



UNIVERSIDADE ESTADUAL DO MARANHÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA E PRODUÇÃO
CENTRO DE CIÊNCIAS TECNOLÓGICAS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

VINICIUS LIMA DE CARVALHO

**CARACTERIZAÇÃO DOS CONSEQUENTES PROBLEMAS OCACIONADOS EM
SEDE DE VÁLVULAS DE ESCAPE DO MOTOR MAK 9 M20 – Estudo de caso em
uma retífica.**

São Luís – MA
2017

VINICIUS LIMA DE CARVALHO

CARACTERIZAÇÃO DOS CONSEQUENTES PROBLEMAS OCACIONADOS EM SEDE DE VÁLVULAS DE ESCAPE DO MOTOR MAK 9 M20 – Estudo de Caso em uma Retífica.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica – Bacharelado da Universidade Estadual do Maranhão, para obtenção de título de graduação.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Lima de Oliveira

São Luís – MA

2017

Carvalho, Vinícius Lima de.

Caracterização dos consequentes problemas ocasionados em sedes de válvula de escape do motor MARK 9 M20 – estudo de caso em uma retífica / Vinícius Lima de Carvalho. – São Luís, 2017.

73 folhas.

Monografia (Graduação) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual do Maranhão, 2017.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Lima de Oliveira.

1. Manutenção. 2. Sede de válvulas. 3. Corrosão. 4. Solução de problemas. 5. Motores diesel. I. Título.

CDU 621.436

VINICIUS LIMA DE CARVALHO

**CARACTERIZAÇÃO DOS CONSEQUENTES PROBLEMAS OCACIONADOS EM
SEDE DE VÁLVULAS DE ESCAPE DO MOTOR MAK 9 M20 – Estudo de caso
em uma retífica.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao
Curso de Engenharia Mecânica – Bacharelado da
Universidade Estadual do Maranhão, para
obtenção de título de graduação.

Aprovada em: _____/_____/_____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Fernando Lima de Oliveira (Orientador)
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

Prof. Dr. José Roberto Pereira Rodrigues (Examinador)
COEQ – CCET – UFMA

Prof. Dr. Jean Robert Pereira Rodrigues (Examinador)
Universidade Estadual do Maranhão – UEMA

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho à minha mãe, a minha família e a meus amigos por que tiveram paciência durante essa fase de minha vida e por sempre me motivarem a vencer obstáculos como esse.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelos presentes que é a vida, a saúde e a família, por todos os desafios vencidos até agora, o que me fizeram ser uma pessoa mais madura e melhor do que fui antes e esperando ser pior hoje do que serei no futuro.

À minha mãe Dinair Lima, por ter me dado a maior herança de todas, a educação, pelo seu trabalho com afinco em me fazer trilhar pelo caminho da ética e dos bons valores, por ter me apoiado e me suportado do começo até o fim desde projeto, pelo carinho e pelo orgulho depositado em mim.

Ao Prof. Dr. Fernando Lima de Oliveira pela sua orientação, paciência, pelas correções, ensino e confiança, pois sem estes quesitos não haveria como esse desafio ter sido realizado.

Ao Prof. Dr. José Roberto Pereira Rodrigues pelo seu apoio, pelo seu tempo cedido a fim de me ajudar a chegar mais alto neste projeto e por me mostrar mais um lado empolgante da engenharia.

Agradeço aos professores da Banca Examinadora, por sacrificarem parte de seus tempos e virem a prestigiar como um corpo crítico a colocar este trabalho em molduras do verdadeiro trabalho científico.

Ao Engenheiro Mecânico Marco Túlio pela sua ajuda ao ceder boa parte do material técnico-científico deste trabalho, além de sua paciência e orientação por muitas tardes a fim de sanar muitas de minhas dúvidas.

Agradeço ainda a pessoa do meu amigo Gustavo Aufiero por ter depositado sua confiança em mim e também cedido parte dos materiais tanto físicos como textuais sobre rebocadores de navios, pois sem estes seria impossível a conclusão deste trabalho.

A todos meus amigos que me acompanharam e de certa forma me ajudaram a concluir mais essa etapa de minha vida.

“Só se vê bem com o coração, o essencial é invisível aos olhos.”

Antoine de Saint-Exupéry (Autor de O Pequeno Príncipe)

RESUMO

As válvulas são elementos de alta precisão. São componentes de motores a combustão interna, sujeitos às altas tensões térmicas e mecânicas. De tal, são fabricadas por diferentes processos e utilizados desde materiais de baixo teor de carbono até superligas com blindagem da sede de válvulas. Este trabalho utiliza métodos qualitativos como o método de solução de problemas e suas ferramentas, diagrama de causa e efeito, 5 porquês e formulação de plano de ação como também se vale de métodos técnicos como análises eletroquímicas e análise reversa de causa, tudo isso aplicado na busca por uma solução das falhas e surgimento de trincas em sedes de válvula dos gases de escape de um motor de rebocador marítimo. Será visto a utilização de conceitos que se valiam de temas como motores de combustão interna, Diesel, e também seus elementos de cabeçote, alguns tipos de corrosões serão sinalizados como possíveis consequências para o problema levantado, e ainda será mostrado algumas características de materiais usados na constituição de sedes e válvulas. O projeto averiguará estes conceitos técnicos. Partindo para a fase prática, em primeiro lugar se fará a desmontagem dos 8 cabeçotes, além de cada componente desses, a fim de se chegar na causa da falha de trabalho do motor, após essa fase se dará a etapa de caracterização qualitativo, onde serão utilizadas as ferramentas de solução de problemas com o objetivo de caracterizar a causa da falha, o terceiro passo será buscar um respaldo científico com a realização dos testes químicos no fluido de arrefecimento. E por fim será dado a remontagem do conjunto cabeçote, feito a sua vedação e testes para comprovação desta, além dos resultados expressos de todas as análises qualitativas e testes físico-químicos, conclusões e referências do trabalho dadas ao final.

Palavras-chave: Manutenção – Sede de válvulas – Corrosão – Solução de problemas – Motores Diesel

ABSTRACT

The valves are high precision elements. They are components of internal combustion engines, subject to high thermal and mechanical stresses. They are manufactured by different processes and used from low carbon materials to superalloys with valve seat shielding. This work uses qualitative methods such as the problem solving method and its tools, cause and effect diagram, 5 whys and action plan formulation, as well as technical methods such as electrochemical analysis and reverse cause analysis, all applied in the Search for a solution of failures and cracking in exhaust valve seats of a marine tug engine. It will be seen the use of concepts that deal with issues such as internal combustion engines, diesel, and also their head elements, some types of corrosion will be signaled as possible consequences for the problem raised, and will still be shown some characteristics of materials used in the Constitution of seats and valves. The project will investigate these technical concepts. Starting with the practical phase, firstly the dismantling of the 8 heads will be done, in addition to each of these components, in order to arrive at the cause of the engine failure, after that phase the qualitative characterization stage will be given, where they will be When using the troubleshooting tools to characterize the cause of the failure, the third step will be to seek scientific support for conducting chemical tests on the cooling fluid. Finally, it will be given the reassembly of the head assembly, made its seal and tests to prove this, in addition to the expressed results of all the qualitative analyzes and physical-chemical tests, conclusions and references of the work given at the end.

Key words: Maintenance – Valve seats – Corrosion – Problem solving – Diesel Engines

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 01	– Comparação entre motores de combustão externa e interna..5
Figura 02	– Umidade do ar6
Figura 03	– Primeiro motor Diesel9
Figura 04	– Os 4 tempos de um motor de 4 cursos12
Figura 05	– Motor de 8 cilindros.....16
Figura 06	– Motor de cilindros em linha17
Figura 07	– Componentes de uma válvula.....18
Figura 08	– Sede de válvula18
Figura 09	– Fratura frágil22
Figura 10	– Nervuras de marcas de praia.....24
Figura 11	– Corrosão por pite28
Figura 12	– Exemplo de Diagrama de espinha de peixe31
Figura 13	– Exemplo de uso do 5 Porquês na produção fabril.....32
Figura 14	– Motor MAK M2033
Figura 15	– Dados bases do Motor MAK M2034
Figura 16	– Cabeçotes antes da desmontagem.....35

Figura 17	– Parte superior dos cabeçotes	35
Figura 18	– Desprendimento de metal nas sedes de válvula	35
Figura 19	– Erosão nas válvulas.....	35
Figura 20	– Esmagamento nas sedes de válvula.....	36
Figura 21	– Esmagamento nas válvulas	36
Figura 22	– Cabeçote em processo de fundição	36
Figura 23	– Válvula fora das especificações	36
Figura 24	– Carbonização das sedes de válvula.....	37
Figura 25	– Equipamento de teste de estanqueidade	38
Figura 26	– Vazamento nas sedes de válvula durante teste de estanqueidade.....	38
Figura 27	– Erosão da cabeça da válvula	39
Figura 28	– Erosão da haste da válvula de escape.....	39
Figura 29	– Caracterização da corrosão em pite	40
Figura 30	– Caracterização da avaria pela trinca na sede	41
Figura 31	– Diagrama de causa e efeito para o problema da trinca na sede.....	42

Figura 32	– Sub-grupos escolhidos como possíveis causas da trinca na sede.....	42
Figura 33	– Uso dos 5 porquês para solução do surgimento de trincas na sede de válvula.....	43
Figura 34	– Sedes de válvula de CuAl.....	45
Figura 35	– Aditivo e água pura	46
Figura 36	– Água de arrefecimento já aditivada	46
Figura 37	– Placas de alumínio.....	47
Figura 38	– Tubos de ensaio diversos	47
Figura 39	– Becker.....	47
Figura 40	– Fonte de alimentação.....	48
Figura 41	– Pipeta em uso.....	48
Figura 42	– Termômetro portátil digital.....	48
Figura 43	– Phâmetro e dispositivos	49
Figura 44	– Posicionamento dos materiais a testar.....	50
Figura 45	– Fonte à 10 volts	50
Figura 46	– Retirando líquido de arrefecimento	51
Figura 47	– Alocando material nos tubos de ensaio.....	51

Figura 48	– PHâmetro para calibragem.....	51
Figura 49	– Testes com os materiais recolhidos nos tubos de ensaio.....	52
Figura 50	– Materiais coletados em teste	52
Figura 51	– Água pura em teste de pH e de condutividade.....	52
Figura 52	– Uso de nitrogênio líquido para encaixe da sede.....	57
Figura 53	– Manômetro detalhado em pressão de 10 bar.....	58
Figura 54	– Sede de escape retificada e montada.....	58
Figura 55	– Válvulas retificadas	59
Figura 56	– Cabeçote N° 5	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 –Limite de escoamento e tenacidade à fratura em deformação plana...23	
Tabela 2 –Priorização do problema.....39	
Tabela 3 – PH e condutividade das três amostras diferentes.....53	
Tabela 4 – Variação da temperatura a cada amostra.....54	
Tabela 5 – Variação do pH em 10 e 15V.....55	
Tabela 6 – Variação da condutividade em 10 e 15V55	
Tabela 7 – Modificações finais59	

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Curva de pH de 6 amostras para 10 e 15V55
Gráfico 2	– Curva de condutividade de 6 amostras para 10 e 15V56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

PMI – Ponto Morto Inferior
PMS – Ponto Morto Superior
RPM – Rotações Por Minuto
MASP – Método de análise de solução de problemas
CO₂–Dióxido de carbono
O₂ – Gás oxigênio
N₂ – Gás nitrogênio
°F – Graus Fahrenheit
Lb - Libras
C₈H₁₆- Octano
K – Graus Kelvin
°C – Graus Celsius
CO – Monóxido de carbono
H₂O – Água
SO₂–Dióxido de Enxofre
M.A.M - Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg
g/cm³ – Gramas por centímetros cúbicos
Ni – Nitrogênio
Mpa – MegaPascal
Ksi–1000 Lbf/in² – libra força por polegada quadrada
In - Polegada
K_{te}– Limite de resistência a tenacidade
ONU – Organização das Nações Unidas
kW - QuiloWatts
mhp–Milha por hora
g - Grama
CuAl – Liga Bronze-Alumínio
Al – Alumínio
Mn- Manganês
ml - Mililitro
Vca – Voltagem em corrente alternada

Vcc – Voltagem em corrente contínua

A – Ampères

pH–Potencial Hidrogeniônico

mV - Milivolts

KCl – Cloreto de potásio

H⁺ - Ion de hidrogênio

e⁻ - Elétron

kg/l – Quilograma por litro

4M – Mão-de-obra, máquina, material e método.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Objetivos	2
1.1.1	Objetivo geral	2
1.1.2	Objetivos específicos	2
2	METODOLOGIA	3
3	MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA	5
3.1	Composição atmosférica	6
3.2	Gases residuais pós-combustão	7
3.3	Termodinâmica da pós-combustão	7
3.3.1	Calor gerado pela combustão	7
3.3.2	Energia gerada pela combustão	8
3.4	Motores Diesel	9
3.5	Tipos de motores Diesel	10
3.5.1	Motores lentos	11
3.5.2	Motores veiculares de velocidade média	11
3.5.3	Motores Diesel rápidos	11
3.6	Motor Diesel, seu ciclo, tempos e cursos	11
3.6.1	Motores Diesel de 4 tempos	12
3.7	Óleo Diesel	14
3.8	Motores Diesel segundo a variação dos cilindros	15
3.8.1	Motores de 8 cilindros	16
3.9	Disposição dos cilindros de um motor Diesel	16
3.9.1	Motores com cilindros em linha	16
3.10	Caracterização das válvulas	17
3.11	Motor a Diesel em uso Naval	19
4	PROPRIEDADES MECÂNICAS E QUÍMICAS	21
4.1	Fraturas	21
4.1.1	Fratura frágil e seus princípios	21
4.2	Fadiga	23
4.2.1	Propagação de trincas	23
4.2.2	Ambiente e fadiga	24
4.2.3	Influências da temperatura e tensão	24
4.3	Alumínio e ligas	25

4.4	Cobre e ligas	25
5	ANÁLISE DA CORROSÃO	27
5.1	Fadiga na corrosão	28
5.2	Corrosão e tensão	28
5.3	Água de resfriamento nos motores Diesel	29
6	MÉTODO DE ANÁLISE DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS	30
6.1	Diagrama de causa e efeito (Ishikawa)	31
6.2	Os 5 Porquês	31
7	ESTUDO DE CASO	33
7.1	Apresentação do problema	33
7.1.1	Caracterização do equipamento	33
7.1.2	Identificando o problema	34
7.1.3	Teste de estanqueidade	38
7.1.4	Problema priorizado	39
7.1.5	Análise extra das erosões e trincas de sede de válvula	40
7.2	Análise qualitativa	41
7.2.1	Diagrama de Ishikawa para o problema das trincas	41
7.2.2	Os 5 porquês para a causa raiz	42
7.2.3	Construção de instrução de trabalho	43
7.2.4	Plano de Ação	44
7.3	Análise química	44
7.3.1	Materiais	44
7.3.2	Procedimentos	49
8	RESULTADOS E DISCURSÃO	53
8.1	Ação de correção dos cabeçotes	57
8.1.1	Troca das sedes de escape	57
8.1.2	Teste de estanqueidade e retífica das sedes de válvulas	57
8.1.3	Retífica das sedes restantes	58
8.1.4	Retífica das válvulas de escape	58
8.1.5	Montagem dos cabeçotes	59
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS	60
10	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	62
	REFERÊNCIAS	63
	APÊNDICES	66
	ANEXOS	70

1 INTRODUÇÃO

Tanto no mercado atual como no meio acadêmico está havendo uma maior exigência por qualidade e excelência das empresas e pesquisadores na entrega de produtos, serviços e pesquisas, a capacidade dessas instituições em suprirem as necessidades de seus consumidores, vem incentivando a criação de mudanças e soluções mais rápidas e efetivas para os obstáculos propostos, isso as direcionam à uma constante procura por melhorias a cada ponto de processamento e correções a cada ponto de falha desse processamento (TAYLOR, 1995).

Evidentemente é de suma importância o estudo da capacidade e eficiência dos motores de combustão interna, os quais estão, intimamente, relacionados entre si e outras demais qualidades essenciais. Além do estudo da interação entre suas partes que o compõe, a fim de encontrar possíveis soluções para futuros problemas distintos (TAYLOR, 1995).

