2021)

Com a carbonização pode acontecer dos anéis travarem na canaleta do pistão, impedindo de que ele cumpra suas funções de vedação da câmara de combustão e ainda não cumpra com a função de dissipar o calor do pistão podendo levar a falhas do conjunto anel, pistão e cilindro já que terá um aumento de temperatura dentro da câmara.

Ações recomendadas: evitar o uso de combustível adulterado.

6.5 Falhas por defeito de fabricação

Se caracteriza como defeito de fabricação peças com valores dimensionais fora do tolerável ou peças com padrões diferentes do original que possa levar a falha do sistema ou qualquer tipo de avaria presente em sua estrutura.

6.5.1 Desvios dimensionais

Para o adequado funcionamento no motor assim como as suas contrapartes devem estar dentro de suas medidas especificadas os anéis devem atender aos mesmos requisitos.

Portanto a algumas medidas essenciais que devem estar dentro da medida tolerável dos anéis sendo elas: Diâmetro nominal dos anéis e suas alturas axiais.

6.5.2 Diâmetro nominal

O diâmetro dos anéis são projetados para quando fechados dentro do cilindro e pistão possuírem uma folga entre as extremidades dos anéis, isso porque como explica a Kolbenshdidt (2018), com o aquecimento do motor haverá uma dilatação dos anéis e está folga entre as extremidades deve assegurar que a medida da circunferência do anel de segmento seja inferior a circunferência do cilindro, caso o contrário se as duas extremidades dos anéis se encontrarem o anel não terá mais como se expandir radialmente e logo irá se deformar expandindo axialmente.

6.5.3 Altura axial

A altura axial do anel junto à altura da canaleta do pistão irá definir junto a folga na altura do anel. Segundo Kolbenshdidt (2018), os anéis devem possuir altura suficiente para quando ocorrer seu dilatamento à elevadas temperaturas, não fiquem travados dentro da canaleta e pare de exercer suas funções e para que a pressão de combustão possa se instalar atrás do anel e aumentando a pressão de contato dos anéis com a parede do cilindro.

Já uma folga demasiada reduzirá o guiamento axial do anel e o deixará propício a maiores vibrações causando um desgaste irregular e aumento no consumo de óleo.

6.5.4 Força tangencial inadequada

A força tangencial é um aspecto importante, principalmente para os anéis de óleo. Sua força é medida ao fechar os anéis até que o valor da folga entre pontas dos anéis atinja seu valor especificado, ela está relacionada ao módulo de elasticidade do material.

Sua importância é manter os anéis, principalmente o anel de óleo, em contato com a parede do cilindro para que ele exerça sua função adequadamente. Um anel de óleo com baixa força tangencial não terá pressão para se manter em contato com a parede do cilindro e sua capacidade de controlar o óleo lubrificante será ineficaz, permitindo assim maior passagem de óleo para dentro da câmara de combustão.

6.5.5 Marcação Top do anel invertida

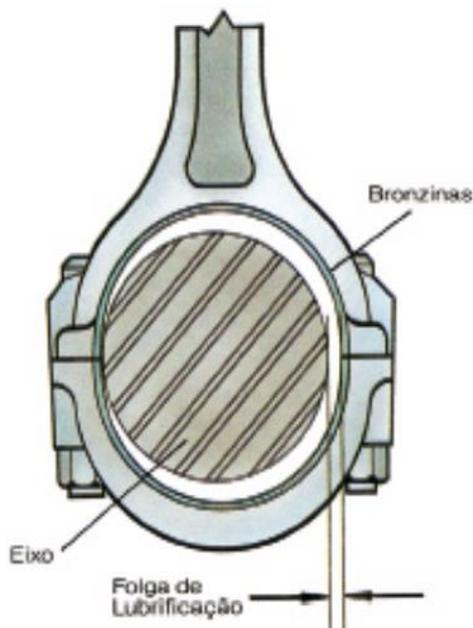
Caso a marcação top do anel, que indica para qual lado o anel deve ser montado esteja gravada errada, ou seja, indicando a montagem para o lado incorreto, induzirá ao técnico a sua montagem errada sem que ele perceba, podendo causar um consumo excessivo de óleo conforme citado no item 6.3.1.

7 Bronzinas

De acordo com informações definidas pela empresa Takao (2021b), as Bronzinas são peças com maior capacidade de carga, no qual possuem a função de impedir a perda de potência reduzindo o atrito gerado entre o movimento da árvore de manivela e a biela bem como para absorver os impactos provocados pela combustão, reduzindo a perda de energia por atrito e por calor nos mancais de biela, elevando a capacidade de carga e de rotação dos mancais, além de aumentar significativamente a vida útil do conjunto mancal e eixo.

Além do mais, as bronzinas desempenham um papel fundamental no sistema de lubrificação do motor, que como ressalta a Mahle (2019b) em seu Manual Técnico de Motores de Combustão Interna, as bronzinas definem a folga de lubrificação que é um fator que implica na correta pressão do sistema de lubrificação do motor. A folga de lubrificação é definida pela diferença entre o diâmetro interno da bronzina e o diâmetro externo do eixo da árvore de manivela como nos mostra a Figura 47.

Figura 47 - Folga de lubrificação



Fonte: Mahle (2019b)

7.1 Falhas prematuras em bronzinas

As bronzinas terão as suas vidas úteis reduzida caso sejam submetidos a condições de funcionamento inapropriadas dentro de um motor, seja por erro do sistema em geral do motor como uma lubrificação inadequada, erros de montagem resultando em folgas radiais e axiais fora do especificado ou caso as bronzinas não atendam as especificações de material ou dimensionais do fabricante.

7.2 Falhas prematuras em bronzinas causadas por erros de montagem

Tomando como base a Takao do Brasil (2021b) entende-se como falhas prematura por erro de montagem, qualquer tipo de falha que venha a ser causado por imperícia, imprudência ou negligência do técnico responsável pela montagem do motor, que efetua a sua montagem sem averiguar com base em manuais ou tabelas técnicas de montagem do motor, se os ajustes de folgas axiais e radiais das bronzinas estão dentro dos parâmetros adequados.

Além disso, se caracteriza por erro de montagem quaisquer irregularidades na árvore de manivela ou bielas que venham a comprometer o funcionamento das bronzinas.

