

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

DEIVID PASTORE BARBOSA
KAUAN RAMOS MARTINS

**PROPOSTA DE PLANO DE MANUTENÇÃO DE MOTORES DIESEL
DE LOCOMOTIVA BASEADO NA METODOLOGIA DE
MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO
(Tcc 2 - Nº de Inscrição - 33)

CURITIBA

2019

DEIVID PASTORE BARBOSA

KAUAN RAMOS MARTINS

**PROPOSTA DE PLANO DE MANUTENÇÃO DE MOTORES DIESEL
DE LOCOMOTIVA BASEADO NA METODOLOGIA DE
MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE**

Monografia do Projeto de Pesquisa apresentada à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso – Tcc 2 - do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. M. Eng, João Carlos Roso

CURITIBA

2019

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia do Projeto de Pesquisa "PROPOSTA DE PLANO DE MANUTENÇÃO DE MOTORES DIESEL DE LOCOMOTIVA BASEADO NA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE", realizado pelos alunos Deivid Pastore Barbosa e Kauan Ramos Martins, como requisito para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso 2, do curso de Engenharia Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Prof. M. Eng. João Carlos Roso
DAMEC, UTFPR
Orientador

Prof. Dr. Walter Luis Mikos
DAMEC, UTFPR
Avaliador

Prof. Jorge Luiz de Sá Riechi, PhD.
DAMEC, UTFPR
Avaliador

Curitiba, 02 de dezembro de 2019.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradecemos a Deus por ter nos dado todo o suporte, forças e energia que necessitamos para concluir esse trabalho.

A nossa família, pelo amor, carinho e atenção que nos deram durante a realização desse projeto, o qual não teríamos conseguido completar sem sua ajuda.

À Universidade Tecnológica Federal do Paraná, pelo apoio e investimento na formação pessoal, acadêmica e profissional de seus estudantes.

Ao Professor João Carlos Roso, orientador do presente trabalho, por nos apresentar o tema investigado e nos ter guiado para atingirmos com sucesso nossos objetivos, aos Professores Walter Mikos e Jorge Riechi, por aceitarem compor a banca avaliadora e pelas contribuições à evolução deste trabalho, e ao Professor Emerson Rigoni, por toda atenção, paciência e dedicação que nos proporcionou para o entendimento e aplicação da metodologia MCC.

Agradecemos também à empresa que nos auxiliou na elaboração deste trabalho, pela oportunidade de desenvolvimento profissional, pelo conhecimento, experiência e informações compartilhadas, essenciais para o sucesso desta atividade.

Finalmente, agradecemos aos colegas de curso, por dividirem conosco anos de estudos, desafios e aprendizados nesta vida universitária.

RESUMO

BARBOSA, Deivid P.; MARTINS, Kauan R. PROPOSTA DE PLANO DE MANUTENÇÃO DE MOTORES DIESEL DE LOCOMOTIVA BASEADO NA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE. 2019. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

Um dos principais desafios das organizações é gestão eficiente da manutenção de seus ativos, selecionando as atividades de manutenção mais recomendadas para prevenção de falhas nos mais diversos sistemas. A operação ferroviária brasileira possui uma demanda crescente pela melhoria de suas atividades de manutenção, em um contexto de expansão operacional. Os motores Diesel de locomotiva, por sua vez, são um dos sistemas de locomotivas cuja manutenção desempenha papel importante, devido ao seu custo e sua importância para o funcionamento da locomotiva. Dentre as metodologias desenvolvidas para gestão de manutenção, a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) vem ganhando popularidade e relevância, por se constituir de um processo estruturado de seleção de atividades de manutenção que preservem as funções desempenhadas pelos sistemas avaliados, utilizando critérios ambientais, de segurança, econômicos e operacionais. O objetivo deste trabalho é propor um plano de manutenção com ênfase em um subsistema, o conjunto de força, de um tipo de motor Diesel de locomotiva através da execução das sete etapas da metodologia MCC e da análise do histórico de falhas da frota de locomotivas de uma companhia ferroviária. A partir de uma análise preliminar do histórico de falhas, foi confirmada a relevância de analisar as falhas nos motores diesel e de enfatizar o subsistema escolhido no plano de manutenção. A partir da consulta a manuais, procedimentos e trabalhos nacionais e estrangeiros propostos para a operação ferroviária, em conjunto com a consulta aos especialistas da empresa analisada, foi proposto um plano de manutenção adequado às condições operacionais da empresa. O plano proposto enfatizou a realização de inspeções funcionais, a maioria visuais, mais frequentes (mensais), adequadas ao modelo de motor analisado e combinadas a outras tarefas corretivas. Foi demonstrado o cálculo um intervalo ótimo para a manutenção preventiva de um componente do subsistema analisado sob um modo de falha, a partir de análises de confiabilidade e custos de manutenção, cujos resultados foram ao encontro da política de manutenção da empresa.

Palavras-chave: Manutenção Centrada em Confiabilidade, Locomotivas, Motores Diesel.

ABSTRACT

BARBOSA, Deivid P.; MARTINS, Kauan R. PROPOSTA DE PLANO DE MANUTENÇÃO DE MOTORES DIESEL DE LOCOMOTIVA BASEADO NA METODOLOGIA DE MANUTENÇÃO CENTRADA EM CONFIABILIDADE. 2019. 98 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso Superior de Engenharia Mecânica. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

Efficient equipment maintenance management remains one of the main challenges for organizations, which rely on selection of the most suitable tasks for failure rate control. Brazilian railway operation demand on adequate maintenance tasks increases as operational expansion is also expected. Locomotive diesel engines stand out for their role as main provider of the locomotive functions and, due to their high costs, their maintenance plays an important overall role. At such scenarios, the Reliability Centered Maintenance (RCM) methodology remains one of the most well-known and well-liked maintenance management options. It consists on an organized and structured process for selection of the best maintenance tasks which preserve the functions of systems under safety, environmental, economical and operational criteria. Therefore, this work focus on proposing a maintenance schedule emphasized for one subsystem, the power assembly, from one type of Diesel locomotive engine through execution of the seven steps of the RCM Methodology, combined with failure data analysis from a railway company. Preliminary results on failure data analysis confirm the recommendation for analysis on diesel engines and highlight subsystems more prone to deep evaluation and maintenance scheduling. Through analysis on manuals, procedures and dissertations from national and international railway companies, alongside with knowledge from local railway specialists, a maintenance plan adequate to operational conditions from the selected company was proposed. Failure finding inspections, most of them visual tasks, were recommended, to be done at a monthly interval, in agreement with the selected diesel engine characteristics, and in combination with other corrective maintenance tasks. The demonstration of calculation of optimal preventive replacement intervals under reliability analysis and maintenance costs evaluation was achieved for one component under one failure mode, whose results were in agreement with the company's maintenance policies.

Keywords: Reliability Centered Maintenance. Locomotives. Diesel Engines.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Gráfico de frota de locomotivas	14
Figura 2 - Gráfico de avarias com reboque por sistema de locomotiva	15
Figura 3 - Gráfico de distribuição de motores Diesel na frota de locomotivas	16
Figura 4 - Gráfico de avarias com reboque por conjunto do motor Diesel	17
Figura 5 - Esquema estrutural de uma locomotiva genérica.	20
Figura 6 - Disposição dos cilindros e demais componentes do motor diesel	21
Figura 7 - Ciclos de um motor de 2 tempos	22
Figura 8 - Ciclos de um motor de 4 tempos	23
Figura 9 - Esquema em corte de um motor diesel 654 de dois tempos	24
Figura 10 - Bloco do motor diesel	25
Figura 11 - Conjunto de força de motor de dois tempos	26
Figura 12 - Exemplo de uma biela de motor de dois tempos	27
Figura 13 - Exemplo de um Turbo de motor diesel GM	28
Figura 14 - Exemplar de um bico injetor de motor de dois tempos	30
Figura 15 - Exemplar de um governador de locomotiva diesel elétrica	31
Figura 16 - Diagrama de processo para MCC.....	36
Figura 17 - Seleção de Sistema e Coleta de Informações	38
Figura 18 - Análise de Modos de Falha e Efeitos.....	39
Figura 19 - Lógica de seleção de funções significantes	45
Figura 20 - Diagrama de Decisão	46
Figura 21 - Árvore de Decisão	47
Figura 22 - Lógica de Decisão	53
Figura 23 - Formulário de Análise de Decisão	53
Figura 24 - Plano de Manutenção	54
Figura 25 - Interface do Blocksim.....	57
Figura 26 - Aplicação das sete etapas da metodologia MCC	65
Figura 27 – Diagrama Organizacional do Conjunto de Força	67
Figura 28 – Etapas principais do ciclo Diesel do motor GM.....	68
Figura 29 – Interfaces e fronteiras dos conjuntos de força	69
Figura 30 – Funções do Conjunto de Força	70
Figura 31 – Demonstração de um diagrama lógico funcional para o CF	70
Quadro 1 – Falhas do Conjunto de Força.	71

Quadro 2 – Modos de falha do Conjunto de Força.	72
Figura 32 – FMEA preenchido para o CF (Funções 2 a 4)	74
Figura 33 – FMEA preenchido para o CF (Funções 4 a 8)	75
Figura 34 – Árvore de decisão preenchida para o Conjunto de Força	77
Quadro 3 – Tarefas de manutenção para o Conjunto de Força.	80
Figura 35 – Form. de análise de decisão preenchido para o Conjunto de Força ...	82
Figura 36 – Função probabilidade acumulada de falha para cabeçote trincado	85
Figura 37 – Função taxa de falha para cabeçote trincado	86
Figura 38 – Função Confiabilidade para cabeçote trincado	87
Figura 39 – Comportamento do custo de manutenção por tempo	88
Figura 40 – Custo mínimo de manutenção por tempo	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Custos de aquisição de um conjunto de força.....	69
Tabela 2 – Tempos até a falha para cabeçotes trincados.....	84
Tabela 3 – Intervalos ótimos de troca do cabeçote.....	89

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

- CF: Conjunto de Força
- EMD: Electro-Motive Division
- FMEA: Análise de Modos e Efeitos de Falha
- GE: General Electric
- GM: General Motors
- MCC: Manutenção Centrada em Confiabilidade
- MSG: Maintenance Steering Group
- RCM: Reliability Centered Maintenance

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	13
1.1	Contexto do Tema	14
1.2	Caracterização do Problema.....	14
1.3	Objetivos.....	18
1.3.1	Objetivo Geral.....	18
1.3.2	Objetivos Específicos	18
1.4	Justificativa	19
1.5	Conteúdo ou Etapas do Trabalho	19
2	REVISÃO DA LITERATURA.....	20
2.1	Motores Diesel para Locomotivas	20
2.1.1	Estrutura das locomotivas Diesel-Elétricas	20
2.1.2	O Motor Diesel.....	21
2.1.3	Peças principais do Motor Diesel	26
2.1.3.1	Bloco.....	26
2.1.3.2	Eixo de Comando	26
2.1.3.3	Conjunto de Força	27
2.1.3.4	Turbo	28
2.1.3.5	Engrenagens	30
2.1.3.6	Bomba de óleo	30
2.1.3.7	Bomba d'água	30
2.1.3.8	Bomba injetora	30
2.1.3.9	Governador.....	31
2.2	Manutenção Centrada em Confiabilidade	33
2.2.1	Definição e Histórico.....	33
2.2.2	Objetivos.....	35
2.2.3	Metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade	35
2.2.3.1	Seleção do Sistema e Coleta de Informações	37
2.2.3.2	Análise de modos de falha e efeitos	40
2.2.3.3	Seleção das funções significantes	45
2.2.3.4	Seleção de atividades aplicáveis	48
2.2.3.5	Avaliação da efetividade das tarefas.....	52
2.2.3.6	Seleção das atividades aplicáveis e efetivas	53
2.2.3.7	Definição da periodicidade das atividades	56
2.3	Trabalhos anteriores de MCC na operação ferroviária	59
3	MATERIAIS E MÉTODOS	63
4	ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES	67
4.1	Etapa 1 – Seleção do Sistema e Coleta de informações.....	67
4.2	Etapa 2 – Análise de Modos de Falha e Efeitos	72
4.3	Etapa 3 – Seleção de funções significantes	77
4.4	Etapas 4, 5 e 6 – Seleção de tarefas aplicáveis e efetivas.....	78
4.5	Etapa 7 – Definição da periodicidade das atividades	81
5	CONCLUSÕES.....	93

REFERÊNCIAS.....	97
APÊNDICE A – PLANO DE MANUTENÇÃO COMPLETO.....	100
ANEXO A – HISTÓRICO DE AVARIAS E REBOQUES	111
ANEXO B – PLANILHA DE RASTREABILIDADE DE COMPONENTES.....	112

1 INTRODUÇÃO

A indústria e as organizações estão protagonizando mudanças tecnológicas e sociais, na forma de novas expectativas, nova pesquisa e novas técnicas (Moubray, 2000). Essas transformações se manifestam no aumento da relevância de fatores como confiabilidade, disponibilidade, segurança e meio ambiente, aumentando a dependência relacionada à integridade dos ativos físicos.

A operação ferroviária brasileira também compartilha do mesmo desafio dessas organizações. A busca por maiores lucros e menores custos operacionais passa pela manutenção dos ativos. A gestão da manutenção possui um papel importante, visando manter a disponibilidade dos equipamentos para atender a demanda (Souza, 2008).

Falhas de locomotivas podem incorrer em prejuízos significativos, tanto em longas paradas de trens em vias singelas, bloqueando o fluxo de mercadorias em outras composições (Mayne, 2014), quanto pela redução da disponibilidade das locomotivas em função de sua manutenção (Gaede, 2008). Falhas em motores Diesel constituem uma situação crítica, uma vez que o bom funcionamento da locomotiva depende desse sistema, que possui custo elevado de aquisição e manutenção (Mio Dal Pai, 2012). A gestão de manutenção de ativos deve estar preparada para garantir a confiabilidade desses ativos, melhorando e adaptando as atividades de manutenção para os novos desafios.

A gestão eficiente da manutenção é auxiliada por metodologias e ferramentas que auxiliam na tomada de decisão, melhorando e otimizando cada atividade designada para a manutenção dos equipamentos. Neste âmbito, a metodologia de Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) vem ganhando relevância e sendo aplicada em diversos tipos de negócio, consistindo em uma metodologia estruturada e organizada para a seleção de atividades de manutenção visando preservar as funções dos equipamentos e evitar ou reduzir as consequências significantes das falhas (Siqueira, 2005).

Dessa forma, este trabalho consiste na proposta de um plano de manutenção de um subsistema de um tipo de motor diesel de locomotiva através da metodologia de MCC, baseando-se em seu histórico de falhas.

1.1 Contexto do Tema

A companhia ferroviária analisada prevê um crescimento expressivo na próxima década. Para isso, busca aumentar sua capacidade pela gestão mais eficiente de seus ativos, a exemplo da disponibilidade de locomotivas, e pela redução de seus custos operacionais.

Os setores de controle operacional e confiabilidade da empresa, nos quais os autores deste trabalho estagiam, estão em constante busca e melhoria de suas ferramentas e metodologias de gestão da manutenção, as quais estão em constante evolução e implementação por pesquisadores, especialistas e consultores da área de produção, manutenção mecânica e engenharia da confiabilidade.

A metodologia da MCC foi primeiramente utilizada com sucesso na indústria aeronáutica, na década de 1970. Desde então, sua utilização também foi estendida para a indústria de equipamentos militares, geração de eletricidade e energia nuclear (Siqueira, 2005). Atualmente, tornou-se uma filosofia bastante respeitada e sua implementação foi diversificada para vários tipos de negócio, inclusive a operação ferroviária. Sua relevância se traduz na elaboração de normas regulamentadoras ao redor do mundo.

1.2 Caracterização do Problema

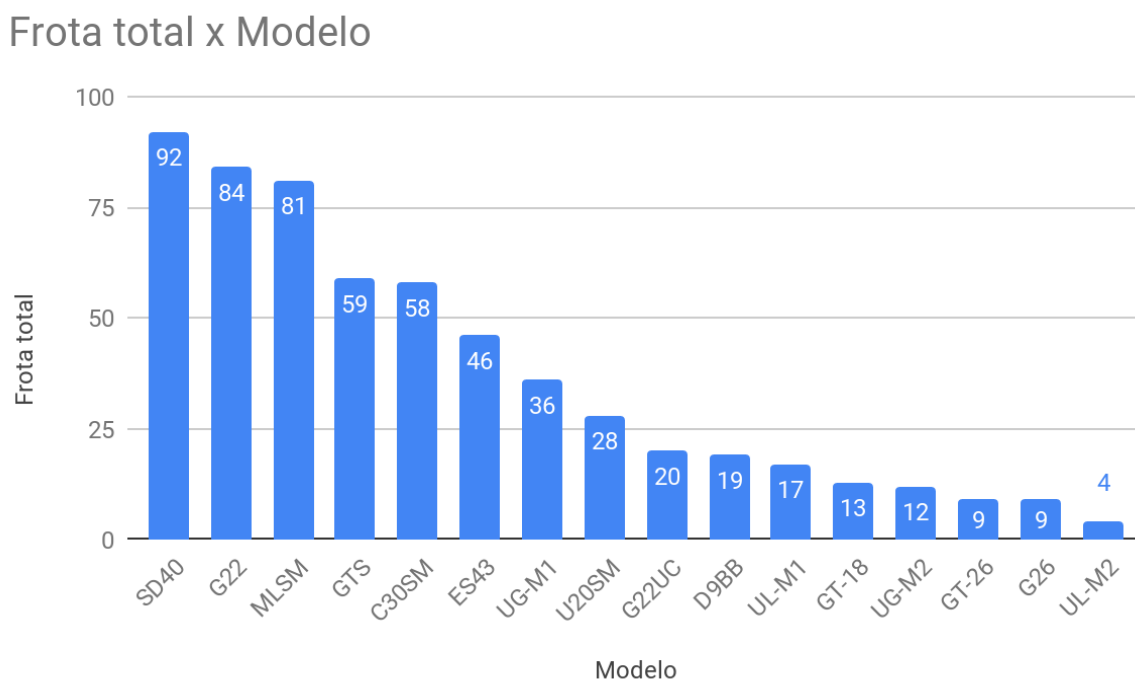
Um dos desafios do time de engenharia de manutenção é planejar a manutenção conciliando a disponibilidade conforme demanda com o controle dos custos de ações corretivas e intervenções preventivas (Souza, 2008). Isso requer conhecer as atividades já desempenhadas, os sistemas e componentes afetados e as funções desempenhadas por esses sistemas, o que pode ser construído pelo exercício da MCC.

Incorporar sistematicamente a metodologia de MCC nas rotinas da engenharia de manutenção de locomotivas pode ser facilitado pela demonstração da MCC a partir de sua aplicação em um subsistema de um tipo de motor de locomotiva e da subsequente construção de uma base de dados interna à companhia, permitindo sua implementação a demais modelos de locomotiva e outros ativos ferroviários.

A crescente demanda do modal ferroviário para o escoamento dos produtos do agronegócio para os portos brasileiros exige das operadoras ferroviárias brasileiras

tanto a expansão de suas operações quanto o aumento da eficiência operacional. Além da aquisição de mais ativos, como locomotivas novas, torna-se crítica a distribuição e utilização eficiente da frota vigente de locomotivas, apresentada na Figura 1.

Figura 1 - Gráfico de frota de locomotivas.