Segundo TAYLOR (1995) o consumo de combustível é inversamente proporcional à eficiência. Usualmente sempre que for importante tornar mínima a quantidade de combustível consumida, os motores devem ser ajustados conforme a obter a mais elevada eficiência praticável, com as cargas e rotações usadas por longo período de tempo.

Em casos diversos, o aumento na eficiência resulta no decréscimo das temperaturas dos gases de descarga. RICARDO E CLYDE (1941) dizem que um aumento na eficiência frequentemente resulta em melhora na confiança e durabilidade de um motor alternativo, porque muitos dos problemas e a grande deterioração a que estão sujeitos tais motores resultam das elevadas temperaturas de descarga.

Este trabalho acadêmico tem como finalidade avaliar os conhecimentos adquiridos pelo aluno no curso de Engenharia Mecânica, e principalmente aplicando-o na formulação de respostas usando a ferramenta solução de problemas para o aparecimento de trincas em sedes de válvulas de escape do motor MAK 9 M20 em regime marítimo, o qual é de grande importância no âmbito industrial na composição de rebocadores de navios, barcos e composições para fornecimento elétrico.

Durante a elaboração deste projeto, haverá a oportunidade de aplicar o conhecimento adquirido nas diversas disciplinas estudadas no curso de Engenharia Mecânica, o que é de grande valia para a consolidação dos mesmos. O trabalho será tratado de uma forma dinâmica e objetiva, utilizando métodos de manutenção e correção já conhecidos e outros inovadores, a fim de que se encontre uma solução para o dado quesito que venha a levar a um produto mais eficiente e confiável, com maior vida útil e uma padronização para os materiais e processos aplicados.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

Verificar de que forma a aplicação do dado estudo do problema específico auxilia numa melhora de performance para o coletivo dos motores em questão, com a finalidade de avaliar a utilidade da alteração feita no processo de trabalho. Além de analisar e apresentar soluções para redução de falhas nas sedes das válvulas de escape do motor MAK 9M20 com o auxílio da metodologia solução de problemas, com o intuito de diminuir o número de quebras e manutenções e reduzir tais custos.

1.1.2 Objetivos específicos

- Apresentar o sistema de queima da mistura ar/combustível nos motores marítimos atuais;
- Avaliar o motor antes e depois da aplicação de sua correção;
- Avaliar cenário de operação do mesmo, coletando informações e materiais;
- Eleger problemas reais e suas possíveis soluções;
- Obtidas estas últimas, utilizá-las para a composição de um parecer sobre as estratégias a serem utilizadas, e escolha dos testes a serem feitos;
- Contribuir para um melhor funcionamento do regime de trabalho requerido.

2 METODOLOGIA

O projeto deu-se em seis fases distintas, a primeira fase seria a identificação do problema, a segunda fase caracteriza o problema, na terceira fase houve a coleta de dados, a quarta fase tratou da análise desses dados e a elaboração de testes práticos, na quinta fase foi realizado o levantamento bibliográfico, e por fim a sexta fase, que corresponde a síntese do documento assim com um tratamento mais refinado dos resultados.

A primeira fase consistia no rastreamento de pontos de oportunidade para que se conhecesse a proposta de problema a resolver de uma forma mais íntima. Levando em questão a viabilidade de um possível projeto e levantando pós e contras em iniciar este.

A segunda fase se baseava em caracterizar as disciplinas em que poderiam servir de base para o desenvolvimento do projeto, assim como a justificativa para sua inicialização.

A terceira fase já foi uma confirmação da certeza de fazer um trabalho em cima da ideia inicial de um projeto. Nesta etapa foi recolhido todos os materiais, informações e dados, possíveis do problema, e de envolvidos com o mesmo.

Na quarta fase deu-se em um tratamento técnico e com métodos científicos de qualidade, levantado desta forma propostas de ação e possíveis soluções. Finalizando esta etapa com a confirmação dos dados através de testes práticos.

O levantamento de insumo teórico e bibliográfico caracterizou a quinta fase, o qual representa para o trabalho em si o enriquecimento de conteúdo científico.

Por último a sexta fase encontra-se na construção do trabalho final, na união de dados coletados e resultados obtidos, no encaixe dos problemas com as soluções e ideias propostas, tal como o resumo normativo de todos estes.

O caráter do trabalho vem ater três vertentes, onde têm-se a expressão do mesmo no âmbito exploratório, pois este proporciona uma ampliação dos conhecimentos técnicos e qualitativos, quanto a manutenção de cabeçotes. É encontrado também no texto um caráter descritivo onde foi visado a descrição da falha do equipamento, assim como seus detalhes técnicos, e a descrição das

análises e soluções. E por último um caráter explicativo, a fim de proporcionar uma retórica de causa e efeito, expondo os motivos das falhas e suas possíveis soluções.

Do ponto de vista objetivo, o trabalho é composto pelas seguintes etapas:

- Descobrimto de falha por desmontagem do cabeçote e análise reversa;
- Uso de ferramentas de qualidade para estimar possíveis soluções (solução de problemas, diagrama de Ishikawa, 5 porquês e plano de ação);
- Testes químicos para comprovar ou corrigir os resultados do uso das ferramentas de qualidade;
- Correção dos problemas identificados com uso das soluções propostas;
- Padronização da atividade de manutenção de sede de válvula.

3 MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA

Pode-se classificar os motores em dois tipos, os de combustão externa e o de combustão interna. Neste primeiro tem-se o calor proveniente da combustão sendo transferido através de um reservatório ou caldeira, sendo a mistura ar-combustível separada do fluido de trabalho, já o motor de combustão interna tem-se como produto da combustão da mistura ar-combustível o fluido de trabalho como será visto na figura 01 (TAYLOR, 1995).

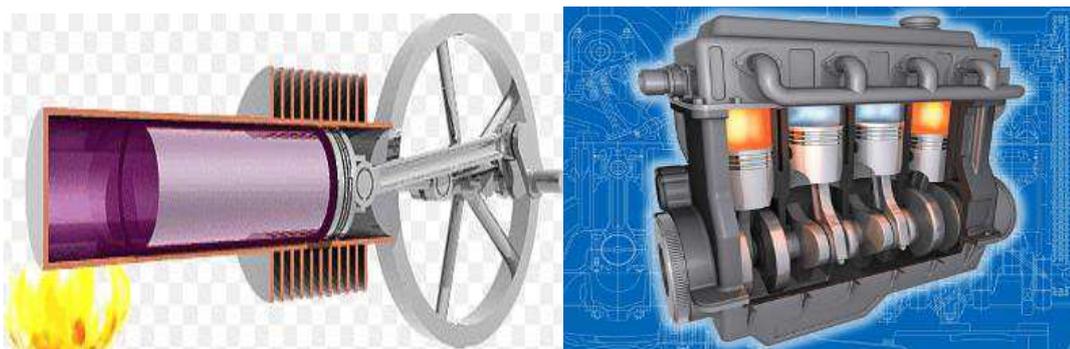


Figura 01 - Comparação entre motores de combustão externa e interna

Fonte: (UOL, 2017)

MAHLE (2016) diz que os motores são máquinas destinadas a converter qualquer forma de energia, seja ela térmica, elétrica, hidráulica ou outra, em energia mecânica. No caso dos motores de combustão interna, há a transformação de energia térmica, queima de combustível, em energia mecânica.

Levando em consideração a importância do motor de combustão interna no campo de transportes terrestres, onde o reduzido peso, volume do motor e seus dispositivos e combustível são pontos essenciais, fica explícito a vantagem desse motor em relação a outras tecnologias de locomoção. Sendo assim, o número de unidades e a potência total dos motores de combustão interna em uso são muito maiores que todos os demais acionadores combinados. Considerando as grandes mudanças na forma de vida que o veículo a motor trouxe para todos os países industrializados, pode-se dizer que a importância do motor alternativo de combustão interna na economia mundial não foi superado por nenhum outro desenvolvimento da era das máquinas (TAYLOR, 1995).

3.1 Composição atmosférica

A composição do ar atmosférico seco consiste em 23% de oxigênio e 76% de nitrogênio, por peso, e entrando dessa forma também para essa composição o CO_2 e outros gases ditos raros, em especial o argônio. Em volume, pode-se ter em porcentagem de 21% de O_2 e 78% de N_2 e 1% de outros gases. Nos propósitos da termodinâmica, os outros gases são considerados equivalentes ou sendo parte do volume de nitrogênio. O peso molecular do ar seco é de 28,85 ou melhor 29 dentro do limite de precisão da maioria dos cálculos como mostrado na figura 02 (WELSH, 1948).

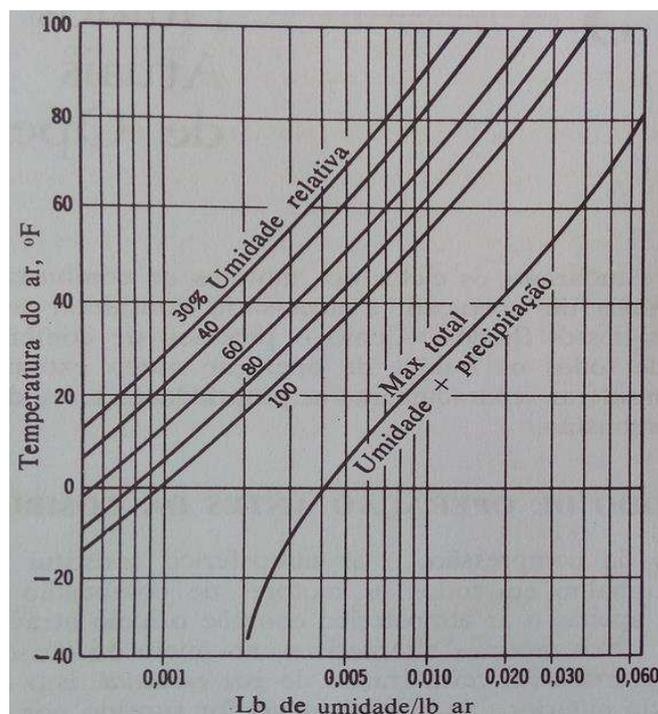


Figura 02 - Umidade do ar

Fonte: (WELSH, 1948)

Não incluindo os compostos já citados, o ar atmosférico ainda é composto por vapor d'água em um volume que varia com a temperatura e grau de densidade. Este último varia com o tempo e local, de aproximadamente 0 a próximo de 100%. Além da água evaporada, o ar pode contar com uma quantidade considerável de umidade e gotículas e isso mostra que pode haver influência do vapor de água e outros elementos nas propriedades termodinâmicas (WELSH, 1948).

3.2 Gases residuais pós-combustão

As características do gás residual são definidas com base na energia interna zero, a 311°K ou 37,85°C, na fase gasosa e em sua composição química existente (EDSON E TAYLOR, 1964).

As variações no conteúdo de gás residual ou vapor d'água tem pouco efeito sobre a eficiência dos ciclos de combustível-ar e, desta forma, para os propósitos termodinâmicos, o vapor d'água pode ser tratado como uma massa igual de gás residual (EDSON E TAYLOR, 1964).

Com a mistura combustível-ar, os gases residuais podem conter quantidades significantes de componentes tais como CO e H₂. Por convenção, tais componentes têm apreciável energia interna, relativamente à referência de CO₂ e H₂O. A energia do gás residual é determinada pelos calores da combustão de tais componentes que não sejam CO₂, H₂O gasosa, O₂ e N₂ (TAYLOR, 1995).

3.3 Termodinâmica da pós-combustão

Ao tratar o processo de combustão, apenas os estados finais são considerados, pois os conhecimentos sobre os processos químicos que ocorrem durante a combustão são bastantes limitados, levando em conta que esses processos normalmente ocorrem em uma fração de tempo muito rápida e a temperaturas bastante elevadas (TAYLOR, 1995).

Quando se tem o hidrogênio e carbono com ar como materiais do combustível, a combustão completa é considerada como a redução de todo o material na mistura combustível-ar, com CO₂, H₂O gasosa e N₂ na temperatura referida da tal combustão (TAYLOR, 1995).

3.3.1 Calor gerado pela combustão

Para TAYLOR (1995), o calor gerado pela combustão é a quantidade obtida através de experiências calorimétricas. De uma forma geral, o calor da combustão é medido pela queima de uma massa conhecida com excesso de oxigênio, em um recipiente a volume constante, chamado bomba calorimétrica. Os

combustíveis líquidos à temperatura ambiente são inseridos na forma gasosa. A quantidade de oxigênio excede a estequiométrica necessária, a fim de que todo o carbono se transforme em CO₂, todo o hidrogênio em H₂O e todo o enxôfre em SO₂, e assim por diante.

Por convenção o calor da combustão é calculado a seguir, conforme equação 1:

$$Q_c = Q_{ch} + \frac{M_v H_v}{M_f} \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

Q_c = calor da queima;

Q_{ch} = maior calor da combustão do combustível;

M_v = massa de vapor d'água nos produtos da combustão;

H_v = entalpia da unidade de massa d'água líquida na temperatura da experiência;

M_f = massa de combustível usada.

3.3.2 Energia gerada pela combustão

Ainda segundo TAYLOR (1995), pode-se definir a energia da combustão como a energia interna do combustível gasoso não queimado a 311°K ou 37,85 °C, relativamente à referência de energia zero para os gases CO₂, H₂O, O₂ e N₂ a 311°K ou 37,85 °C. Essa quantidade poderia ser medida através do calor despreendido a volume constante, iniciando com o combustível gasoso não queimado e O₂ na temperatura de referência e terminando com os gases CO₂, H₂O e O₂, na mesma temperatura. Neste processo tem-se uma certa dificuldade ao ser executada, pois muitos combustíveis, e também a água, normalmente são líquidos a 311°K ou 37,85 °C. Todavia a energia da combustão pode ser calculada pela seguinte equação 2:

$$E_c = \frac{1}{M_f} (Q_e + M_v E_v) - E_{lg} \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

- E_c = Energia proveniente da combustão;
 Q_e = calor desprendido durante os testes;
 E_v = energia interna da unidade de massa de água líquida;
 E_{lg} = energia interna da unidade de massa do combustível líquido.

3.4 Motores Diesel

Os motores Diesel movem todos os tipos de máquinas, como tratores, escavadeiras, locomotivas, navios, geradores de energia elétrica, compressores de ar, e unidades hidráulicas. O primeiro motor Diesel foi criado em 1897 pela M.A.M, na Alemanha, por Rodolphe Diesel como exemplificado na figura 03. Por muitos anos, seu uso foi muito restrito, devido às dificuldades de funcionamento. Somente a partir da década dos anos 30, com o aperfeiçoamento da bomba injetora de cilindros em linha, ou múltipla, inventada por Robert Bosch, é que seu uso se tornou mais popular e difundido (RACHE, 2004).

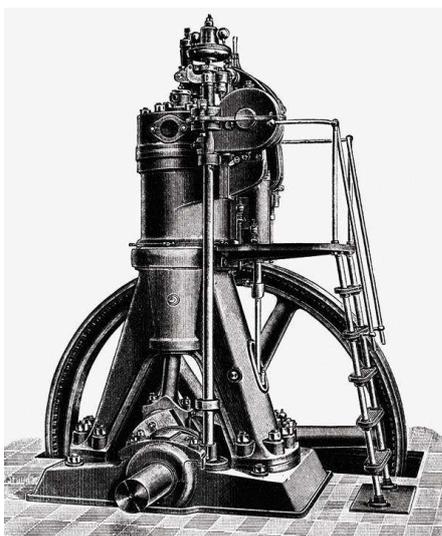


Figura 03 - Primeiro motor Diesel

Fonte: (AE-PLUS, 2017)

Segundo TAYLOR (1995), há fatos básicos importantes que caracterizam os motores a diesel:

1. Há sempre um período de retardamento, isto é, um tempo mensurável entre o início da injeção e a aparição de uma chama ou um aumento de pressão mensurável devido à combustão;

2. O período de retardamento é seguido por um rápido aumento na pressão. Se o retardamento for tão ou mais longo do que o período de injeção, a maior parte do combustível queima durante o período de rápida elevação de pressão;

3. O período de rápida elevação de pressão é seguido por uma combustão relativamente lenta, à medida que o combustível não queimado restante acha o oxigênio necessário. Exceto talvez com pequenas cargas, essa combustão lenta se estende numa parte considerável, se não em todo o curso de expansão;

4. Os ângulos de manivela ocupados pelo retardamento, o período de rápida elevação de pressão e o período subsequente de combustão lenta variam com o projeto e as condições de operação. Numa dada rotação do motor, esses ângulos estão sujeitos a certo controle por meio da ajustagem do tempo de injeção, características de borrifo e composição do combustível.