7.2.1 Folga axial (longitudinal) insuficiente

Esta falha acontece nas bronzinas que possuem um flange que tem por função ajustar a folga axial da árvore manivela.

O ajuste dessas bronzinas deve ser feito manualmente pelo técnico responsável pela montagem com auxílio de uma lixa ou com o uso de tornos mecânicos deve se retirar material da espessura das arruelas por igual em toda área de suas superfícies até que elas atendam os limites toleráveis de folga especificados pelo fabricante do motor.

Caso seja realizada a montagem destas bronzinas com uma folga insuficiente resultará em um desgaste excessivo em suas laterais no lado de maior carga axial conforme Figura 48 (mesmo lado que se aponta ao volante do motor), isso porque a árvore de manivela entra em contato excessivo com o flange da bronzina e pelo atrito

e não formação do óleo ocasionará a sua falha prematura como explica a Mahle (2019a).

Figura 48 - Desgaste na lateral do flange



Fonte: Autoria própria (2021)

Ações recomendadas: realizar o ajuste da folga axial nos flanges retirando material por igual de toda área do flange até que a folga esteja de acordo com as especificações do fabricante do motor.

7.2.2 Erros geométricos do colo da árvore de manivela ou dos alojamentos da bronzina

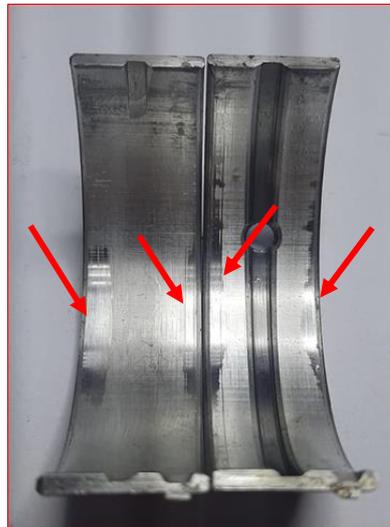
A Takao do Brasil (2021b) explica que quaisquer erros dimensionais dos alojamentos da bronzina ou colos da árvore de manivela fazem com que eles não tenham mais um formato cilíndrico correto para o perfeito funcionamento das bronzinas, caso contrário, eles podem tomar outros diversos formatos, como: perfil convexo, perfil côncavo, perfil cônico, perfil oval, superfície ondulada.

Em qualquer desses perfis as bronzinas sofrerá um desgaste irregular sendo que com um alojamento tendo um desvio geométrico impactará no assentamento da bronzina reduzindo sua capacidade de dissipar calor e no caso dos colos da árvore de manivela pode haver tanto uma folga de óleo insuficiente ou excessiva em uma parte da bronzina que conseqüentemente impactará no filme de óleo que separa as

bronzinas do eixo, que será inexistente para o caso da folga insuficiente e não uniforme para a folga excessiva, como ressalta a Takao do Brasil (2021b)

Por conta destas distribuições irregulares das cargas nas superfícies das bronzinas, faz com que em algumas regiões das bronzinas tenha um contato metal-metal com o eixo e um superaquecimento, pela ineficiência da dissipação de calor, gerando a sua falha prematura, como ressalta a Takao do Brasil. Como pode ser visto na Figura 49 as bronzinas sofreram um desgaste apenas em suas regiões laterais da superfície de deslizamento o que indica um desvio geométrico do colo da árvore de manivela ou dos alojamentos da bronzina.

Figura 49 - Desgaste por erros geométricos



Fonte: Autoria própria (2021)

Ações recomendadas: Para a correção dessa falha se faz necessário a retificação adequada dos colos e dos alojamentos.

7.2.3 Corpos estranhos no alojamento

Quando é efetuado a montagem do motor sem uma limpeza adequada dos componentes pode acontecer de partículas ficarem alojadas no alojamento e após a montagem das bronzinas esta partícula pode formar um calço mecânico e deformar a bronzina como explica a Takao do Brasil (2021b) de acordo com a Figura 50.

Figura 50 - Corpo estranho incrustado na base de apoio da bronzina



Fonte: Takao do Brasil (2021b)

A Takao ainda explica que esta deformação altera a circularidade da bronzina, podendo ocasionar o estrangulamento da folga de óleo e gerando o contato metal-metal com o eixo da árvore de manivela e ainda pelo mal assentamento entre bronzina e alojamento por conta do calço mecânico haverá uma insuficiência de dissipação de calor gerando maior aquecimento no conjunto das peças.

Ações recomendadas: para a correção dessa falha é necessário se atentar a limpeza do alojamento retirando toda partícula sólida para que seja possível a instalação de bronzinas novas; caso os colos estiverem muito danificados é necessário a retificação desse componente.

7.3 Falha prematuras causadas por condições de funcionamento inapropriadas

Como condições de funcionamento inapropriadas entende-se por qualquer avaria dentro do motor que prejudique o funcionamento das bronzinas como irregularidades nas galerias de lubrificação do motor como o óleo lubrificante contaminado ou a folga de óleo fora do especificado.

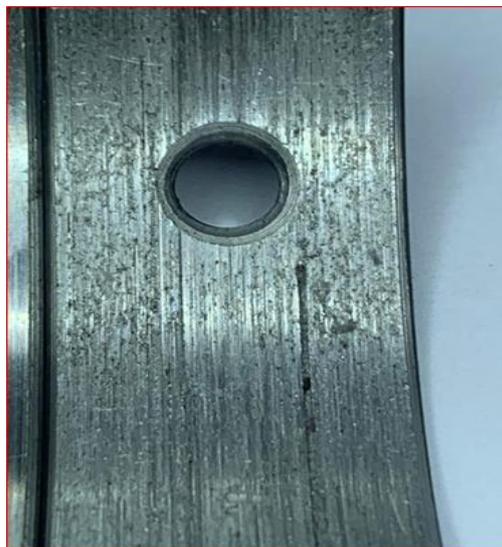
7.3.1 Desgaste abrasivo por contaminação

Assim como em pistões e anéis o desgaste abrasivo é uma falha comum nas bronzinas, e tem como principal causa a contaminação do óleo lubrificante.