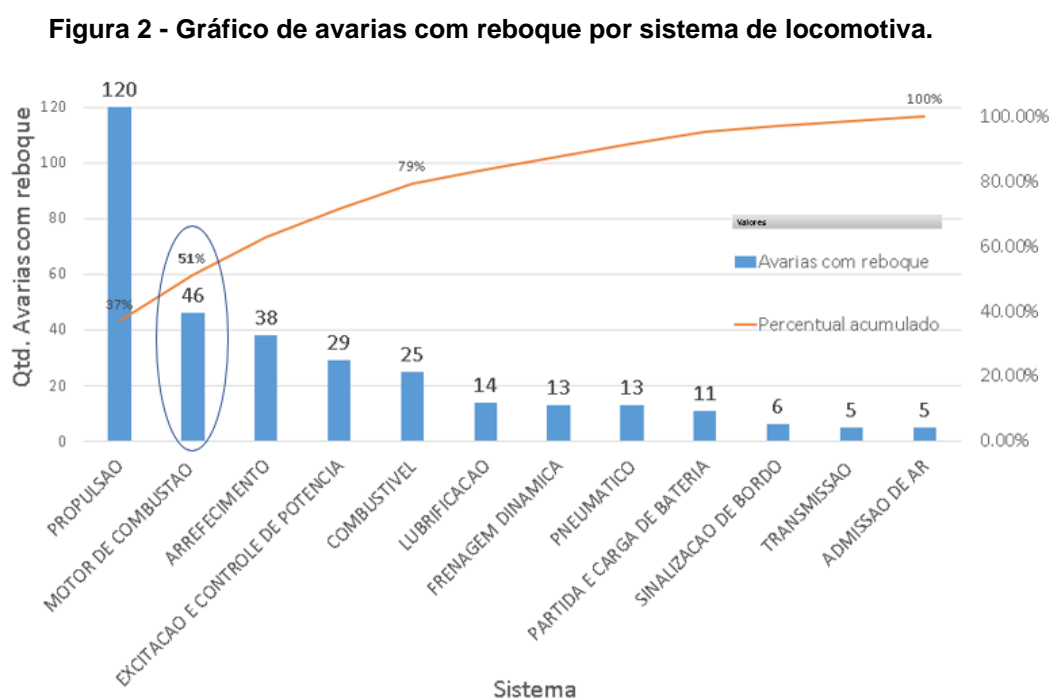
Fonte: Aatoria própria (2019).

Trata-se de um universo de 587 locomotivas de 16 modelos diferentes, composta tanto por uma parcela de locomotivas mais novas, como os modelos ES43 e D9BB quanto por uma grande variedade de locomotivas mais antigas, como os modelos SD40 e G22. Pretende-se utilizar estas locomotivas por ainda mais tempo até serem substituídas por modelos mais eficientes, o que torna ainda mais crítica a necessidade de controlar e reduzir a incidência de falhas nesses modelos.

As falhas de locomotivas são registradas e classificadas pelo time de manutenção da companhia como “avarias” e “reboques”. Avarias são falhas que causam a parada do trem por um intervalo de tempo superior de 20 minutos, o que pode interferir no planejamento e controle operacional dos demais trens em trânsito.

Avárias podem, na maioria dos casos, permitir reparos no local de parada, ao contrário de reboques. Reboques são falhas de locomotiva que causam a perda total de sua função e não permitem reparo imediato. Neste caso, a locomotiva deixa de gerar potência e tracionar outros vagões, passando a se comportar como vagão, o que pode sobrecarregar as demais locomotivas e forçar a parada do trem. Isso requer operações de reboque, onde outras locomotivas são acopladas ao trem para que o mesmo possa chegar ao seu destino e deslocar a locomotiva avariada para um pátio de manutenção. Esse tipo de falha, além de poder causar atrasos no deslocamento de outros trens, causa a indisponibilidade da locomotiva até seu reparo, diminuindo ainda mais a capacidade operacional da companhia.

De janeiro de 2018 a abril de 2019, foi realizado pela companhia um registro dessas ocorrências, priorizando a análise de avárias com reboque. As avárias são organizadas em sistemas da locomotiva, conforme apresentado na Figura 2.



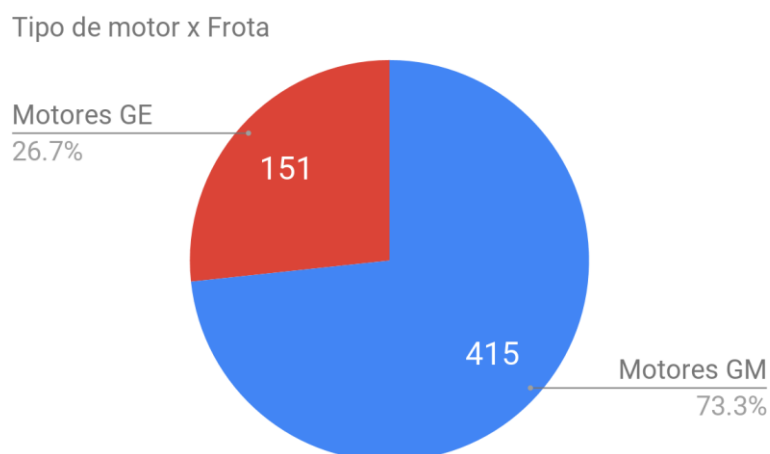
Fonte: Autoria própria (2019).

Observou-se, pela Figura 2, que os sistemas mais afetados por avárias são os de propulsão, o motor de combustão (motor Diesel), o sistema de arrefecimento, de excitação e controle de potência e o sistema de combustível. Os cinco, combinados,

representam 80% das avarias, tornando-se os principais pontos de atenção do time de manutenção. Foi verificado que o sistema de propulsão é o maior afetado por avarias, responsável por quase 36% das avarias com reboque. Por outro lado, o time de manutenção demonstrou maior interesse na investigação das avarias relacionadas aos motores Diesel, uma vez que os demais sistemas já estão sendo investigados por seus respectivos especialistas.

Apesar da existência de diversos modelos de locomotivas na companhia ferroviária em análise, sua manutenção é organizada pelos sistemas de uma locomotiva, comuns a todos os modelos. Exemplos disso são truques, sistema de arrefecimento e propulsão. Da mesma forma, os modelos podem compartilhar de componentes similares. Isso representa uma oportunidade de melhoria da manutenção desses ativos, facilitando identificar causas comuns às locomotivas e planejar atividades de manutenção mais abrangentes e menos onerosas, sendo um atrativo para a implementação da MCC. Exemplo disso é o motor Diesel. Dois tipos de motores Diesel equipam a frota inteira, sendo o motor fornecido pela GM responsável por equipar 73 % da frota, conforme Figura 3.

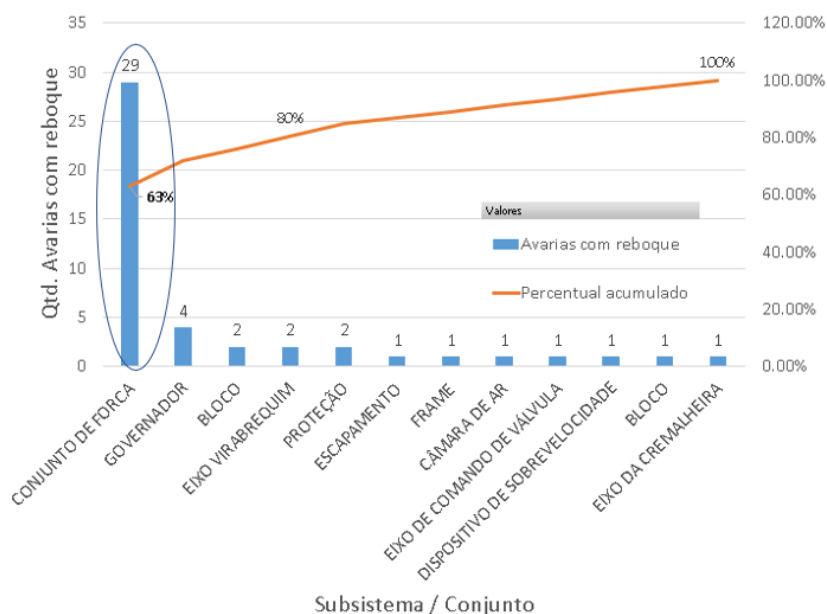
Figura 3 - Gráfico de distribuição de motores Diesel na frota de locomotivas.



Fonte: Autoria própria (2019).

Uma análise mais aprofundada das avarias com reboque em motores Diesel permitiu relacioná-las aos conjuntos, conforme Figura 4.

Figura 4 - Gráfico de avarias com reboque por conjunto do motor Diesel.



Fonte: Autoria própria (2019).

Observou-se que o conjunto de força do motor Diesel está relacionado a mais de 60% das avarias, sendo o principal candidato a análises mais aprofundadas de sua manutenção.

Dessa forma, um subsistema do motor diesel de locomotiva (conjunto de força) foi escolhido como piloto para a aplicação.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Propor um plano de manutenção do motor diesel GM de locomotiva utilizando a metodologia MCC, com ênfase em um subsistema.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar revisão bibliográfica sobre MD e MCC
- Coletar histórico de falhas da frota utilizada pela empresa
- Delimitar a função e subsistema de interesse do motor Diesel GM de locomotiva
- Implementar as sete etapas da metodologia, resultando em proposta de um plano de manutenção baseado em MCC

- Demonstrar cálculo de intervalos de manutenção preventiva para um componente de subsistema (sétima etapa).

1.4 Justificativa

A operação ferroviária, assim como outras empresas, carece de implementação sistêmica da metodologia de MCC na manutenção de seus ativos em seus diversos setores. Pouca literatura aplicada à gestão de manutenção de locomotivas via MCC se encontra disponível. Ademais, para o setor da companhia analisado, além de carecer de registros de aplicação dessa metodologia, há uma demanda expressiva pela revisão e melhoria das atividades de manutenção de locomotivas, cenário no qual o presente trabalho permitirá introduzir ao time a metodologia de forma mais aplicada e sinérgica aos objetivos do grupo. O modelo escolhido para aplicação da metodologia é componente principal da frota utilizada nos corredores que apresentam taxas de falha superiores às respectivas metas e requerem maior ação do time de manutenção.

1.5 Conteúdo ou Etapas do Trabalho

Este trabalho será dividido em cinco capítulos.

No capítulo 1 é feita a introdução do trabalho, abordado o tema da pesquisa, justificativa, objetivos e estrutura do trabalho.

No capítulo 2 é realizada uma revisão bibliográfica acerca da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade e dos motores Diesel utilizados em locomotivas, tal como trabalhos realizados sobre o mesmo assunto.

O capítulo 3 apresenta os materiais e métodos escolhidos para a execução da metodologia MCC.

O capítulo 4 apresenta os resultados da aplicação da metodologia de MCC nos motores diesel do tipo GM, acompanhados de análises e discussões.

O capítulo 5 apresenta a conclusão do trabalho, destacando os resultados obtidos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo, são apresentadas as informações que suportam a solução do problema encontrado. Além de dados sobre o contexto, funcionamento e componentes do Motor Diesel de locomotiva e seus subsistemas, é apresentada a metodologia escolhida para a execução deste trabalho, amparada pela revisão de outros trabalhos aplicados no setor ferroviário utilizando a mesma metodologia e/ou abordando o mesmo sistema ou subsistemas.

2.1 Motores Diesel para Locomotivas

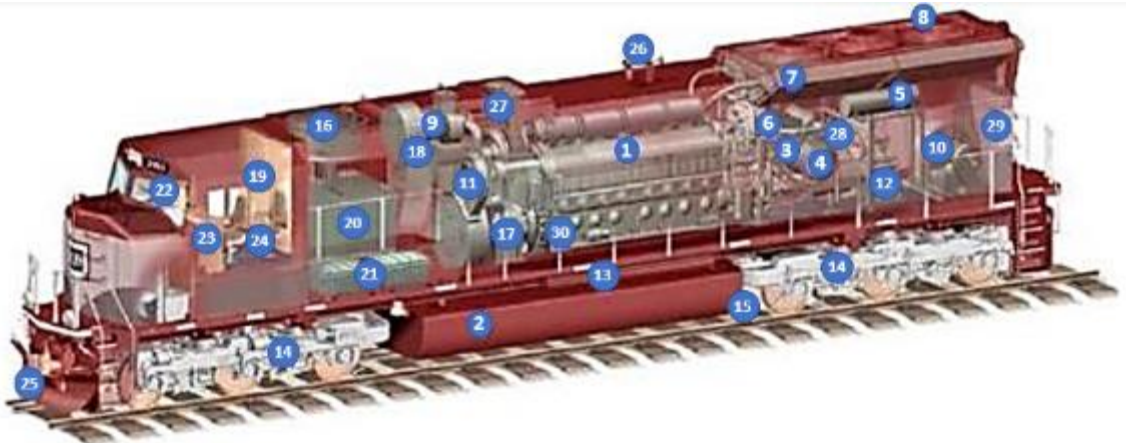
2.1.1 Estrutura das locomotivas Diesel-Elétricas

Trens de carga geralmente são tracionados por locomotivas diesel-elétricas. Através do motor diesel, a combustão da mistura ar-combustível nos cilindros é convertida em energia mecânica, que é transferida pela rotação do virabrequim a um gerador que a transforma em energia elétrica, consumida pelos motores de tração acoplados aos eixos, entregando finalmente capacidade trativa às locomotivas (Gaede, 2008).

Há também as locomotivas que são somente elétricas, não possuindo o motor Diesel em sua composição. São relativamente mais leves que locomotivas diesel-elétricas e largamente usadas no transporte de passageiros. Neste tipo de locomotiva, o motor de tração é alimentado diretamente pelas redes elétricas instaladas ao longo da via geralmente posicionadas em cima das locomotivas (Borba, 2007).

A Figura 5 demonstra esquematicamente os principais componentes de uma locomotiva diesel-elétrica, assim como suas localizações dentro de uma locomotiva genérica.

Figura 5 – esquema estrutural de uma locomotiva genérica.



- | | |
|---|--------------------------------------|
| 1 – Motor Diesel | 16 – Freio Dinâmico |
| 2 – Tanque de Combustível | 17 – Gerador de tração |
| 3 – Resfriador de óleo lubrificante | 18 – Filtro de inércia |
| 4 – Filtro de óleo lubrificante | 19 – Armário Elétrico 1 |
| 5 – Reservatório auxiliar de água | 20 – Armário Elétrico 2 |
| 6 – Reservatório principal de água | 21 – Baterias |
| 7 – Radiadores | 22 – Console do maquinista |
| 8 – Ventiladores do sistema de resfriamento | 23 – Console do auxiliar |
| 9 – Soprador do truque 1 | 24 – Poltronas |
| 10 – Soprador do truque 2 | 25 – Engates |
| 11 – Soprador gerador | 26 – Buzina |
| 12 – Compressor de ar | 27 – Escapamento do Motor Diesel |
| 13 – Reservatório de ar | 28 – Filtro primário do Motor Diesel |
| 14 – Truque | 29 – Reservatório de areia |
| 15 – Motor de Tração | 30 – Motores de partida |

Fonte: Adaptada de Borba (2009).

2.1.2 O Motor Diesel

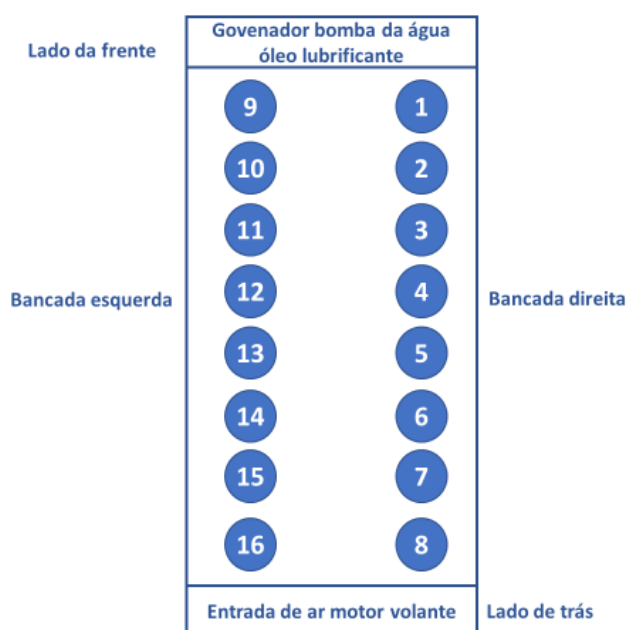
Os motores Diesel são extremamente semelhantes entre si, pois todos obedecem ao mesmo princípio termodinâmico do ciclo diesel. As aplicações dos motores diesel são diversas, porém pode-se destacá-las em quatro grupos principais: estacionários, industriais, marítimos ou veiculares. O motor diesel escolhido como objeto de estudo se enquadra na categoria veicular, que abrange os meios de transportes terrestres, como carros, caminhões e trens (Borba, 2009).

O motor Diesel é um dos principais componentes de uma locomotiva. Sua função primordial é de fornecer a potência necessária para tracionar não somente a locomotiva em si, mas também os vagões acoplados a ela.

A energia proveniente da queima dos combustíveis, na maioria dos casos o Diesel, proporciona um movimento alternado dos pistões que, por sua vez, transforma o movimento retilíneo uniforme, por intermédio da biela e pistão, em movimento circular contínuo no eixo virabrequim (Boulanger, 1978). Conseqüentemente, toda essa energia mecânica é transferida para movimentar o gerador principal que gerará a energia elétrica necessária para alimentar os motores de tração.

A quantidade de cilindros no motor varia com o modelo e, também, a aplicação operacional da locomotiva. A disposição dos cilindros, bem como sua ordenação, normalmente segue conforme a Figura 6. As máquinas de manobra (locomotivas usadas para movimentar apenas alguns vagões e/ou algumas locomotivas, não sendo necessária uma demanda de esforço trator alto) normalmente possuem um motor diesel de menor porte, tendo entre 6 e 8 cilindros normalmente (Gaede, 2008). Porém os motores utilizados pelas locomotivas para transporte de carga podem ter 12, 16 e até 20 cilindros.

Figura 6 – Disposição dos cilindros e demais componentes do motor diesel.



Fonte: Adaptado de Junior (1982).

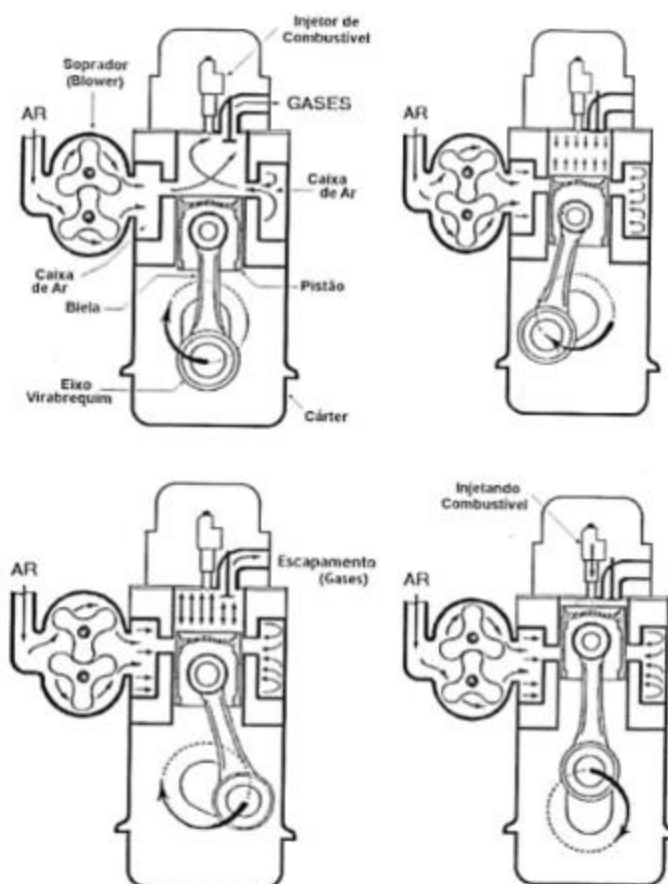
Os motores de 12 a 16 cilindros são os mais utilizados nas locomotivas da companhia analisada, provenientes tanto da fabricante General Electric (GE) quanto da fabricante General Motors (GM). Os cilindros estão posicionados em formação V, conforme demonstrado pela Figura 9 (ângulo de 45° com a vertical), e os motores

possuem uma velocidade média do virabrequim que varia de 400 a 1.050 rpm (Mio Dal Pai, 2012). Com o avanço da tecnologia ao longo do tempo, a potência dos motores aumentou de 1.000 HP na década de 50 para mais de 6000 HP atualmente (Borba, 2007).

