

**PROPOSTA DE MELHORIA EM SUPERFÍCIE DE MANCAIS
HIDRODINÂMICOS EM CABEÇOTES AUTOMOTIVOS**

André Caetano Comino dos Santos

Abner Giroto

Marcos Aurélio J. Bonatelli

Patricia Jaqueline Martins de Souza

Orientador: Prof. Dr. Júlio Ferreira

RESUMO

O presente artigo tem como objetivo apresentar uma proposta de melhoria de superfície de mancais hidrodinâmicos em cabeçotes automotivos de alumínio, através da aplicação de uma superfície intercambiável de fácil aplicação. Com isso, relatar os processos e etapas realizadas para o desenvolvimento para uma possível aplicação. Mediante dos resultados de viabilidade do projeto e com o auxílio de ferramentas de virtualização, buscamos obter dados com uma maior precisão, para o desenvolvimento desses processos, tendo como principal objetivo alcançar um melhor aproveitamento de redução de custos e de tempo envolvidos no processo de manutenção mecânica.

Palavras-chave: Motores; Mancais Hidrodinâmicos; Bronzinas; Cabeçotes.

INTRODUÇÃO

Hoje em dia vemos que boa parte da população se utiliza de algum meio de transporte de fácil locomoção e que uma grande parcela se utiliza de veículos automotores de Ciclo Otto, ou mais conhecido como “motor à combustão”, aplicados a uma estrutura projetada para cumprir longos trajetos de forma rápida e segura.

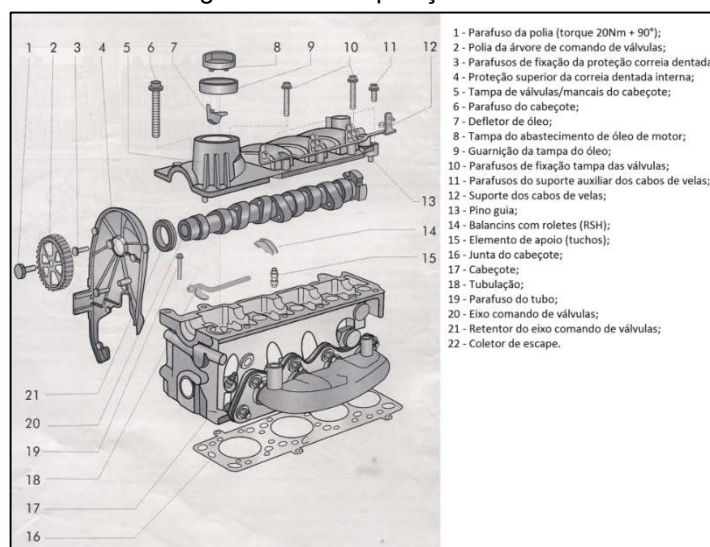
O que temos de conhecimento é de que, hoje à fabricação dos diversos modelos de motores, tem como uma parcela fundamental a aplicação de um cabeçote, responsável pelo gerenciamento de abertura e fechamentos das válvulas, no tempo correto pré-determinado pelo fabricante, e que apenas se são produzidos pelas montadoras, cabeçotes que consistem em um bloco único de alumínio retificados, com

as devidas medidas de fábrica, que consiste no deslizamento do comando sobre o mancal hidrodinâmico.

Sabemos que não é de hoje que a indústria automobilística vem buscando meios para adquirir melhor potência, desempenho, economia de combustível e cada vez mais qualidade e durabilidade de seus produtos. Mas também, é de conhecimento de todos que atuam na área, que todo e qualquer tipo de equipamento tem sua vida útil, onde muitas vezes acarretam prejuízos, seja financeiro ou de tempo para a manutenção, principalmente por se tratar de uma parada não programada, juntamente com os gastos, frequentemente não previstos no orçamento. Devido a uma série de fatores, se segue pela busca incansável pela resolução de problemas e meios de melhoria contínua ou reparação de equipamentos em diversas áreas de atuação.

Esse estudo foi realizado para a implementação de adequação de casquilhos de bronzina ao alojamento, na superfície de rolagem do comando de válvulas aos mancais do cabeçote, responsável pela sincronização de aberturas de válvulas, encontrado de forma genérica em diversos motores Ciclo Otto, diesel e outros tipos que necessitam de um sistema de árvore de sincronismo. Para o melhor entendimento das partes que compõe um motor a combustão, a Figura 1 apresenta todas as peças necessárias.

Figura 01 – Composição de um Motor



Fonte: http://www.edsolique.com/wp-content/uploads/2016/01/vista_explodida.png.

O objetivo deste artigo é uma proposta de melhoria visando a mudança no sistema de mancais de bloco único do cabeçote por um sistema intercambiável, de fácil aplicação, com medidas comerciais, reduzindo-se o tempo de manutenção e custos envolvidos.

Neste contexto, seguiremos uma série de etapas a serem desenvolvidas como a adequação dos mancais. Através dos resultados obtidos nos cálculos com o método de Sommerfield “Número Característico Do Módulo do Mancal de Sommerfield = S”, será possível, por meios lógicos e comprovados de que realmente é possível ou não, a implementação da melhoria ao sistema, ao mesmo tempo, avaliar o “Custo x Benefício” e, assim, relatar os custos envolvidos, prós e contras para a realização da melhoria do ponto de vista econômico e sua viabilidade prática.

REFERENCIAL TEÓRICO

Como referência, utilizaremos uma sequência de cálculos e etapas, contidos no livro de Budynas e Nisbett (2016), juntamente com a utilização das cartas psicométricas, com o método de adequação de mancais hidrodinâmicos, com “**S = Número Característico de Sommerfield**”, desenvolvido por **Petroff**, para uma melhor análise de lubrificação e utilizando-se do conteúdo, contido com diversos tópicos relacionados para a realização dos cálculos de adequação das bronzinas aos mancais.

Sabe-se que de acordo com vários estudos voltados à área de Tribologia ou Superfície de Contato, assume um posicionamento excêntrico mediante ao alojamento do mancal, que segue para a posição central do alojamento conforme é formada a lâmina de superfície de óleo lubrificante, onde vem à posicionar o eixo do comando de válvulas assumindo sua posição, conforme vai ocorrendo o aumento da rotação e pressão de óleo lubrificante, que está diretamente ligado à viscosidade, espessamento das entre folgas e o filme convergente gerado devido à pressurização.