Assim como destaca a Takao do Brasil (2021b) em seu manual sobre falhas de bronzinas, os corpos estranhos que contaminam o óleo, possuem tamanhos, formatos e composições das mais variáveis. Essas partículas quando presente no óleo, eles rompem o filme de óleo entre as bronzinas e o eixo da árvore de manivelas e causam o desgaste abrasivo a 3 corpos, promovendo a remoção de material da superfície de menor dureza que sempre será a da bronzina em relação ao eixo. O efeito ainda piora pois com a remoção deste material formam-se novos contaminantes abrasivos no óleo lubrificante gerando maior desgaste dentro do sistema.

Na Figura 51 é possível notar diversos riscos cortantes no mesmo sentido de funcionamento das bronzinas e ainda nestes casos também será possível notar a incrustação desses corpos estranhos (manchas escuras) sobre as superfícies das bronzinas assim como mostrado na Figura 52, o que pode evidenciar a contaminação do óleo.

Figura 51 - Desgaste abrasivo nas bronzinas



Fonte: Autoria própria (2021)

Figura 52 - Incrustações de corpos estranhos



Fonte: Autoria própria (2021)

Assim como descrito no desgaste abrasivo dos anéis e pistões, as causas para esta falha pode estar relacionada a erros de montagem do motor que por algum procedimento errado, não teve a limpeza feita de forma correta ou a sua montagem em um ambiente não adequado que contenha a presença de terra, poeira, areia ou qualquer partícula que adentre o motor quando aberto para sua montagem pelo técnico responsável de forma que fique contido corpos abrasivos dentro do motor e após seu funcionamento levar a sua falha prematura

Ela pode estar relacionada ainda por uma falha prematura de uma peça dentro do motor, de maneira que libere limalhas no óleo lubrificante, causando um desgaste excessivo em todo o motor em que tenha passagem do óleo lubrificante.

Ações recomendadas: efetuar a montagem do motor em um ambiente adequado e limpo; efetuar a limpeza do motor e seus componentes antes, durante e após sua montagem a fim de eliminar qualquer partícula abrasiva que possa ficar contida em seu interior; trocar o óleo lubrificante e os filtros no período correto indicado pela fabricante, mantendo a limpeza dos filtros.

7.3.2 Lubrificação Insuficiente

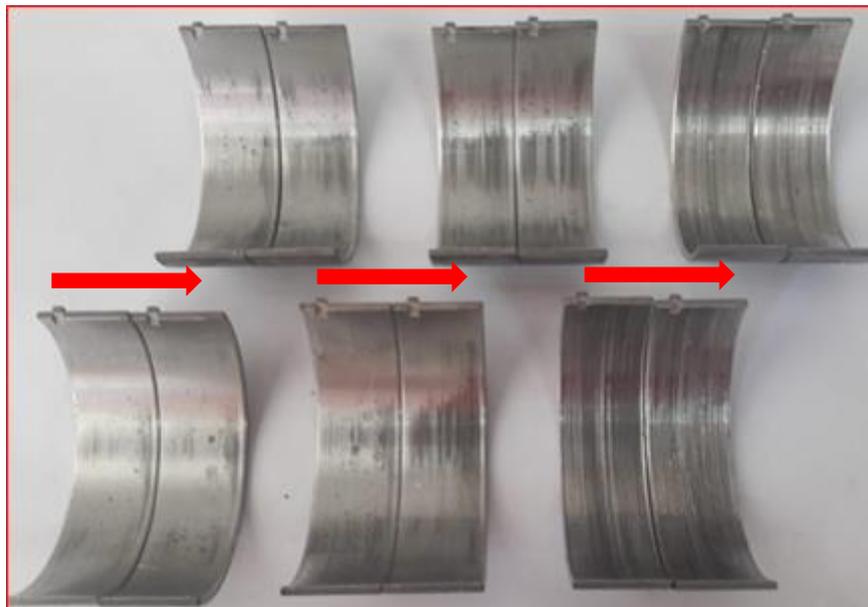
Como ressalta a Takao do Brasil (2021b) entre as superfícies de deslizamento das bronzinas e a superfície do eixo há uma camada de filme de óleo que provoca

uma sustentação hidrodinâmica separando essas duas superfícies evitando um contato metal-metal entre as partes.

Quando se há uma má formação ou não existiu este filme de óleo as bronzinas entrarão em contato direto com o eixo ou moentes da árvore de manivela provocando desgaste dos tipos abrasivo e adesivo.

Sua má formação ou ausência pode ser provocada por ajustes incorreto da folga radial das bronzinas de forma que a pressão de óleo fique inadequada para formar uma sustentação hidrodinâmica, bomba de óleo com falhas não gerando vazão do óleo lubrificante bem como qualquer irregularidade com o óleo lubrificante do motor, como óleo inadequado para o tipo do motor, de baixa qualidade por ter passado do tempo de troca ou por contaminação e até a sua ausência dentro de motor como ilustra a Figura 53.

Figura 53 - Desgaste por lubrificação insuficiente



Fonte: Autoria própria (2021)

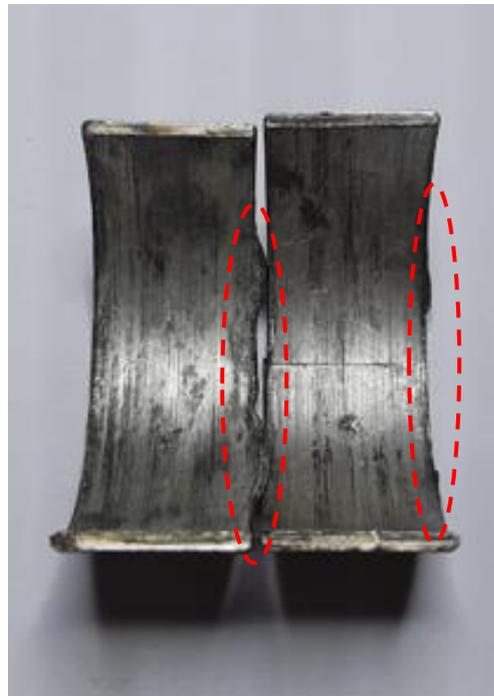
Conforme pode ser visto na Figura 53, a progressão do desgaste das bronzinas se acentua na medida em que as bronzinas estavam se afastando mais da fonte de lubrificação, ou seja, onde o óleo lubrificante já não estava mais presente de maneira adequada.

Ações recomendadas: utilizar o óleo adequado para o motor bem como realizar sua manutenção periodicamente; averiguar a pressão de óleo do motor durante a montagem; realizar os ajustes de folgas das bronzinas de acordo com as especificações do fabricante do motor.