A frota em questão é composta por motores de dois tempos, cuja fabricante é a GM, e motores de quatro tempos, cuja fabricante é a GE. Os tempos constituem as fases de um ciclo de trabalho, necessárias para transformar a energia calorífica do combustível em energia mecânica (Boulanger, 1978).

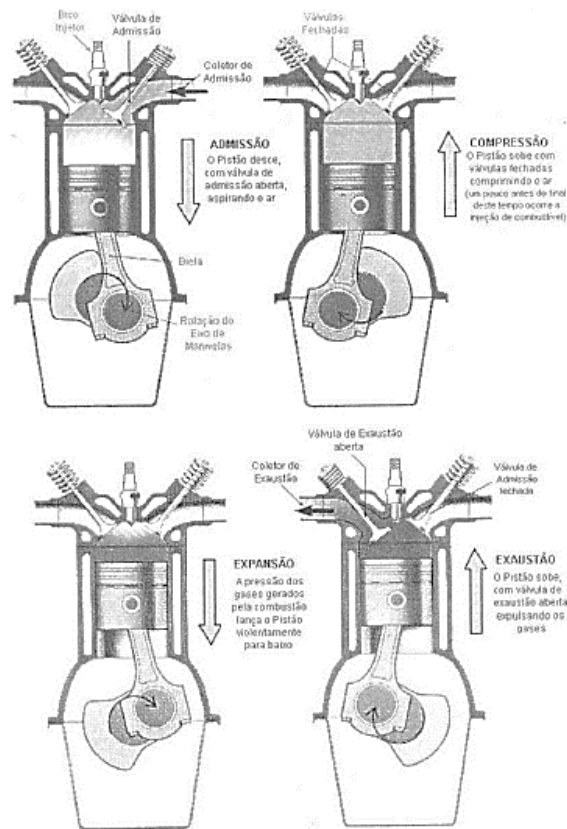
O ciclo de trabalho de um motor dois tempos (Figura 7) requer apenas uma rotação do virabrequim, com dois cursos no motor. Nos motores de quatro tempos (Figura 8), são necessários quatro cursos e duas revoluções.

Figura 7 – Ciclos de um motor de 2 tempos.



Fonte: Kitamura (2005).

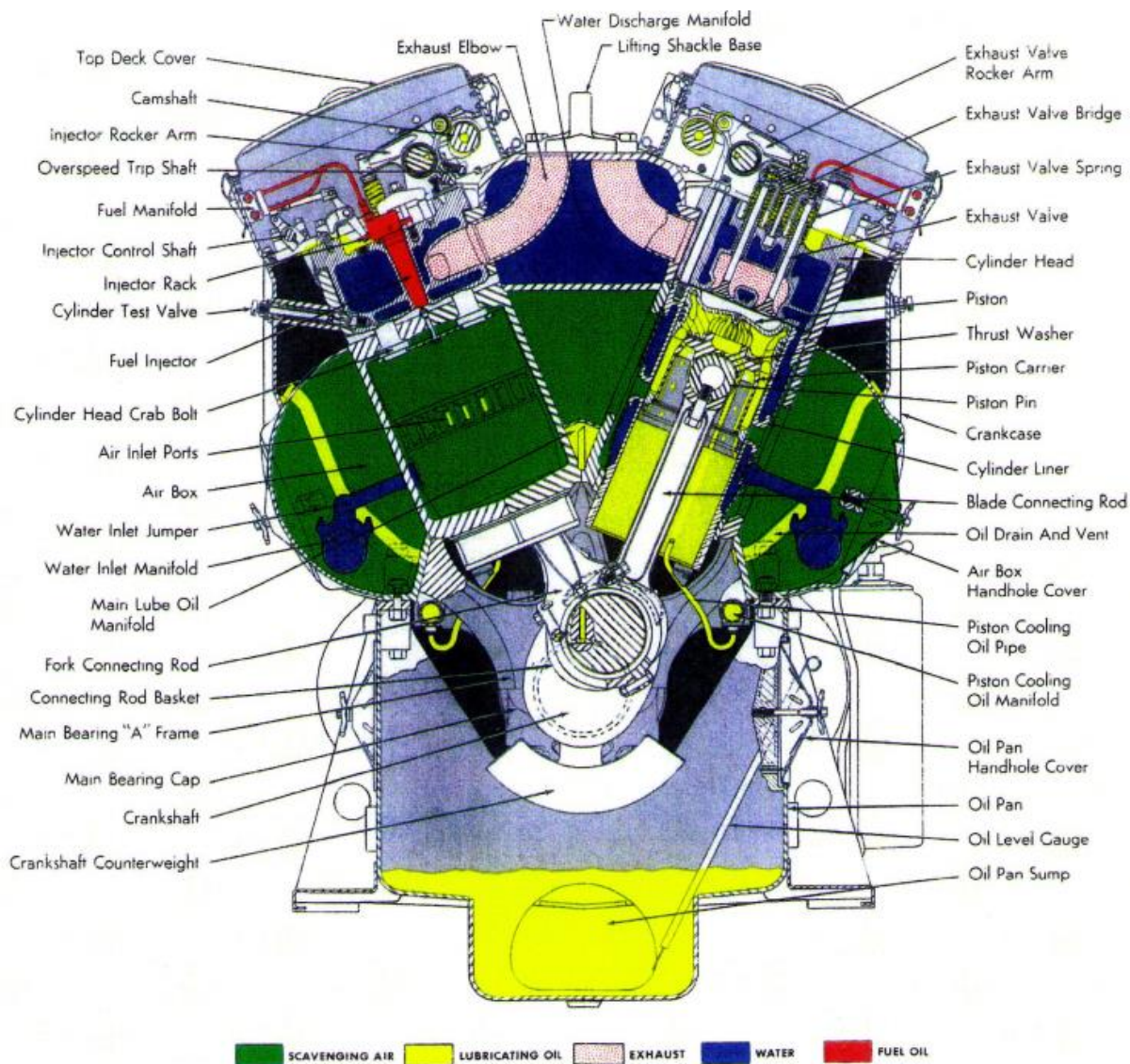
Figura 8 – Ciclos de um motor de 4 tempos.



Fonte: Kitamura (2005).

Devido ao tamanho dos motores Diesel, é necessário um grande volume de ar para preencher os cilindros de combustão a cada ciclo. Da mesma forma, o ar aspirado pelo vácuo causado pelo movimento do pistão é insuficiente para a queima adequada do combustível. Portanto, os turbo alimentadores e sopradores são utilizados para suprir a demanda de ar nos cilindros. As altas temperaturas causadas pela queima do combustível, que atingem 500 °C (Mio Dal Pai, 2012), tornam necessário arrefecer o motor, sendo utilizado água como fluido para arrefecimento do motor.

Figura 9 – Esquema em corte de um motor diesel 645 de dois tempos.



645 SERIES DIESEL ENGINE

ELECTRO-MOTIVE DIVISION
 GENERAL MOTORS CORPORATION

Fonte: USNRC (2011).

O motor diesel é dividido em subcomponentes dos quais serão explicados sucintamente a seguir.

2.1.3 Peças principais do Motor Diesel

2.1.3.1 Bloco

O bloco é o principal componente estrutural do motor. Feito em aço, aloja os conjuntos de força, o virabrequim e demais peças acessórias (Junior, 1982). Nele, também estão alojadas todas as tubulações de óleo lubrificante, combustível e água para o arrefecimento. O mesmo possui janelas e tampas de inspeção que permitem inspecionar camisas e pistões e limpar a caixa de ar. Por ser uma peça sólida e servir apenas de alojamento, ele raramente falha, recebendo manutenção somente quando o motor é desmontado por alguma falha grave ou acidente (Mio Dal Pai, 2012).

Figura 10 - Bloco do motor diesel.



Fonte: Autoria própria (2019).

2.1.3.2 Eixo de Comando

A principal função do eixo de comando é controlar o tempo de abertura e o fechamento das válvulas de admissão e escape, tal como o tempo de injeção de combustível na câmara do cilindro onde ocorrerá a explosão.

Sua localização se encontra acima dos conjuntos de força e cada um dos dois eixos que existem em todos os motores está disposto um em cada lado do arranjo em “V” do bloco. Os eixos de comando estão acoplados ao eixo virabrequim, de modo que suas rotações estão sincronizadas uma em relação a outra, o que permite que os excêntricos do eixo de comando acionem as válvulas no tempo correto.

2.1.3.3 Conjunto de Força

A principal função do conjunto de força é transmitir a energia gerada pela queima do combustível ao eixo virabrequim em forma de movimento circular. Os componentes que compõem o conjunto de força (Figura 11) de um motor de dois tempos são o cabeçote, a camisa, a biela, o pistão, as válvulas e os anéis de segmento conforme demonstrado pela Figura 7 (Mio Dal Pai, 2011).

Figura 11 – Conjunto de força de motor de dois tempos.



Fonte: Autoria própria (2019).

Uma vez que haja a explosão dentro das camisas, isso provoca o movimento retilíneo do pistão junto com a biela que, por sua vez, rotaciona o eixo virabrequim, realizando assim o trabalho que será consumido pela locomotiva (Borba, 2009).

O material que constitui a biela é feito de aço forjado, o que permite que a peça tenha grande resistência a impactos devido ao movimento alternado do pistão. Sendo assim, por causa do grande esforço que este item está sendo submetido, uma fratura pode ocorrer e causar uma falha catastrófica no motor se houver algum tipo de desalinhamento entre o pistão, biela e eixo virabrequim. Na Figura 12, é apresentado um exemplo de biela de motor de dois tempos.

Figura 12 – Exemplo de uma biela de motor de dois tempos.



Fonte: Autoria própria (2019).

Portanto, pode-se concluir que há um grande desgaste mecânico no interior das camisas do conjunto de força e também na ligação entre pistão, biela e virabrequim que sofre um grande esforço por causa do movimento mecânico que alterna bruscamente a cada ciclo.

2.1.3.4 Turbo

A principal função do turbo alimentador é adicionar ainda mais ar comprimido nos conjuntos de força além da aspiração natural, assim aumentando a eficiência e potência gerada pelo motor diesel.

O ar atmosférico é aspirado pelo rotor do turbo que aumenta a compressão do ar no coletor de admissão. Assim, é depositado mais massa de ar em um mesmo volume do que seria depositado se não houvesse o turbo. Isto posto, é possível que seja injetado mais combustível dentro da câmara de explosão, oferecendo assim, um maior torque para o motor diesel e conseqüentemente, uma maior eficiência da energia gerada (Borba, 2009)

Figura 13 – Exemplo de um Turbo de motor diesel GM.



Fonte: Aatoria própria (2019).

Por causa das circunstâncias que o turbo (Figura 13) é submetido: Altas temperaturas advindo dos gases, vibrações devido a operação da locomotiva e oscilações que porventura ocorrem no motor diesel; pode-se considerar que esta peça apresenta uma vida útil relativamente curta. Por conseguinte, este item falhará com bastante frequência se não for feita uma manutenção adequada. Além disso, pelo fato do ciclo da queima de combustível ser dependente do turbo para seu funcionamento. Qualquer avaria que ocorre no turbo pode comprometer o desempenho do motor diesel que, por sua vez, impacta ou até mesmo para a locomotiva. Portanto é de grande relevância a manutenibilidade desta peça no setor ferroviário

2.1.3.5 Engrenagens

Existem engrenagens na parte dianteira do bloco que são responsáveis por distribuir o movimento que vem do eixo virabrequim aos acessórios externos, como gerador auxiliar, bomba d'água e bomba de combustível.

2.1.3.6 Bomba de óleo

A principal função da bomba de óleo é conduzir o óleo lubrificante onde há contato nas peças mecânicas para reduzir o atrito entre elas. Também apresenta funções secundárias como reduzir a perda de pressão na câmara de combustão, evitar ferrugem e desgaste corrosivo, auxiliar no arrefecimento do motor.

O ciclo do óleo lubrificante ocorre da seguinte forma, inicialmente o óleo se encontra armazenado no cárter e depois passa por um sistema de filtros. Logo em seguida, passa por um resfriador de óleo até chegar na bomba de óleo lubrificante que, por sua vez, transporta o óleo aos mancais e conjuntos de força arrefecendo e diminuindo o atrito nesses itens. Posteriormente, o óleo volta novamente ao cárter (Borba, 2009).

2.1.3.7 Bomba d'água

A principal função da bomba d'água é conduzir o líquido de arrefecimento através do motor diesel, absorvendo assim, o calor proveniente da combustão nos cilindros. Após isso, o fluido é levado a uma bancada de radiadores dos quais retiram o calor da água e depois, se inicia novamente o ciclo de arrefecimento (Borba,2009).

O mecanismo da bomba é simples e bastante confiável. Usualmente, apresenta falhas somente quando outros componentes estão avariados ou quando está sobrecarregado devido a operação inadequada da locomotiva.

2.1.3.8 Bomba injetora

A principal função da bomba injetora é controlar a injeção de combustível dentro da câmara de combustão de acordo com o ciclo do cilindro e demanda da potência requisitada pelo operador da locomotiva. As bombas são instaladas uma em cada conjunto de força e acopladas a ela está o bico injetor (Figura 14), responsável por pulverizar o combustível dentro da câmara de combustão.

Se o bico estiver desregulado, isto é inserido mais ou menos do que o padrão, inevitavelmente ocorrerá um desbalanceamento no eixo virabrequim e o motor diesel começará a oscilar.

Figura 14 – Exemplar de um bico injetor de motor de dois tempos.



Fonte: A autoria própria (2019).

2.1.3.9 Governador

A principal função do governador (Figura 15) é administrar a rotação do eixo virabrequim através da regulagem da quantidade de combustível que alimenta os conjuntos de força de acordo com o ponto de aceleração que se encontra a locomotiva. Com isso, a potência entregue pelo motor é mantida constante. Esta peça que é eletro-hidráulica possui um reservatório próprio de óleo lubrificante e também uma bomba de pressão de óleo.

Figura 15 - Exemplar de um governador de locomotiva diesel elétrica.



Fonte: A autoria própria (2019).

Além da função principal, existem as funções secundárias que basicamente atuam para a proteção e segurança do motor. Exemplo disso, o governador atua desligando o motor quando ocorre a detecção de baixa pressão de óleo ou baixa pressão de água a fim de evitar uma grave avaria ao motor (Borba, 2009).

Um mal funcionamento deste dispositivo ou até mesmo uma avaria pode acarretar numa falha na locomotiva, uma vez que, por exemplo, o governador atue desligando o motor diesel por pressão baixa de água sem que haja vazamentos.

Atualmente, a partir da década de 1990, não foram mais produzidos governadores pois estes foram substituídos por controladores eletrônicos, mais eficientes em sua função.

O levantamento de informações a respeito das características dos motores Diesel de locomotiva permitiu compreender a complexidade deste sistema, cujo funcionamento depende das funções, interfaces e condições operacionais dos seus subsistemas. Por exemplo, a transmissão de potência do motor ao gerador, necessária para a locomotiva ter capacidade trativa, depende da transmissão da energia da explosão no conjunto de força ao pistão, biela e virabrequim, que pode ser afetada por desgaste e desalinhamento de componentes. Tal entendimento é crucial para a gestão efetiva da manutenção desse sistema da locomotiva. Essa revisão

facilitou o levantamento das informações utilizadas durante a execução das etapas da metodologia MCC que, por sua vez, visou propor as tarefas de manutenção mais apropriadas para preservar as funções do subsistema analisado e, conseqüentemente, do motor Diesel.

2.2 Manutenção Centrada em Confiabilidade

2.2.1 Definição e Histórico

A Manutenção Centrada em Confiabilidade (Reliability Centered Maintenance, RCM), pode ser definida como “um processo usado para determinar o que deve ser feito para assegurar que qualquer ativo físico continue a fazer o que seus usuários querem que ele faça no seu contexto operacional” (Moubray, 2000). Trata-se de uma metodologia de análise das funções e modos de falha das funções de um sistema, seguida pela subsequente identificação das tarefas de manutenção mais apropriadas a partir de critérios de priorização baseados em fatores ambientais, econômicos, operacionais e de segurança (Rigoni, 2009).

Essa metodologia foi criada e disseminada a partir da década de 1960 na indústria aeronáutica americana, em um contexto marcado por evoluções e quebras de paradigma na gestão da manutenção. As atividades de manutenção evoluíram de um contexto de sistemas robustos, de pequena complexidade, pouca mecanização e baixa demanda sobre seu funcionamento e manutenção (primeira geração) para um cenário de crescentes demandas da sociedade sobre produção em larga escala, com sistemas de alta complexidade, perdas mais custosas causadas por falhas e pouca oferta de mão-de-obra especializada (segunda geração) e a crescente automação industrial, acompanhada pelo estabelecimento e demanda sobre padrões de qualidade, segurança e meio ambiente (terceira geração), aumentando a dependência sobre a manutenção (Moubray, 2000; Kardec, 2001; Siqueira, 2005).

Neste contexto, a necessidade de certificar a linha de aeronaves Boeing 747 às exigências das autoridades aeronáuticas americanas (FAA) levou à formação de uma força-tarefa (MSG-1), em 1968, para rever se os métodos existentes de manutenção eram aplicáveis a essas aeronaves (Siqueira, 2005) e estabelecer um procedimento adequado de manutenção (Rigoni, 2009). Tratava-se de uma aeronave com alto nível

de automação, para o qual o uso de metodologias tradicionais de segunda geração poderia inviabilizar o cumprimento das exigências.

O relatório emitido primeiro grupo (MSG-1) introduziu os conceitos de MCC, aplicando-a na certificação deste modelo para operação comercial, em 1969. O mesmo foi seguido pelo MSG-2, em 1970, cujo relatório generalizou os procedimentos específicos do MSG-1, permitindo a aplicação em demais aeronaves. Na sequência, este grupo foi sucedido pelo MSG-3, cujo estudo conduzido por Nowlan e Heap (1978, apud Siqueira, 2005) foi caracterizado pela determinação de normas e procedimentos de manutenção a partir dos relatórios anteriores, acompanhada por análise estatística (Rigoni, 2009) e a visão conjunta de fabricantes, operadores e autoridades regulatórias da aviação (Siqueira, 2009). Este relatório se tornou um marco na manutenção aplicada à aviação, recebendo dos autores a denominação de Reliability Centered Maintenance (RCM), cujas conclusões são que revisões programadas têm pouco efeito na confiabilidade de um equipamento complexo, condicionado à existência de modos de falha dominantes, e que não há manutenção programada efetiva para muitos equipamentos.