Deve-se realizar uma série de cálculos a fim de prover um dimensionamento correto à aplicação de modo, a nos proporcionar mais segurança em nossas tomadas de decisões. (BUDYNAS e NISBETT, 2016).

Viscosidade Absoluta

Foi optado por desenvolver os cálculos, baseando-se em uma média de regime de trabalho de 25°C a 100°C, Para isso, temos diversos valores para μ = **Viscosidade Dinâmica ou Absoluta**, que de acordo com a temperatura que o óleo lubrificante é exposto, conseqüentemente sofre alteração em sua densidade. É por causa desse motivo que temos um limitador de temperatura de trabalho, que devido á alta temperatura a viscosidade do óleo lubrificante chega ao a um ponto que já não tem seu efeito correto de reduzir o atrito e o desgaste entre as parte, sendo de grande importância para o motor o sistema de arrefecimento para a manutenção da temperatura e o cárter, para que, quanto o veículo encontrar-se em movimento, ele possa realizar a troca de calor com o ambiente, assim resfriando o óleo do motor. (BUDYNAS e NISBETT, 2016).

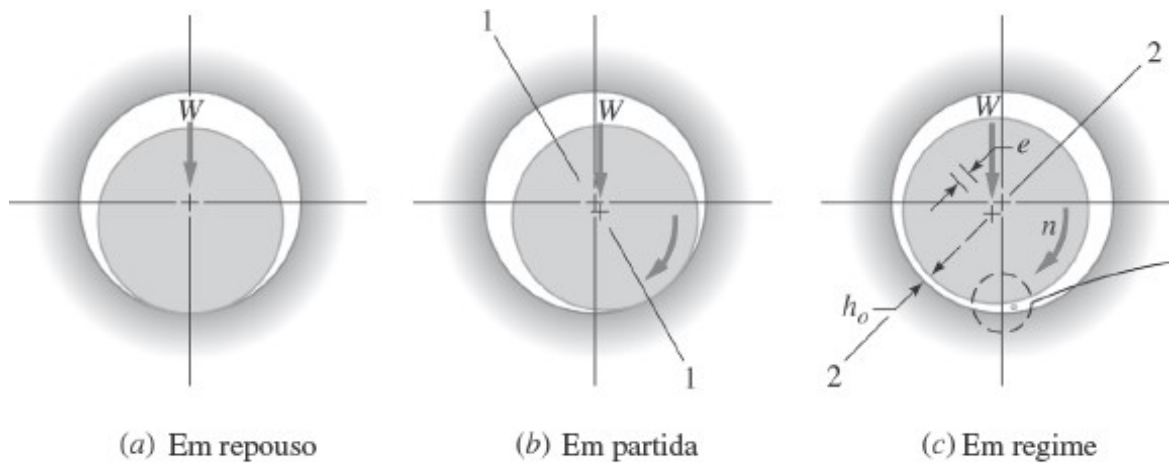
$$\tau = \frac{F}{A} = \mu \frac{U}{h}$$

Equação de Petroff

De acordo com o que temos conhecimento, Petroff foi o pioneiro responsável por apresentar os primeiros estudos sobre o que se trata de atrito, apresentando uma hipótese de que os eixos continham uma concentricidade, de um eixo posicionado entre mancais em repouso, com uma folga desprezível, sendo preenchida de óleo lubrificante sob pressão. (COLLINS - 2019).

$$\tau = \mu \frac{U}{h} = \frac{2\pi r \mu N}{c}$$

Figura 02 : Regime de Trabalho Mancais



Fonte: Collins (2019).

Função de Carga

Número Característico do Modulo do Mancal de Sommerfield (BUDYNAS e NISBETT, 2016).

$$w = \frac{W}{\eta U} \left(\frac{r}{c} \right)^2$$

r = raio do munhão

c = folga radial uniforme

η = viscosidade, reyns

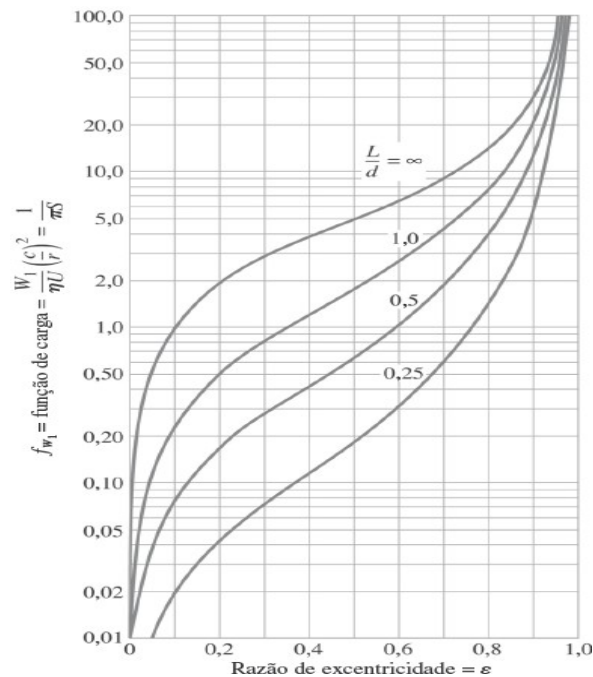
N = velocidade angular do munhão

$P = \frac{W}{2rL}$ = Pressão média no mancal

W = Carga radial no mancal

L = Comprimento do mancal

Figura 03 – Gráfico Função de Carga x Razão de Excentricidade

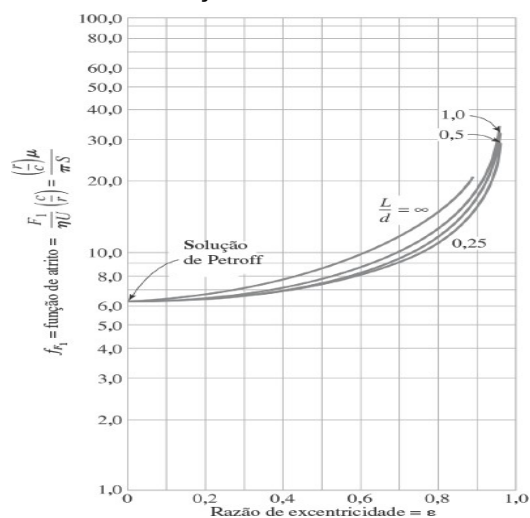


Fonte: Collins (2019).