7.3.3 Esmagamento da bronzina

Este tipo de falha está mais sujeito às bronzinas de biela e ocorre por uma folga excessiva que não permite uma sustentação hidrodinâmica do eixo. Como explica a Takao do Brasil (2021b) as bronzinas de biela são submetidas a maiores cargas pois elas recebem as cargas cíclicas do movimento da biela em decorrência da força da combustão, por isso ao não ter uma sustentação hidrodinâmica e com a movimentação da biela as bronzinas irão sofrer um impacto direto com os moentes da árvore de manivela tendo como resultando o escoamento da liga antifricção das bronzinas por compressão excessiva conforme a Figura 54.

Figura 54 - Escoamento da liga antifricção



Fonte: Autoria própria (2021)

A Takao ainda ressalta que caso o motor continue a funcionar nessas condições pode ocorrer o escoamento total da liga antifricção e fazendo elas girarem

sobre o alojamento pois não terão mais a carga de interferência que as mantém no alojamento.

Ela tem como maiores causas a montagem do motor com folgas excessivas de modo que prejudique a formação do filme de óleo que separa as bronzinas da árvore de manivela ou até por irregularidades no óleo lubrificante que estejam com suas propriedades alteradas.

Cada bronzina é projetada para suportar as cargas da combustão de acordo com as especificações de seu respectivo motor, portanto alterações no motor com o intuito de aumentar sua potência ou pressão de combustão também podem provocar este tipo de falha, pois as bronzinas sofrerão maior carga vinda da combustão provocando fadiga mecânica nas bronzinas e seu escoamento.

Ações recomendadas: realizar os ajustes de folga das bronzinas de acordo com as especificações do fabricante do motor; não fazer alterações no motor que leve a cargas da combustão que as bronzinas não resistam.

7.4 Falhas por defeito de fabricação

Se caracteriza como defeito de fabricação de peças com valores dimensionais fora do tolerável ou peças com padrões diferentes do original que possa levar a falha do sistema ou qualquer tipo de avaria presente em sua estrutura ou material.

7.4.1 Desvios dimensionais

Como abordado antes, são as medidas das bronzinas que definem a folga de lubrificação para uma correta pressão de óleo para todo o motor, portanto se as bronzinas não atenderem suas especificações as folgas do óleo lubrificante estarão erradas.

Este fator está atrelado diretamente às espessuras das bronzinas, em que uma espessura maior do que o especificado resultará em um diâmetro interno maior e conseqüentemente a folga entre a bronzina e o diâmetro externo do eixo da árvore de manivelas será menor. Caso seja realizado a montagem das bronzinas nestas condições a bronzina pode travar no eixo da árvore de manivela ainda durante suas respectivas montagens ou caso funcione haverá uma falta de folga dentro do sistema,

interferindo na circulação do óleo lubrificante e podendo ocasionar um contato direto entre bronzina e eixo, resultando no seu desgaste prematuro.

Caso a bronzina esteja com sua espessura menor do que o especificado ocorrerá um excesso de folga entre bronzinas e eixo, e com isso a camada de filme de óleo que forma uma sustentação hidrodinâmica entre bronzinas e eixo não se formara adequadamente gerando uma falta de lubrificação nas peças.

7.4.2 Desplacamento

Quando o material da superfície de aderência da bronzina possui baixa resistência à fadiga, ocorre o desprendimento de material da sua superfície, gerando sua falha prematura e consequentemente liberando grandes quantidades de limalhas dentro do motor que pode danificar as demais peças. Além da causa ser um defeito de material, o deslocamento pode ocorrer quando as bronzinas são submetidas a cargas cíclicas excessivas como ressalta a Mahle (2019a).

Figura 55 - Desprendimento de material da superfície da bronzina



Fonte: Autoria própria (2021)

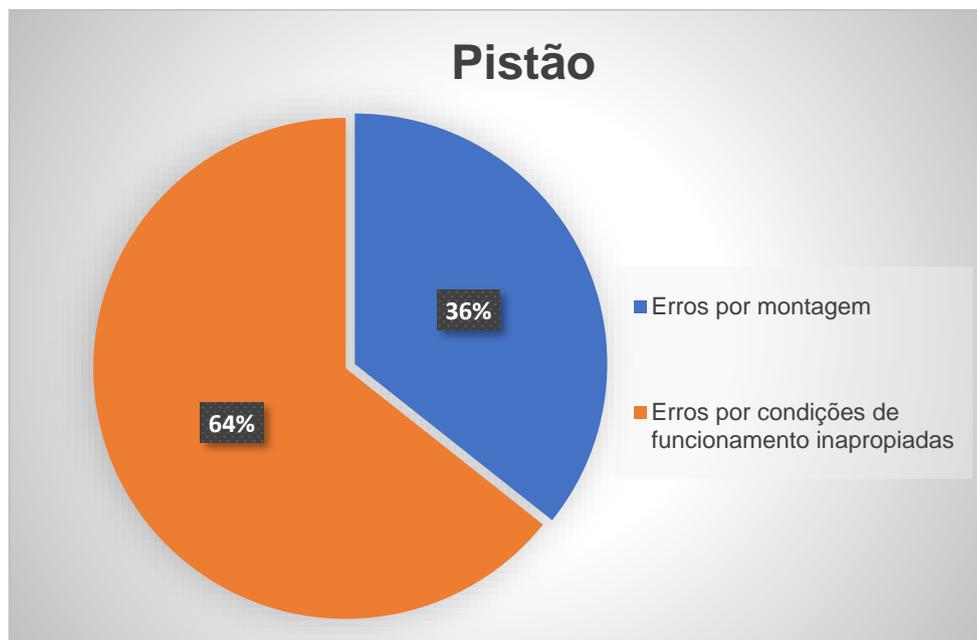
8 FALHAS MAIS COMUNS

A fim de levantar dados estatísticos para uma análise dos casos que possuem maior frequência de ocorrência fizemos um estudo de acordo com as peças que mais se danificam durante um período de análise de fevereiro de 2021 a novembro do mesmo de ano trabalhando em uma empresa fornecedora de peças automotivas. Sobre pistões, anéis e bronzinas observou-se os seguintes dados de falhas conforme vistos nos gráficos a seguir.

8.1 Falhas em pistões

No Gráfico 1 é ilustrado as falhas mais comuns que podem ser encontrados em pistões, sendo 36% erros de montagem e 64% erros por condições de funcionamento inapropriadas.