Posteriormente, a metodologia se disseminou rapidamente para outras aplicações e modelos de negócio, sendo conduzida paralelamente sua normalização, ao passo que metodologias diferentes também eram propostas. A aplicação da MCC foi seguida pelas forças armadas americanas: a Marinha, em 1972 e 1981, e a força aérea, em 1974, assim como pela indústria elétrica e nuclear, a partir de 1985 (Siqueira, 2005). Desde então, tem sido adotada por diferentes setores produtivos, desde a indústria petroquímica até hospitais e informática. Diversas modificações na metodologia foram propostas, a exemplo das modificações propostas por Moubrey (Siqueira, 2005) que introduziram questões ambientais, levando à RCM2, o que levou à necessidade de normalização, iniciada com a publicação da IEC 60300-3-11, em 1999. Essa foi seguida pela SAE JA1011 e JA1012, em 1995 e 2002. Essas normas, baseadas no relatório ATA MSG-3, propuseram o desenvolvimento de programa de manutenção preventiva inicial, assim como critérios mínimos para classificar processo como RCM.

2.2.2 Objetivos

Os objetivos da MCC podem ser resumidos em “determinar os requisitos de manutenção para modos de falha que possam causar falhas funcionais de qualquer itens físicos em seu ambiente operacional” (SAE, 1999, apud Siqueira, 2005). Esse objetivo consiste na preservação das funções dos equipamentos, na restauração da confiabilidade e segurança pós deterioração, na otimização da disponibilidade e minimização do custo do ciclo de vida, tal como a realização exclusiva das atividades necessárias, conforme os modos, efeitos e consequência da falha, e a documentação das razões para a seleção dessas atividades (Siqueira, 2005).

Moubray (2000) apresenta resultados atingíveis com a implementação da MCC, resumida na “manutenção com maior efetividade de custo, mais harmoniosa e muito mais bem sucedida”. Os mesmos podem ser descritos como maior segurança e proteção ambiental, melhor desempenho operacional, maior efetividade do custo de manutenção, vida útil mais longa, banco de dados de manutenção completo, maior motivação das pessoas e melhor trabalho em equipe.

2.2.3 Metodologia da Manutenção Centrada em Confiabilidade

A metodologia da MCC é estruturada de forma a responder sete questões básicas (Siqueira, 2005), acrescida de uma questão adicional:

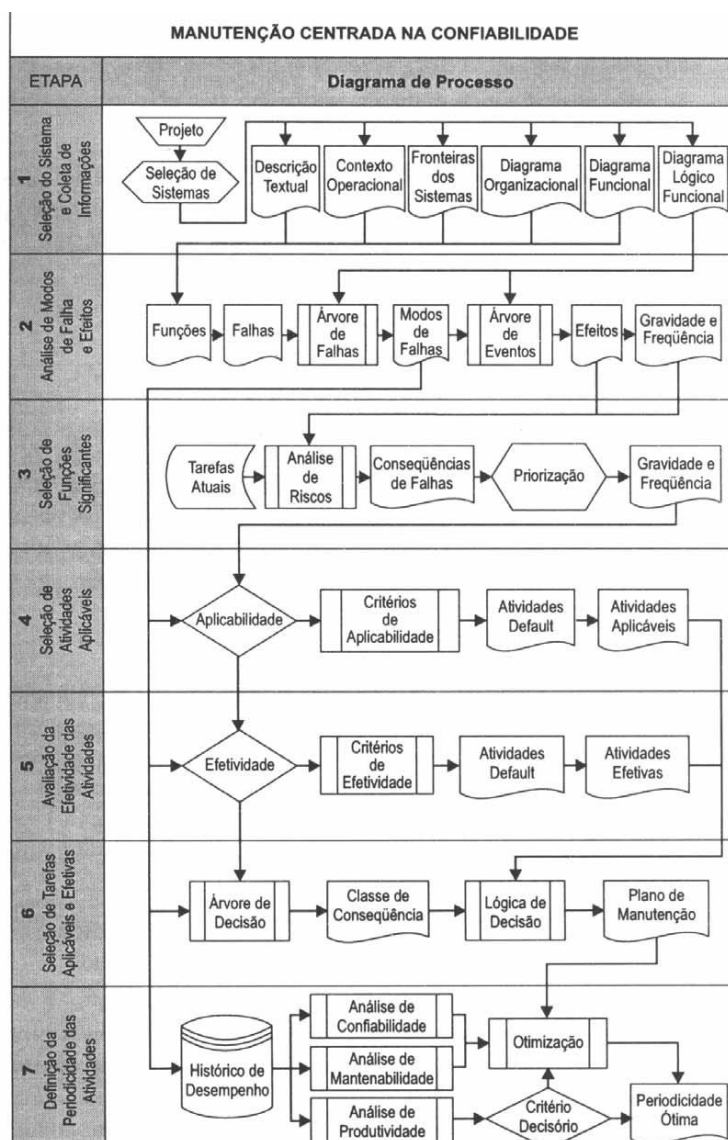
1. Quais as funções a preservar?
2. Quais as falhas funcionais?
3. Quais os modos de falha?
4. Quais os efeitos de falha?
5. Quais as consequências das falhas?
6. Quais as tarefas aplicáveis e efetivas?
7. Quais as alternativas restantes?
8. Quais as frequências ideais das tarefas?

Para responder a essas perguntas, a metodologia da MCC é dividida em sete etapas, conforme apresentado por Siqueira (2005), listadas e sequenciadas conforme abaixo.

1. Seleção do Sistema e Coleta de Informações;
2. Análise de Modos de Falhas e Efeitos;
3. Seleção de Funções Significantes;
4. Seleção de Atividades Aplicáveis;
5. Avaliação da Efetividade das Atividades;
6. Seleção das Atividades Aplicáveis e Efetivas;
7. Definição da Periodicidade das Atividades.

Essas etapas são permeadas por coleta de dados, análise, documentação de resultados e interface entre si, com o auxílio de ferramentas de modelagem ou análise de sistemas, cada uma contribuindo com a confecção, no final, do plano de manutenção e a periodicidade ótima das atividades de manutenção descritas no plano. O processo de execução dessas etapas da MCC é ilustrado na Figura 16.

Figura 16 - Diagrama de processo para MCC.



Fonte: Siqueira (2005).

2.2.3.1 Seleção do Sistema e Coleta de Informações

A primeira etapa consiste na identificação e documentação do sistema sob análise e suas funções desempenhadas, promovendo um entendimento do seu funcionamento, necessário para as etapas posteriores. Tendo como dados de entrada o projeto de engenharia, realiza-se, primeiramente, a seleção e identificação do sistema e de seu contexto operacional, seguida pela definição e classificação das funções. Esse processo resulta na documentação do sistema e suas funções, cujo principal resultado a ser utilizado na etapa seguinte é a relação de funções do sistema, documentada na forma do Formulário de Seleção do Sistema e Coleta de Informações

(Figura 17) e o diagrama lógico funcional, conforme demonstrado no diagrama da Figura 16.

A partir dos dados de entrada, o sistema a ser analisado é selecionado a partir da avaliação de sua importância para a disponibilidade, segurança e economia do processo no qual está encaixado. Isso pode ser realizado por métodos qualitativos e quantitativos, cuja documentação também é recomendada. Uma vez selecionado o sistema, deve ser realizada sua identificação, a qual pode ser facilitada por regras como identificar circuitos fechados e abertos, agrupar componentes por especialidades e definir fronteiras exatas entre os sistemas.

Essa identificação pode ser auxiliada pelo emprego de ferramentas como descrição textual, descrição de ferramentas e diagramas (esquemático, de blocos, organizacional, funcional e lógico funcional), sendo o diagrama lógico funcional, conforme diagrama da Figura 16, recomendado para o levantamento da árvore de falhas e efeitos de falhas nas respectivas etapas. Por fim, deve ser realizada a identificação e documentação do contexto operacional no qual está inserido o sistema, uma vez que condições ambientais ou do processo podem definir ou modificar as funções desejadas para o sistema (Siqueira, 2005). Para isso, podem ser avaliados aspectos como impacto nos negócios, características do processo operacional como tipo, local e intensidade, padrões de qualidade, ambientais e de segurança, redundâncias, estoques intermediários e sobressalentes.

Definido o sistema, é realizada a definição e classificação das funções. Uma função é definida como “o que o usuário deseja que o item ou sistema faça dentro de um padrão de performance especificado” (Siqueira, 2005). A definição das funções é necessária à identificação das atividades recomendadas de manutenção. Para isso, deve-se realizar a identificação de todas as funções do sistema, priorizando sua importância para segurança, meio ambiente, operação, economia, instrumentação e controle. Ademais, a identificação das funções deve conter sua finalidade e objetivo, incluindo, se possível, os limites aceitáveis de qualidade (combinação verbo-objeto-limites).

A classificação das funções, por sua vez, consiste na identificação e atribuição de importância de uma função de seus objetivos e sua posição no sistema. Essa classificação consiste em quatro categorias (Siqueira, 2005):

- Principal (Gera o objetivo principal do sistema)
- Secundária (Acrescenta objetivos ao sistema)
- Auxiliar (Modifica objetivos do sistema)
- Supérflua (Introduz objetivos desnecessários)

Essa etapa é concluída com o registro de todas as funções de um sistema em formulário específico. Na metodologia proposta por Siqueira (2005), o mesmo é denominado Formulário de Seleção do Sistema e Coleta de Informações, ilustrado na Figura 17.

Figura 17 - Seleção de Sistema e Coleta de Informações.

Seleção do Sistema e Coleta de Informações										
	Unidade	1	Código	2	Facilitador	3	Data	4	Folha	5
	Item	6	Código	7	Auditor	8	Data	9	De	10
Nº	Subsistema		Nº	Função		Nº	Componente			
11	12		13	14		15	16			

Fonte: Siqueira (2005).

Na Figura 17, os campos de 1 a 10 devem ser preenchidos com as denominações mais próximas das empregadas pela área de produção ou projeto original. Esses campos são comuns aos demais formulários apresentados neste trabalho para aplicação da metodologia. Os campos 1 e 6 devem ser preenchidos com as denominações da unidade ou instalação e item ou sistema sob análise, respectivamente, enquanto os campos 2 e 7 devem receber os respectivos códigos da unidade e sistema. Os campos 3 e 8 se referem aos nomes do facilitador, que conduz a análise, e do auditor, ou quem aprova o resultado, com os campos 4 e 9 destinados ao preenchimento das datas de conclusão da análise e aprovação do resultado, respectivamente. Os campos 5 e 10 se referem, respectivamente, ao número da folha do formulário e ao número total de páginas do formulário.

Os campos 11 a 16 devem ser preenchidos com os resultados da primeira etapa. Os campos 11 e 12 são destinados à numeração sequencial dos subsistemas e suas denominações, respectivamente, enquanto os campos 13 e 14 recebem a numeração

sequencial das funções desempenhadas por cada subsistema referenciado e sua descrição. Os campos 15 e 16, por fim, recebem os códigos de referência de cada componente que participa de cada função e seu nome, respectivamente.

2.2.3.2 Análise de modos de falha e efeitos

A segunda etapa consiste na identificação, avaliação e documentação das funções e suas falhas quanto a seus modos e efeitos. Uma vez que a manutenção tem por objetivo prevenir e corrigir falhas, é necessário compreender como os sistemas falham (Siqueira, 2005). Partindo das funções identificadas na primeira etapa e do diagrama lógico funcional do sistema, suportada por outros dados externos, é realizada a identificação das falhas, seguida pela identificação dos respectivos modos de falha e pela identificação e classificação dos efeitos das falhas, resultando na documentação desses resultados pelo preenchimento do formulário de Análise de Modos e Efeitos de Falha (FMEA), conforme Figura 18. As principais saídas desse processo são a relação de modos, efeitos e nível de gravidade e frequência de falhas de um sistema.

Figura 18 - Análise de Modos de Falha e Efeitos.

Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade										
	Unidade	1	Código	2	Facilitador	3	Data	4	Folha	5
	Item	6	Código	7	Auditor	8	Data	9	De	10
FU	Função	FA	Falha	MO	Modo	Efeito	C			
11	12	13	14	15	16	17	18			

Fonte: Siqueira (2005).

Além das saídas da etapa anterior, é recomendada a aquisição de dados que permitam o melhor entendimento das falhas. Algumas fontes recomendadas são uma base histórica de falha, desenhos e especificações de projeto, normas, estudos de FMEA de projetistas e OEMs, assim como relatos e experiência de projetistas, operadores e mantenedores.

A primeira parte dessa etapa consiste na identificação das falhas. Uma falha consiste na perda parcial ou total da capacidade de desempenho de uma função requerida de um item (Siqueira, 2005) e podem ser classificadas nas categorias abaixo:

- Falha funcional: item não desempenha função específica dentro dos limites, cuja manifestação pode classificar a falha como:
 - Falha evidente: Detectada em trabalho normal pelo time de operação;
 - Falha oculta: Não detectada em trabalho normal pelo time de operação;
 - Falha múltipla: Combinação de falha oculta com falha/evento evidente;
- Falha Potencial: condição passível de identificação e medição que indica falha funcional pendente ou em evolução.

As falhas podem ser identificadas e descritas a partir das funções desempenhadas pelo sistema, porém deve ser considerada também a interação dessas funções com especialistas e outras partes dependentes (do supervisor de segurança ao gerente de produção), para definir a definição de falha a adotar. A definição de falha deve estar sempre associada a um estado de incapacidade de desempenho de uma função dentro dos limites de desempenho desejados. Recomenda-se a utilização de ferramentas de diagramação, a exemplo do diagrama lógico funcional e, conseqüentemente, a árvore de falha. Por fim, identificadas as falhas das funções, é realizada sua documentação no formulário de FMEA preenchendo-se os campos 11, 12, 13 e 14 referentes ao número sequencial da função do sistema e identificação da função, o número sequencial da falha da função e o nome da falha da função sob análise, Os campos 11 e 13 são referenciados em outros formulários, cabendo também ao campo 13 reiniciar a contagem em cada nova função.

Identificadas as falhas, devem ser levantados os modos de falha. Modo de falha pode ser definido como evento ou condição física que causa falha funcional ou estado de falha de um item para uma função requerida (Siqueira, 2005), descrevendo o que está errado na funcionalidade do item. Os modos de falha devem ser considerados e registrados conforme sua chance de ocorrência e deve ser detalhado o suficiente para

selecionar uma política de manutenção, sendo recomendada sua descrição pela combinação do componente e um adjetivo que identifique seu modo de falha.

A geração dos modos de falha está associada a diferentes mecanismos de falha que, por sua vez, causam diferentes comportamentos dos equipamentos. Os modos de falha podem estar atrelados a quatro mecanismos típicos de falha (Siqueira, 2005):

- Desgaste Progressivo: perda gradativa de capacidade funcional até um limite de desempenho;
- Falha intempestiva: perda súbita e total de capacidade funcional ao longo da vida útil;
- Desgaste por fadiga: redução gradual do número de ciclos até a falha em máquinas de regime de operação alternativo ou cíclico;
- Mortalidade infantil: perda súbita da capacidade funcional no início da vida do item.

Uma das contribuições mais significativas da força-tarefa que originou a MCC foi a constatação de que nem todos os componentes de sistemas falham por desgaste. Isso que justifica e requer a diversificação das tarefas de manutenção, baseadas no mecanismo e, por sua vez, nos modos de falha das funções.

Essa parte da segunda etapa é finalizada com o registro dos modos de falha nos campos 15 e 16 do formulário FMEA. Nos campos 15 e 16 são preenchidos, respectivamente, a numeração sequencial dos possíveis modos de falha e sua denominação, reiniciando a contagem para cada mudança de falha.

A última parte da etapa de análise consiste na pesquisa dos efeitos de falhas, ou seja, na investigação do impacto dos modos de falha nos objetivos e funcionalidades do sistema e instalação. Efeito pode ser definido como “o que acontece quando um modo de falha se apresenta” (Siqueira, 2005), considerando o que pode ocorrer se nenhuma atividade de manutenção fosse realizada para atuar sobre a falha.

Os efeitos devem ser descritos de modo que seja suficiente a avaliação de suas consequências. É recomendada a avaliação de aspectos como evidência da falha, impacto na segurança, ambiental, operacional e econômico, assim como formas de

reparo e características compensatórias. Da mesma forma, o efeito pode ser descrito e escalonado em função do seu impacto a nível de função, sistema, instalação, ambiente e segurança. Para isso, é recomendada novamente a avaliação por diagramas, como diagramas organizacionais.

Identificados os efeitos, é realizada sua classificação em níveis de relevância e avaliação de risco e criticidade. Um dos objetivos disso é permitir filtrar modos de falha que produzem efeitos insignificantes, sem necessidade de ação preventiva. Essa classificação deve ser realizada através da avaliação de risco, que, por sua vez, deriva da classificação dos efeitos quanto à sua detectabilidade, frequência e severidade. Recomenda-se que essas avaliações sejam padronizadas dentro da organização.

A avaliação da detectabilidade pode ser realizada através de uma escala de cinco níveis, em função da atividade necessária para detectar a falha e do nível de informação disponível.

- 1.Fácil (detecção por procedimento operacional)
- 2.Razoável (detecção por inspeção operacional)
- 3.Difícil (detecção por ensaio funcional)
- 4.Muito difícil (detecção mediante desligamento)
- 5.Impossível (falha totalmente oculta)

A frequência, por sua vez, também pode ser avaliada por uma escala, desta vez, sugerida com seis níveis.

- 1.Inacreditável (ocorrência inesperada)
- 2.Improvável (ocorrência possível mas improvável)
- 3.Remoto (ocorrência esperada algumas vezes)
- 4.Ocasional (ocorrência possível por várias vezes)
- 5.Provável (ocorre com frequência)
- 6.Frequente (ocorrência contínua)

A severidade também pode ser classificada conforme escala:

- 1.Insignificante (dano ambiental, pessoal ou econômico inexistente)

2. Mínimo (dano ambiental ou econômico aceitável, dano pessoal insignificante)
3. Marginal (dano ambiental, pessoal ou econômico leve)
4. Crítico (dano ambiental significativo, pessoal grave ou econômico parcial)
5. Catastrófico (Dano ambiental grande, pessoal mortal ou econômico total)

A avaliação dos critérios acima pode ser associada a uma escala numérica, o que permite também a avaliação do risco. O risco é calculado pelo produto entre as notas atribuídas pelas escalas numéricas de detectabilidade, frequência e severidade, conforme a Equação 1, abaixo.

$$\text{Risco} = \text{Severidade} \times \text{Frequência} \times \text{Detectabilidade} \quad (1)$$

Os resultados desse cálculo, por sua vez, seguem para análise de aceitabilidade do risco via matriz de riscos, cujos níveis de aceitabilidade devem ser definidos em conjunto com o gestor da organização ou instalação. A avaliação de aceitabilidade de risco permitirá ao time identificar quais atitudes devem ser tomadas em função do risco e, por sua vez, quais modos de falha já podem ser dispensados das etapas posteriores da MCC. A matriz de risco consiste na definição do nível de aceitabilidade para valores, combinações ou níveis de risco esperados. Os níveis, por sua vez, podem ser estabelecidos em classes, conforme exemplificado abaixo (Siqueira, 2005):

- Intolerável: Inaceitável, deve ser eliminado;
- Indesejável: Impraticável reduzir risco, porém exige aprovação;
- Tolerável: Permite controle adicional, porém exige aprovação;
- Desprezível: Permite controle adicional e não exige aprovação.

A forma como será feita a classificação dos efeitos também deve ser documentada. Dessa forma, finaliza-se a identificação e classificação dos efeitos de falha com o preenchimento dos campos 17 e 18. No campo 17, deve ser descrito o efeito de falha conforme seu impacto na função, sistema e instalação, enquanto no campo 18 deve ser informada a classificação de criticidade do efeito através de um código numérico de severidade do risco, utilizando uma das escalas de severidade ou aceitabilidade do risco, finalizando assim a etapa de análise de modos e efeitos de falha. O formulário FMEA resultante, alimentado com os efeitos e criticidade dos

efeitos das falhas, será utilizado para avaliar as consequências das falhas na etapa posterior.