Coeficiente de Atrito, “f”

Como definição, tem-se que o atrito nada mais é do que uma força de reação oposta às forças de movimento, sendo ela estática quando parada, ou dinâmica, se estiver em movimento. Devido a outras forças que agem em conjunto, uma delas é a força gravitacional, que atrai todo objeto em sentido à superfície da terra, com isso, toda superfície de um material, dispõe de um coeficiente de atrito distinto.

Figura 04 – Gráfico função de Atrito x Razão de Excentricidade



Fonte: Collins (2019).

Em alguns casos específico, como de motores e suas relações de trabalho, o atrito em muitas das vezes é prejudicial devido a grandes percas que por ele é gerado. Sem esse mal necessário, o simples fato de andar seria impossível sem sua atuação. De acordo com sua aplicabilidade buscou reduzi-lo em certas circunstâncias para um melhor funcionamento, onde que, em casos de projetos automotivos, a incansável busca pela redução de perdas e reaproveitamento de energia para a extração da melhor eficiência possível.

$$\int F^1 = \frac{F^1}{\eta U} \left(\frac{c}{r} \right)$$

$W1 = W/L$ = carga por unidade de comprimento do mancal, lbf/in

$U = 2\pi r n$ = velocidade relativa da superfície, in/s

$F1 = F/L$ = força de atrito tangencial por unidade de comprimento, lbf/in

F = força de atrito tangencial, lbf (COLLINS, 2019).

Vazão Total - " Q "

$$\frac{Q}{r \cdot c \cdot \eta \cdot l} = \text{Fluxo Total}$$

Para determinar a vazão total devemos considerar, que a vazão total é separada em dois componentes, Q_v , Q_p , que somadas, nos fornecem Q .

Q_v = Vazão do Lubrificante Liberada

Q_p = Vazão adicional de lubrificante Suprida pela ranhura devido à pressão de alimentação.

É primordial salientar de assegurar que a vazão do lubrificante, sempre mantenha a ranhura completamente preenchida, a fim de se manter a máxima espessura do filme de lubrificante, refrigerando eficientemente o mancal.

Q_r = Vazão do Lubrificante Circulante

Q_E = vazão teórica do lubrificante na largura total do filme na ranhura

Unindo-se algumas dessas razões podemos determinar, a temperatura e viscosidade efetiva. (BUDYNAS e NISBETT, 2016).

Vazão de Lubricidade de Ranhura

Circular Central

$$Q_p = \left(\frac{(0,0327 \cdot p_f \cdot c d^3)}{\eta m} \cdot \left(\frac{d}{b} \right) \cdot (1,5 \cdot \varepsilon^2 + 1) \right)$$

Q_p = Vazão induzida pela pressão de alimentação total de lubrificante na(s) ranhura(s).

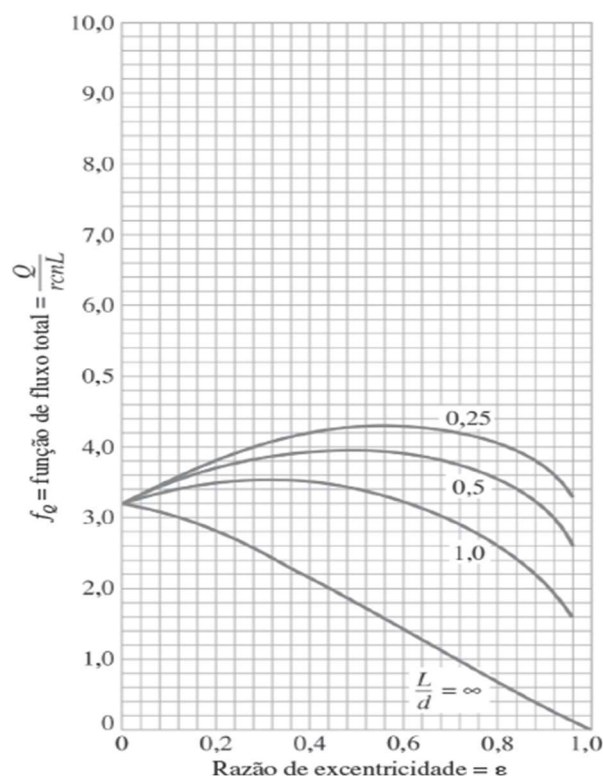
p_f = Pressão de Alimentação do Lubrificante.

m = Viscosidade dinâmica do lubrificante, usada mancais de ranhura circunferencial central.

d = Diâmetro do eixo-árvore.

d_i = Diâmetro interno do mancal.

Figura 05 – Gráfico Função de Fluxo Total x Razão de Excentricidade



Fonte: Collins (2019).

Taxa de Geração de Calor

Em pleno funcionamento operacional, com o sistema em equilíbrio, para mantermos um funcionamento estável, a taxa de dissipação = H_d , de temperatura do óleo lubrificante deve ser, igual ou maior que a taxa de geração de calor = H_g , que é gerado devido ao atrito de força de arrasto nos mancais pelo comando. (COLLINS, 2019).

$$H_d = k_1 A_h (\theta_a) \frac{Btu}{\max}$$

k_1 = coeficiente de transferência de calor modificado global (Btu/mín; in²; °F)

A_h = área superficial exposta da carcaça do mancal (in²)

Θ_s = temperatura superficial da carcaça do mancal (°F)

Θ_a = temperatura do ar ambiente (°F).