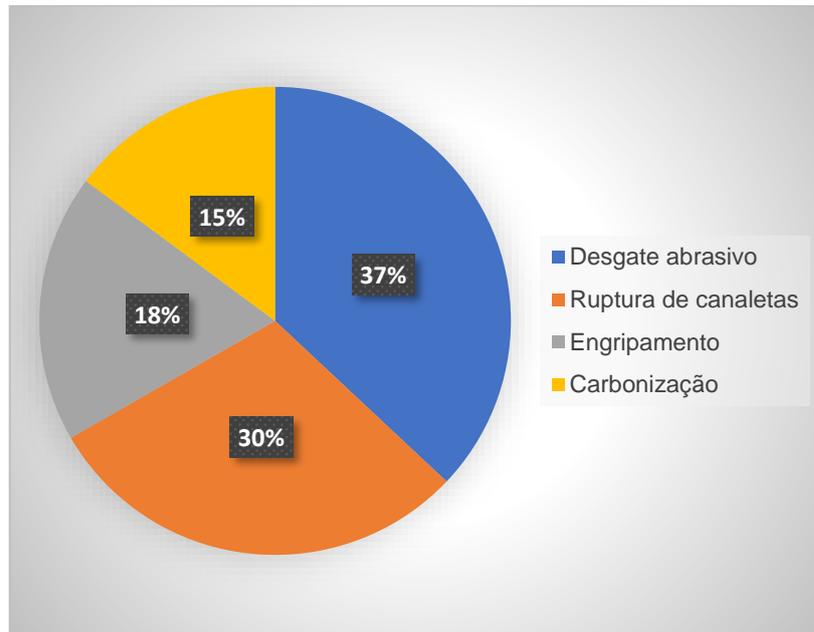
Gráfico 1 - Falhas em pistões



Fonte: Autoria própria (2021)

Na análise de 42 conjuntos de pistões notou-se que a maioria de suas falhas foram causadas por condições de funcionamento inapropriadas no qual se teve maior ocorrências de falhas por desgaste abrasivo como mostra o Gráfico 2.

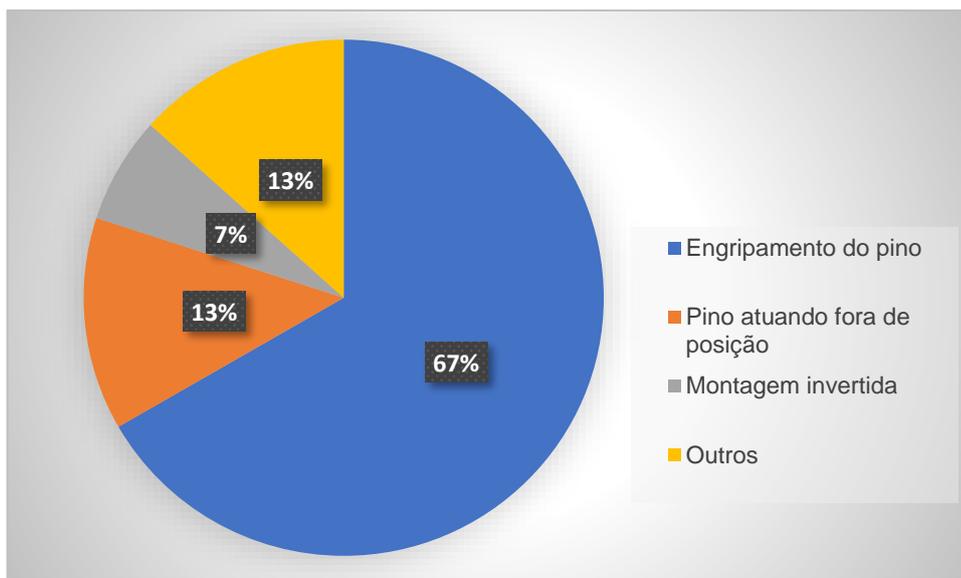
Gráfico 2 - Pistões: falhas por condições de funcionamento inapropriadas



Fonte: Autoria própria (2021)

Já para os erros de montagem observou-se que a grande maioria ocorreu no procedimento incorreto da montagem do pino, em que ocorre o seu engripamento conforme o gráfico mostra o Gráfico 3

Gráfico 3 - Pistões: Falhas por erro de montagem

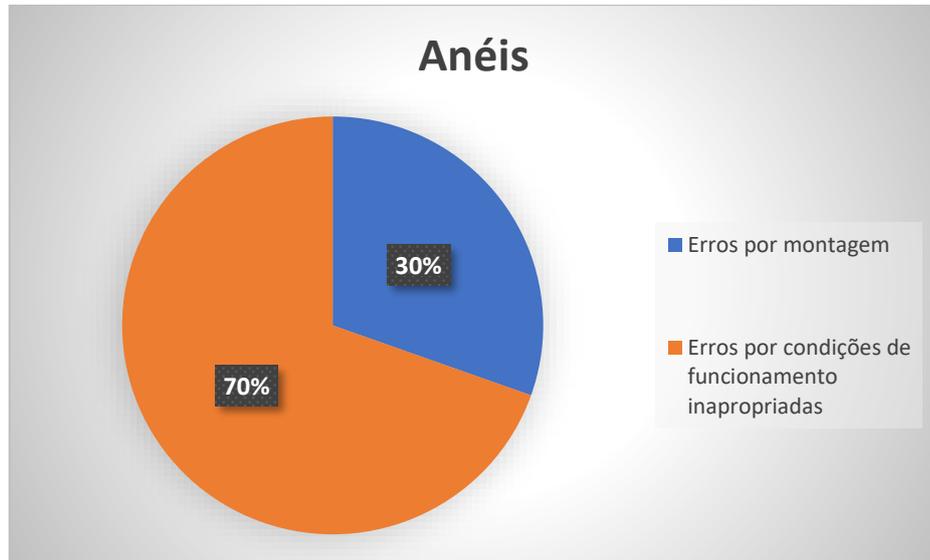


Fonte: Autoria própria (2021)

8.2 Falhas em anéis

Para os anéis de segmento foram analisados 23 conjuntos e obtidos os seguintes dados mostrados no Gráfico 4.