2.2.3.3 Seleção das funções significantes

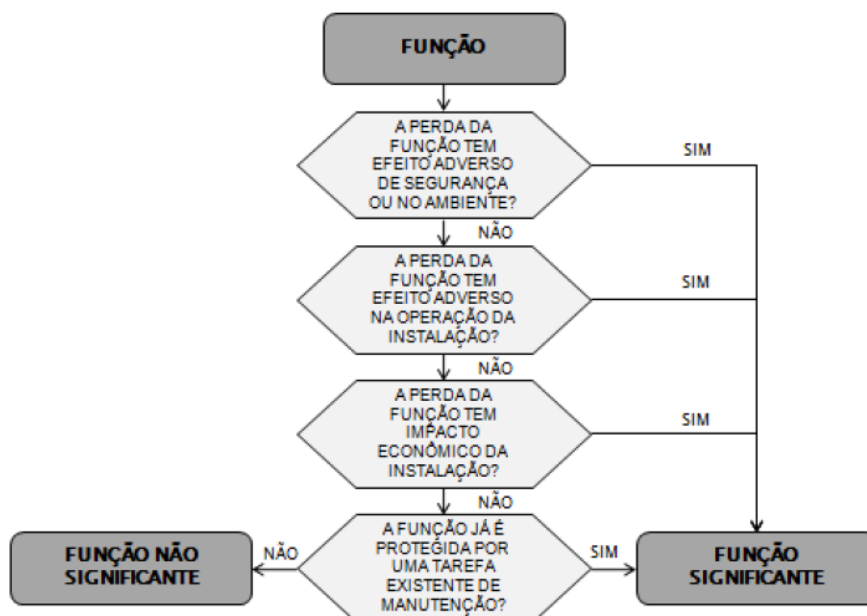
A etapa de seleção de funções significantes consiste na utilização de processos estruturados, em conjunto com as classificações de risco da etapa anterior, para selecionar quais funções serão submetidas às etapas posteriores. Da mesma forma, as consequências das falhas das funções selecionadas também são classificadas de forma a determinar as ações recomendadas para atuar nos modos de falha. A principal saída dessa etapa é a documentação dos modos de falha significantes no formulário de Árvore de Decisão, utilizado posteriormente para verificar as atividades aplicáveis a cada modo de falha na etapa seguinte.

A partir dos modos e efeitos de falha levantados na etapa anterior, são selecionadas as funções significantes. Uma função é considerada significante se sua falha puder causar efeito adverso no sistema principal, impactando das seguintes formas:

- Impactos ambientais e de segurança: ameaça à vida ou infração de lei ou padrão ambiental;
- Impactos econômicos: afetar a produção, qualidade do produto, eficiência do processo, satisfação dos clientes e depender do custo e frequência de falha
- Impactos operacionais: possuir apenas consequências operacionais, depender do custo e frequência de ocorrência da falha.

A escolha das funções significantes é realizada por meio de uma lógica simples de seleção, conforme Figura 19, apoiada pela classificação de criticidade determinada na etapa anterior, facilitando a identificação dos impactos.

Figura 19 - Lógica de seleção de funções significantes.



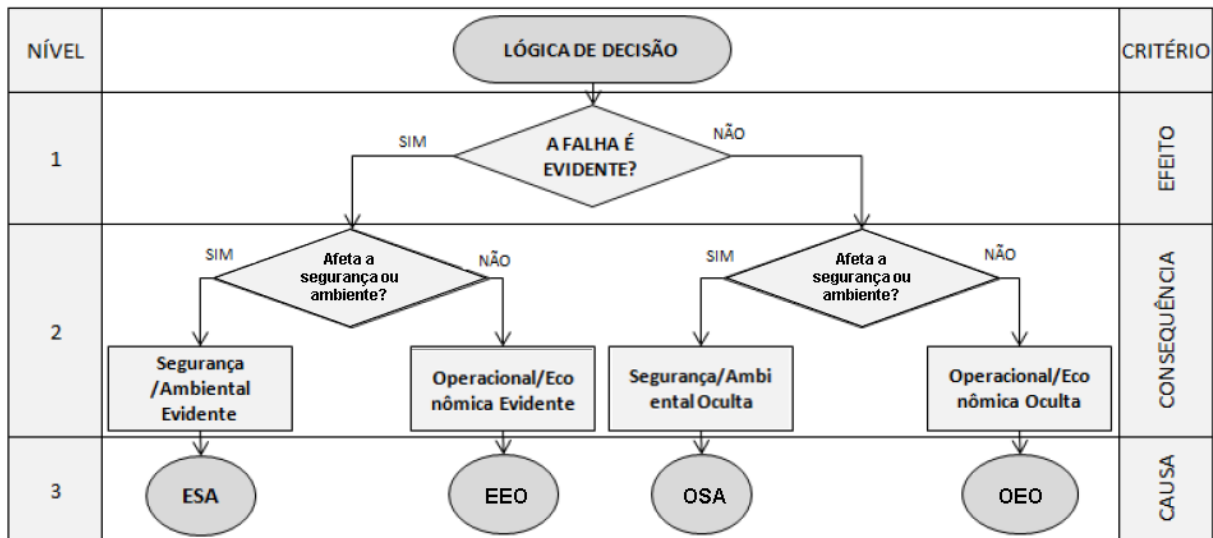
Fonte: Siqueira (2005).

Selecionadas as funções significantes, é realizada a classificação e caracterização dos modos de falha voltadas para a recomendação de ações. Essa classificação é realizada por meio de uma lógica estruturada, dividida em 3 níveis (Siqueira, 2005):

1. Avaliação dos modos de falha pela visibilidade dos efeitos produzidos;
2. Avaliação das consequências de falha sobre segurança, economia e operação da instalação;
3. Avaliação das causas de cada modo de falha para selecionar atividades de manutenção aplicáveis e efetivas

Esses 3 níveis são avaliados através de um diagrama de decisão, conforme a Figura 20.

Figura 20 - Diagrama de Decisão.



Fonte: Siqueira (2005).

Esta lógica consiste na realização de três questões básicas:

- A falha é evidente? Ela é evidente para o operador nas atividades normais?
- Se a falha é evidente, afeta a segurança/ambiente? Ela pode causar efeitos adversos na segurança operacional ou no meio ambiente?
- Se a falha é oculta, afeta a segurança/ambiente? Sua combinação com um segundo evento/falha pode ter efeito adverso na segurança e ambiental?

A utilização dessa lógica permite classificar os modos de falha em quatro categorias (Siqueira, 2005):

- ESA - Segurança/Ambiental Evidente;
- OSA - Segurança/Ambiental Oculta;
- EEO - Operacional/Econômico Evidente;
- OEO - Operacional/Econômico Oculta.

Por fim, é feito o registro das decisões tomadas nesta etapa no Formulário de Árvore de Decisão, conforme Figura 21.

Figura 21 - Árvore de Decisão.

Árvore de Decisão										
	Unidade	1	Código	2	Facilitador	3	Data	4	Folha	5
	Item	6	Código	7	Auditor	8	Data	9	De	10
FU	FA	MO	Modo de Falha	Visível e Evidente	Segurança Ambiental	Econômico Operacional	Categoria		18	
11	12	13	14	15	16	17				

Fonte: Siqueira (2005).

Os campos 1 a 10 devem ser preenchidos conforme os demais formulários já apresentados. Nos campos 11, 12 e 13, são numerados sequencialmente as funções, falhas e modos de falha, respectivamente, respeitando as mesmas condições de preenchimento das demais planilhas. A contagem de falhas deve reiniciar a cada nova função e a contagem de modos deve reiniciar a cada nova falha. No campo 14, deve ser nomeado cada modo de falha selecionado para a árvore de decisão. Nos campos 15 a 17 devem ser transcritas as respostas de cada questão do diagrama de decisão (sim ou não), cabendo ao campo 18 preencher a categoria na qual se encaixa a falha (EEO, ESA, OEO ou OSA).

O preenchimento do formulário finaliza a terceira etapa.

2.2.3.4 Seleção de atividades aplicáveis

A quarta etapa consiste no levantamento das atividades que sejam tecnicamente aplicáveis para prevenir ou corrigir cada modo de falha ou amenizar suas consequências (Siqueira, 2005). Essa avaliação alimenta as etapas de avaliação de efetividade e seleção das atividades aplicáveis e efetivas.

De forma geral, a aplicabilidade de uma tarefa de manutenção está condicionada à garantia de prevenção de modos de falha, redução de taxa de deterioração, detecção da evolução das falhas e de falhas ocultas, suprir necessidades e consumíveis do processo ou reparar o item após a falha. As atividades de manutenção podem ser separadas em atividades programadas (sob intervalos definidos) e não-programadas (sob ocorrência de defeitos ou falhas funcionais).

As atividades programadas podem ser distribuídas em quatro classes (Siqueira, 2005):

- Atividades direcionadas por tempo: recomendadas para modos de falha com vida útil previsível, é possível antecipar o instante futuro da falha;
- Atividades direcionadas por condição: é possível detectar a evolução da falha, adequadas para modos de falha observáveis e evolutivos;
- Atividades direcionadas por falhas: consistem em descobrir e evidenciar modos de falha ocultos, assim como prevenir evolução para falhas múltiplas;
- Atividades direcionadas para operação: consistem em suprir o processo de materiais consumíveis e preservar o ambiente, executáveis pelos próprios operadores.

As atividades não-programadas, por sua vez, podem ser classificadas em:

- Atividades de correção de defeitos: realizadas sob identificação de deterioração funcional, visando corrigir defeito antes da evolução para falha;
- Atividades de correção de falhas: realizadas após ocorrência de falha, com o objetivo de restaurar, substituir ou reparar a capacidade funcional de um item.

As tarefas de manutenção avaliadas na MCC são listadas abaixo:

- Substituição Preventiva (SP)
- Restauração Preditiva (RP)
- Inspeção Preventiva (IP)
- Inspeção Funcional (IF)
- Serviço Operacional (SO)
- Manutenção Corretiva (MC)
- Reparo Funcional (RF)
- Mudança de Projeto
- Manutenção Combinada

A Substituição Preventiva previne falhas funcionais pela reposição programada de um item em operação, recomendada para equipamentos com vida útil predefinida. A sua aplicabilidade está condicionada aos critérios abaixo:

- Desgaste dependente do tempo em operação
- Condição original do item garantida mediante troca
- Existência de vida útil
- Sobrevivência do item a esta idade
- Exigências de segurança que requerem troca
- Falta de recursos para restauração
- Menor custo em relação à restauração

A restauração preventiva, por sua vez, busca a prevenção de falhas funcionais pela correção do desgaste de um item em operação de forma programada. Os critérios que definem sua aplicabilidade são:

- Desgaste dependente do tempo em operação
- Existência de vida útil
- Sobrevivência do item a esta idade
- A prevenção ou retardo da falha deve ser garantida.

A inspeção preditiva consiste na detecção e correção de uma falha potencial antes da evolução de uma falha funcional por meio da verificação programada. Sua aplicabilidade, por sua vez, está condicionada aos critérios a seguir:

- Existência de parâmetro correlacionado com a evolução da falha e de valor limite que identifique falha potencial;
- Existência de técnica de medição sem necessidade de desmontagem do processo;
- Consistência de intervalo entre falha potencial e falha funcional
- Intervalo entre detecção de falha potencial e falha funcional suficiente para ação de prevenção

- Praticidade de monitoramento a intervalos inferiores ao intervalo entre falhas potencial e funcional

A inspeção funcional tem por objetivo descobrir falhas funcionais já ocorridas, porém invisíveis aos operadores, por meio de verificações programadas do estado funcional do item, testando sua funcionalidade. Os critérios de aplicabilidade para esta atividade são resumidos a seguir.

- Capacidade de revelar falhas latentes
- Falha oculta sob operação normal do equipamento
- Manifestação da falha após ocorrência de outra falha ou evento
- Possibilidade de exercitar o funcionamento do item de forma não-destrutiva

O serviço operacional, por sua vez, consiste em controlar a incidência de falhas pelo ressuprimento de materiais consumíveis conforme operação do equipamento e pela conservação e limpeza do ambiente. Os critérios de aplicabilidade aplicados a esta atividade são descritos a seguir.

- Redução da taxa de deterioração funcional
- Consumível deve ser usado na operação normal e atender necessidade de consumo do processo
- Lubrificação manual definida por projeto, com tipo de lubrificante e intervalo conforme recomendação do fabricante

A manutenção corretiva consiste na correção de defeitos ou falhas potenciais detectadas, antes da evolução para falha funcional, via restauração não-programada da capacidade funcional de um item.

O reparo funcional e mudança de projeto são tipos de atividade Default. Esse tipo de atividade é recomendado apenas quando não for aplicável e efetiva nenhuma atividade preventiva.

O reparo funcional, por sua vez, visa reparar falhas funcionais já ocorridas pela recuperação não programada da capacidade funcional de um item. Sua aplicabilidade está condicionada aos critérios a seguir.

- Inviabilidade técnica e econômica de atividades do tipo IP, IF, RP ou SP

- Baixa prioridade do equipamento
- Inexistência de impactos de segurança
- Relação custo-benefício favorável

A mudança de projeto, por sua vez, consiste em qualquer atividade que altere especificações funcionais do item, aplicável conforme os critérios a seguir.

- Inviabilidade técnica e econômica de atividades do tipo IP, IF, RP ou SP
- Alta prioridade do equipamento
- Impactos de segurança existentes
- Relação custo-benefício favorável
- Falta de recursos para Restauração ou Substituição Preventiva

2.2.3.5 Avaliação da efetividade das tarefas

A quinta etapa consiste no levantamento das atividades que sejam efetivas para reduzir consequências de falha a um nível aceitável (Siqueira, 2005). Essa avaliação alimenta a etapa de seleção das atividades aplicáveis e efetivas.

A efetividade de uma tarefa de manutenção está condicionada à garantia de aplicabilidade técnica, viabilidade com os recursos disponíveis e a um intervalo razoável, assim como da entrega dos resultados esperados. Para isso, as atividades de manutenção são avaliadas sob critérios apresentados a seguir.

O serviço operacional deve atender a requisitos de projeto, ser possível de execução, com frequência compatível à disponibilidade operacional e suficiente para atender a padrões de higiene e conservação ambientais aplicáveis à instalação. A inspeção preditiva, por sua vez, depende de ser executável em intervalos tais que permitam eliminar a falha antes que ocorra e o intervalo entre inspeções também tem que ser inferior ao intervalo entre a detecção da falha potencial e a falha funcional.

A restauração preventiva e a substituição preventiva serão efetivas se ocorrerem antes do início do período de desgaste. Esta, por outro lado, precisa também ser tecnicamente aplicável economicamente mais vantajosa em relação à restauração. Para a inspeção funcional, se uma falha múltipla afetar a segurança, o intervalo de

inspeção deve reduzir a probabilidade de falha múltipla a um nível aceitável; caso contrário, deve ser avaliado o melhor resultado operacional / econômico possível para esse intervalo. Atividades Default, como mudança de projeto e reparo funcional, são cabíveis quando uma ou mais tarefas preventivas não sejam encontradas. O reparo, em especial, também deve ser aceitável quanto à segurança e preservação do ambiente.

2.2.3.6 Seleção das atividades aplicáveis e efetivas

A sexta etapa consiste na utilização de processo estruturado e dos dados levantados na árvore de decisão para encontrar as melhores tarefas, considerando resultados do processo, impactos operacionais, segurança física e impactos ambientais (Siqueira, 2005). Os resultados dessa avaliação alimentam o formulário de análise de decisão e, por fim, o plano de manutenção.

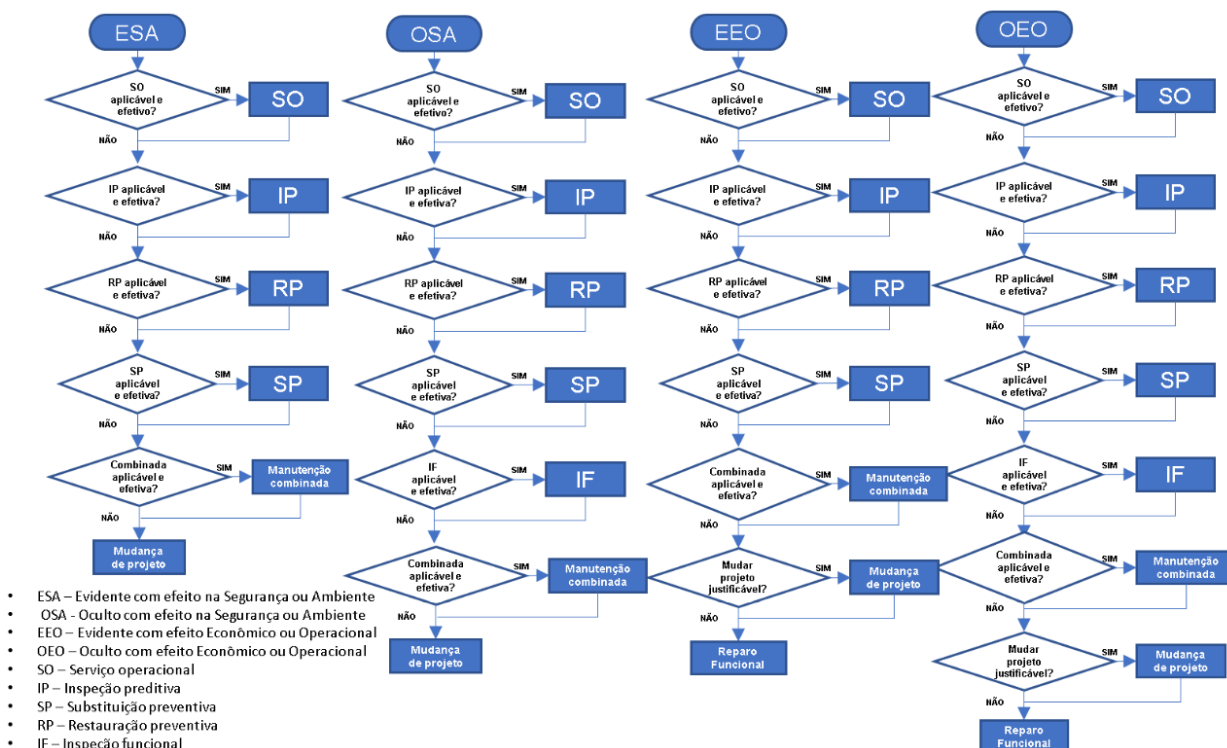
As opções disponíveis de atividades de manutenção incluem executar uma tarefa de manutenção programada ou uma combinação de tarefas, aguardar a ocorrência do modo de falha ou executar uma outra ação do tipo Default. Com relação às atividades programadas, há uma ordem de preferência:

1. Serviço Operacional (SO)
2. Inspeção Preditiva (IP)
3. Restauração Preventiva (RP)
4. Substituição Preventiva (SP)
5. Inspeção Funcional (IF)

A partir das consequências avaliadas para os modos de falha na terceira etapa, será respondida uma série de questões objetivas para escolher a atividade de manutenção.

As questões realizadas para cada uma das quatro categorias de consequências são apresentadas na Figura 22.

Figura 22 - Lógica de Decisão.



Fonte: Adaptada de Siqueira (2005).

O produto dessa lógica de decisão é uma lista de tarefas de manutenção selecionadas para os itens avaliados. As decisões tomadas e as tarefas selecionadas devem ser registradas no formulário de análise de decisão, conforme Figura 23.

Figura 23 - Formulário de Análise de Decisão.