$$H_g = \frac{z_\pi(60)(F_1 L)}{J_0} = \frac{60 F_1 L}{50} = \frac{Btu}{\min}$$

U = velocidade da superfície do munhão, in/s

n = velocidade angular do munhão, rev/s

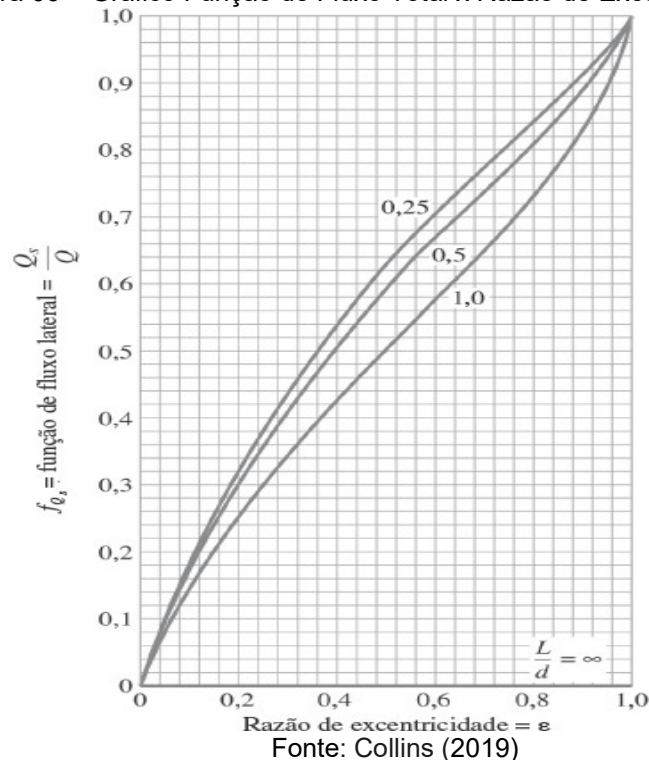
F_1 = força de atrito tangencial por unidade de comprimento, lbf/in

L = comprimento do mancal, in

J_Θ = equivalente mecânico do calor = 9336 lbf · in / Btu (103 Nm/Ws).

Fluxo Lateral

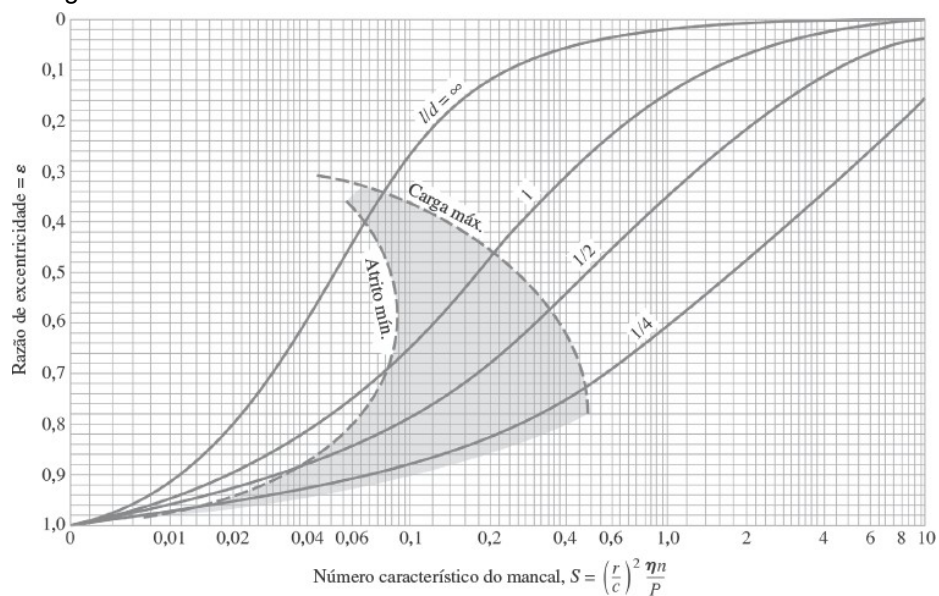
Figura 06 – Gráfico Função de Fluxo Total x Razão de Excentricidade



Atrito x Carga Máxima

O gráfico plotado, tem a função de descrever a região de projeto, entre valor de atrito mínimo e a máxima carga que pode ser aplicada. (COLLINS, 2019)

Figura 07 – Razão de Excentricidade x Número Característico do Mancal



METODOLOGIA

Procedimentos metodológicos

Esse Trabalho de Conclusão de Curso, será realizado através de buscas bibliográficas e pesquisa aplicada através de conhecimento prático dos autores. A abordagem é mista, ou seja, quantitativa, por ser baseado em análises de dados e qualitativa, que se baseia em resultados de experiências. O objetivo é exploratório, pois torna um problema explícito e permite construir suposições e o procedimento é o estudo de caso, já que o atual trabalho traz um caso real. (PEREIRA, 2006).

Descrição do estudo de caso

Descrição Do Processo De Alteração

De acordo com a proposta de melhoria, busca-se implantar aos alojamentos dos mancais do cabeçote, um sistema de bronzinas, porém, como se sabe, os mancais em seu formato original de fábrica, devem passar por um processo de retífica para o alargamento do diâmetro dos mancais, para que seja possível a instalação das bronzinas aos mancais de Alumínio.

Descrição Dos Custos

Para o processo de reparação do cabeçote devido ao desgaste do alojamento do comando de válvulas, é fundamental realizar uma inspeção minuciosa em todo sistema de lubrificação devido a grande quantidade de sedimentos metálicos presentes no óleo lubrificante, devido ao desgaste dos mancais e comando de válvulas, fazendo-se fundamental a substituição e a realização de alguns procedimentos necessários para o bom funcionamento do equipamento:

- a) Limpeza completa do sistema;
- b) Substituição da bomba de óleo;
- c) Substituição do conjunto de bronzinas de mancais / virabrequim;
- d) Substituição do virabrequim;
- e) Substituição sensor de pressão de óleo;
- f) Substituição comando de válvulas.

Se faz necessário a substituição do conjunto do cabeçote completo, justamente por não ser possível realizar reparos ou recupeção ao conjunto. Devido a isso, gera-se um custo de R\$ 2.200 ~ R\$ 3.500 para a compra de cabeçote completo.

Já em casos que ainda se pode realizar o processo de reparação, é realizado considerando o “custo com cabeçote reparado”:

- Mão de obra.....R\$ 1.500,00
- Retífica do cabeçote.....R\$ 165,00
- Mandrilhamento.....R\$ 220,00
- Substituição do comando de válvulas.....R\$ 380,00
- Substituição das válvulas de admissão.....R\$ 188,00
- Substituição das válvulas de escape.....R\$ 220,00
- Jogo de junta parcial superior.....R\$ 120,00
- Óleo Lubrificante.....R\$ 192,00
- Filtro de óleo lubrificante.....R\$ 30,00
- Sensor de pressão do óleo lubrificante.....R\$ 97,00

Total: R\$ 3.112,00

Média de Tempo para realização da reparação: 7 Dias.