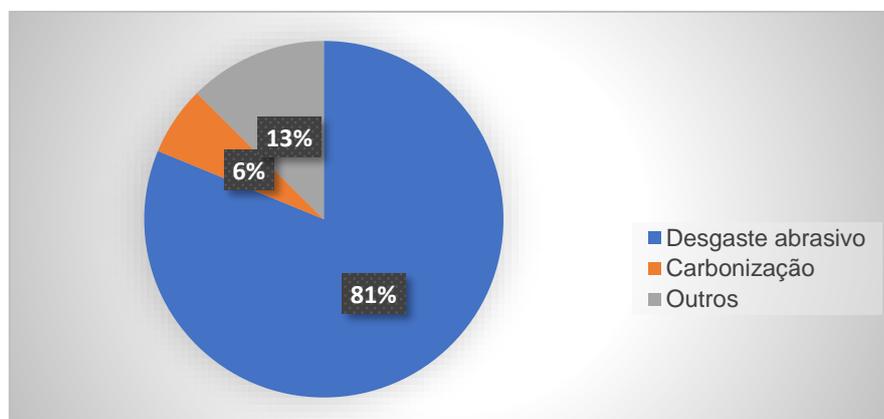
Gráfico 4 - Falhas em anéis de segmento



Fonte: Autoria própria (2021)

Conforme visto no Gráfico 4 a grande maioria das falhas são ocasionadas por condições de funcionamento inapropriadas do motor sendo que grande parte dela teve como causa o desgaste abrasivo decorrente de um brunimento rugoso e/ou contaminantes conforme o Gráfico 5.

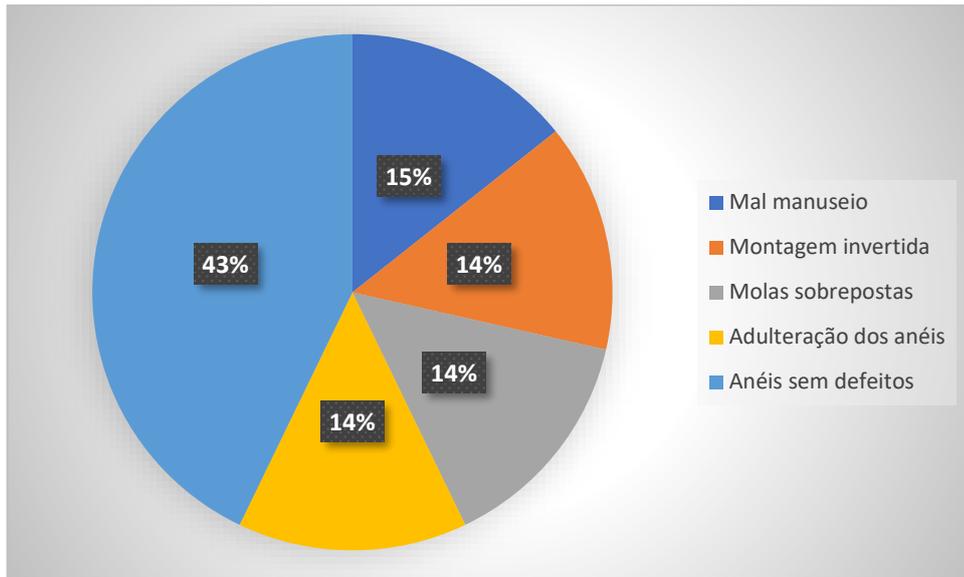
Gráfico 5 - Anéis - Falhas por condições de funcionamento inapropriadas



Fonte: Autoria própria (2021)

Pelas falhas de montagem em anéis foi observado que as causas foram bem distribuídas entre montagem invertida, molas sobrepostas, adulteração e mal manuseio dos anéis, porém na maior parte dos anéis analisados não foram encontradas irregularidades conforme o Gráfico 6.

Gráfico 6 - Anéis: falhas por erros de montagem

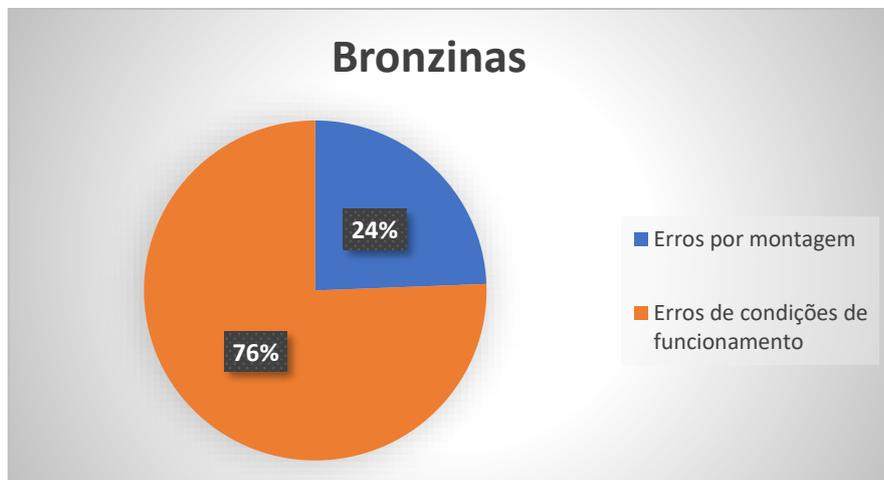


Fonte: Autoria própria (2021)

8.3 Falhas em bronzinas

Foram analisados 41 conjuntos de bronzinas que sofreram algum tipo de falha e conseguimos os seguintes dados:

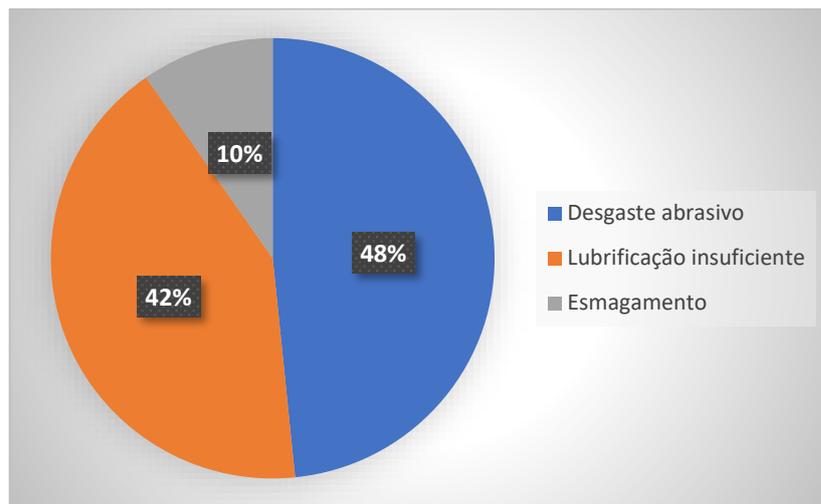
Gráfico 7 - Falhas em bronzinas



Fonte: Autoria própria (2021)

Assim como nas demais peças analisadas, as bronzinas também sofreram com maiores falhas devido as suas condições de funcionamento em que se teve grande ocorrências de falhas por contaminação e lubrificação insuficiente conforme observa-se o Gráfico 8.