Por experiência é mostrado que os motores Diesel podem ser operados com combustão muito rápida, isto é, aproximando-se da combustão a volume constante da maioria dos combustíveis. Esse resultado é obtido quando o período de retardamento é longo o bastante para que a maior parte do combustível injetado seja bastante misturada e evaporada antes de ocorrer a combustão. Apesar disso, esta operação é indesejada devido às altas pressões máximas resultantes e altas razões de elevação da pressão.

Em resumo, na operação prática dos motores Diesel, o combustível, o sistema de injeção e as condições de operação são escolhidas de forma a limitar as razões de elevação de pressão e as pressões máximas em valores bem abaixo do máximo atingível (TAYLOR, 1995).

3.5 Tipos de motores Diesel

RACH (2004) descreve três tipos de motores Diesel

- Motores lentos;
- Motores veiculares, ou motores de velocidade média;
- Motores veiculares para uso em automóveis, ou motores rápidos

3.5.1 Motores lentos

Geralmente esses motores são de grande porte físico e potencial, sendo encontrados em navios, barcaças, rebocadores e para mover geradores de energia elétrica de grande capacidade, ou ainda para impulsionar sistemas de bombeamento de água de emergência. Sendo estes de baixa rotação, que pode ser de 200 a 300 rotações por minuto (RACH, 2004).

Algumas exceções são os motores a Diesel de até 50.000 HP, os quais são empregados em grandes navios petroleiros e cargueiros em transportes de longo alcance e duração. E existem outros motores navais de menor porte que podem chegar a rotações equivalentes a 800 até 1.200 rpm (RACH, 2004).

3.5.2 Motores veiculares de velocidade média

Estes tipos de motores são utilizados principalmente em caminhões, tratores, escavadeiras e locomotivas de pequeno porte, utilizadas normalmente em pátios de manobra. Sendo caracterizado pela velocidade média estimada entre as 1.500 a 2.800 rotações por minuto, mas estes são de menor porte (RACH, 2004).

3.5.3 Motores Diesel rápidos

Por fim estes últimos são de uso em automóveis de passeio, e que podem funcionar em até 5.400 rotações por minuto. Alguns autores classificam estes motores juntamente com os demais motores veiculares, como motores rápidos (RACH, 2004).

3.6 Motor Diesel, seu ciclo, tempos e cursos

Para RACH (2004) o ciclo de um motor é o conjunto de operações sequenciais e repetitivas que um motor realiza durante o seu funcionamento. Como exemplo, existem motores de ciclo Otto, ou a explosão, que funcionam a gasolina, a álcool, ou a metanol. E os motores de ciclo Diesel, que funcionam a óleo Diesel,

ou óleo pesado, ou óleo combustível, ou óleos vegetais. O ciclo pode ser dividido em etapas variadas de funcionamento, que podem ser chamados tempos.

Segundo MAHLE (2016) nos motores tipo diesel há somente a admissão de ar puro, o qual ao ser comprimido pelo pistão se aquece o suficiente para inflamar o óleo diesel pulverizado no interior da câmara de combustão. Tendo seu funcionamento semelhante ao do motor à gasolina.

Em geral todos os motores a explosão, ou combustão interna como o Diesel, funcionam em 4 tempos, os quais são a admissão, compressão, combustão e escape, mas podem diferenciar em seu curso podendo ser de 2 ou 4 cursos. Nos motores de 4 cursos cada tempo é realizado em um curso do pistão, e nos de 2 cursos, dois tempos são realizados em cada curso do pistão. Entende-se como curso do pistão a distância percorrida por ele quando se desloca do PMS até o seu PMI (RACH, 2004).

Em conclusão pode-se dizer que os motores de 2 tempos são de 2 cursos e os de 4 tempos são de 4 cursos.

3.6.1 Motores Diesel de 4 tempos

O motor Diesel de 4 tempos é dividido em 4 etapas de funcionamento, as quais são demonstradas na figura 04:

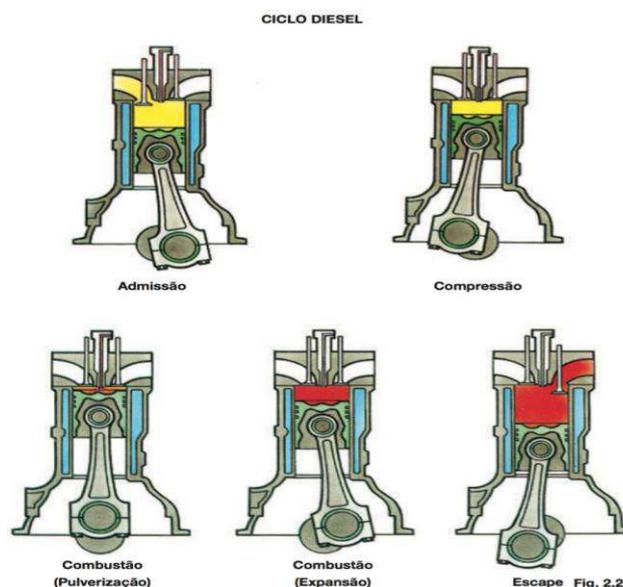


Figura 04 - Os 4 tempos de um motor de 4 cursos

Fonte: (MAHLE, 2016)

- **Primeiro tempo, admissão:** Cada cilindro tem as válvulas de admissão e escape colocadas na cabeça do cilindro. O pistão encontra-se no PMS e irá fazer o seu curso descendente para o PMI. A válvula de admissão abre, e o ar é obrigado a entrar à medida que o pistão desce dentro do cilindro. O cilindro se enche de ar puro, que entra pela válvula de admissão, quando o pistão se desloca até o seu PMI (RACH, 2004);

- **Segundo tempo, compressão:** Ao chegar no PMI, o pistão inicia o curso de retorno, e começa a subir. A válvula de admissão se fecha e a de escape continua fechada. Nesse momento o ar é comprimido até ser reduzido a um volume de aproximadamente 15 a 20 vezes menor. Com essa compressão a temperatura do ar pode chegar até a 700°C, e a pressões de 30 a 40 kg/cm². No final do curso o pistão chega até o PMS, mas pouco antes começa a injeção do óleo Diesel (RACH, 2004);

- **Terceiro tempo, combustão:** Nessa etapa o óleo Diesel é injetado na câmara de combustão do cilindro na forma de um fino jato de partícula pulverizada, conhecida também como Spray. Em alguns motores é preciso que o óleo Diesel chegue a pressões altíssimas, tais como 300 Kg/cm² para que seja pulverizado ao ser injetado. Já na combustão, a pressão máxima do cilindro chega a ser o dobro da pressão máxima no cilindro Otto. A entrada do óleo não é instantânea, e leva algum tempo, e a medida que o óleo Diesel é injetado no cilindro cheio de ar quente e a altíssimas pressões, ele vai se queimando. Por esta razão, a combustão não é instantânea, e dura tanto tempo quanto a injeção do óleo. Esta é uma diferença importante entre os motores de óleo Diesel e os motores de ciclo Otto. Os motores Diesel operam por uma queima progressiva do combustível, e por isso são chamados de motores de combustão interna, pois a combustão ocorre internamente no motor. À medida que o óleo Diesel queima, formam-se gases de combustão em alta pressão, que se dilatam, isto é, aumentam de volume, empurrando o pistão para baixo, fazendo girar o virabrequim e movimentando o motor (RACH, 2004);

- **Quarto tempo, escape:** Na eliminação dos gases provenientes da combustão, há a abertura da válvula de escape, e o começo da subida do pistão depois de ultrapassar o PMI, voltando assim a ocupar o espaço do cilindro, que estava cheio de gases de combustão. O que houve foi, que ele empurrou os gases, que saíram pela válvula de escape aberta, e passaram pela tubulação de escape,

ainda quentes e parcialmente comprimidos. Estes gases, porém ainda há alguma energia residual, e podem ser reutilizados através de um turbocompressor (RACH, 2004).

3.7 Óleo Diesel

Segundo RACH (2004) apesar do óleo Diesel não fazer parte dos componentes do motor, ele tem uma importância essencial para o desempenho deste. O óleo diesel é um produto que sobra da destilação do petróleo, e como tem alta densidade e viscosidade, é chamado de óleo. Da queima do combustível se obtém energia térmica, que pode ser utilizada em forma de energia de expansão de gases de combustão e transformada em energia mecânica. RACH (2004) ainda diz que para avaliar a capacidade de um determinado combustível de produzir energia térmica em sua combustão, existem vários índices, que são determinados através de testes. Sendo assim, para o óleo Diesel existem índices muito importantes, tais como:

- O poder calorífico;
- O número ou índice Cetano;
- O índice de viscosidade;
- Pureza ou isenção de matérias estranhas;
- Baixo teor de enxofre;
- Ponto de névoa.

Para RACH (2004) o poder calorífico de um combustível é a quantidade de calor que uma determinada fração ou peso de combustível pode produzir em sua queima. Quanto maior seu poder calorífico, maior será a quantidade de calor que ele produzirá em sua queima. Como o motor utiliza a energia do calor, ou energia térmica, para produzir potência, é importante que o combustível tenha um poder calorífico alto.

RACH (2004) diz que o número Cetano é determinado através de testes, realizados utilizando-se um motor especial monocilíndrico, isto é, de um só cilindro, e que são feitos comparando-se a tendência que um combustível tem de auto inflamar-se espontaneamente a determinada temperatura, com a mesma tendência

de um combustível padrão. Geralmente se toma o combustível padrão como de índice 100, e os resultados dos testes dos outros óleos são comparados com ele. Quanto maior for o número Cetano, maior será a tendência à inflamação espontânea.

Segundo RACH (2004) o índice de viscosidade é a propriedade que um líquido tem de resistir a se deslocar em relação a si mesmo. Quanto maior for a viscosidade, maior é a atração das partículas do óleo, umas pelas outras, e o seu atrito interno.

O índice de viscosidade mais usado para o óleo Diesel é o Centistokes. A viscosidade depende da temperatura do líquido, por isso sempre se indica a temperatura em que o teste foi realizado. A capacidade de pulverização do óleo Diesel é determinada pela sua viscosidade. Também a capacidade de formar uma boa mistura ar-óleo Diesel depende da viscosidade, e dela depende a boa combustão RACH (2004).

Ainda nas palavras de RACH (2004) o óleo Diesel não pode conter nem água nem poeira, ou matérias estranhas de nenhuma espécie, o que o prejudicará, e ocasionará o entupimento de orifícios de bombas e injetores. Esta qualidade é chamada de índice de turbidez (turvação).

Já para o baixo teor de enxofre o óleo Diesel deve conter baixa taxa deste, pois este é corrosivo e poluidor.

3.8 Motores Diesel segundo a variação dos cilindros

Para RACH (2004), a potência de um motor depende da quantidade de gases de combustão existentes em cada cilindro, e estes dependem da quantidade de óleo Diesel e oxigênio, isto é, de ar, que contém oxigênio. Para se alcançar as altas potências necessárias, se precisaria de um cilindro muito grande, para um motor de um só cilindro. Desta forma se utilizam motores de vários cilindros. Com isso, se consegue um funcionamento mais uniforme, sem pancadas bruscas, não sendo necessário contrapesos no virabrequim de grande peso e dimensões. Assim o motor será mais leve. Normalmente, fabricam-se motores de 3, 4, 6, 8 e 12 cilindros, existindo alguns fabricantes que produzem motores de 2 cilindros, para pequenas potências.

3.8.1 Motores de 8 cilindros

A sequência de combustão será 1-5-4-2-6-3-7-8, como um exemplo de deslocamento. Normalmente ler-se esta sequência gravada no bloco dos cilindros do motor. Pode-se ver o exemplo de motor de 8 cilindros na figura 05 (RACH, 2004).



Figura 05 - Motor de 8 cilindros

Fonte: (NAUTICEXPO,2017)

3.9 Disposição dos cilindros de um motor Diesel

De acordo com RACH (2004), a disposição dos cilindros pode ser em linha, em “V”, e ou opostos. Sobretudo os motores giram no mesmo sentido dos ponteiros do relógio, quando são olhados pela parte de frente do veículo.

3.9.1 Motores com cilindros em linha

Os motores em linha, ou com cilindros em linha, têm seus cilindros dispostos verticalmente um atrás do outro. Tudo isso trás uma vantagem de facilitar a fundição do bloco do motor assim como a futura manutenção dos seus componentes. Este motor pode ser ligeiramente inclinado, quando colocado no veículo, para diminuir a sua altura, o qual é a sua principal desvantagem. A maioria dos motores são fabricados com a disposição dos cilindros em linha assim como mostrado na figura 06 (RACH, 2004).



Figura 06 - Motor de cilindros em linha

Fonte: (NAUTICEXPO, 2017)

3.10 Caracterização das válvulas

MAHLE (2016) diz que as válvulas são elementos de alta precisão. São componentes de motores a combustão interna, sujeitos às altas tensões térmicas e mecânicas. De tal, são fabricadas por diferentes processos e utilizados desde materiais de baixo teor de carbono até superligas com blindagem da sede de válvulas. Há também a diferença entre as válvulas em sua aplicação.

Normalmente as válvulas de admissão são encontradas em tamanho maior do que as de exaustão. Podemos separar as válvulas em cabeça, haste e extremidade. Na cabeça uma parte é retificada a ponto de ficar bem lisa, pois é esta parte que fica em contato com a sede da válvula, e por sua vez deve fazer uma boa vedação, não deixando assim escapar ar ou gás de combustão sob pressão no cilindro. Geralmente as válvulas de escape são submetidas a elevadas temperaturas, mesmo nas suas hastes, e por isso são feitas de aços resistentes a altas temperaturas. Pode-se encontrar alguns motores de alta rotação usando duas válvulas de admissão e duas de escape em cada cilindro. E também se usam uma válvula de admissão grande e duas válvulas de escape pequenas em cada cilindro. Este uso de várias válvulas em cada cilindro permite que sejam usadas pequenas válvulas no lugar de uma grande, e levando em consideração que as pequenas são mais leves e mais rápidas em seu movimento, necessitando ainda de molas menores, fazendo desta forma que a sincronização de abertura e fechamento das válvulas tenham uma exatidão maior (RACHE, 2004).

MAHLE (2016) ao destacar alguns componentes de uma válvula na figura 07 tem-se:

- **Enchimento:** Região da cabeça da válvula, que surge durante a fabricação ou através de usinagem e retificação;
- **Cabeça:** É formada pela sede, ângulo e enchimento;
- **Sede:** É composta pela região de apoio da válvula na sede instalada no cabeçote como apresentada na figura 08.

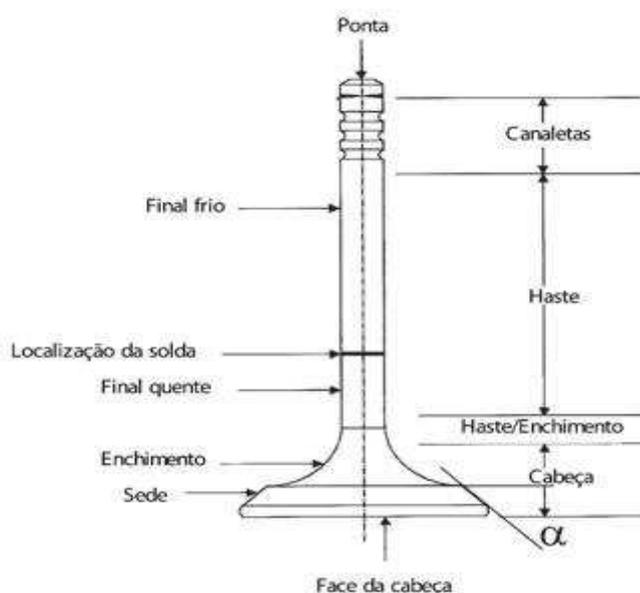


Figura 07 - Componentes de uma válvula

Fonte: (MAHLE, 2016)



Figura 08 - Sede de válvula

Fonte: (MAHLE, 2016)

O curso do pistão é feita apenas em uma fração de segundos nos motores modernos. Exemplificando para um motor com 2.800 rpm, o seu pistão apenas um centésimo de segundo para percorrer um curso completo. Desta forma, é de suma importância que as válvulas abram e fechem no momento certo, para permitir que o cilindro se encha totalmente de ar no ciclo de admissão e se esvazie de gases de combustão no ciclo de escapamento (RACHE, 2004).