Considerando o “custo com cabeçote novo”:

- Mão de obra.....R\$ 1.500,00
- Cabeçote completo.....R\$ 2.200,00 ~ R\$ 3.500,00
- Jogo de junta parcial superior.....R\$ 120,00
- Óleo lubrificante.....R\$ 192,00
- Filtro de óleo lubrificante.....R\$ 30,00
- Sensor de pressão do óleo lubrificante.....R\$ 97,00

Total: R\$ 4.790,00

Média de Tempo para realização da reparação: 3 Dias.

Custo inicial para a Implementação

Para que seja possível a implementação da melhoria, deve-se realizar a remoção do cabeçote, para que seja realizada a retífica, onde será feita a aplicação das bronzinas aos mancais de deslizamento. Para esse processo optamos por realizar a aplicação apenas nos mancais inferiores, assim mantendo os mancais em alumínio

da tampa e apenas modificando os mancais do cabeçote. Com isso, se tem um custo de implementação inicial de:

- Retifica do cabeçote.....R\$ 165,00
- Mandrilhamento.....R\$ 220,00
- Total: R\$ 385,00

Média de Tempo para realização da reparação: 3 Dias.

Após Implementação

Após a implementação, caso seja preciso alguma futura reparação, somente será necessário a substituição.

- Mão de Obra.....R\$ 800,00
- Substituição da tampa de válvulas / mancais.....R\$ 370,00
- Substituição do comando de válvulas.....R\$ 380,00
- Substituição das bronzinas, no cabeçote.....R\$ 270,00
- Bomba de óleo.....R\$ 165,00
- Óleo lubrificante.....R\$ 192,00
- Jogo de junta parcial superior.....R\$ 120,00
- Filtro de óleo lubrificante.....R\$ 30,00
- Total: R\$ 2.327,00

Custo Total com Implementação: R\$ 2.712,00

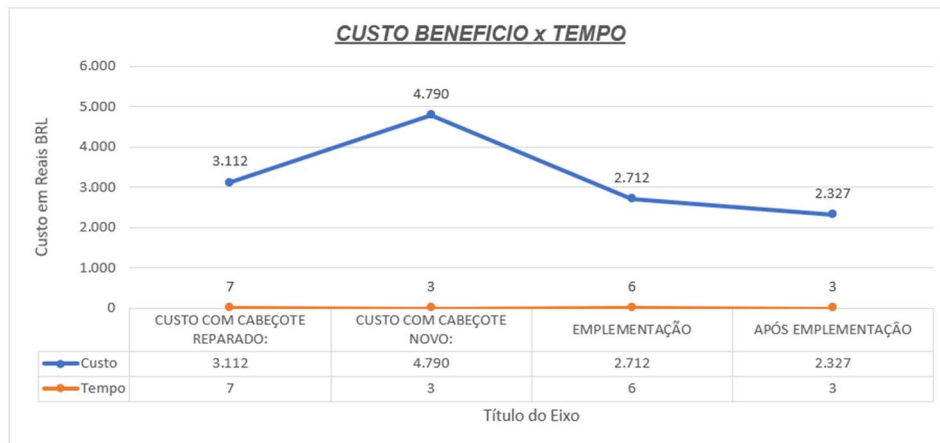
Média de Tempo para realização da reparação: 3 Dias.

Porém, também devemos nos atentar e verificar os componentes situados na linha de alimentação de óleo lubrificante, devido ao desgaste gerado.

- Limpeza ou substituição do pescado da bomba de óleo incluso c/ bomba d' óleo;
- Substituição bomba de óleo;
- Verificação das entrefolgas virabrequim;
- Substituição do sensor de pressão de óleo.

A Figura 2 nos apresenta as relações entre o custo x benefício dos cenários analisados.

Figura 02 – Gráfico Custo-Benefício x Tempo



Fonte: Autores (2022).

Cálculos de dimensionamento do mancal

Considerações:

1. O mancal é fixo e estável e não sofre distorção sob carga, com um regime, solicitado de carga variável,
2. O Lubrificante é um fluido newtoniano incompressível tendo um escoamento laminar.
3. Os mancais trabalham, com uma viscosidade do lubrificante constante, ou também conhecido como filme ou película de óleo lubrificante entre a sobre folga do comando e alojamento dos mancais.
4. Utilizaremos a máxima elevação de temperatura, sob carga como duas vezes à elevação média.
5. A Cavitação é o resultado do estreitamento do lubrificante na região divergente do filme.
6. Parte do calor, K, gerado pelo atrito do conjunto, é dissipado pelo Óleo Lubrificante.
7. O fluido circulante é expelido na entrada, após um ciclo, dando preferência ao lubrificante resfriado que chega.
8. A aplicação opera apenas em faixa de escoamento laminar, em alta velocidade. (BUDYNAS e NISBETT, 2016).

Dados fornecidos:

d = 23mm = 0,023m Diâmetro do Eixo Comando

CARGA W

Wi = 95 Libras/Polegada² = 10,73 N/m²

Wmáx = 210 Libras/Polegada² = 23,78 N/m²

N= 4000 RPM

Especificações Técnicas:

4 Bar a 2000 RPM em Regime de 90°C

Seção da Área:

21mm x 24mm= 504 mm² > x 0,05mm = 25,2 mm³

A= 2,5210-8m³

A= 25,2mm³

Óleo lubrificante

Óleo Especificado: **5W40 API SN** / Normativa SAE

Temperatura de Regime de Trabalho a 100 °C

Kv = Coeficientes de vazão

Kv= 853 Kgm³,

Fluxo = 1788,374 m³/h > 29806,232 L/min

Cálculo de Pressão por Unidade de Área Projetada

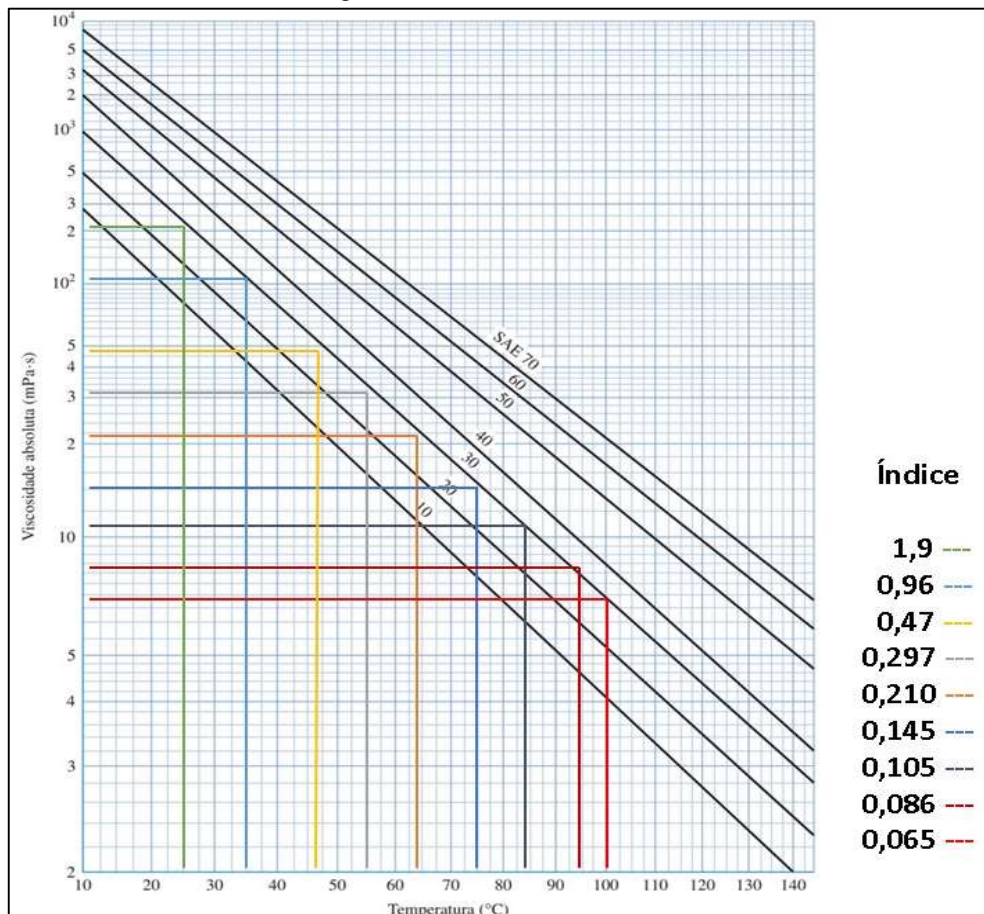
$$P = \frac{W}{2 \cdot r \cdot l} \quad P = 2.030.709,13 \text{ Pa} \quad \underline{P = 2.03 \text{ Mpa}}$$

μ = Viscosidade Dinâmica ou Absoluta

$$\mu = \rho \cdot \nu$$

Valores carta 1 - SAE 30 - (μ) = Viscosidade Absoluta.

Figura 03 – Gráfico carta 1 - SAE 30



Fonte: BUDYNAS e NISBETT (2016) - Adaptação: Autores (2022).

$$\frac{l}{d} = 0,87\text{mm} > 0,000870\text{m} > \frac{3}{4} = 0,75$$

Observações: Para fim de realização prática dos cálculos, foi adotado o valor que melhor, se aproxima do valor de $L/D = 0,75 = \frac{3}{4}$

Tabela 01 - Resultados Coeficiente de Atrito, " f "

25°C	35°C	45°C	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C	100°C
0,1586	0,0835	0,0417	0,0271	0,0188	0,0109	0,0096	0,0075	0,0063

Fonte: Autores (2022).

Vazão Total - "Q"

$$\frac{Q}{r \cdot c \cdot \eta \cdot l}$$

Tabela 02 – Resultado Vazão Total, "Q"

25°C	35°C	45°C	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C	100°C
0,000001 201	0,000001 164	0,000001 126	0,000001 089	0,000001 051	0,000001 013	0,000000 976	0,000000 938	0,000000 826
1,20E-06	1,16E-06	1,13E-06	1,09E-06	1,05E-06	1,01E-06	9,76E-07	9,38E-07	8,26E-07

Fonte: Autores (2022).

Vazão de Lubricidade de Ranhura Circular Central

Tabela 03 – Vazão Lateral de Óleo

25°C	35°C	45°C	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C	100°C
0,00000 01201	0,00000 02327	0,00000 03941	0,00000 05443	0,00000 05781	0,00000 06588	0,00000 06832	0,00000 07038	0,00000 06606
1,20E-07	2,33E-07	3,94E-07	5,44E-07	5,78E-07	6,59E-07	6,83E-07	7,04E-07	6,61E-07
0,00012 01152	0,00023 27232	0,00039 41280	0,00054 42720	0,00057 80544	0,00065 87568	0,00068 31552	0,00070 38000	0,00066 06336

Fonte: Autores (2022).

Acréscimo de temperatura do óleo = ΔT °C

Tabela 04 – Temperatura do Óleo

25°C	35°C	45°C	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C	100°C
40,03	43,50	39,33	37,78	29,80	21,10	20,87	18,20	18,39
4,00E+01	4,35E+01	3,93E+01	3,78E+01	2,98E+01	2,11E+01	2,09E+01	1,82E+01	1,84E+01

Fonte: Autores (2022).

Temperatura de saída

Tendo como valor máximo aceitável para, $\theta_{máx}$, influenciado pela propriedade do material do mancal e o óleo lubrificante aplicado, mas em média para óleo da família dos hidrocarbonetos e mancais de metais brancos, geralmente é adotado valores até 120°C, mas não é recomendável que o sistema trabalhe com temperatura tão elevada durante o regime de funcionamento.

$$T_{saida} = T_{Adm} + \Delta T_c$$

Tabela 05 – Temperatura de Saída

25°C	35°C	45°C	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C	100°C
65,0	78,5	84,3	92,8	94,8	96,1	105,9	113,2	118,4

Fonte: Autores (2022).

Temperatura Média no Mancal

Tabela 06 – Temperatura Média

25°C	35°C	45°C	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C	100°C
45,0	56,7	64,7	73,9	79,9	85,5	95,4	104,1	109,2

Fonte: Autores (2022).