Análise de Decisão														
	Unidade	1	Código	2	Facilitador	3	Data	4	Folha	5				
	Item	6	Código	7	Auditor	8	Data	9	De	10				
Referência			Consequência	Questões							Tarefa proposta	Intervalo Inicial	Realizado Por	
FU	FA	MO		1	2	3	4	5	6	7				
11			12	13								14	15	16

Fonte: Siqueira (2005).

Neste formulário, os campos 1 a 10 são similares para todos os formulários da MCC. Nos campos 11, pertencentes ao grupo “Referência”, devem ser transcritos os números de referência de função, falha e modo de falha, provenientes do formulário

FMEA. O campo 12 recebe a categoria de consequência (ESA, EEO, OSA ou OEO). Nos campos 13, referentes ao grupo “Questões”, devem constar as respostas das sete questões da lógica de seleção MCC (sim ou não). Os campos 14, 15 e 16 consistem na descrição da tarefa aplicável e efetiva recomendada, o intervalo inicial proposto e a equipe responsável, respectivamente.

Esta etapa é concluída com o preenchimento do plano de manutenção, conforme Figura 24, concluindo a etapa qualitativa da MCC. Na sequência, é realizada a etapa de definição da periodicidade das atividades de manutenção.

Figura 24 - Plano de Manutenção.

Análise de Decisão																																		
	Unidade	1	Código	2	Facilitador	3	Data	4	Folha	5																								
	Item	6	Código	7	Auditor	8	Data	9	De	10																								
Função	Falha	Componente	Codificação											Análise de decisão																				
			Unidade	Sistema	Componente	Função	Falha	Modo de falha	Modo de falha	Efeito de falha	Criticidade	Visível Evidente	Segurança/Ambiente	Operação/Economia	Consequência	Serviço operacional	Inspeção Preditiva	Restauração Preventiva	Substituição preventiva	Inspeção funcional	Manutenção combinada	Mudança de Projeto	Atividade	Periodicidade										
11	12	13	14																															

Fonte: Siqueira (2005).

O plano de manutenção consiste na documentação de todas as etapas da MCC. Os campos 11, 12 e 13 consistem na descrição da função, da falha e do componente envolvido, respectivamente. No campo 14 (colunas do grupo “Codificação”), são transcritas as referências correspondentes ao formulário FMEA. Os Campos 15, 16 e 17, por sua vez, são as descrições de modo e efeito de falha, assim como a classificação de criticidade, respectivamente. Os campos 18 a 28 são os resultados das questões das lógicas de seleção e decisão de MCC, assim como as categorias encontradas da mesma maneira em formulários anteriores. Nos campos 29 e 30, por fim, devem constar a tarefa aplicável e efetiva recomendada para cada modo de falha, assim como a periodicidade recomendada da atividade.

2.2.3.7 Definição da periodicidade das atividades

Nesta última etapa, é definida a frequência de execução das atividades selecionadas no plano de manutenção. As normas reconhecem e recomendam o uso de métodos estatísticos na definição de periodicidade quando os dados necessários estiverem disponíveis. Por outro lado, como não há definição de modelos por normas, é requerido apenas que o método escolhido seja documentado (Siqueira, 2005) e aceito pela gestão da instalação. Em último caso, o intervalo deve ser definido a partir dos dados disponíveis, pelo consenso ou práticas geralmente aceitas de engenharia.

Para tarefas de manutenção preventiva, quando são conhecidos os dados sobre falhas de um componente e sua duração até a falha, assim como os custos de atividades preventivas e reparos, é possível determinar o intervalo de manutenção através da minimização do custo de manutenção por tempo (Nelson, 2005, apud Gaio, 2016), descrito pela Equação 2:

$$C_{tm}(t) = \frac{C_{mp} \cdot R(t) + C_{mc} \cdot F(t)}{\int_0^t R(s) ds} \quad (2)$$

Onde C_{tm} representa o custo total de manutenção de um componente por intervalo de intervenção dividido pelo tempo médio até a falha (Barringer, 2008)(ReliaWiki.org, 2017), C_{mc} é o custo do seu reparo e C_{mp} é o custo da manutenção preventiva. Os termos $R(t)$ e $F(t)$ se referem à confiabilidade e à probabilidade acumulada de falha, respectivamente. Quanto menor o intervalo de manutenção, maior a confiabilidade e, portanto, são maiores os custos com manutenção preventiva. Por outro lado, quanto maior esse intervalo, maior serão a probabilidade de falha e os custos dos reparos. Cabe ressaltar que a aplicabilidade dessa equação depende do modo de falha do componente atender duas condições (ReliaWiki.org, 2017):

- Taxa de falha crescente (modos associados ao desgaste ou fadiga)
- Custos de manutenção preventiva muito menores do que os custos de reparo

O comportamento das falhas pode ser modelado por funções de confiabilidade. As funções de confiabilidade, por sua vez, podem ser levantadas pela análise estatística das falhas, auxiliadas por métodos como a distribuição de Weibull (Lafraia, 2001; Siqueira, 2005). A distribuição de Weibull tem sido bastante empregada em

análises de confiabilidade em virtude de sua flexibilidade, permitindo modelar diversos tipos de fenômeno, mecanismos de falha, assim como pequenas amostras de dados (Gaio, 2016) (Mayne, 2014). A probabilidade acumulada de falha, a confiabilidade e a taxa de falha $\lambda(t)$ podem ser modeladas pela distribuição de Weibull conforme Equações 3 a 5 (Lafraia, 2001), a seguir:

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (3)$$

$$R(t) = e^{-\left(\frac{t}{\eta}\right)^\beta} \quad (4)$$

$$\lambda(t) = \frac{\beta}{\eta} \left(\frac{t}{\eta}\right)^{\beta-1} \quad (5)$$

Onde os coeficientes β e η são parâmetros de escala e de forma, que permitem estimar os mecanismos de falha a partir do histórico de falha do componente. O coeficiente β é um parâmetro de forma da função, que permite identificar qual mecanismo de falha é predominante em um modo de falha:

- Se $\beta < 1$, o equipamento pode estar sujeito à mortalidade infantil
- Se $\beta \approx 1$, o equipamento sofre de falhas aleatórias
- Se $\beta > 1$, as falhas do equipamento estão relacionadas ao desgaste

O coeficiente η , por sua vez, é um parâmetro de escala, também conhecido com vida característica do componente. Representa o tempo no qual 63,2% dos componentes da amostra terão falhado. Cabe ressaltar que a Equação 2 é aplicável para intervalos inferiores ao tempo dado pelo coeficiente η (Barringer, 2008).

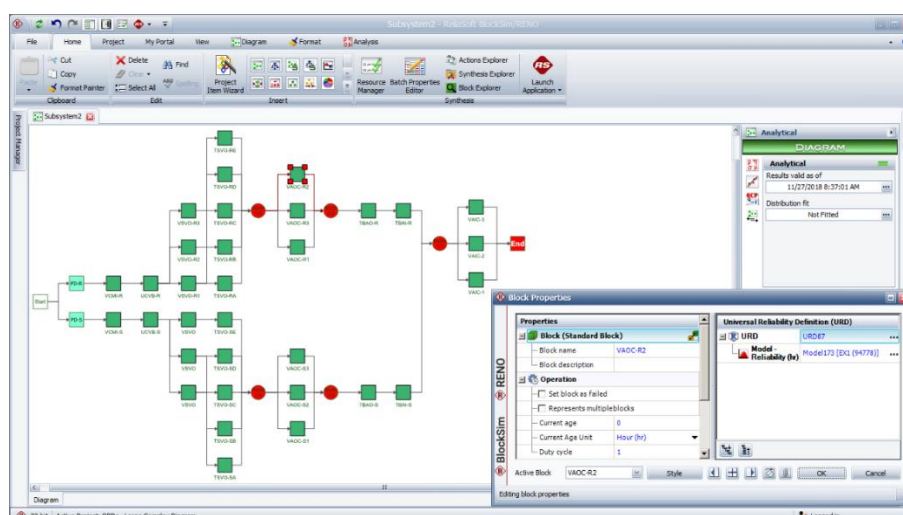
A modelagem de conjuntos de dados de falha utilizando distribuições estatísticas pode ser realizado em softwares de análise de confiabilidade como a ferramenta da *ReliaSoft Weibull++*. Além da obtenção dos parâmetros de confiabilidade da função, é avaliada a qualidade do ajuste à amostra, através do coeficiente de correlação de Pearson, ρ , cujos valores podem variar entre -1 e 1. Quanto mais próximo de 1 estiver o módulo de ρ , melhor a correlação dos dados e o ajuste pela distribuição escolhida, enquanto valores próximos a 0 sugerem ausência de correlação dos dados e de ajuste da distribuição (Weibull.com, 2007).

Esse método de cálculo do intervalo ótimo, apesar de simples, não deve ser utilizado de forma isolada (Lafraia, 2001), mas em conjunto com o custo de produção

no qual o equipamento está inserido. Recomenda-se para análises de custo mais acuradas e com perspectivas de longo prazo a avaliação do custo de ciclo de vida (LCC), metodologia que permite associar ao cálculo do custo todas as fases características da vida de máquinas/componentes (aquisição, operação, manutenção e descarte), assim como a variação dos valores monetários com o tempo (Mio Dal Pai, 2012).

As equações apresentadas são recomendadas para avaliação de confiabilidade a nível de componente, sendo possível, nestes casos mais simples, o cálculo por meio de planilhas eletrônicas. Ao aumentar a complexidade da análise, pela inclusão de mais componentes com relações de dependência para a análise a nível de sistemas, é necessário o emprego de ferramentas computacionais mais potentes e dedicadas à avaliação de casos mais complexos. Um exemplo de ferramenta utilizada para análise de confiabilidade e intervalos de manutenção é o *BlockSim*, software desenvolvido pela *ReliaSoft*. Por meio de diagramas de blocos de confiabilidade e análises de árvore de falha, combinados com cálculos analíticos e simulações de eventos, é possível modelar sistemas e processos complexos, permitindo levantar informações como otimização da confiabilidade, alocação de recursos e custo de ciclo de vida (ReliaSoft, 2019). A interface desse programa é apresentada na Figura 25.

Figura 25 - Interface do BlocksIm.



Fonte: ReliaSoft.

A revisão realizada para a metodologia de gestão de manutenção escolhida resultou na compreensão dos seus objetivos e etapas para obtenção do resultado

esperado para este trabalho. A metodologia MCC tem por objetivo garantir a preservação das funções requeridas dos sistemas nos respectivos contextos operacionais, através do cumprimento de sete etapas organizadas para o levantamento, análise, seleção e documentação das tarefas de manutenção mais recomendadas para os modos de falha característicos e mais críticos do sistema. O entendimento da metodologia esclareceu as atividades e os caminhos para levantamento, tratamento e organização das informações obtidas nas seções anteriores e ao longo do estudo de caso, com destaque para a análise FMEA e a classificação de funções, falhas e modos, necessárias à obtenção do plano de manutenção. Dessa forma, sua execução pode prover as informações necessárias à gestão eficiente da manutenção da frota de locomotivas para o subsistema em análise.

2.3 Trabalhos anteriores de MCC na operação ferroviária

A manutenção de equipamentos ferroviários e, principalmente, locomotivas, tem sido objeto de estudo cada vez mais frequentes em trabalhos relacionados à manutenção centrada em confiabilidade e análise de falha, dentro e fora do país.

Rezvanizani et. al. (2008) adaptaram a metodologia de MCC para a manutenção dos rodízios dos vagões de uma companhia ferroviária iraniana. O autor menciona algumas deficiências da estratégia de manutenção de vagões em vigência, realizada em intervalos definidos, como a falta de adaptações baseadas no desempenho entre diferentes vagões, falhas prematuras em vagões sob máxima capacidade e a baixa relação custo-benefício para vagões subutilizados. O autor também destaca, neste cenário, a necessidade da análise das condições operacionais específicas e as demandas de desempenho, recomendando a aplicação da MCC à parte da manutenção de vagões com mais impacto na oferta de serviços, como a manutenção dos rodízios, responsável por mais de 75% da retenção de vagões.

Souza (2008) analisou a gestão de manutenção de uma companhia ferroviária do centro-oeste brasileiro sugerindo a implementação da MCC na manutenção da frota de vagões, apresentando potenciais reduções de custo. O autor também destaca as limitações da manutenção preventiva na forma de elevação dos custos

operacionais, causados pela necessidade de providenciar mais ativos para suprir outros ativos retidos, principalmente sob momentos inoportunos e de forma desnecessária, assim como pelos diferentes contextos operacionais dos ativos. Segundo o autor, o desafio de migrar de uma manutenção baseada em intervenções corretivas e preventivas para uma baseada na condição de componentes depende da melhoria da rastreabilidade dos mesmos.

Gaede (2008) demonstrou a aplicação da árvore de falha no turbo alimentador do motor de locomotiva da fabricante GM como subsídio para a implementação da MCC. O autor apresenta características do motor diesel de dois tempos, equipado com turbo alimentador, e destaca a utilidade e viabilidade da árvore de falha, desde o entendimento de falhas até a elaboração de procedimentos operacionais. Silva et Al (2008) também demonstraram a aplicação da metodologia MCC na gestão da manutenção de locomotivas, desta vez destacando a potencial redução dos custos de manutenção do sistema de acionamento de freio de locomotiva. Os autores propõem, por meio da metodologia, reduzir os custos com manutenções preventivas através de manutenções corretivas e inspeções funcionais, que permitiriam economizar R\$ 600 mil por ano.

Mayne (2014) analisa a gestão da manutenção dos motores Diesel da fabricante GE das locomotivas tipo Evolution de uma companhia ferroviária australiana a partir da metodologia de MCC. O autor destaca a possível deficiência das recomendações feitas pelos fabricantes e OEMs sobre a manutenção dos motores para a ferrovia australiana. É levantada a diferença entre o contexto operacional da empresa analisada, marcada pelo clima quente e semi-árido australiano e longos períodos de sobrecarga do motor, e as condições dos maiores clientes da GE, empresas ferroviárias norte-americanas. Segundo o autor, atrasos na operação, o transporte de minério de ferro, podem causar custos da ordem de \$ 50 por minuto e por trem atrasado. Analisando os sistemas de combustível, conjunto de força e de admissão de ar, o autor avalia as atividades de manutenção atualmente empregadas em função dos modos de falha encontrados na operação, utilizando a metodologia MCC amparada por ferramentas de confiabilidade, como a distribuição de Weibull, e softwares próprios da empresa. O autor constata através da MCC que o programa de manutenção atualmente utilizado nos sistemas analisados se encontra otimizado,

sendo identificadas pequenas oportunidades de melhoria nas atividades de manutenção, como a adoção de ensaios de emissões acústicas e até mesmo aumentos no intervalo de troca de componentes como filtros de combustível.

Mayoyo (2015) levanta possíveis causas de falha nos motores Diesel das locomotivas de uma companhia ferroviária sul-africana, assim como entrevista funcionários envolvidos com a indústria de locomotivas a diesel sobre a percepção de atividades de manutenção da empresa. O autor destaca o contexto operacional sob análise, o transporte de carvão, cujos atrasos culminam em pagamento de restituições aos consumidores, assim como os valores gastos em reparo, restauração e/ou troca de motores. Após analisar e apresentar históricos de falhas em motores de locomotiva de outros países e da própria empresa, o autor destaca a relação entre as falhas nos motores a condições climáticas e problemas na execução dos planos de manutenção. Um dos casos levantados pelo autor o uso de cilindros de materiais incompatíveis com as especificações de projeto, ao que aponta falhas no alinhamento e preparo dos profissionais responsáveis pela aquisição dos materiais.

Li et al. (2015) propõem a análise de falhas de funções e interfaces de sistemas para modelar a confiabilidade de sistemas, demonstrando-a para o conjunto de força de um motor diesel-elétrico. Segundo os autores, falhas funcionais podem estar relacionadas a falhas físicas de componente assim como a falhas de interface entre sistemas. A falta de análise de falhas em interfaces pode estar relacionada à incidência elevada de defeitos não diagnosticados em sistemas complexos de engenharia. Os autores apresentam a análise de um conjunto de força mediante identificação de funções, interfaces, suas respectivas falhas e modos, organizadas em uma árvore de falhas.

Os trabalhos revisados nesta etapa esclareceram a aplicação da metodologia MCC e suas ferramentas para o objeto de estudo da operação ferroviária. Poucos trabalhos foram encontrados para o tipo de conjunto de força analisado neste estudo de caso. Ainda assim, as noções sobre priorização de sistemas e subsistemas, critérios para identificação de funções, falhas e modos, recomendações para análises de confiabilidade e resultados obtidos para os contextos identificados permitiram aplicar a metodologia de forma mais efetiva no trabalho desenvolvido. Tais trabalhos também proveram informações úteis à proposta do plano de manutenção, validando

e complementando as informações levantadas ao longo das etapas da metodologia MCC, como funções, falhas, modos, tarefas de manutenção e periodicidade de atividades.

A revisão da literatura supriu este trabalho com as noções, etapas, ferramentas e informações úteis à sua execução. A revisão da metodologia MCC permitiu estruturar a execução do trabalho em sete etapas, definir as informações necessárias ao plano de manutenção, ferramentas utilizadas para analisar e organizar os dados, assim como estabelecer os critérios de avaliação, classificação e seleção. As informações levantadas sobre o Motor Diesel e seus componentes auxiliaram, principalmente, na primeira etapa do estudo de caso, referente ao entendimento do sistema e levantamento das suas funções. Os trabalhos realizados no âmbito da operação ferroviária, por sua vez, colaboraram tanto com dados utilizados para a definição das funções, falhas, modos, efeitos e tarefas de manutenção, facilitaram o entendimento e aplicação das ferramentas propostas na metodologia, assim como tiveram papel importante na análise dos resultados obtidos neste trabalho.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Primeiramente, o problema que motivou este trabalho foi caracterizado mediante levantamento do contexto da empresa analisada e do interesse dos setores de confiabilidade e controle operacional, de onde foram identificados o interesse em tornar mais eficiente a gestão dos ativos, redução dos custos operacionais, revisão e melhoria das atividades de manutenção. A partir da revisão de trabalhos realizados na operação ferroviária e da consulta aos setores da empresa, foi definido como escopo do trabalho a proposta de um plano de manutenção construído a partir de uma metodologia de gestão da manutenção, mediante pesquisa exploratória com procedimento de estudo de caso.

Para a proposta de um plano de manutenção, podem ser utilizadas metodologias de gestão da manutenção, sendo as mais famosas a Manutenção Produtiva Total (TPM) e a Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC) (Silva et al, 2008). A metodologia MCC foi escolhida para este trabalho em função de sua crescente e bem-sucedida aplicação em diversos setores, a exemplo de trabalhos acadêmicos relacionados à operação ferroviária, como o proposto por Silva et al (2008) e Mayne (2014). Segundo Siqueira (2005), a metodologia busca a estratégia de manutenção que reduza ou evite consequências significantes de falha, priorizando atender ao processo ou aplicação, o que vai ao encontro da busca por eficiência operacional. O setor de confiabilidade da empresa também manifestou interesse na aplicação da metodologia, cujo meio recomendado para estudo foi a frota de locomotivas. A metodologia pode ser executada de forma estruturada (Siqueira, 2005), na forma de sete etapas, com resultados documentados em formulários.