Dependendo do motor às válvulas podem funcionar em alta velocidade, sofrendo muitas pancadas e tendo que absorver muito calor.

As válvulas são feitas de aço resistente a altas temperaturas, e algumas vezes revestidas de liga resistentes ao desgaste, como exemplo têm-se o Steelite, o qual é uma liga feita de 60% de cobalto, 25% de cromo, 10% de tungstênio e 5% de molibdênio com traço de ferro. Esta composição chama-se de liga de metais, onde possui propriedades de dureza, resistência ao desgaste, e às altas temperaturas, elevadas. A dureza é tanta, que há a dificuldade de usiná-la, além de problemas com o custo, pois normalmente ligas são bem mais caras do que os metais em sua forma pura. Com o uso, as válvulas se desgastam e devem ser retificadas. A retífica faz com que o ângulo da extremidade da válvula, que fica em contato com a sede, volte a ser o mesmo de quando a válvula era nova. Por isso é preciso ser feita a comparação entre a peça retificada e uma nova após o processo (RACHE, 2004).

3.11 Motor a Diesel em uso Naval

No mundo dos motores a Diesel há motores de variadas formas projetados para o âmbito naval, seja ele para navios de grande porte, ou para embarcações de menor porte, ou até para embarcações marítimas costeiras e fluviais. Mas é bastante comum a adaptação de motores de uso veicular para uso naval, como em lanchas, barcaças e rebocadores de navios. O termo usado comumente para essa adaptação é marinização ou navalização do motor Diesel. De praste os motores de uso veicular têm a vantagem de funcionar em rotações mais elevadas, de 1.500 a 2.800 rpm, disponibilizando uma relação de peso – potência mais favorável. Quando alimentado com o óleo Diesel puro, o motor Diesel naval tem a vantagem de segurança contra os riscos de um incêndio, e os baixos custos do combustível (RACHE, 2004).

Algumas empresas ou usuários de veículos navais, tem o costume de adicionar o óleo nafta ao óleo Diesel, o qual faz com que ele fique tão inflamável e volátil quanto a gasolina. Como desvantagens, ele tem o maior preço de aquisição, sendo mais caro, mais pesado e volumoso do que um motor de ciclo Otto de mesma potência. Porém um fator importante a ser levado em consideração nessa comparação é o fator de segurança contra incêndios em alta mar, e também com o

uso por um certo tempo, a diferença de gastos, devida ao combustível mais barato, compensa, de certa forma, a diferença de preço de aquisição (RACHE, 2004).

4 PROPRIEDADES MECÂNICAS E QUÍMICAS

4.1 Fraturas

Em simples palavras a fratura de um corpo em duas ou mais partes em resposta à imposição de uma tensão de natureza estática e em temperaturas que são baixas relativamente à temperatura de fusão do material. Têm-se três tipos de tensão aplicadas: de tração, compressão e cisalhamento. Ao falar de materiais de engenharia há duas formas de fraturas: a dúctil e a frágil. Esta classificação é baseada na capacidade do material apresentar deformação plástica. Para os materiais dúcteis, há uma típica deformação plástica substancial com uma grande absorção de energia antes da fratura. Já na fratura frágil quase não, ou não há, uma deformação plástica, com uma baixa absorção de energia (CALLISTER, 2011). No Anexo 1 se encontra uma série de metais, ligas e outros materiais com as suas determinadas resistências a fratura em $\text{MPa}\sqrt{m}$.

4.1.1 Fratura frágil e seus princípios

CALLISTER (2011) diz que a fratura frágil, apresentado na figura 09, ocorre sem qualquer deformação prévia e pela rápida propagação de trincas. Normalmente a propagação ou o movimento da trinca é aproximadamente perpendicular à direção da tensão de tração aplicada e produz uma superfície de fratura relativamente plana.

Para metais duros e de granulação fina, não há padrões de fratura que possam ser distinguidas. Já em materiais como os amorfos, tais como o vidro cerâmico, este produz uma superfície relativamente brilhante e lisa (CALLISTER, 2011).



Figura 09 - Fratura frágil

Fonte: (CALLISTER, 2011)

Um dos princípios da fratura frágil é a concentração de tensões em um certo ponto do material onde tem-se a presença de defeitos ou trincas muito pequenos, microscópico, que sempre existem em condições normais na superfície e no interior do corpo de um material. Tais defeitos se tornam um fator negativo para a resistência à fratura, pois uma tensão aplicada pode ser aumentada ou concentrada na extremidade do defeito, onde a magnitude dessa concentração depende da orientação e da geometria da trinca. Todos os materiais frágeis contêm uma população de pequenas trincas e defeitos que possuem uma variedade de tamanhos, geometrias e orientações (CALLISTER, 2011).

Já a tenacidade à fratura, que é outro princípio da fratura frágil, é uma propriedade que mede a resistência de um material a uma fratura frágil quando uma trinca está presente. Ela depende da espessura da peça do material (CALLISTER, 2011). O limite de escoamento e tenacidade à fratura é apresentada na tabela 1.

Tabela 1 – Limite de escoamento e tenacidade à fratura em deformação plana

Fonte: (CALLISTER, 2011)

Material	Limite de Escoamento		K_{te}	
	MPa	ksi	$\text{MPa}\sqrt{\text{m}}$	$\text{ksi}\sqrt{\text{in}}$
Metais				
Liga de alumínio (7075 –T651)	495	72	24	22
Liga de alumínio (2024 –T3)	345	50	44	40
Liga de titânio (Ti-6*1-4V)	910	132	55	50
Aço-liga (4340 revenido a 260°C)	1640	238	50	45,8
Aço-liga (4340 revenido a 425°C)	1420	206	87,4	80
Cerâmicas				
Concreto	-	-	0,2-1,4	0,18-1,27
Vidro à base de Cal de soda	-	-	0,7-0,8	0,64-0,73
Óxido de alumínio	-	-	2,7-5,0	2,5-4,6
Polímeros				
Poliestireno (OS)	-	-	0,7-1,1	0,64-1,0
Polimetil Metacrilato (PMMA)	53,8-73,1	7,8-10,6	0,7-1,6	0,64-1,5
Policarbonato (PC)	62,1	9,0	2,2	2,0

4.2 Fadiga

CALLISTER (2011) fala que a fadiga é uma forma de falha que ocorre comumente em estruturas que estão sujeitas a tensões dinâmicas e oscilantes, como exemplos as pontes, aeronaves e componentes de máquinas. Usa-se o termo fadiga, pois esse tipo de falha ocorre normalmente após um longo período de tensões repetitivas os ciclos de deformação. A fadiga é a maior responsável de falhas individuais em metais, representando um total aproximado de 90% de todas as falhas em metais. As falhas por fadigas em metais dúcteis normalmente são de natureza frágil, o que exige quase nenhuma deformação plástica vinculada ao metal. Isso tudo dar-se com a propagação de trincas e a perpendicularidade do plano da fratura com a direção da aplicação da tensão de tração.

4.2.1 Propagação de trincas

Normalmente as trincas se nucleiam na superfície de uma peça em algum ponto de concentração de tensões. Entre os aspectos mais característicos da superfície de fadiga estão às marcas de praia e as estrias. As marcas de praia se formam em componentes que sofrem interrupções na aplicação da tensão;

normalmente, elas podem ser observadas a olho nu. As estrias de fadiga possuem dimensões microscópicas, e cada uma delas é considerada como representando a distância de avanço da extremidade da trinca a um único ciclo de carga (CALLISTER, 2011).

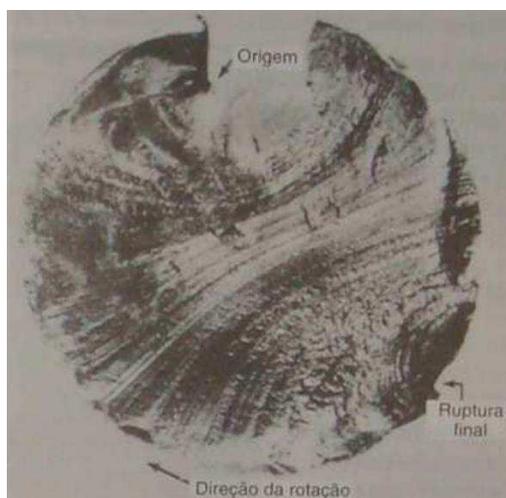


Figura 10 - Nervuras de marcas de praia

Fonte: (CALLISTER, 2011)

4.2.2 Ambiente e fadiga

O ambiente também pode afetar o comportamento da fadiga em certos materiais. A aparição de tensões térmicas podem induzir componentes que estão expostos a flutuações elevadas de temperatura quando a expansão e/ou a contração térmica é restringida; a fadiga sob essas condições é denominada fadiga térmica. A presença de um ambiente quimicamente ativo pode levar à redução na vida em fadiga devido à fadiga associada à corrosão (CALLISTER, 2011).

4.2.3 Influências da temperatura e tensão

A temperatura e o nível de tensão aplicada influenciam diretamente o comportamento em fluência. Onde o aumento de qualquer um desses parâmetros gera efeitos tais como: aumento na deformação instantânea inicial, aumento na taxa de fluência no regime estacionário, diminuição no tempo de vida até a ruptura (CALLISTER, 2011).

4.3 Alumínio e ligas

Ao falar de características mecânicas, o alumínio e suas ligas apresentam características diversificadas, como por exemplo comparando a massa específica do alumínio com a do aço, pode-se ver uma certa inferioridade, pois o primeiro apresenta apenas $2,7 \text{ g/cm}^3$ e o segundo $7,9 \text{ g/cm}^3$. Em relação a condutividade elétrica e térmica, são apresentadas características mais elevadas. Observa-se ainda uma certa resistência a corrosão em alguns tipos de ambientes, o que inclui o meio ambiente atmosférico. A elevada ductilidade do alumínio e muitas de suas ligas é uma característica que facilita em muitos processos de conformação mecânica, o qual é exemplificada na laminação de finas folhas de papel-alumínio. Mesmo a temperaturas muito baixas a ductilidade do alumínio e suas ligas é mantida. Uma das desvantagens do uso do alumínio é a sua baixa temperatura de fusão (660°C), o que restringe o seu uso em altas temperaturas (CALLISTER, 2011).

CALLISTER (2011) fala que o trabalho a frio e a formação de ligas pode aumentar a resistência mecânica do alumínio assim como diminuir a resistência a corrosão. CALLISTER (2011) cita ainda os principais elementos de liga como o cobre, manganês, zinco, magnésio e o silício. E por fim as ligas de alumínio são classificadas como fundidas ou forjadas. A indicação das impurezas, purezas e seus níveis, para uma liga de alumínio, é dada através de quatro dígitos (CALLISTER, 2011).

4.4 Cobre e ligas

CALLISTER (2011) diz que o cobre puro possui características como resistência mecânica e ductilidade baixas, o que dificulta a sua usinagem, sendo mais recomendável o seu trabalho a frio, pois possui capacidade quase ilimitada para tal. Em contra partida o cobre possui uma alta resistência a corrosão em uma gama de ambientes, os quais podem ser citados a atmosfera ambiente, a água do mar e diversos produtos químicos industriais. Essas características podem ser melhoradas com a formação de ligas.

A liga de bronze tem como base o cobre com elementos que incluem o alumínio, estanho, o silício e o níquel. Essas ligas possuem uma resistência à

corrosão relativamente alta e uma resistência mecânica mais alta que as dos latões. Elas são usadas ainda para se adquirir uma alta resistência à corrosão, e também para ambientes em que são exigidas boas propriedades de tração (CALLISTER, 2011).

5 ANÁLISE DA CORROSÃO

A definição de corrosão é mais conhecida como a deterioração de um material, podendo ele ser, na maioria dos casos, um metal, isso pode ocorrer por ação química ou eletrolítica do meio ambiente associada ou não a esforços mecânicos. A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio operacional representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, tais como desgaste, variação química ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso (GENTIL, 2012).

A seguir são apresentadas as características morfológicas de diferentes formas de corrosão segundo (GENTIL, 2012):

- Uniforme;
- Por placas;
- Alveolar;
- Puntiforme ou por pite;
- Intergranular (ou intercrystalina);
- Intragranular (ou transgranular ou transcrystalina);
- Filiforme;
- Por esfoliação;
- Grafítica;
- Dezincificação;
- Empolamento pelo hidrogênio;
- Em torno de cordão de solda.

A corrosão puntiforme ou por pite normalmente se processa em pontos ou em pequenas áreas na superfície do metal, produzindo como consequência pites, os quais são cavidades que apresentam fundo arredondado e profundidade geralmente maior que o seu diâmetro como visto na figura 11 (GENTIL, 2012).

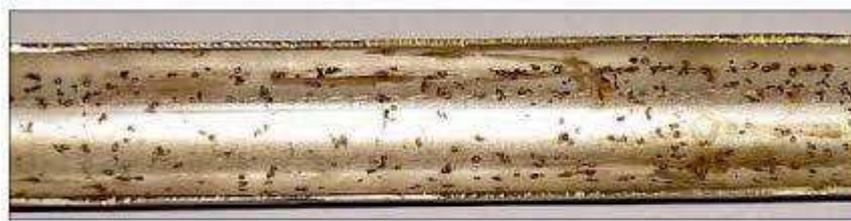


Figura 11 - Corrosão por pite

Fonte: (DOCSLIDE, 2017)

5.1 Fadiga na corrosão

A formação de uma pequena trinca em geral em um ponto de concentração de tensões, o qual penetra lentamente no metal, numa direção perpendicular, pode caracterizar uma futura fratura por fadiga. Posterior a um certo tempo, o que pode se um período de milhões de ciclos, a área do corpo se reduz de tal forma que não mais pode suportar a tensão aplicada e daí ocorre a fratura repentina e final, em geral de maneira frágil. O local de surgimento da trinca tem um aspecto liso, devido ao atrito entre as faces sucessivas da trinca em cada ciclo. A segunda região é uma área de aspecto rugoso, fibroso ou cristalino onde ocorre a fratura repentina (GENTIL, 2012).

5.2 Corrosão e tensão

Nesse tipo de modalidade tem-se a deterioração de metais pela ação em conjunto de tensões residuais ou aplicadas e meios corrosivos. Ao observar a fratura dos materiais, ela é designada como corrosão sob tensão fraturante. Uma ação sinérgica entre a tensão mecânica e o meio corrosivo, ocasiona uma fratura em um tempo bem menor do que a soma de todas as ações isoladas de tensão e da corrosão. Diferenciando assim, da corrosão sob fadiga, onde observa-se que as solicitações mecânicas são cíclicas ou alternada, sendo que na corrosão sob tensão elas são estáticas (GENTIL, 2012).

5.3 Água de resfriamento nos motores Diesel

Nos motores Diesel os problemas são provenientes de corrosão, incrustações entre outros. Em partes são ocasionados pela ebulição da água a baixas temperaturas e pressões reduzidas, gerada pela queda de pressão local a níveis mais baixos do que o da pressão de vapor, nas condições de temperatura predominantes. A zona de queda de pressão é a de estrangulamento com alta velocidade de fluxo. Logo após a passagem da água por esta zona, a pressão volta ao normal e as bolhas entram violentamente em colapso, ou implodem sobre as paredes limitadas de superfícies, como camisas de cilindro e paredes de blocos, ocasionando cavidades na forma de pites ou alvéolos (GENTIL, 2012).

Os procedimentos para tratamento da água de resfriamento são mais fáceis do que no sistema aberto de recirculação de água. Onde as perdas de produtos utilizados são mínimos e o custo do tratamento bastante baixo. Alguns desses tratamentos de modo generalizado para evitar a corrosão são (GENTIL, 2012):

- Controle Biológico (cloração e biocidas);
- Controle de pH;
- Inibidores de corrosão;
- Proteção catódica;
- Anti-incrustantes.