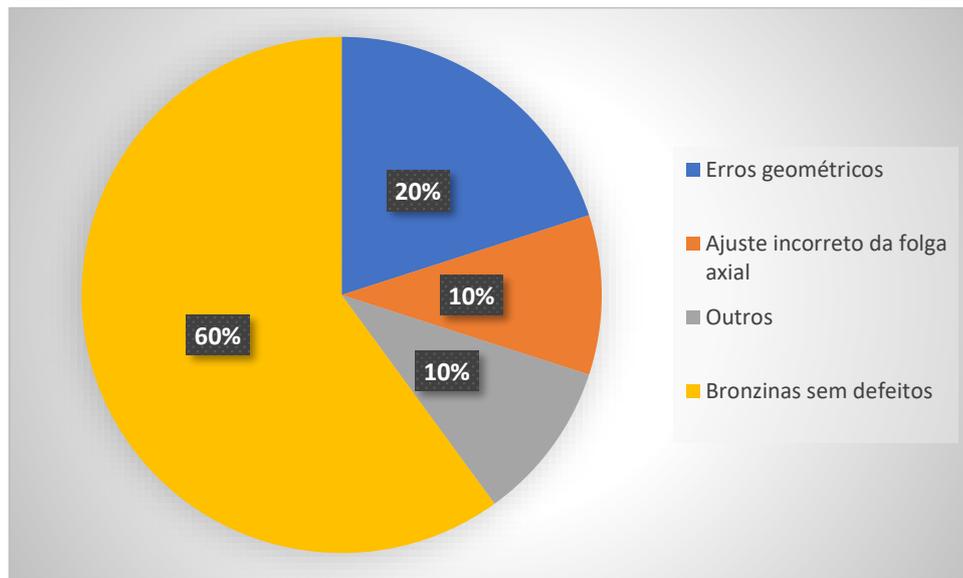
Gráfico 8 - Bronzinas: falhas por condições de funcionamento inapropriadas



Fonte: Autoria própria (2021)

Para os erros de montagem se observou-se bastante a reclamação “fora de medida” para as bronzinas que foram aplicadas dentro do motor, o que acaba por ser inconsistente já que os ajustes de folgas devem ser conferidos pelo técnico responsável pela montagem e caso ele verifique uma peça fora de medida ele não deve aplicá-la no motor como definiu a norma ABNT NBR 13032 (2008). No entanto, notou-se para diversos casos que mesmo com o desgaste e a inconsistência da reclamação as bronzinas estavam dentro de suas medidas toleráveis sendo não responsáveis por qualquer tipo de avaria dentro do motor, portanto para estes casos considerou-se um erro de montagem por parte do técnico em realizar a montagem sem uma conferência das folgas das bronzinas como mostra o Gráfico 9.

Gráfico 9 - Bronzinas: falhas por montagem



Fonte: Autoria própria (2021)

8.4 Falhas por desvio de qualidade das peças

Não foram contabilizadas falhas por algum erro de peça, pois em sua grande maioria que pode ser causada por algum desvio geométrico pode ser evitada seguindo todos os procedimentos definidos pela norma ABNT NBR 13032, ou seja, realizando a conferência dimensional de todas as peças e realizando os ajustes seja por folga ou interferência de acordo com o manuais ou tabelas técnicas do fabricante do motor além de uma inspeção visual dos estados das peças afim de averiguar alguma irregularidade, assim este tipo de falha pode ser evitado. Caso o técnico não siga nenhum destes procedimentos pode ser caracterizado como um erro de montagem por sua imprudência, imperícia ou negligência.

9 PROCESSO DE ANÁLISE DAS PEÇAS

Para ser realizada uma análise assertiva primeiro temos que ter todos os parâmetros da peça a ser analisada em questão para que assim se tenha uma referência na análise e então começamos a averiguar visualmente todos os aspectos encontrados na peça, observando seu estado, seu tipo de desgaste e em que região houve a maior concentração da falha ou sua quebra, seja a olho nu ou com o auxílio de equipamentos como um microscópio digital que nos permitem ver uma imagem ampliada em até 1000 vezes, permitindo ver por exemplo um intenso desgaste abrasivo na superfície de contato dos anéis bem como incrustações de corpos estranhos que a olho nu não é nítido conforme mostra a Figura 56.

Figura 56 – Análise na superfície de contato dos anéis



Fonte: Autoria própria (2021)

Além do mais identificar o tipo de desgaste que a peça sofreu, seja ele um desgaste abrasivo, desgaste adesivo, marcas de engripamento, quebras e carbonização ou marcas de aquecimento já nos permite ter uma noção real de que tipo de condição de funcionamento a peça em questão foi submetida até que ocorresse a sua falha total.

Após ser averiguado todos os aspectos visuais é necessário fazer uma análise dimensional das peças e para isso é necessário que todos os equipamentos de metrologia estejam corretamente aferidos para não se obter valores inconsistentes.

Se faz necessário o uso de micrometros como mostra a Figura 57, súbitos, paquímetros, calibre de lâmina e equipamentos específicos para determinado tipo de peça, como o um medidor de diâmetro para anéis conforme Figura 58. Todos esses equipamentos nos permitem averiguar se as peças estão dentro de todos os seus parâmetros para o adequado funcionamento ou se houve algum desvio dimensional da peça que possa a ter levado para sua falha.

Figura 57 – Medição do diâmetro de um pistão



Fonte: Autoria própria (2021)

Na Figura 58 demonstra a utilização de um equipamento para realizar a medição do diâmetro nominal dos anéis.