A etapa 1, Seleção do sistema e coleta de informações, foi realizada em duas partes. A seleção do sistema foi iniciada pela coleta do histórico de avarias e reboques das locomotivas da empresa, na forma de uma planilha eletrônica. Desse histórico, foram filtrados os dados referentes ao período de 2018 ao primeiro quadrimestre de 2019. Na sequência, as classificações de sistema e subsistema/conjunto foram organizadas conforme padrão adotado pela empresa. Os registros referentes a avarias com reboque foram filtrados e analisados pelo emprego de tabelas dinâmicas e diagramas de Pareto, destacando os sistemas e subsistemas com mais avarias e reboques. O sistema e subsistema investigados no estudo de caso foram

selecionados em acordo com as recomendações feitas pela empresa analisada, resultando na escolha do Motor Diesel como sistema e Conjunto de Força como subsistema. A coleta de informações do sistema e subsistema, por sua vez, consistiu na consulta a trabalhos acadêmicos correlatos, manuais e procedimentos de manutenção, dos quais foram definidas as funções do subsistema conforme sugerido por Siqueira (2005), necessárias à execução da etapa 2.

A etapa 2, Análise de Modos de Falha e Efeitos, consistiu na realização de uma análise FMEA conforme a metodologia MCC proposta por Siqueira (2005). As falhas foram estabelecidas como a negação das funções conforme recomendado pela metodologia MCC. Os modos e efeitos de falha foram encontrados a partir de consultas a trabalhos correlatos e manuais de manutenção. As causas das falhas foram dispensadas da análise FMEA, uma vez que, segundo Siqueira (2005), as causas não são informação obrigatória para selecionar as tarefas de manutenção necessárias, não sendo, portanto, exigidas para a MCC. A criticidade dos modos e efeitos de falha foi avaliada de forma qualitativa, com base na percepção dos especialistas do setor, atribuindo notas de severidade, frequência e detecção conforme escalas propostas por Siqueira (2005), apresentadas no capítulo 2. A visualização e priorização dos modos mais críticos foi proposta adotando um critério de valor mínimo de criticidade suficiente para destacar os modos de falha mais severos, mais difíceis de detectar e mais frequentes. As funções, falhas e modos encontrados foram utilizados para a execução das demais etapas, a começar pela etapa 3.

A etapa 3, relativa à seleção das funções significantes, foi realizada em duas partes. Primeiramente, as funções levantadas na etapa 1 foram avaliadas em função de sua importância para a operação ferroviária, sendo selecionadas, em caso afirmativo, para a execução das próximas etapas. Em seguida, os modos e efeitos de falha das funções significantes foram classificados através de uma lógica de decisão conforme proposto por Siqueira (2005) quanto a sua manifestação para a operação e a consequência causada pelas falhas no contexto operacional, gerando um formulário de árvore de decisão. A partir deste ponto, as tarefas de manutenção mais apropriadas puderam ser selecionadas nas etapas 4, 5 e 6.

As etapas 4, 5 e 6, avaliação e seleção de atividades aplicáveis e efetivas, foram executadas em conjunto, conforme a seguir. As atividades de manutenção candidatas foram encontradas em manuais de manutenção, procedimentos, trabalhos acadêmicos correlatos, assim como na consulta a especialistas do setor. A proposta de tarefas de manutenção e a avaliação da aplicabilidade e efetividade das mesmas foi amparada pelos critérios e lógica de seleção proposta por Siqueira (2005) e realizada através da análise da estratégia de manutenção da empresa, obtida pela consulta aos especialistas do setor de confiabilidade da empresa analisada. Os resultados dessa etapa foram utilizados na etapa seguinte.

A etapa 7, relativa à definição da periodicidade das tarefas, foi realizada em duas partes. Primeiramente, para todas as falhas e modos encontrados, foi realizado um levantamento dos intervalos de manutenção propostos em procedimentos, manuais de manutenção e trabalhos acadêmicos correlatos para as tarefas de manutenção encontradas na etapa anterior. Esses intervalos foram então adaptados à estratégia de manutenção da empresa, resultando em uma proposta de plano de manutenção.

Em seguida, o cálculo da periodicidade foi demonstrado para um modo de falha. O critério escolhido, em função dos dados disponíveis, para o cálculo do intervalo foi o critério de custo mínimo de manutenção por unidade de tempo. Um histórico de falhas de componentes de locomotiva foi coletado e analisado. Os registros de falhas ocorridos em componentes do conjunto de força e ocorridos entre 2018 e 2019 foram filtrados. Para determinar o modo de falha a ser demonstrado, foram avaliados quatro critérios: a disponibilidade de uma amostra suficiente para análises de confiabilidade, a posse de características que permitam manutenção preventiva, ser causado por desgaste ou fadiga e ter custo de manutenções preventivas menores do que os custos de reparo. O primeiro critério consistiu na separação de uma amostra de falhas com tempo de falha informado, enquanto o segundo critério foi verificado a partir da análise da estratégia de manutenção da empresa, como a possibilidade de troca de componentes individuais e/ou componentes mais baratos. O terceiro critério foi analisado a partir da análise de confiabilidade da amostra utilizando a distribuição de Weibull no software *ReliaSoft Weibull++* e verificando os valores dos parâmetros de forma e ajuste da distribuição encontrados para o ajuste, assim como os gráficos das funções extraídos. O quarto critério, por sua vez, foi respondido mediante modelagem

e aproximação dos custos de manutenção preventiva ao custo de aquisição de uma nova peça afetada pelo modo de falha, enquanto o custo de reparo foi modelado pelo custo de aquisição do subsistema inteiro paralisado pela falha, os quais foram recolhidos de licitações públicas. Foi verificado se o modo possui uma alternativa de manutenção preventiva para comparação. Em caso afirmativo, essa comparação também foi realizada nas etapas posteriores. Escolhido o modo de falha que atendesse aos critérios, o cálculo do intervalo ótimo foi realizado utilizando o software *ReliaSoft BlockSim*, informando como entradas a função de confiabilidade do modo de falha e os custos. Dessa operação, foram retirados os gráficos de custo e os intervalos ótimos encontrados, que posteriormente foram analisados quanto à estratégia adotada pela empresa, finalizando a execução das etapas da metodologia. Os materiais e métodos propostos para aplicação das sete etapas da metodologia MCC são resumidos na Figura 26.

Figura 26 – Aplicação das sete etapas da metodologia MCC.

Etapas	Métodos	Materiais	Produtos
1. Seleção do sistema e coleta de informações ↓	<ol style="list-style-type: none"> 1. Levantamento do contexto da empresa 2. Análise do histórico de avarias e reboques (Tabelas dinâmicas e gráficos de Pareto) 3. Revisão sobre sistema e subsistema (motor Diesel e conjunto de força) 4. Levantamento das funções 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Planilhas de histórico de avarias e reboques de locomotivas 2. Reuniões com empresa 3. Manuais e procedimentos de manutenção 4. Trabalhos voltados para a ferrovia e MCC 5. Formulário de seleção de sistema e coleta de informações (Siqueira, 2005) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Sistema e subsistema escolhidos 2. Funções do sistema 3. Formulário de funções do subsistema preenchido
2. Análise de Modos de Falha e Efeitos (FMEA) ↓	<ol style="list-style-type: none"> 1. Levantamento de falhas 2. Análise FMEA 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Trabalhos voltados para a ferrovia e MCC 2. Manuais e procedimentos de manutenção 3. Reunião com especialistas do setor 4. Formulário de análise FMEA (Siqueira, 2005) 5. Critérios de avaliação de efeitos (Siqueira, 2005) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lista de falhas, modos e efeitos 2. Formulário de análise FMEA preenchido
3. Seleção de funções significantes ↓	<ol style="list-style-type: none"> 1. Seleção das funções significantes 2. Classificação dos modos de falha pela manifestação e consequências 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Lógica de seleção e diagrama de decisão (Siqueira, 2005) 2. Formulário de árvore de decisão (Siqueira, 2005) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Funções, falhas e modos classificados 2. Formulário de árvore de decisão preenchido
4, 5 e 6 – Seleção das atividades aplicáveis e efetivas ↓	<ol style="list-style-type: none"> 1. Levantamento das atividades de manutenção 2. Avaliação e seleção das tarefas de manutenção 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Manuais e procedimentos de manutenção 2. Trabalhos voltados para a ferrovia e MCC 3. Reunião com especialistas do setor 4. Critérios de aplicabilidade e efetividade (Siqueira, 2005) 5. Lógica de decisão (Siqueira, 2005) 6. Formulário de análise de decisão (Siqueira, 2005) 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Conhecimento da estratégia de manutenção da empresa 2. Tarefas de manutenção definidas
7. Definição da periodicidade das atividades	<ol style="list-style-type: none"> 1. Análise e Adaptação de intervalos de outras ferrovias 2. Coleta e análise de histórico de falhas de componentes 3. Escolha de um modo de falha para demonstração do cálculo de intervalo de manutenção preventiva 4. Análise de confiabilidade de amostra de falhas pela distribuição de Weibull 5. Levantamento dos custos de manutenção 6. Demonstração do cálculo do intervalo de manutenção 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Manuais e procedimentos de manutenção 2. Trabalhos voltados para a ferrovia e MCC 3. Estratégia de manutenção da empresa 4. Formulário de análise de decisão (Siqueira, 2005) 5. Formulário para Plano de manutenção (Siqueira, 2005) 6. Planilha de histórico de falhas de componentes 7. Licitações de compra de componentes 8. Critério de custo de manutenção por tempo (Nelson, 2005) 9. Software <i>ReliaSoft Weibull++</i> 10. Software <i>ReliaSoft BlockSim</i> 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Intervalos definidos para as tarefas de manutenção 2. Formulário de análise de decisão preenchido 3. Plano de manutenção preenchido 4. Modo de falha escolhido para cálculo 5. Gráficos de confiabilidade extraídos 6. Gráficos do custo de manutenção extraídos 7. Intervalo ótimo de manutenção preventiva pelo critério de custo mínimo de manutenção encontrado

Fonte: Autoria própria (2019).

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, serão apresentados os resultados da aplicação da metodologia MCC ao conjunto de força, conforme proposto no capítulo 3. A execução de cada etapa e os respectivos resultados, assim como limitações e dificuldades na execução de cada etapa serão apresentados nas subseções a seguir.

4.1 Etapa 1 – Seleção do Sistema e Coleta de informações

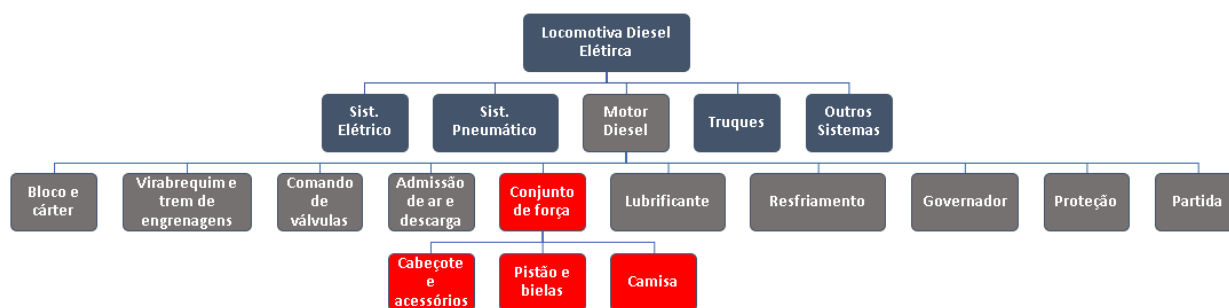
O sistema e subsistema a serem analisados foram definidos mediante estudo sobre o histórico recente de avarias e reboques (Anexo A) e sobre os dados da frota de locomotivas, conforme apresentado no Capítulo 1 e realizado por Rezvanizani et al. (2008). A planilha com o histórico de avarias e reboques contém 17821 linhas e 105 colunas, referentes a eventos ocorridos com locomotivas e vagões. Para a análise do histórico, foram filtrados todos os eventos ocorridos entre janeiro de 2018 e abril de 2019, relacionados a locomotivas e responsáveis por avarias com reboque. Em seguida, foi realizada a padronização da descrição do sistema e subsistema (conjunto), corrigindo erros de digitação. Por fim, foram gerados os gráficos apresentados no capítulo 1 (Figuras 2 e 4), permitindo a comparação da quantidade de avarias com reboque por sistema e conjunto.

Tendo em vista a quantidade de avarias com reboque relacionadas ao Motor Diesel e o conjunto de força, este subsistema foi selecionado para compor este trabalho. As demais informações sobre seu funcionamento foram levantadas a partir de consultas a manuais de manutenção, trabalhos acadêmicos correlatos e reuniões com especialistas do setor.

Os conjuntos de força são responsáveis pela geração e transmissão de potência aos demais componentes da locomotiva, mantendo sua capacidade trativa e permitindo a condução de trens de carga. Qualquer anomalia no funcionamento afeta a capacidade trativa da locomotiva e causa atraso do trem, cuja consequência se manifesta no impacto econômico e operacional. Um atraso de trem pode causar custos operacionais superiores a R\$ 20.000,00 por hora (Mio Dal Pai, 2012).

Conforme consultado na literatura, um conjunto de força pode ser decomposto em três subgrupos principais de componentes (Junior et al, 1982): cabeçote e acessórios; camisa e o conjunto pistão e biela, conforme demonstrado na Figura 27.

Figura 27 – Diagrama Organizacional do Conjunto de Força.



Fonte: Adaptada de Junior (1982) e Gaede (2008).

O modelo de conjunto de força analisado (fabricante GM) pode ser montado e desmontado nessas três partes dentro e fora do motor, o que permite que, em atividades de manutenção, tanto um conjunto de força inteiro possa ser retirado do motor em caso de falha, quanto subgrupos menores possam ser retirados individualmente. Isso permite uma manutenção mais eficaz e viável na operação, associada a um maior aproveitamento dos componentes, porém requer um controle mais intenso de tarefas de manutenção nesses três níveis. Apesar de cada grupo poder ser dividido em vários componentes, a empresa analisada realiza um controle de tarefas de manutenção dos conjuntos de força desse modelo mediante rastreabilidade desses três grupos, razão pela qual as etapas da MCC serão atendidas considerando esse *layout* organizacional.

Os custos de aquisição de componentes de um conjunto de força foram estimados mediante consulta a editais públicos, conforme apresentado na Tabela 1. Foi verificado que, dentre os componentes do conjunto de força, um cabeçote novo representa sozinho aproximadamente 35% do custo total de um conjunto de força novo, seguido pelo custo do conjunto de pistão, biela e anéis e pela camisa. Da mesma forma, verificou-se que a recuperação de cabeçotes pode prover uma economia de quase 60% face a uma troca por um componente novo.

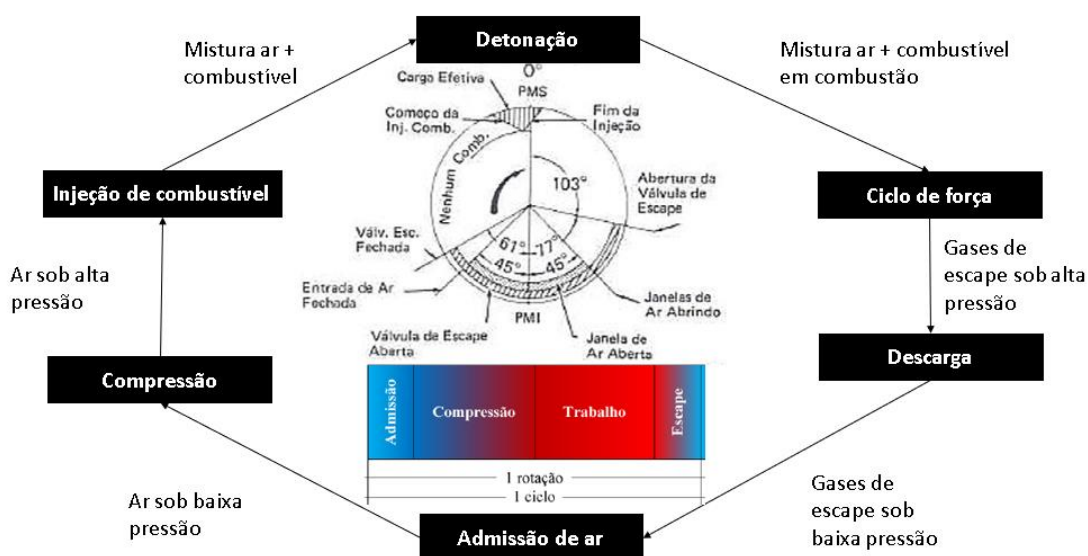
Tabela 1 – Custos de aquisição de um conjunto de força

Item	Custo (R\$)
Cabeçote (recuperado)	2250
Cabeçote (novo)	6415
Camisa (nova)	4759
Pistão (novo)	1000
Jogo de anéis (novo)	1125
Biela (nova)	3500
Vedação (nova)	238
Total (itens novos)	17037

Fonte: Adaptado de Paraná (2015), Paraná (2017) e Paraná (2018).

A definição das funções desempenhadas pelo sistema depende do conhecimento do funcionamento do mesmo e de suas interfaces com outros sistemas. O funcionamento de um conjunto de força, por sua vez, está ligado ao cumprimento do ciclo Diesel dois tempos, conforme apresentado no Capítulo 2. A análise do ciclo Diesel respectivo ao modelo de motor analisado permitiu identificar as principais etapas do ciclo, das quais podem ser levantadas as funções desempenhadas pelo conjunto de força. Foram identificadas seis etapas, demonstradas na Figura 28.

Figura 28 – Etapas principais do ciclo Diesel do motor GM.

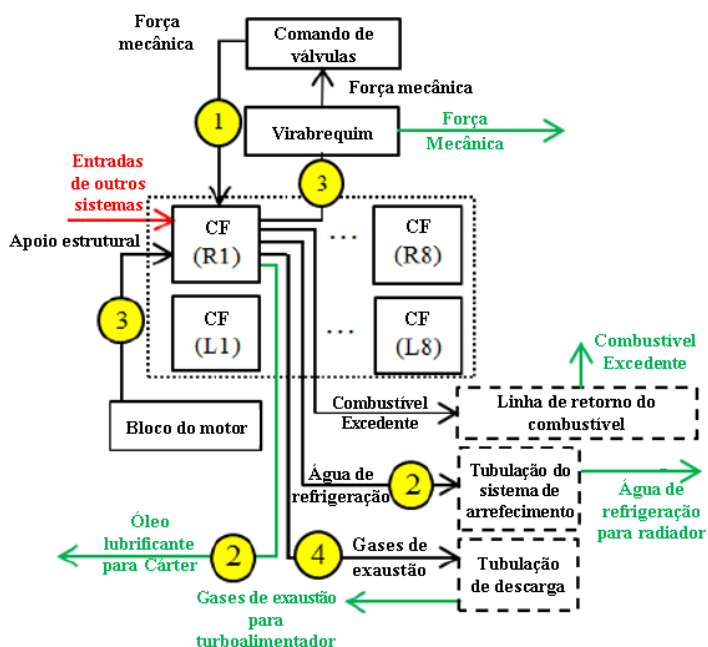


Fonte: Adaptada de Junior (1982) e Gaede (2008).

O funcionamento do ciclo Diesel e, conseqüentemente, do conjunto de força, depende também das interfaces com outros subsistemas do motor. Falhas na

interface com esses subsistemas podem comprometer significativamente a sustentabilidade de todo o ciclo, razão pela qual as interfaces também devem ser consideradas em análises de falha e estratégias de manutenção (Li et al, 2015). As interfaces respectivas ao conjunto de força são apresentadas na Figura 29. Sua análise permitiu destacar a importância dos sistemas de refrigeração e lubrificação no funcionamento do conjunto de força, identificando funções adicionais dentro do mesmo que não são diretamente abordadas nas descrições do ciclo Diesel.

Figura 29 - Interfaces e fronteiras dos conjuntos de força (CF).