6 MÉTODO DE ANÁLISE DE SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

Caracterizar um problema em um ambiente de trabalho é algo cotidiano a todos os empregados e isso pode ser visto em diferentes setores de uma empresa. A questão da percepção de erro não é algo inédito de um setor, grupo ou pessoa. Para adquirir os resultados esperados, uma busca ininterrupta para eliminação de problemas deve ser feita por todos, porém para tais fins, é necessário a adquirir e utilizar ferramentas para análise e solução desses problemas (FALCONI, 1992).

O Método de Análise de Solução de Problemas ou MASP é descrito como um método prescritivo, bem estruturado, racional e sistemático levando em consideração o desenvolvimento de procedimentos de melhoria para uma dada organização, tendo como objetivo a solução de problemas e obtendo de resultados otimizados. Este é um método que se aplica a problemas ditos como estruturados segundo (SIMON, 1965), as quais causas comuns, (DEMING, 1990), e soluções ou respostas sejam desconhecidas, (HOSOTANI, 1992), que envolvam correção ou melhoria, (NICKOLS, 2004), ou performance, (SMITH, 2000), e que venham a incidir de forma radical, (JURAN, 1980). Percebe-se que para seguir essa linha de caracterização exposta, estes problemas precisam necessariamente ter um histórico desse comportamento. Por esse fato, a análise de solução de problemas prega uma abordagem caracterizada reativa, (PARKER, 1995), enquanto que ao mesmo tempo entra em contraste com a abordagem proativa precisa aos problemas de engenharia ou de opinião (NICKOLS, 2004).

Segundo HOSOTANI (1992) a análise de solução de problemas envolve 8 etapas os quais são:

- Identificação do problema, que é a identificação e reconhecimento do problema;
- Observação: investigação dos problemas sobre vários pontos de vista e ângulos;
- Análise: Obter causas importantes do problema;
- Plano de ação para bloquear as causas fundamentais;
- Ação: para tratar as causas;

- Verificação: para verificar a eficácia do tratar;
- Padronização: para prevenir de reincidência do mesmo problema;
- Conclusão: para aprender com o que foi feito a fim de replicações futuras.

6.1 Diagrama de causa e efeito (Ishikawa)

O diagrama de causa e efeito é uma técnica largamente utilizada, o qual mostra a relação entre um efeito e as possíveis causas que podem estar contribuindo para que ele ocorra. Lembrando este diagrama foi feito com aparência de uma espinha de peixe como exemplificado na figura 12, onde foi aplicada pela primeira vez, em 1953, no Japão, pelo professor da Universidade de Tóquio, Kaoru Ishikawa, justamente para auxiliar na criação de opiniões de um estudo de problema em uma fabricada no Japão (SEBRAE, 2005).

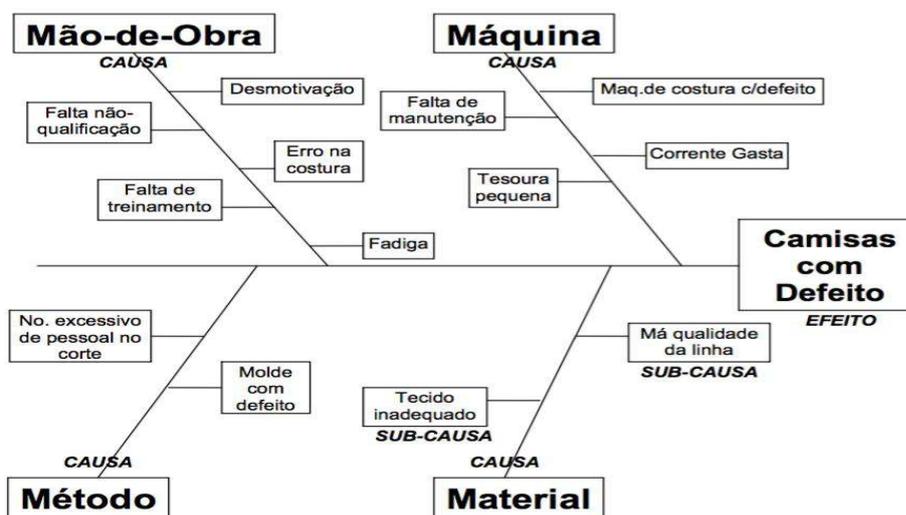


Figura 12 - Exemplo de Diagrama de espinha de peixe

Fonte: (SEBRAE, 2005)

6.2 Os 5 Porquês

A ferramenta dos 5 Porquês faz uma análise que lhe permite identificar as causas preliminares de um dado problema. Ele foi desenvolvido por Sakichi Toyota, e auxiliou de forma notável na transformação do sistema de produção

Toyota nos anos 70. Essa técnica dos 5 Porquês envolve simplesmente fazer a pergunta “por quê?”, ou ainda usar termos interrogativos correspondentes como o que, onde, quanto, quem ou como, no mínimo 5 vezes, com o objetivo de se chegar mais ao fundo do problema até alcançar a causa raiz, assim como na figura 13 (RIBEIRO, 2005).

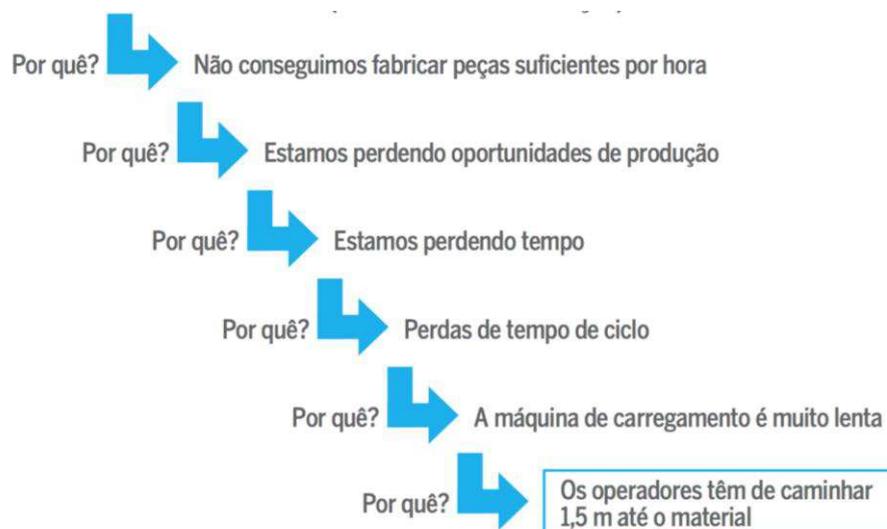


Figura 13 - Exemplo de uso do 5 Porquês na produção fabril

Fonte: (VIDEOJET, 2017)

7 ESTUDO DE CASO

7.1 Apresentação do problema

A análise do problema, testes físico-químicos, solução e posterior manutenção corretiva será apresentado neste capítulo, demonstrando a cada passo uma abordagem sucinta das discussões de soluções qualitativas e estudo de cada etapa do problema, utilizando as ferramentas tais como: diagrama de causa e efeito, 5 porquês, plano de ação e daí por diante.

7.1.1 Caracterização do equipamento

O equipamento é um motor MAK M20 composto por 8 cilindros e 32 válvulas o que gera em média quase 1500 kW de potência como mostrado na figura 14 abaixo.



Figura 14 - Motor MAK M20

Fonte: (CATERPILLAR, 2010)

Abaixo está descrito na figura15 as suas propriedades principais e seus variantes segundo (CATERPILLAR, 2010). No Anexo 2 encontra-se as dimensões do motor MAK M20.

Type	Output range		Speed	Mean eff. pressure	Mean piston speed	Bore	Stroke	Spec. fuel consumption	
								100%	85%
	kW	mhp	rpm	bar	m/s	mm	mm	g/kWh	g/kWh
6 M 20 C	1020	1390	900	24.1	9.0	200	300	187	186
	1140	1550	1000	24.2	10.0	200	300	190	189
8 M 20 C	1360	1850	900	24.1	9.0	200	300	186	186
	1520	2070	1000	24.2	10.0	200	300	187	189
9 M 20 C	1530	2082	900	24.1	9.0	200	300	187	186
	1710	2326	1000	24.2	10.0	200	300	190	189

Figura 15 - Dados bases do Motor MAK M20

Fonte: (CATERPILLAR, 2010)

7.1.2 Identificando o problema

Nesta etapa será levantado todos os indicativos de problemas que ocasionaram a fratura na sede de válvula de exaustão do motor MAK M20 e sua parcial fundição entre outros efeitos, provas e contraprovas serão apresentadas.

O problema foi identificado no Motor MAK M20, pois este apresentava um excesso de produção de fumaça escura e perda de potência. Segundo a descrição do cliente, e o que a empresa mantenedora constatou encontra-se descrito abaixo:

Após a retirada dos cabeçotes 8 cabeçotes, constatou-se que estes apresentavam bastante carbonização e após a limpeza mecânica, limpeza química e desmontagem pôde-se avaliar o estado destes componentes para se fazer as análises qualitativas e executar a manutenção apropriada.

Consequente ao recebimento dos 8 cabeçotes, foi efetuado os seguintes procedimentos:

1. Limpeza preliminar para retirada de resíduos de óleo e carbonização;
2. Desmontagem das válvulas de admissão e escape com ferramentas especiais;
3. Limpeza mecânica e química dos cabeçotes e seus componentes;
4. Preparação para o teste de estanqueidade dos cabeçotes;

5. Teste de estanqueidade dos cabeçotes como mostrado nas figuras 16 e 17.



Figura 16 - Cabeçotes antes da desmontagem



Figura 17 - Parte superior dos cabeçotes

Foi realizada a seguir a avaliação individual para cada cabeçote, onde está descrita abaixo:

Cabeçote 01

Este cabeçote apresentava carbonização nas sedes e nas válvulas, sendo necessária apenas a retificação e vedação dos componentes.

Cabeçote 02

O atual cabeçote apresentava desgaste acentuado nas sedes de escape e nas válvulas de escape como mostrado na figura 18. Com desprendimento de metal nas válvulas conforme na figura 19.

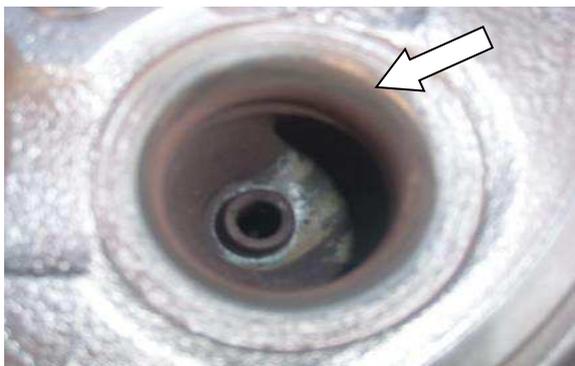


Figura 18 - Desprendimento de metal nas sedes de válvula



Figura 19 - Erosão nas válvulas

Cabeçote 03

Este cabeçote apresentava carbonização nas sedes e nas válvulas, sendo necessária apenas a retificação e vedação dos componentes.

Cabeçote 04

Da mesma forma este cabeçote apresentava desgaste muito acentuado nas sedes de escape e nas válvulas de escape, sendo que as sedes e as válvulas de escape tinham marcas de esmagamento por algum tipo de impureza metálica conforme as figuras 20 e 21, não permitindo retificação e vedação, deixando a opção posterior de troca dos mesmos.

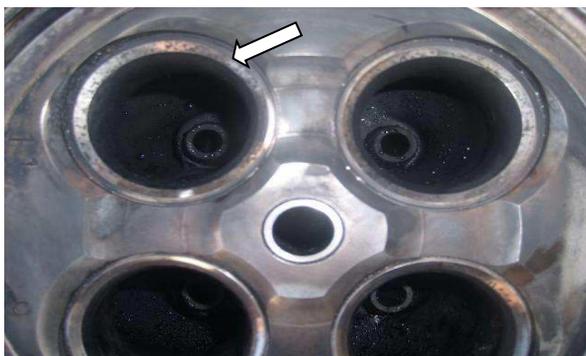


Figura 20 - Esmagamento nas sedes de válvula

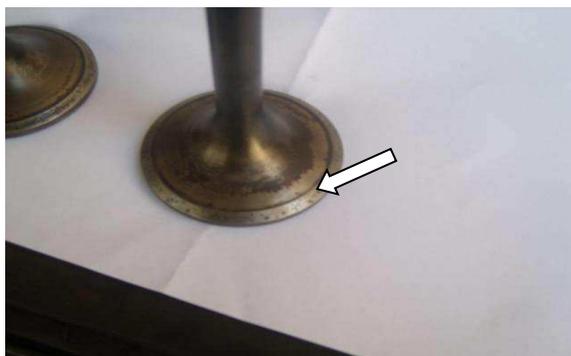


Figura 21 - Esmagamento nas válvula

Cabeçote 05

Este cabeçote é o que apresentava as piores condições, todas as válvulas e sedes estavam avariadas e um guia de admissão fora das especificações técnicos ambos apresentados nas figuras 22 e 23.



Figura 22 - Cabeçote em processo de fundição



Figura 23 - Válvula fora das especificações

Resolução imediata:

O serviço de recuperação foi feito com a troca de todos os componentes. Este cabeçote foi substituído por um cabeçote recebido pela empresa fornecedora.

Cabeçote 06

No cabeçote 06 constatou-se a carbonização nas sedes e válvulas como mostrado na figura 24, sendo que as sedes de escape teriam que ser trocadas por estarem muito desgaste e suas válvulas retificadas.

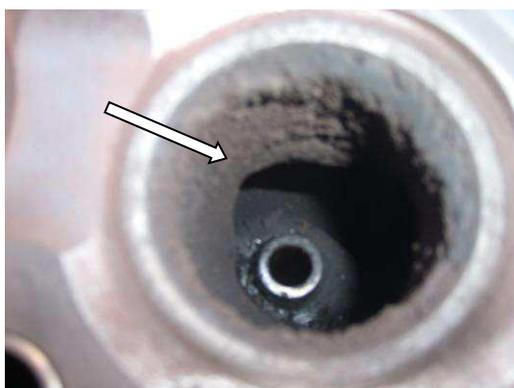


Figura 24 - Carbonização das sedes de válvula

Cabeçote 07

Este cabeçote apresentava carbonização nas sedes e nas válvulas, sendo necessária a solução prévia de apenas a retificação e vedação dos componentes.

Cabeçote 08

No cabeçote 8 apresentava também carbonização nas sedes e nas válvulas, sendo necessária apenas a solução prévia de retificação e vedação dos componentes.

Os cabeçotes que não obtiveram uma solução instantânea, tiveram que ser retirados do motor e após os serviços preliminares de lavagem e desmontagem foram designados para os testes de estanqueidade e análises técnicas.

7.1.3 Teste de estanqueidade

Após de serem feitos as verificações preliminares dos 8 cilindros, 4 destes foram direcionados para uma análise mais profunda e sucinta (cabeçotes número 02, 03, 04 e 05), onde foi realizado primeiramente o teste de estanqueidade para detecção de vazamentos e possíveis pontos de rompimento de água de arrefecimento como visto na figura 25.



Figura 25 - Equipamento de teste de estanqueidade

Com equipamento especial para teste de estanqueidade de cabeçotes para motor MAK e obedecendo as normas da NBR 13032 (ABNT, 1996), para execução destes testes com pressão de 8 bar por no mínimo 10 minutos. Nos 5 cabeçotes testados, todos apresentaram vazamento de líquido de arrefecimento pelas sedes de válvulas de escape como demonstrado na figura 26.



Figura 26 - Vazamento nas sedes de válvula durante teste de estanqueidade

Pode-se presumir preliminarmente que o vazamento pelas sedes de válvulas é causado por corrosão das sedes provocado pelo líquido de arrefecimento do motor, e conseqüentemente afetou também as Válvulas de Escape que sofreram erosão grave nas hastes e cabeças das válvulas, ilustradas nas figuras 27 e 28.

Além das avarias nas válvulas de escape, as válvulas de admissão também apresentavam carbonização e desgastes pelo tempo de uso.