Espessura mínima de filme de óleo

$$e = 12(\text{máx} - i) + i$$

Tabela 07 – Espessura do Filme

25°C	35°C	45°C	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C	100°C
0,00002 50	0,00001 82	0,00001 34	0,00001 06	0,00000 86	0,00000 72	0,00000 58	0,00000 48	0,00000 29
2,50E- 05	1,82E- 05	1,34E- 05	1,06E- 05	8,64E- 06	7,20E- 06	5,76E- 06	4,80E- 06	2,88E- 06

Fonte: Autores (2022).

Entre folga mínima (mancal / comando)

$$\frac{h_{\min}}{d} \left(\frac{25}{11 - d / b} \right)$$

Ângulo da posição da espessura mínima (ϕ = Graus Angular °)

Tabela 08 – Ângulo da posição da espessura mínima (ϕ = Graus Angular °)

25° C	35° C	45°C	55° C	65° C	75° C	85° C	95° C	100 °C
48	45, 00	3,70E+ 01	32, 00	28, 00	26, 00	24, 00	22, 00	18,0 0

Fonte: Autores (2022).

Pressão máxima na película de óleo (Pa)

$$\frac{P}{P_{Máx}}$$

Tabela 09 – Pressão Máx. Película de Óleo

25°C	35°C	45°C	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C	100°C
2.707.61 2	2.538.38 6	2.476.47 5	2.446.63 8	2.417.51 1	2.417.51 1	2.417.51 1	2.417.51 1	2.417.51 1

Fonte: Autores (2022).

Torque perdido no mancal (N/m)

$$T = f \cdot P \cdot r$$

Tabela 10 – Torque Mancal

25°C	35°C	45°C	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C	100°C
1,7038	0,8968	0,4484	0,2914	0,2018	0,1166	0,1031	0,0807	0,0673

Fonte: Autores (2022).

Potência perdida no mancal (w)

$$N = T \cdot w$$

Tabela 11 – Potência Perdida do Mancal

25°C	35°C	45°C	55°C	65°C	75°C	85°C	95°C	100°C
364,34	191,76	95,88	62,32	43,15	24,93	22,05	17,26	14,38

Fonte: Autores (2022).

As Figuras de 3 até 10 apresentam em maiores detalhes o projeto no software na implementação.

Figura 03 – Bloco do Motor, Tampa de Válvulas.



Fonte: Autores (2022).

Figura 04 – Bloco do Motor e Virabrequim



Fonte: Autores (2022).

Figura 05 – Mancal Original



Fonte: Autores (2022).

Figura 06 – Mancal com Bronzina



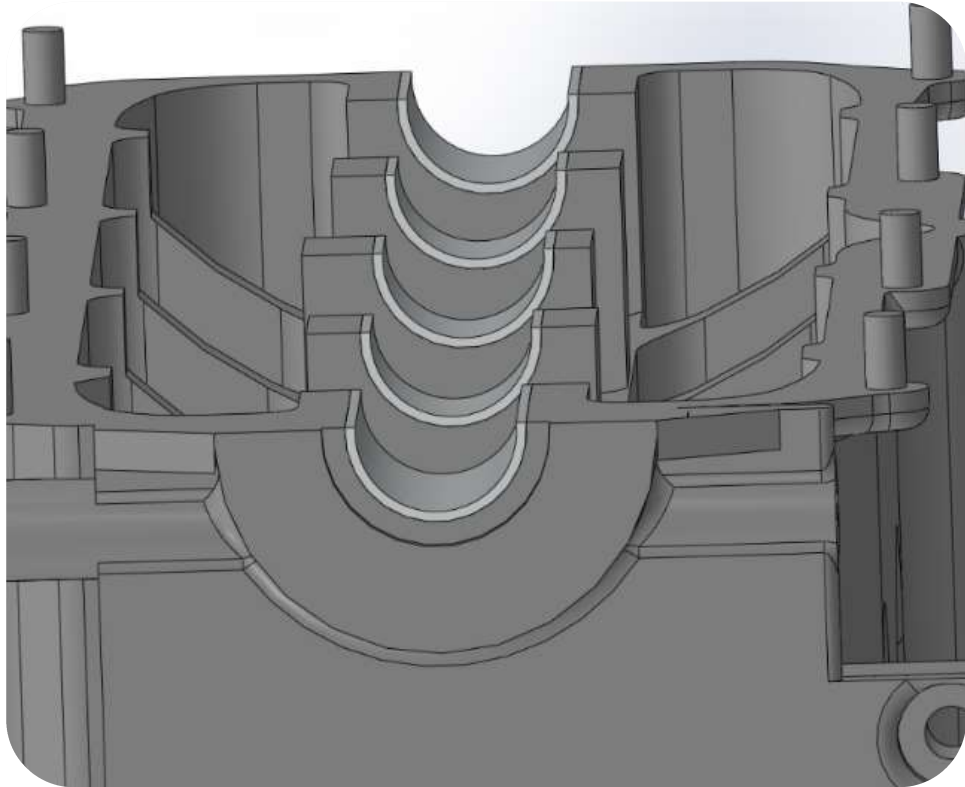
Autor: Autores (2022).