Figura 58 – Medição do diâmetro de um anel de segmento



Fonte: Autoria própria

Depois de averiguarmos todos os aspectos visuais da peça e suas dimensões conseguimos chegar à conclusão do tipo de falha que a peça foi acometida assim como suas possíveis causas.

10 CONCLUSÃO

No início desse trabalho de conclusão de curso o objetivo principal era estudar as principais falhas de peças, tais quais pistão, anéis e bronzinas entendendo suas principais causas e como fazer para evitá-las, sendo assim observou-se que grande maioria das falhas acontecem por alguma condição de funcionamento inapropriada dentro do motor que leve a peça a sua falha prematura, e em sua grande maioria o desgaste abrasivo foi o mais notável para os três tipos de peças analisadas neste trabalho, o que nos leva a concluir que a contaminação do óleo lubrificante, que é de suma importância dentro de um motor, acaba por ser uma das maiores causas de falhas isso porque o óleo está em contato com quase todas as peças do motor, então qualquer irregularidade em sua composição acaba por levar as falhas de bronzinas, pistões e anéis. O brunimento do cilindro é outra importante questão observada que leva as falhas prematuras, principalmente dos anéis.

É imprescindível que para um correto funcionamento do motor se faz necessário uma responsabilidade do técnico em verificar os diversos componentes do motor e realizar os procedimentos de uma inspeção dimensional de todas as peças verificando se atende aos padrões para sua montagem, realizar os procedimentos corretos de retífica bem como averiguar o estado de todas as peças e óleo lubrificante e trocá-los se necessário, tudo em um ambiente limpo para evitar o máximo de contaminação possível, além do mais o combustível é outro importante fator que não está das mãos do técnico e se for um combustível que está fora das especificações pode acarretar sérios danos ao motor.

11 PROPOSTAS FUTURAS

Como proposta futura, a análise de peças pode tomar proporções maiores no quesito quantidade de peças e detalhes além de implementar *softwares* com programação Python ou até mesmo em C# que reúna essas informações e proporcione a qualquer técnico a responder um questionário que foi programado com perguntas estratégicas e fundamentais com uma linha de raciocínio por trás para que ao final do questionário o técnico venha ter um laudo técnico com descrição das falhas e possíveis imagens, sem o trabalho para gerar um laudo como ainda é nos dias atuais, fazendo com que o processo fique automatizado e conseqüentemente mais otimizado.

Ademais, é interessante também realizar um estudo dos processos de análise das peças, com o intuito de ganhar produtividade nas análises e sem perder a qualidade do serviço, além de realizar um estudo de quais equipamentos seriam adequados para ajudar nessas análises de peças, que por consequência irá melhorar os processos, tanto para o trabalho do colaborador quanto para os resultados das análises, trazendo resultados mais assertivos e rápidos.

12 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade** – Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6158: Sistemas de segurança e ajustes** - Rio de Janeiro, 1995.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13032: Veículos rodoviários automotores - Retífica de motores alternativos de combustão interna** - Rio de Janeiro, 2008.

CAMERINI, Marcos. JC Net. O Dr. **Automóvel: Controle mecânicos de emissões**. São Paulo, 2010. Disponível em <https://jcnet.com.br/auto_mercado/2010/06/575423-dr--automovel--controles-mecanicos-de-emissoes.html> acesso em 28 de setembro de 2021.

Gonçalves, Majô. **Montagem do pistão, pino, biela, anel e trava**. São Paulo, 2014. Disponível em < <http://versoassessoriaimprensa.com.br/montagem-do-pistao-pino-biela-anel-e-trava/>> acesso em 25 de setembro de 2021

HONDA. Blog Plaza Motors, São Paulo, fev. 2019. Disponível em: <<https://plazamotors.com.br/blog/pecas-de-reposicao-afinal-o-que-e-isso>> acesso em 22 maio 2021.

KOLBENSHMIDT. **Anéis de segmento para motores de combustão**. Neuenstadt, Alemanha, 2018.

MAHLE. **Manual de falha prematuras em pistões, anéis, bronzinas, camisas, buchas, válvulas, tuchos e turbocompressores** - São Paulo, 2019. (a)

MAHLE. **Motores de combustão interna** - São Paulo, 2019. (b)

MARIN, John Jairo Coronado. **Efeito do tamanho do desgaste abrasivo nos metais**. 2010. 168 f. Tese (doutorado em engenharia) - Engenharia Mecânica de Projeto de Fabricação, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2010.

OLIVEIRA, Maicon. **ANÁLISE DE MODO E EFEITOS DE FALHAS: gerenciamento de riscos FMEA** - Minas Gerais: Eng. Mecânica/UNIS-MG, 2012.

RODRIGUEZ. Blog Quatro rodas. **Qual a diferença entre pré-ignição e detonação?** São Paulo, jul. 2017. Disponível em: <https://quatorrodas.abril.com.br/auto-servico/qual-a-diferenca-entre-pre-ignicao-e-detonacao/>. acesso em 26 de maio de 2021.

RIBEIRO, Débora. Dicio, São Paulo, jan. 2020. Disponível em: <https://www.dicio.com.br/intercambiavel/> acesso em 29 maio 2021.

RIJEZA, Metalúrgica. **Você sabe classificar um mecanismo de desgaste?** Rio Grande do Sul. Disponível em <https://rijeza.com.br/blog/voce-sabe-classificar-um-mecanismo-de-desgaste/> acesso em 28 de setembro de 2021.

SAKURADA, Eduardo Yuji. **As técnicas de análise do modo de falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos**. 2001. 145 f. Dissertação (mestrado em Engenharia Mecânica) – Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

TAKAO DO BRASIL, **Manual: Análise de Falha Prematura em Anéis** – São Paulo, 2021. Disponível em: <https://news.takao.com.br/manual-de-falhas-aneis> acesso em 9 de agosto de 2021. (a)

TAKAO DO BRASIL, **Manual: Análise de Falha Prematura em Bronzinas** – São Paulo, 2021. Disponível em: <https://news.takao.com.br/manual-de-falhas-bronzinas> acesso em 9 de agosto de 2021. (b)

TAKAO DO BRASIL, **Manual: Análise de Falha Prematura em Pistões** – São Paulo, 2021. Disponível em: <<https://news.takao.com.br/manual-de-falhas-pistoes>> acesso em 9 de agosto de 2021. (c)