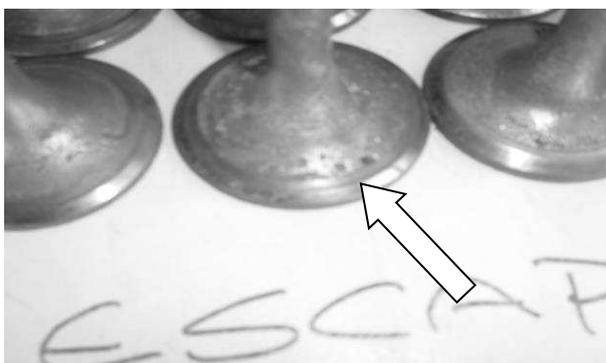


Figura 27 - Erosão da cabeça da válvula



Figura 28 - Erosão da haste da válvula de escape

7.1.4 Problema priorizado

Depois do teste de estanqueidade e análises técnicas visuais, chegou-se nos problemas seguintes levantados pela tabela 2:

Tabela 2 – Priorização do problema

PROBLEMA	PRIORIDADE
Cabeçote fundido;	
Válvulas e hastes com erosão e carbonização;	
Sede de válvulas com trincas, erosão e carbonização.	X
Falta de instrução de trabalho	X

Desta forma neste trabalho, foi feita a priorização de um problema tido como o problema raiz dos demais, e este se encontrava na passagem da água de arrefecimento pela sede de válvula de exaustão onde formou-se trincas por um motivo que será abordado mais a frente, e um segundo problema que está no processamento da manutenção pela falta de instrução de trabalho para tal manutenção.

7.1.5 Análise extra das erosões e trincas de sede de válvula

Explanando mais os efeitos que a trinca na sede de válvula provocou em sua válvula correspondente, temos o efeito da corrosão em pite ou puntiforme sobre a cabeça da válvula, sendo um efeito da mistura de óleo lubrificante com o superaquecimento da água de resfriamento fazendo a retirada de material da sede de válvula e da válvula, e por fim surgindo os pites por cavitação e/ou choque em operação, conforme visto na figura 29.



Figura 29 - Caracterização da corrosão em pite

No desenho esquemático da figura 30 abaixo podemos visualizar como aconteceu esta avaria:

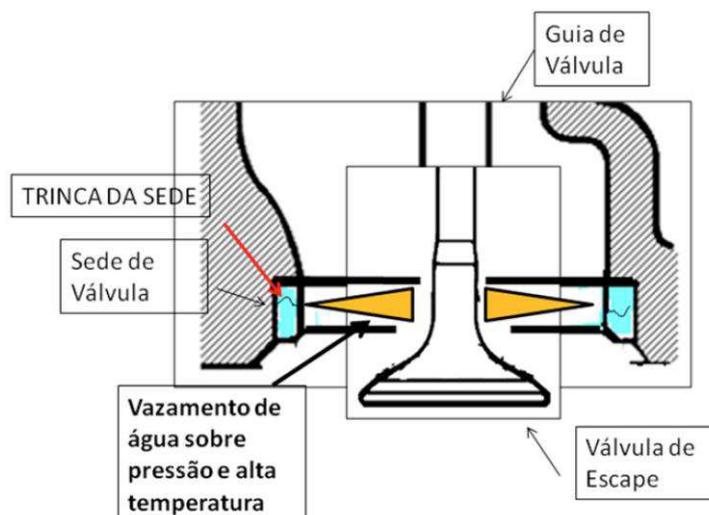


Figura 30 - Caracterização da avaria pela trinca na sede

7.2 Análise qualitativa

Com a priorização do problema das sedes de válvula e da criação de uma instrução de trabalho, foi decidido a aplicação de alguns métodos de qualidade para identificar e sanar estes problemas tais como o diagrama de causa e efeito (diagrama de Ishikawa), método dos 5 porquês e a viabilização de uma instrução de manutenção.

7.2.1 Diagrama de Ishikawa para o problema das trincas

Foi elaborado uma análise usando o diagrama de causa e efeito usando como base os 4 M's, desta forma levando as possíveis causas que tenha levado ao surgimento das trincas na sede de válvula das válvulas de escape. A análise está representada na figura 31 abaixo:

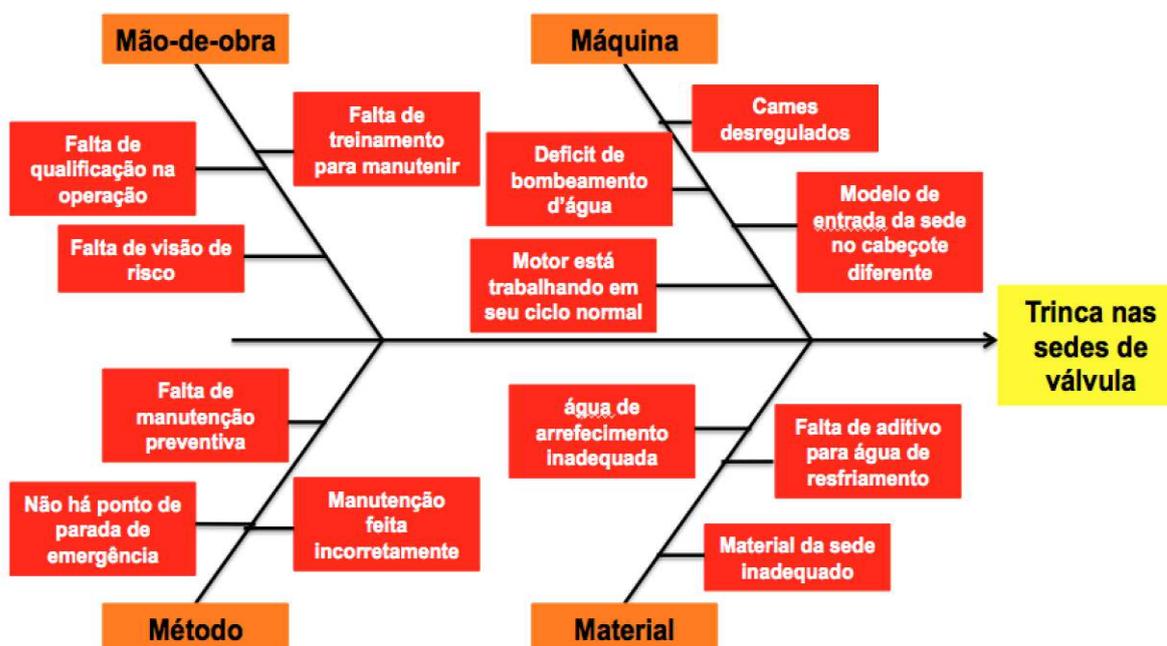


Figura 31 - Diagrama de causa e efeito para o problema da trinca na sede

A partir desse momento constatou-se que a possível causa raiz do problema encontrava-se no ramo Material do diagrama, cobrindo ainda mais dois sub-grupos deste, sendo demonstrados na figura 32.

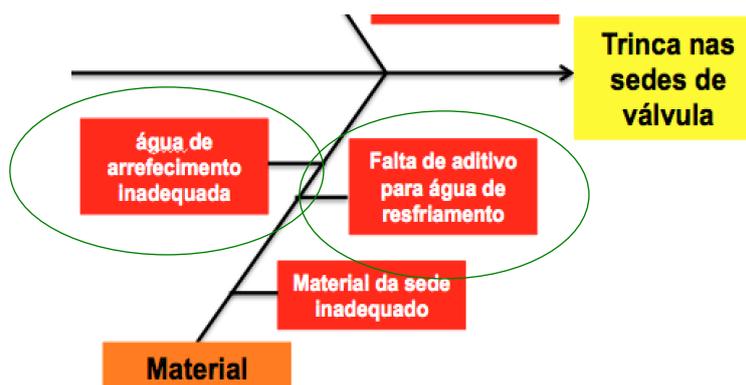


Figura 32 - Sub-grupos escolhidos como possíveis causas da trinca na sede

Desta forma, tira-se uma conclusão prévia que a possível causa encontra-se na natureza da água de arrefecimento e na falta de aditivo para tal.

7.2.2 Os 5 porquês para a causa raiz

Um outro método a ser usado para se chegar na causa raiz do aparecimento de trincas na sede de válvula de exaustão são os 5 porquês. Para

embate de resultados, maior precisão e confirmação dos resultados mostrados no método anterior os 5 porquês serão usados conforme a figura 33.

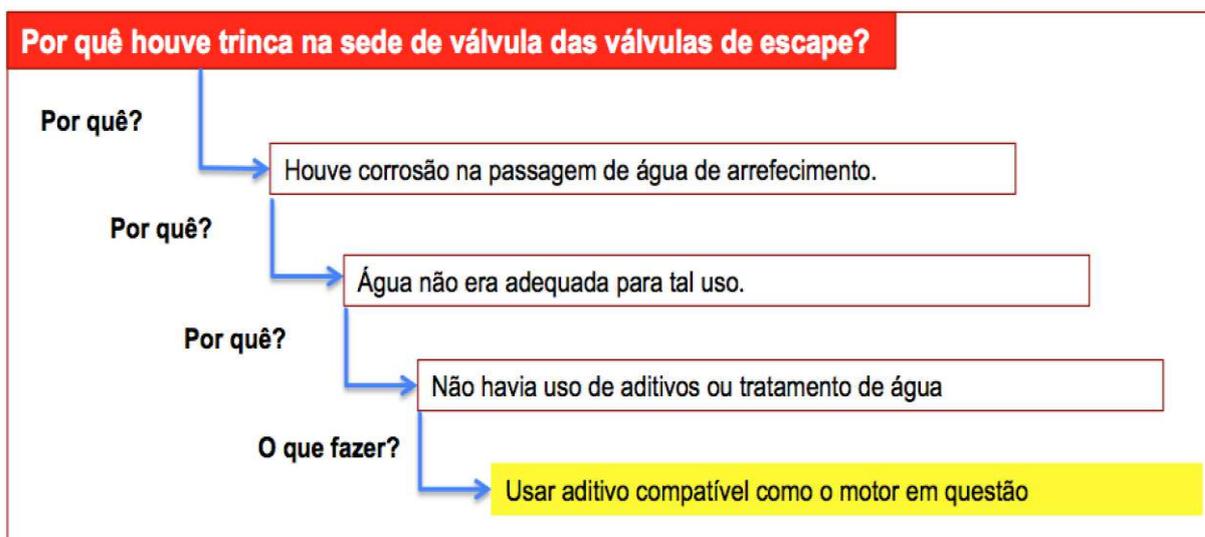


Figura 33 - Uso dos 5 porquês para solução do surgimento de trincas na sede de válvula

Pela avaliação feita pelo método dos 5 porquês, mesmo utilizando 3 dos 5 porquês a serem usados o que não implica na inutilização da ferramenta, pois o objetivo desse método é achar uma resposta satisfatória ao problema (RIBEIRO, 2005), foi obtido uma resposta satisfatória e que entrasse em comum acordo como a ferramenta anterior já usada.

O resultado do uso dos 5 porquês para a identificação das possíveis causas resultou no possível uso de aditivos para alterar de forma positiva a resposta do sistema ao não surgimento de novas trincas ao ponto de corrosão.

7.2.3 Construção de instrução de trabalho

A ferramenta “Instrução de trabalho” vem a trazer o termo padrão para as frentes de serviços de variadas ramificações. Segundo TANNÚS (2017) o padrão é o instrumento que indica o resultado esperado e o “como fazer” a execução das atividades, de tal maneira que cada um tenha condições de assumir a responsabilidade pelos resultados de seu trabalho.

Levando em conta o trabalho de manutenção que estava sendo feito de maneira compulsória e sem um padrão, houve a necessidade do levantamento das atividades necessárias de manutenção em caso de surgimento de trincas em sedes

de válvula de escape para a formulação de uma receita padrão de como fazê-la (a manutenção). Essa melhoria encontra-se no Apêndice B.

7.2.4 Plano de Ação

De posse das causas fundamentais encontradas como o uso da ferramenta do diagrama de causa e efeito e dos cinco porquês, foi estabelecido o planejamento de ações mediante um plano de ação de possíveis contramedidas, visando chegar a soluções viáveis ajudando no cumprimento das ações além de estabelecer prazos, responsável, o que e como fazer cada ação.

Por isso foram distribuídas ações desde as compras de materiais novos até a entrega de análises químicas fundamentais, com datas específicas com a finalidade de que, as ações fossem realizadas nos prazos estipulados, contribuindo para a consistência do plano de ação e na eficiência da solução adquirida. Este plano de ação encontra-se no Apêndice A.

7.3 Análise química

Com os resultados das causas qualitativas em mãos, pode-se de imediato começar o tratamento das causas físico-químicas. O que irá direcionar para obtenção de um resultado tecnicamente comprobatório, esperando desta forma, que este venha sanar as expectativas e trazer uma solução do âmbito teórico para o prático. Desta forma foi realizado dois testes, o primeiro contempla a capacidade de simular alguns aspectos mais próximos da utilização em campo, já o último recebe os insumos do primeiro teste e fornece dados de pH e Condutividade.

7.3.1 Materiais

Ter conhecimento dos materiais a serem passivos da experimentação é de grande importância devido a interação em suas propriedades físico-químicas que estes podem sofrer.

O metal fornecido para a utilização na sede de válvula é proveniente, assim como a sua transformação em peça, pela fabricante onde esta sede é composta por liga de CuAl (Bronze Alumínio) com propriedades mecânicas excelentes, indicadas para regimes de dispositivos que fiquem expostos a choques de carga extremamente altos e altas solicitações mecânicas, apresentando ainda alta resistência a vibração, desgaste, corrosão e cavitação. Estas sedes de válvula passam por diferentes tratamentos térmicos. No Anexo 3 têm-se uma tabela com as propriedades da liga de CuAl usada para a fabricação da sede de válvula em questão (RIOSULENSE, 2017).

Por motivos de facilidade em obtenção de material, e realização de testes em uma margem bem menor de geração de calor, foi escolhido duas chapas retangulares de alumínio puro de aproximadamente 14x7 cm, pois estas se aproximam melhor quanto a visibilidade dos efeitos gerados, além de suas propriedades terem afinidades com o metal original da sede de válvulas.

A liga levada em questão é a ABNT C95500 148-9D, conforme figura 34, onde temos a seguinte composição:

- Cu – 82%;
- Fe – 5%;
- Ni – 5,5%;
- Al – 11,5%;
- Mn – 3,5%.



Figura 34 - Sedes de válvula de CuAl

Fonte: (RIOSULENSE, 2017)

Os materiais utilizados nos testes químicos estão listados abaixo:

- 160 ml de água proveniente da fornecedora de água municipal, apresentado na figura 35;
- 160 ml de aditivo para radiadores, apresentado figura 35;



Figura 35 - Aditivo e água pura

- 1160 ml de água + aditivo para radiadores, apresentado na figura 36;



Figura 36 - Água de arrefecimento já aditivada

- Duas placas de alumínio puro de dimensões 14x7 cm, conforme a figura 37.



Figura 37 - Placas de Alumínio

Lista de instrumentos utilizados para realização dos testes de eletrofloculação:

- Tubos de ensaio de tamanho variados, representados na figura 38;



Figura 38 - Tubos de ensaio diversos

- Becker de 250 ml, apresentado na figura 39;



Figura 39 - Becker

- Fonte de alimentação mod. 1599, E: 220 Vca, 500Vcc, 0...3^A, apresentada na figura 40;



Figura 40 - Fonte de alimentação

- Pipeta, representada na figura 41;



Figura 41 - Pipeta em uso

- Termômetro portátil digital DM6802B, representado na figura 42;



Figura 42 - Termômetro portátil digital

- Cabos de positivo e negativo.

Já para os testes seguintes de pH e eletrocondutividade foram usados os materiais a seguir:

- Tubos de ensaio de tamanhos variados;
- Pipeta;
- Phômetro, pH calibration pH 21 pH/mV e incorporados, conforme figura 43.



Figura 43 - Phômetro e dispositivos

7.3.2 Procedimentos

De posse de todos os instrumentos e materiais assim como todos os dados técnicos, foi possível a realização de dois testes químicos, os quais estão ligados diretamente com as ações tomadas como contra-respostas do problema de surgimento de trincas nas sedes de válvulas de exaustão.

O primeiro experimento é denominado de eletrofloculação, onde são recolhidos dados de concentração de impurezas como sais e metais de um dado fluido em contato direto com duas placas metálicas que fornecem uma dada corrente e tensão. Dessa maneira pode-se analisar a capacidade daquela água em desprender partículas metálicas dessas duas placas a tensões e correntes variadas.