Figura 07 – Tampa de Válvulas do Cabeçote, Modelo: Motor EA111



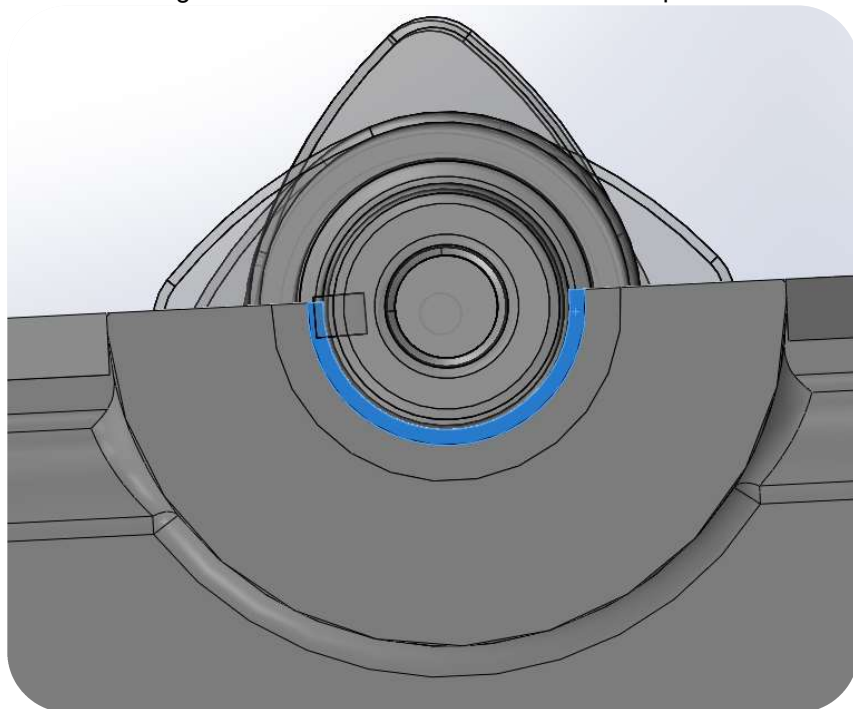
Fonte: Autores (2022).

Figura 08 – Desenho 3D Mancais com Bronzinas



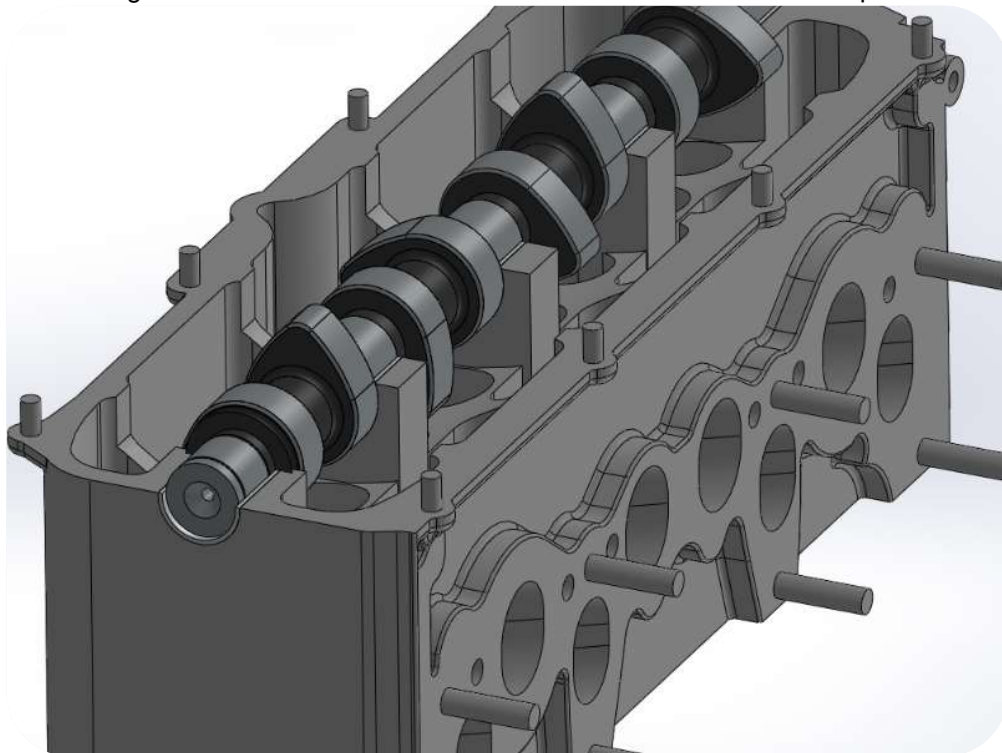
Fonte: Autores (2022).

Figura 09 – Desenho 3D Mancal + Virabrequim



Fonte: Autores (2022).

Figura 10 – Desenho 3D Bloco + Mancal + Bronzinas + Virabrequim



Fonte: Autores (2022).

CONCLUSÃO

Após o desenvolvimento e estudo de melhoria, chegou-se ao consenso de que, vale a pena realizar os procedimentos em casos que tenha a condenação do cabeçote ou uma procura pela diminuição dos custos, ganhando assim, uma sobre vida e estendendo seu tempo útil, com custo razoavelmente favorável. á o tempo para realização fica em média de 3 a 6 dias para a finalização do procedimento, vindo a ser realmente viável sua implementação para as diversas situações conforme aqui foram apresentadas.

Observando de outro ângulo, se trata de uma proposta de melhoria que poderia vir a ser aplicada por diversas montadoras, afim de realmente facilitar o processo de reparação de perda de pressão da galeria de pressão de óleo lubrificante, devido ao desgaste dos mancais e bronzinas, reduzindo apenas para 3 dias de serviços, para a realização da reparação.

Como oportunidade de continuidade para este estudo, pode-se seguir para uma fase de implementação do projeto, com diversos tipos de materiais, tais como, bronzinas de diversas composições para a realização de testes em campo.

Alguns dos testes que pode ser realizado.

Bronzinas que podem ser aplicadas.

- Tri-metálicas (Aço (Fe), Bronze, Níquel (Ni), Alumínio (Al)).
- Bronzinas de Liga de Bronze.
- Bronzinas de Liga de Alumínio (Al).

Observação: Para cada material aplicado, deve ser levado em conta que é necessário ser realizado o dimensionamento correto para cada tipo de material a ser aplicado, já que os materiais têm comportamentos deferentes de acordo com temperatura, óleo lubrificante, entre folgas de trabalho e outros diversos fatores que devem ser levados em conta, como:

- Desgastes gerados durante um após um período de funcionamento.
- Reações de acordo com a Temperatura de trabalho.
- Comportamento de funcionamento.
- Durabilidade de cada material x óleos lubrificantes.

REFERÊNCIAS

BUDYNAS, Richard; NISBETT, J K. **ELEMENTOS DE MÁQUINAS DE SHINGLEY – Projeto de Engenharia Mecânica**. 8º Edição. 2011.

BUDYNAS, Richard; NISBETT, J K. **Elementos de Máquinas de Shigley**. São Paulo Grupo A, 2016. 9788580555554.

COLLINS, Jack A. **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas**, 2ª edição. 2019.

PEREIRA, José. M. **Manual de Metodologia da Pesquisa Científica**. 4º ed. São Paulo: Atlas, 2006.