Primeiro teste e primeiro momento

Foram calibrados todos os instrumentos envolvidos na ação, o multímetro digital e a fonte de energia, a fonte nesse primeiro momento foi calibrada em 10V e 0,01A, como mostrado nas figuras 44 e 45.

Foram posicionados o Becker de 250 ml e as placas de alumínio, onde foi dado um espaço entre elas e feito a ligação nas extremidades para a fonte regulável, onde uma ficou como um cátodo e a outra como ânodo.

Sendo assim, foi feito o derramamento do líquido de arrefecimento (água + aditivo) no Becker de aproximadamente 250 ml.



Figura 44 - Posicionamento dos materiais a testar

Com todos os instrumentos calibrados e bem posicionados, foi dado o início dos testes sendo ligando a fonte regulável e com a primeira aferição após 5 minutos, levando assim 30 minutos para finalizar essa primeira etapa do primeiro teste com um total de 6 amostras recolhidas nos tubos de ensaio por meio da pipeta, visto nas figuras 46 e 47.



Figura 45 - Fonte à 10 Volts



Figura 46 - Retirando líquido de arrefecimento



Figura 47 - Alocando material nos tubos de ensaio

Primeiro teste e segundo momento

No segundo estágio ou momento foi realizado todo o mesmo processo de análise a cada 5 minutos com um total de 30 minutos e 6 amostras, porém com uma fonte calibrada para 15V e 0,01A, desta vez. Isso tudo para se chegar o mais próximo da resposta desejado do problema levantado.

Segundo teste

O segundo teste químico foi um complemento de todos os estágios do primeiro, pois este estava dependente do material fornecido no primeiro teste a fim de se calcular o pH e a condutividade, pelos instrumentos apresentados, sendo o material com maior taxa de metais e sais desprendidos ou não das placas de alumínio para o líquido de arrefecimento.



Figura 48 - PHâmetro para calibragem

Foi realizado a calibragem do aparelho com solução de KCl para que o pH atingisse os 7.00 de pH, o que seria um pH neutro, apresentado anteriormente pela figura 48. Tendo o prosseguimento das análises após esta ação.

Das 12 análises feitas no pHâmetro, a cada intervalo de uma análise para a outra, foi realizado a limpeza do Becker de 250 ml com água destilada e seco com papel toalha tendo cuidado de não deixar depositado nenhum resíduo no Becker, conforme figura 49.



Figura 49 - Testes com os materiais recolhidos nos tubos de ensaio

Foram realizados ainda, as análises de pH e condutividade do aditivo para radiadores e da água pura segundo as figuras 50 e 51 abaixo.



Figura 50 - Materiais coletados em teste

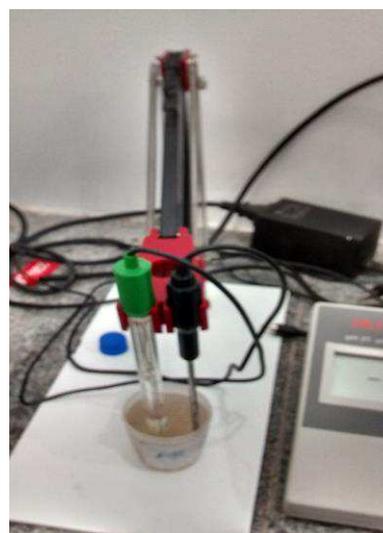


Figura 51 - Água pura em teste de pH e de condutividade

8 RESULTADOS E DISCURSÃO

Segundo FERNANDES (2013), o pH é uma grandeza físico-química, que mede o caráter ácido, neutro ou alcalino de uma solução fluida. Ou seja, ele irá definir a capacidade de aferir mais, ou menos degradação em um dado metal nesta solução fluida.

FERNADES (2013) diz ainda que a condutividade de um meio eletrolítico é a manifestação quantitativa da capacidade deste de transportar corrente elétrica.

Alguns metais sofrem degradação em meios ácidos, os quais possuem concentrações altas de íons de hidrogênio (H^+). Essa reação é denominada oxirredução onde material do ânodo sofre a oxidação e é transportado por entre a solução ácida para o catodo no que este sofre uma reação chamada redução (CALLISTER, 2011). Ou seja, em soluções de caráter ácidas há uma pré-disposição para haver corrosão eletroquímica, além de corrosão por abrasão por causa dos metais e sais suspensos no meio fluido.

A redução de íons H^+ é mostrada abaixo com a equação 3 (CALLISTER, 2011):



Os resultados encontrados segundo as premissas acima e os testes qualitativos e químicos feitos estão expressos nas tabelas e gráficos a seguir.

Para as primeiras premissas como forma de visualizar um quadro geral das diferenças químicas entre materiais coletados, temos na tabela 3 a seguir:

Tabela 3 – PH e condutividade das três amostras diferentes

TEMPO (MIN)	PH	C (mV)
Água sem aditivo	7,2	-18
Água + Aditivo	9,2	-136
Aditivo	9,1	-133

O aditivo usado é o “aditivo para radiadores original concentrado”, com as seguintes características disponibilizadas pelo fabricante (IPIRANGA, 2016):

- Aspecto físico – Líquido Azul – Verde;
- PH – 7,5 a 11,5;
- Ponto de congelamento – -18 °C;
- Ponto de ebulição – 171 a 175 °C;
- Densidade – 1,12 kg/l;
- Solubilidade em água – completa.

Diante da tabela 3, apesar do objetivo de alcalinizar o líquido de arrefecimento diminuindo assim a corrosão eletroquímica, foi analisado ainda por meio dos testes já mostrados as características da água junto com o aditivo em tensões diferentes e para uma mesma corrente de 0,01A sendo uma pilha eletroquímica gerando em torno de 2,45A.

A diferenciação de temperaturas na aplicação de 0,01A, a 10V e após 15V, em uma coleta de 6 amostras com diferença de 5 minutos entre elas está descrita na tabela 4.

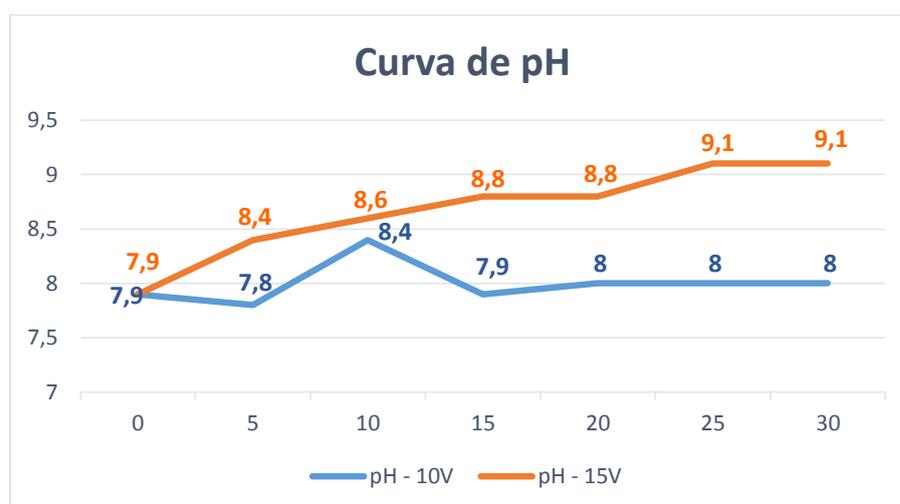
Tabela 4 – Variação da temperatura a cada amostra

TEMPO (MIN)	T (°) - 10V	T (°) - 15V
0	23	22
5	23	26
10	23	25
15	24	25
20	24	25
25	24	25
30	24	25

Para os resultados de pH nas subseqüentes voltagens de 10V e 15V em 6 amostras de cada temos a tabela 5 e o gráfico 1.

Tabela 5 – Variação do pH em 10 e 15V

TEMPO (MIN)	pH - 10V	pH - 15V
0	7,9	7,9
5	7,8	8,4
10	8,4	8,6
15	7,9	8,8
20	8	8,8
25	8	9,1
30	8	9,1

**Gráfico 1 – Curvas de pH de 6 amostras para 10 e 15V**

E por fim para os resultados de condutividade nas subsequentes voltagens de 10V e 15V em 6 amostras de cada temos a tabela 6 e o gráfico 2.

Tabela 6 – Variação da condutividade em 10 e 15V

TEMPO (MIN)	C (mV) - 10V	C (mV) - 15V
0	-61	-61
5	-55	-86
10	-61	-97
15	-62	-108
20	-62	-106
25	-62	-124
30	-63	-121

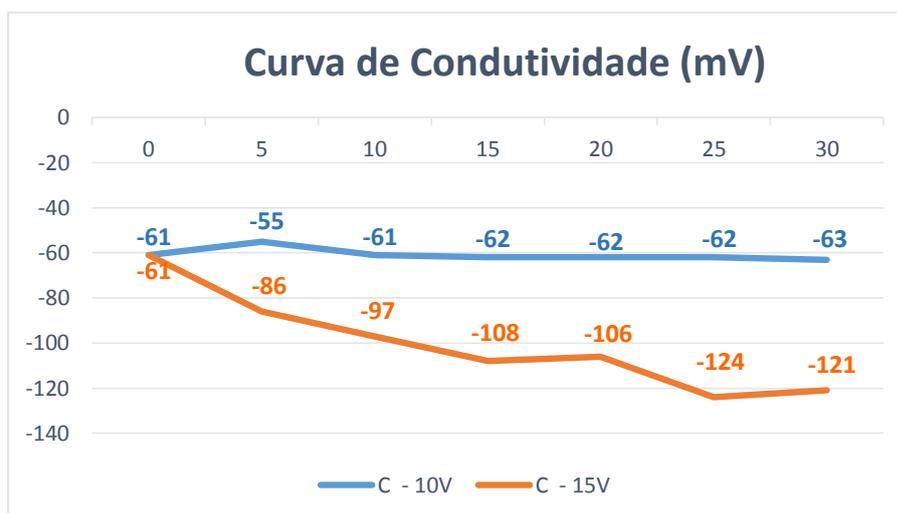


Gráfico 2 – Curvas de condutividade de 6 amostras para 10 e 15V

De posse de todos esses dados, basta neste momento interpretá-los de forma a conciliar as fundamentações teóricas já vistas com os resultados práticos obtidos nesta etapa.

Como já citado o ambiente mais propício para surgimento de corrosão eletroquímica está em soluções ácidas. Sendo assim o inverso seria o ideal para o regime de trabalho da sede de válvula em questão, onde um meio mais alcalino seria menos propício ao surgimento de íons de hidrogênio, o que levaria a uma possibilidade bem menor do surgimento de uma área catódica e anódica.

É visto que tanto para 10V quanto para 15V, ao passar dos tempos de coletas de material, estes tem um aumento de pH significativos beirando 9,2 de água mais aditivo da tabela 3, deixando assim a solução básica (alcalina), além disso a tabela 6 e o gráfico 2 mostram que têm-se com o passar dos ciclos de coleta um resultado inversamente proporcional ao do pH, onde há um declínio nas curvas de condutividade, o que quer dizer que o fluido de arrefecimento analisado tem poucas propriedade redutivas, o que leva a uma menor agressão química a sede de válvula no seu sulco de resfriamento.

Com o aumentar da voltagem há um acréscimo significativo no pH e um decréscimo na condutividade, o que indica que mesmo no aumento de carga elétrica ou de temperatura as propriedades alcalinas tendem a crescerem ou se estabilizarem.

Em conclusão a melhor opção para sanar o problema de corrosão e falha consequente nas sedes de válvulas de escape é a adição de aditivos com pH's próximos do 9,0 e condutividade -124 mV.

8.1 Ação de correção dos cabeçotes

8.1.1 Troca das sedes de escape

Após a retirada das sedes de válvulas de escape foi realizado a instalação de novas sedes de liga de bronze-alumínio, congelamento por nitrogênio líquido, com temperaturas chegando aos $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$, para forçar uma contração da peça e facilitar a sua montagem no cabeçote, assim como foi utilizado uma trava química com a função de vedação entre sede e cabeçote, figura 52.



Figura 52 – Uso de nitrogênio líquido para encaixe da sede

8.1.2 Teste de estanqueidade e retífica das sedes de válvulas

Após a montagem das sedes de válvulas de escape foi efetuado teste de estanqueidade, em todos os cabeçotes obedecendo a mesma norma NBR 13032 (ABNT, 1996), de execução (pressão de 08 bar por no mínimo 10 minutos), mas por garantia repetiu-se os testes aumentando o tempo para 20 minutos com pressão de 10 bar, resultando que todos os cabeçotes não apresentaram mais os vazamentos pelas sedes de válvulas de escape, representação do teste na figura 53.



Figura 53 – Manômetro detalhado em pressão de 10 bar

8.1.3 Retífica das sedes restantes

Com a conclusão dos testes de estanqueidade efetuou-se a retífica das 20 sedes de válvulas restantes, assim como a subsequente montagem e teste de estanqueidade de cada uma em seus cabeçotes, figura 54.



Figura 54 – Sede de escape retificada e montada

8.1.4 Retífica das válvulas de escape

Com a urgência para a liberação da embarcação e de não ter todas as válvulas para fornecer, o cliente autorizou o uso das mesmas válvulas de admissão, que foram retificadas e forneceu 04 válvulas novas de escape e 04 válvulas novas de admissão, sinalizadas na figura 55.

Desta forma foram retificadas as 04 válvulas novas de escape. Procedendo a seguir com a vedação entre as sedes e as válvulas e teste de vedação com aparelho de teste à vácuo.



Figura 55 – Válvulas retificadas

8.1.5 Montagem dos cabeçotes

Com a montagem dos cabeçotes construiu-se a tabela 7 com as configurações de uso das válvulas disponíveis. A figura 56 demonstra o cabeçote N° 5 totalmente montado.

Tabela 7 – Modificações finais

EQUIPAMENTOS	VÁL. ADM.	VÁL. ESC.
Cabeçote N° 4	Retificadas	Novas
Cabeçote N° 5	Usadas	Usadas
Cabeçote N° 6	Retificadas	Novas
Cabeçote N° 7	Retificadas	Modificadas
Cabeçote N° 8	Retificadas	Modificadas



Figura 56 – Cabeçote N° 5

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Do ponto de partida de que a problemática do estudo de caso foi realizado em duas empresas de atuações diferentes no mercado, uma estando na área de transporte naval enquanto a outra na área de manutenção de motores Diesel, pode-se verificar que o uso dos métodos qualitativos de solução de problemas além das comprovações técnicas, foram extremamente eficientes quanto a diagnose do problema e a construção da contra-ação deste, alcançando desta forma com êxito os objetivos articulados. Foi levado desta forma um ganho com futuras manutenções, tanto com materiais de manutenção como com uma vida útil maior das sedes de válvulas de motores Diesel em ritmo de trabalho marítimo.

Além de todos os pontos já levantados como positivos, houve ainda o ganho em confiabilidade do sistema de trabalho com a modificação do fluido de arrefecimento com a inclusão de um “aditivo para radiadores”, transformando desta forma, a característica ácida da água comum fornecida pela companhia de abastecimento d’água, para uma característica mais alcalina, reduzindo as chances de formação de radicais livres (H^+) e segregação de material catódico e anódico, o que levaria a uma corrosão eletroquímica como ocorria anteriormente. Os números indicam no aumento de pH 7,2 da água sem aditivo para um pH de 9,2 quando o aditivo é acrescentado a água. Já a condutividade, que calcula a capacidade de um dado fluido em transmitir tensão, o que indica para este estudo uma possível erosão de material, pulou de -18 mV para aproximadamente -136 mV. Com este resultado pode-se dizer que a água com aditivo funciona como um ânodo ou um corpo em oxidação não agredindo desta forma a sede de válvula como acontecia anteriormente.

O trabalho foi representativo na diminuição de manutenções corretivas para cabeçotes do motor envolvido, principalmente nas sedes de válvula, em especial no escape dos gases de combustão. Isso foi possível graças a adesão do uso de um aditivo para radiadores.

Houve também ganhos qualitativos com o uso das ferramentas de qualidade como o diagrama de causa e efeito, para que se pudesse descobrir de qual ramo dos 4M’s (mão-de-obra, máquina, método e material) está situado a possível causa do problema ocorrido. E ainda foi usado os 5 porquês para se chegar mais a

fundo na causa já identificada pelo diagrama de causa e efeito, tudo isso foi tratado na abertura de um plano de ação para os problemas levantados.

Diante de um ambiente de desordem foi feito uma instrução de trabalho com o objetivo de auxiliar o mantenedor em uma melhor e mais otimizada manutenção de cabeçotes.

E por último para efetivação do projeto, o trabalho teve que se limitar a um estudo específico de um equipamento, o qual seria o motor MAK 9M20, mais especificamente o seu cabeçote, fazendo assim algumas priorizações de problemas com as análises das ferramentas de solução de problemas.

Apesar de se chegar a um resultado satisfatório, é possível reconhecer que há muito, o que se melhorar no sistema de arrefecimento para motores Diesel navais e que o problema levantado não foi destituído de sua existência, mas sim de seu convívio com o equipamento por mais que seja em uma pequena faixa mínima de ciclo à mais de sua última aparição. O que levará esse problema a ser totalmente solucionado, será os bons cuidados com o equipamento e com o que ele consome, além de uma manutenção preventiva regular.

10 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões para novos trabalhos pode ser indicado pesquisas com as válvulas de escape do motor MAK 20M após o processo de erosão por pulverização de líquido de arrefecimento sobre sua haste e cabeça de uma forma mais profunda, assim como também consequentes problemas atrelados as válvulas causados em operação na câmara de combustão.

Uma outra sugestão seria aprofundar pesquisas na porcentagem real de água no óleo Diesel consumido pelo motor MAK 20M ou em até outros motores Diesel, levantando cenários operacionais tolerantes e ideais em relação a essa porcentagem.

E por último, fazer um estudo para o futuro tratamento de água de arrefecimento para a sua possível reutilização no sistema de motores Diesel ou sua reutilização para fins mais nobres.

REFERÊNCIAS

AE-PLUS. **Rudolf Diesel the inventor of the diesel engine**. Disponível em: <<http://ae-plus.com/milestones/rudolf-diesel-the-inventor-of-the-diesel-engine>>. Acesso em: 30/05/2017.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13032: Execução de retífica em motores**. Rio de Janeiro 1996.

ASM, HANDBOOK. **Advanced Materials and Processes: ASM International**. OH 1990.

CALLISTER, WILLIAM D. JR. **Ciências e Engenharia de Materiais**. 7. ed. Rio de Janeiro, 2011.

CATERPILLAR. **Mak Marine Propulsion Engines**. Alexandria and Dubai, 2010.

DEMING, WILLIAM EDWARDS. **Qualidade: a revolução da administração**. Rio de Janeiro, 1990.

DOCSLIDE. **Tipos de Corrosão, Corrosão Puntiforme**. Disponível em: <<http://www.docslide.com.br>>. Acesso em 05/06/2017.

EDSON E TAYLOR. **The Limits of Engine Performance**, SAE Special Pub., Vol. 7. 1964.

FALCONI, V. Campos. **Controle da Qualidade Total (No Estilo Japonês)**. Edição: várias. Belo Horizonte: DG Editors, 1992.

FERNANDES, ALEXANDRE. **A medida de pH e condutibilidade**. Agosto de 1992.

GENTIL, VICENTE. **Corrosão**. 6 ed. Rio de Janeiro, 2011.

HOSOTANI, KATSUYA. **The QC problem solving approach: workspace problems the japanese way**. Tóquio, 1992.

IPIRANGA. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ: Aditivo para radiadores original concentrado**. Revisão: 01 de junho de 2016.

JURAN, J. M. **Juran na liderança pela qualidade: um guia para executivos**. São Paulo, 1990.

KAISER, SEBASTIAN. **Verbrennungsmotoren**. Duisburg, 2015.

MAHLE, MANUAL TÉCNICO. **Curso MAHLE Metal Leve, motores de combustão interna**. 2016.

NAUTICEXPO. **Motor para navios semirrápidos: Rolls-Royce**. Disponível em: <<http://www.nauticexpo.com/pt/prod/rolls-royce/product-39194-490677.html>>. Acesso em: 02/06/2017.

NAUTICEXPO. **Motor para navios semirrápidos: Waertsilae**. Disponível em: <<http://www.nauticexpo.com/pt/prod/waertsilae-corporation/product-24872-306240.html>>. Acesso em: 02/06/2017.

NICKOLS, FRED. **Choosing the right problem solving approach. Distance Consulting**. 2004.

PARKER, GRAHAM W. **Structured Problem Solving: A Parsec Guide**. Hampshire: Gower, 1995.

RACHE, MARCO A. M. **Mecânica Diesel: Caminhão – Pick-ups - Barcos**. São Paulo, 2004.

RIBEIRO, L. F. M.; **“Fundamentos e bases da qualidade”**. Engenharia da Qualidade, Curso de Engenharia Mecânica, Departamento de Tecnologia Unijuí – RS, 2005.

RICARDO E CLYDE; **The Hight Speed Internal Combustion Engine, Blackie and Son**. London, 1941.

RIOSULENSE. **Linhas de Produtos Aftermarket, Sede de Válvulas**. Disponível em: <<http://www.riosulense.com.br/br/linha-de-produtos/produtos-aftermarket/2/sedes-de-valvulas/>>. Acesso em: 05/06/2017.

SEBRAE. **Manual de Ferramentas da Qualidade**. 2005.

SIMON, H. A. **Comportamento administrativo: estudo dos processos decisórios nas organizações administrativas**”. Trad. Aluizio Loureiro Neto. São Paulo, 1965.

SMITH, GERARD F. **Too many types of quality problems**.Quality Progress. 2000

TANNUS, RODRIGO. **Curso de VPS – Manutenção**. São Luis, 2017.

TAYLOR AND TAYLOR. **The Internal Combustion Engine, Int. Textbook Co**. Scranton, revisada em 1960.

TAYLOR, CHARLES FAYETTE. **Análise dos Motores de Combustão Interna**. Traduzido por Mauro Ormeu Cardoso Amorelli. São Paulo: Edgard Blucher, 1995.

UOL, BOL. **Funcionamento de um motor a combustão interna**. Disponível em: <<http://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/funcionamento-motor-combustao-interna.htm>>. Acesso em: 30/05/2017

VIDEOJET TECHNOLOGIES INC. **Solução de Problemas através da análise das Causas**. Disponível em: <www.videojet.com>. Acesso em: 02/06/2017.

WELSH. “**The effect of Humidity on Reciprocating Engine Performance**”, **Wright Aero Corp Serial**. Janeiro, 1948.

APÊNDICES

APÊNDICE A – Plano de ação

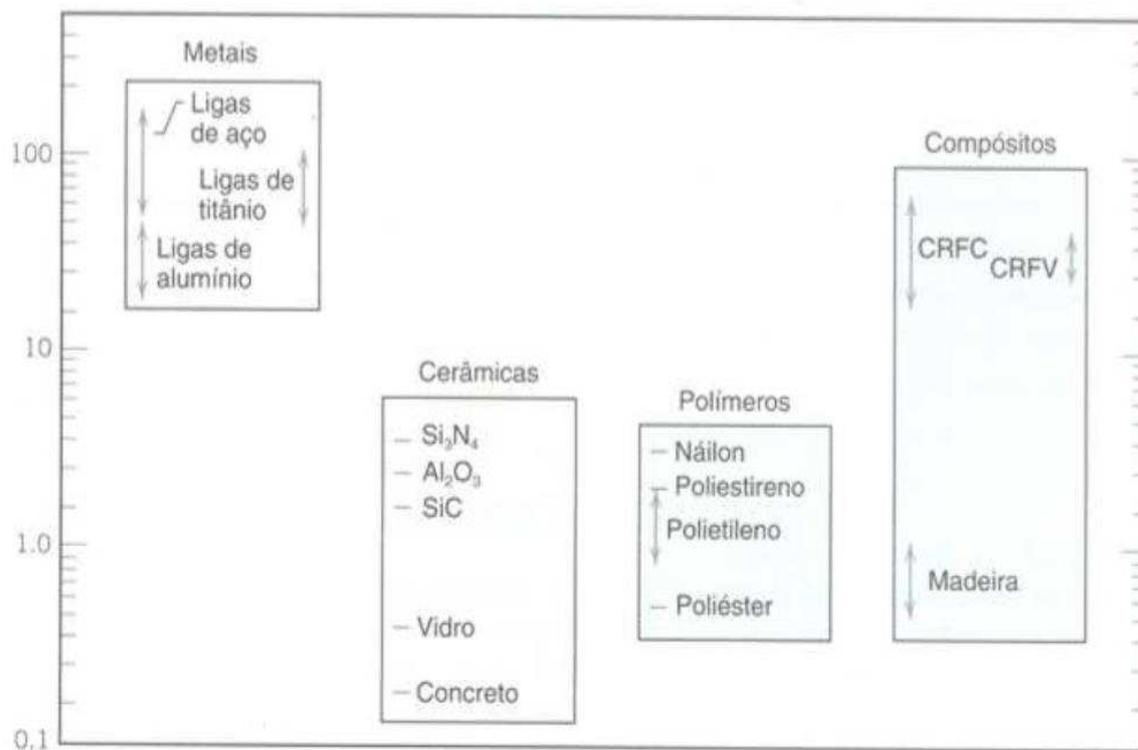
Ação	Responsável	Prazo	De que Forma	Motivo
Avaliar pHs e eletrocondutividade dos fluidos envolvidos	Prof. Dr. José Roberto	31/05/2017	Através do Phâmetro tem-se como medir tanto o pH quanto a eletrocondutividade	Para a escolha de um aditivo padrão
Fazer teste de eletrofloculação	Prof. Dr. José Roberto	31/05/2017	Através da máquina de eletrofloculação	Detectar pontos de surgimento de cátodos e ânodos
Pesquisar Aditivo padrão	Consócio de rebocadores	05/06/2017	Consultas pela internet ou visitas físicas ao fornecedor	A fim de obter informações de compra de um aditivo com características mais compatíveis com o motor em uso
Obter ou fazer compra do aditivo padrão	Consócio de rebocadores	30/06/2017	Compra pela internet ou junto ao fornecedor	Para obtenção de aditivo padrão
Fazer troca das sedes de válvulas avariadas	Retifica responsável	30/01/2017	Fazer pedido com fornecedor, descartar as inúteis e instalar as novas	A fim de obter sede de válvulas para as condições de uso do motor

APÊNDICE B – Instrução de trabalho

Área de aplicação	Posto	Nome da atividade	Função executante	Data de revisão	N° Revisão	Tempo estimado
Manutenção		Retífica de cabeçotes		02.06.2017		3.40:00
Responsável Técnico Elaboração	Responsável técnico Aprovação	Referências	Necessidade de treinamento	Campos revisados		
Vinicius Lima	Marco Túlio		Não	Manutenção de cabeçotes;		
N°	O que fazer	Como fazer	Razão	Desvios da tarefa	Ação corretiva do desvio	Tempo
1	Lavagem inicial e limpeza mecânica	Com uso de água e desengraxante assim como uso de escova com cerdas de aço	Remoção de detritos provindos do ambiente de operação			0.15:00
2	Desmontagem dos componentes do Cabeçote	Usando a chave de retirada de balancins e válvulas, libertar as válvulas e retirá-las	Para desmontagem e retirada das sedes e válvulas			0.30:00
3	Lavagem química dos componentes e corpo do cabeçote	Com água e desengraxante, fazer a lavagem da parte interna do cabeçote	Remoção de detritos provindos do ambiente de operação onde não foi possível remover na primeira lavagem			0.15:00
4	Análise dimensional dos componetes	Comparar especificações técnicas do fabricante com o original	A fim não haver desigualdade dimensional	Devido a desgastes pode haver uma discordância de tolerância	Trocar componente ou retificá-lo	0.10:00
5	Teste de estanqueidade	Aplicar máquina de estanqueidade no cabeçote e identificar possíveis pontos de vazamento	Para identificar possíveis pontos de vazamentos nas sedes e em outros	Pode haver vazamento na sede	Trocar a sede de válvulas	0.10:00
6	Troca de guias de válvula	Fazer retífica da guia de válvula	Para suprir problemas dimensionais ou de desgastes	Pode estar por completo avariada	Trocar guia de válvula	0.20:00
7	Troca de sede de válvula	Fazer retífica da sede	Para suprir problemas dimensionais ou de desgastes	Pode estar por completo avariada	Trocar sede	0.20:00

ANEXOS

ANEXO 1 – Tabela propriedades de resistência a fratura de alguns metais em $\text{MPa}\sqrt{m}$



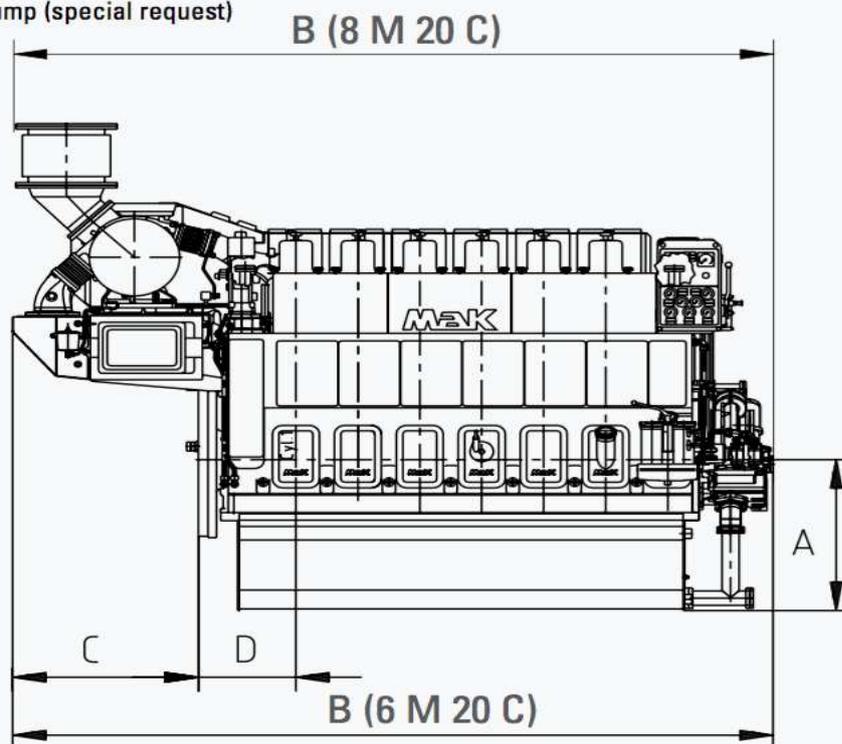
ANEXO 2 – Tabela de dados de dimensões do motor MAK 9 M20

DIMENSIONS (mm) AND WEIGHTS (t)

Type	A	B	C	D	E	F	G	H	t
6 M 20 C	941	4049	988	520	1596	630	330	2099	11.5
8 M 20 C	941	4846	988	520	1731	630	330	2236	14.5

A: Wet sump (standard)

F: Dry sump (special request)



ANEXO 3 – Tabela de propriedades de algumas ligas a base de cobre.

A EQUIVALÊNCIA ESTÁ BASEADA NA SEMELHANÇA DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA														CARACT.			PROPRIEDADES					
ESPECIFICAÇÕES EQUIVALENTES				COMPOSIÇÃO QUÍMICA										Limite Resistência Tração	Limite de Escoamento	Alongamento % esp.	Dureza Brinell	Densidade G/cm ³ à 20°C	Coef. Médio De Exp. Térmica	Condutibilidade Térmica	Condutibilidade Elétrica	
ABNT ASTM-B	BS 1400 DIN	JIS SAE	UNI **UNS	Cu	Sn	Pb	Zn	Fe	Sb	Ni	P	Al	Mn									
CuAl	C-95300 *148-9B	- -	H5114 ALBC-1 *68-B	- C-95300	86,0 90,0	-	-	-	0,80 1,50	-	-	-	9,0 11,0	-	465	190	15	125	7,53	1,61	63	14
	C-95400 *148-9C	AB-1 1714	- *CA 954	CuAl11Fe4 C-95400	83,0 87,0	-	-	-	2,5 4,5	-	2,50	-	10,0 11,5	0,5	550	215	12	150	7,50	1,62	59	13
	C-95500 *148-9D	AB-2 1714	H5114 AlBC-3 *CA 955	CuAl11Fe4Ni4 C-95500	78,0 82,0	-	-	-	3,0 5,0	-	3,5 5,5	-	10,0 11,5	3,5	650	290	6	170	7,50	1,62	42	8,5