Fonte: Adaptado de Li et al (2015).

A partir dos dados levantados pela Figura 29 e de trabalhos anteriores referentes ao motor Diesel, como o de Li et al. (2015) e Mayne (2014), foram definidas oito funções referentes ao conjunto de força, resumidas na Figura 30. A obtenção desta tabela conclui a primeira etapa da metodologia MCC aplicada a este sistema.

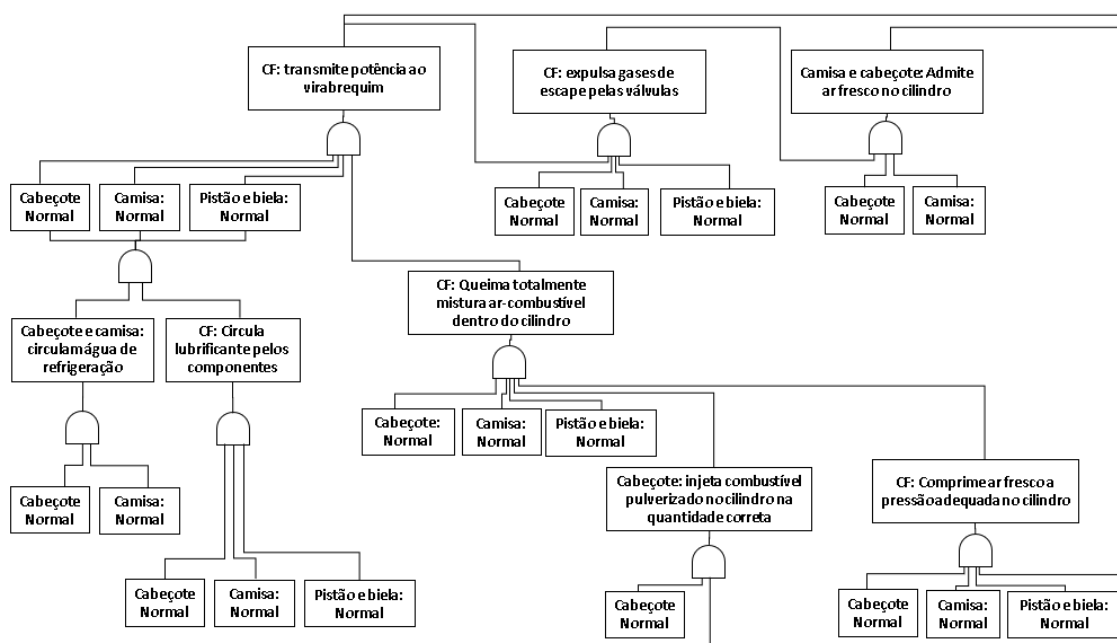
Figura 30 - Funções do Conjunto de Força.

Seleção do Sistema e Coleta de Informações									
Unidade	Locomotiva GM	Código	-	Facilitador	TCC 33	Data	21/08/2019	Folha	1
Item	Motor Diesel	Código	-	Auditor	PO	Data	31/08/2019	De	1
Nº	Subsistema	Nº	Função	Nº	Componente				
1	Conjunto de força	1	Admitir ar fresco no cilindro	1	Camisa				
1	Conjunto de força	2	Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	3	Todos do CF				
1	Conjunto de força	3	Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	2	Camisa e Cabeçote				
1	Conjunto de força	4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	3	Todos do CF				
1	Conjunto de força	5	Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	3	Todos do CF				
1	Conjunto de força	6	Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	3	Todos do CF				
1	Conjunto de força	7	Circular lubrificante pelos componentes	3	Todos do CF				
1	Conjunto de força	8	Circular água de refrigeração pelos componentes	2	Camisa e Cabeçote				

Fonte: Adaptada de Mayne (2014) e Li et al (2015).

Da mesma forma, conforme sugerido e exemplificado na metodologia proposta por Siqueira (2005), foi demonstrada a organização das funções do sistema em um diagrama lógico funcional, conforme Figura 31. Por outro lado, em função da quantidade de funções, falhas e modos identificados nas etapas posteriores, não foi proposta uma árvore de falha derivada deste diagrama.

Figura 31 - Demonstração de um diagrama lógico funcional para o CF.



Fonte: Autoria própria (2019).

4.2 Etapa 2 – Análise de Modos de Falha e Efeitos

Definidas as funções do conjunto de força, foram levantadas suas respectivas falhas, modos e efeitos. Foram consultados para esta análise os manuais de manutenção disponíveis, trabalhos acadêmicos e especialistas do setor em reuniões.

As falhas do conjunto de força foram levantadas a partir da descrição das funções desempenhadas pelo sistema, conforme recomendado por Siqueira (2005), considerando o cumprimento da função dentro de limites estabelecidos. Por outro lado, foram definidas para este trabalho apenas as falhas esperadas em operação e previstas em manuais de manutenção, como falhas na ignição (Junior et al, 1982) e em trabalhos acadêmicos, como falhas na transmissão de potência ao virabrequim (Mayne, 2014). Foram encontradas 17 falhas, listadas na Quadro 1.

Quadro 1 – Falhas do Conjunto de Força.

Função	Falha Funcional
Admitir ar fresco no cilindro	Não admite ar
Admitir ar fresco no cilindro	Admite pouco ar
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Não comprime ar fresco
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Não injeta combustível no cilindro
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	injeta menos combustível do que o adequado
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	injeta mais combustível do que o adequado
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Não injeta combustível pulverizado
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Não queima mistura
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Não transmite potência ao virabrequim
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Transmite menos potência ao virabrequim
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Não expulsa os gases pelas válvulas de escape
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Expulsa gases de escape antes da hora
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes
Circular água de refrigeração pelos componentes	Não circula pelos componentes

Fonte: Adaptada de Junior (1982) e Mayne (2014).

Os modos de falha também foram levantados com base na consulta aos manuais de manutenção e trabalhos acadêmicos. No trabalho realizado por Junior (1982), foram encontrados os defeitos previstos para o uso do motor e as condições dos componentes defeituosos, das quais foram levantados os modos de falha presentes nesta análise, como desgaste em anéis e trincas no cabeçote, alguns desses modos também encontrados por Mayne (2014).

Por outro lado, foi verificado que o conjunto de força possui muitos componentes e, conseqüentemente, diversos modos de falha. Por esta razão, foram selecionados apenas os modos de falha do subsistema que podem ser detectados por meio de procedimentos previstos na literatura, manuais de manutenção e na política de manutenção da empresa, sem sua desmontagem e/ou remoção da locomotiva, facilitando a execução das etapas posteriores. Exemplo disso são os modos de falha anéis desgastados e camisa danificada, que podem ser verificados mediante inspeção de uma rotação (Junior et al, 1982). Foram encontrados 46 diferentes modos de falha, alguns deles apresentados na Quadro 2.

Quadro 2 – Modos de falha do Conjunto de Força.

Componente	Modo(s) de falha
Cabeçote	ajustador de folga ruidoso
Cabeçote	Cabeçote trincado
Cabeçote	Injetor vazando
Cabeçote	Válvula fora do tempo
Camisa	Camisa trincada
Camisa	Camisa vazando água
Camisa	Cilindro escoriado
Camisa	Janelas brunidas
Conjunto de Força	CF vazando óleo em seu perímetro
Conjunto de Força	Componentes misturados
Pistão e biela	Aneis do pistão desgastados
Pistão e biela	Aneis do pistão quebrados
Pistão e biela	Biela empenada
Pistão e biela	Coroa molhada
Pistão e biela	Pistão trincado

Fonte: Adaptado de Junior (1982) e Mayne (2014).

Para o escopo este estudo, foi dispensado o levantamento das causas das falhas na análise FMEA, consideradas não obrigatórias para a seleção de tarefas (Siqueira,

2005). Uma vez que a atribuição das tarefas de manutenção dependerá dos modos de falhas, a análise realizada trata apenas dos modos e efeitos.

Os efeitos das falhas foram classificados quanto sua manifestação e risco utilizando os mesmos recursos empregados para o levantamento dos modos de falha, utilizando as escalas sugeridas por Siqueira (2005) para avaliação da criticidade de cada modo de falha, apresentadas no Capítulo 2. Para a descrição textual dos efeitos de falha, foi consultado o diagnóstico de defeitos apresentado por Junior (1982).

A criticidade dos efeitos de falha, por sua vez, foi levantada a partir da atribuição de notas de severidade, detecção e frequência, sucedida pelo cálculo conforme demonstrado no Capítulo 2. Por outro lado, foi verificado que as informações disponíveis nos históricos de falha, recomendados para atribuir a frequência dos modos de falha, eram insuficientes para atribuir notas de frequência e detecção, uma vez que os registros não estavam suficientemente padronizados, organizados e refinados ao nível dos modos de falha identificados anteriormente. Por esta razão, a atribuição das notas de severidade, frequência e detecção foi atribuída de forma qualitativa, mediante consulta aos especialistas do setor.

Com base na consulta aos especialistas, foi verificado que as falhas e modos de falha possuem, de forma geral, severidade máxima em virtude do impacto econômico e operacional das consequências (atraso de trens, reboques) e detecção difícil, sendo totalmente ocultos aos maquinistas durante operação, requerendo no mínimo inspeções funcionais. As falhas e modos mais frequentes apontados pelos especialistas foram trincas e vazamentos no cabeçote e camisa, seguidos por falhas na lubrificação dos sistemas, na injeção e pulverização do combustível.

A análise FMEA resultante é apresentada de forma resumida nas Figuras 32 e 33. A tabela FMEA completa conta com aproximadamente 250 registros. De forma a destacar os modos de falha mais críticos, foi definido um valor de corte para a criticidade igual a 75. Dessa forma, espera-se filtrar os modos de falha que são mais graves (Severidade igual a 5), mais difíceis de detectar (Detecção maior ou igual a 3) e mais frequentes (Frequência maior ou igual a 5). Todos os outros registros podem ser consultados no plano de manutenção completo no Apêndice A, finalizando a segunda etapa da metodologia MCC.

Figura 32– FMEA preenchido para o CF (Funções 2 a 4).

Análise de Modos de Falha, Efeitos e Criticidade									
Unidade Item	Locomotiva GM Motor Diesel	Código Código	-	Facilitador Auditor	TCC 33 PO	Data Data	15/09/2019 30/09/2019	Folha De	1 2
FU	Função	FA	Falha	MO	Modo	Efeito	C		
2	Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro.(275 a 350 PSI)	1	Não comprime ar fresco	1	Cabeçote trincado	parada do motor, pressão positiva do carter	75		
2	Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro.(275 a 350 PSI)	1	Não comprime ar fresco	4	Camisa danificada	Motor não gira	75		
2	Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro.(275 a 350 PSI)	1	Não comprime ar fresco	5	Camisa riscada no cilindro	Motor não gira	75		
2	Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro.(275 a 350 PSI)	1	Não comprime ar fresco	7	CF desgastado	uso excessivo de lubrificante, falha de ignição, ruído	75		
2	Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro.(275 a 350 PSI)	1	Não comprime ar fresco	9	Componentes superaquecidos	pressão baixa do óleo do motor	75		
2	Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro.(275 a 350 PSI)	1	Não comprime ar fresco	10	Anéis do pistão desgastados	uso excessivo de lubrificante	75		
2	Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro.(275 a 350 PSI)	1	Não comprime ar fresco	11	Anéis do pistão quebrados	Motor não parte, sem ignição, uso excessivo de lub, perda de potência, fumaça	75		
2	Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro.(275 a 350 PSI)	1	Não comprime ar fresco	12	Anel riscado verticalmente com risco vertical manom	Perda de compressão	75		
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	1	Não queima mistura	2	Injetor fora do tempo	falha de ignição	75		
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	1	Não queima mistura	3	Injetor vazando	óleo contaminado, falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	75		
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	1	Não queima mistura	5	Camisa danificada	Motor não gira	75		
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	1	Não queima mistura	6	Camisa trincada	Motor não gira	75		
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	1	Não queima mistura	7	Camisa vazando água	óleo contaminado	75		
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	1	Não queima mistura	8	CF desgastado	uso excessivo de lubrificante, falha de ignição, ruído	75		
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	1	Não queima mistura	10	Anéis do pistão desgastados	uso excessivo de lubrificante	75		
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	1	Não queima mistura	11	Coroa molhada	Vazamento no injetor	75		
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	2	Queima parcialmente a mistura	3	Cabeçote vazando água no topo	óleo contaminado	75		
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	2	Queima parcialmente a mistura	6	Injetor fora do tempo	falha de ignição	75		
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	2	Queima parcialmente a mistura	7	Injetor vazando	óleo contaminado, falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	75		
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	2	Queima parcialmente a mistura	9	Camisa danificada	Motor não gira	75		
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	2	Queima parcialmente a mistura	11	Camisa riscada no cilindro	Motor não gira	75		
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	2	Queima parcialmente a mistura	12	Camisa trincada	óleo contaminado	75		
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	2	Queima parcialmente a mistura	13	Camisa vazando água	óleo contaminado	75		

Fonte: Autoria própria (2019).

Figura 33 – FMEA preenchido para o CF (funções 4 a 8).

FU	Função	FA	Falha	MO	Modo	Efeito	C
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	2	Queima parcialmente a mistura	16	CF desgastado	uso excessivo de lubrificante, falha de ignição, ruído	75
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	2	Queima parcialmente a mistura	18	Anéis do pistão desgastados	uso excessivo de lubrificante	75
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	2	Queima parcialmente a mistura	20	Anéis do pistão quebrados	Motor não parte, sem ignição, uso excessivo de lub, perda de potência, fumaça	75
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	2	Queima parcialmente a mistura	22	Anel riscado verticalmente com risco vertical marrom	Perda de compressão	75
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	2	Queima parcialmente a mistura	23	Coroa excessivamente úmida	uso excessivo de lubrificante	75
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	3	Queima fora do cilindro	3	Cabeçote vazando água no topo	óleo contaminado	75
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	3	Queima fora do cilindro	6	Injetor fora do tempo	falha de ignição	75
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	3	Queima fora do cilindro	7	Injetor vazando	óleo contaminado, falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	75
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	3	Queima fora do cilindro	9	Camisa danificada	Motor não gira	75
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	3	Queima fora do cilindro	11	Camisa riscada no cilindro	Motor não gira	75
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	3	Queima fora do cilindro	12	Camisa trincada	óleo contaminado	75
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	3	Queima fora do cilindro	13	Camisa vazando água	óleo contaminado	75
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	3	Queima fora do cilindro	16	CF desgastado	uso excessivo de lubrificante, falha de ignição, ruído	75
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	3	Queima fora do cilindro	18	Anéis do pistão desgastados	uso excessivo de lubrificante	75
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	3	Queima fora do cilindro	20	Anéis do pistão quebrados	Motor não parte, sem ignição, uso excessivo de lub, perda de potência, fumaça	75
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	3	Queima fora do cilindro	22	Anel riscado verticalmente com risco vertical marrom	Perda de compressão	75
4	Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	3	Queima fora do cilindro	23	Coroa excessivamente úmida	uso excessivo de lubrificante	75
7	Circular lubrificante pelos componentes	1	Não circula pelos componentes	1	Cabeçote vazando água no topo	óleo contaminado	75
7	Circular lubrificante pelos componentes	1	Não circula pelos componentes	7	Camisa trincada	óleo contaminado	75
7	Circular lubrificante pelos componentes	1	Não circula pelos componentes	8	Camisa vazando água	óleo contaminado	75
7	Circular lubrificante pelos componentes	1	Não circula pelos componentes	13	CF vazando óleo em seu perímetro	uso excessivo de lubrificante	75
7	Circular lubrificante pelos componentes	1	Não circula pelos componentes	16	Anéis do pistão desgastados	uso excessivo de lubrificante	75
7	Circular lubrificante pelos componentes	1	Não circula pelos componentes	18	Anéis do pistão quebrados	Motor não parte, sem ignição, uso excessivo de lub, perda de potência, fumaça	75
8	Circular água de refrigeração pelos componentes	1	Não circula pelos componentes	32	Cabeçote vazando água no topo	óleo contaminado	90
8	Circular água de refrigeração pelos componentes	1	Não circula pelos componentes	33	Camisa trincada	óleo contaminado	75
8	Circular água de refrigeração pelos componentes	1	Não circula pelos componentes	34	Camisa vazando água	óleo contaminado	90

Fonte: Autoria própria (2019).

4.3 Etapa 3 – Seleção de funções significantes

Realizada a análise, foi realizada a seleção das funções significantes e a classificação dos modos de falha. Para esta etapa, foi utilizado o diagrama lógico presente na metodologia proposta por Siqueira (2005). Uma vez que todas as funções são essenciais ao ciclo Diesel, todas elas foram classificadas como significantes. Foi verificado que os efeitos das falhas não causam danos ambientais ou à segurança, sendo também ocultos à operação normal pelos maquinistas. Dessa forma, todas as funções foram classificadas como significantes, causadoras de impactos econômicos e/ou operacionais e ocultas à operação (OEO). As classificações feitas nesta etapa foram documentadas no formulário da árvore de decisão. O formulário da árvore de decisão obtido para os modos mais críticos é apresentado na Figura 34.

Figura 34 – Árvore de decisão preenchida para o Conjunto de Força.

Árvore de Decisão									
Unidade	Locomotiva GM	Código	-	Facilitador	TCC 33	Data	15/09/2019	Folha	1
Item	Motor Diesel	Código	-	Auditor	PO	Data	30/09/2019	De	1
FU	FA	MO	Modo de falha	Visível e evidente	Segurança / Ambiental	Econômico / Operacional	Categoria		
2	1	1	Cabeçote trincado	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
2	1	4	Camisa danificada	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
2	1	5	Camisa riscada no cilindro	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
2	1	7	CF desgastado	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
2	1	9	Componentes superaquecidos	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
2	1	10	Aneis do pistão desgastados	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
2	1	11	Aneis do pistão quebrados	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
2	1	12	Anel riscado verticalmente com risco vertical marrom	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	1	2	Injetor fora do tempo	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	1	3	Injetor vazando	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	1	5	Camisa danificada	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	1	7	Camisa vazando água	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	1	8	CF desgastado	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	1	10	Aneis do pistão desgastados	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	1	11	Coroa molhada	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	2	3	Cabeçote vazando água no topo	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	2	6	Injetor fora do tempo	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	2	7	Injetor vazando	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	2	9	Camisa danificada	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	2	11	Camisa riscada no cilindro	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	2	13	Camisa vazando água	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	2	16	CF desgastado	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	2	18	Aneis do pistão desgastados	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	2	20	Aneis do pistão quebrados	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	2	22	Anel riscado verticalmente com risco vertical marrom	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	2	23	Coroa excessivamente úmida	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	3	3	Cabeçote vazando água no topo	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	3	6	Injetor fora do tempo	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	3	7	Injetor vazando	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	3	9	Camisa danificada	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	3	11	Camisa riscada no cilindro	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	3	13	Camisa vazando água	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	3	16	CF desgastado	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	3	18	Aneis do pistão desgastados	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	3	20	Aneis do pistão quebrados	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	3	22	Anel riscado verticalmente com risco vertical marrom	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
4	3	23	Coroa excessivamente úmida	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
7	1	1	Cabeçote vazando água no topo	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
7	1	8	Camisa vazando água	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
7	1	13	CF vazando óleo em seu perímetro	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
7	1	16	Aneis do pistão desgastados	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
7	1	18	Aneis do pistão quebrados	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
8	1	32	Cabeçote vazando água no topo	NÃO	NÃO	SIM	OEO		
8	1	34	Camisa vazando água	NÃO	NÃO	SIM	OEO		

Fonte: Autoria própria (2019).

4.4 Etapas 4, 5 e 6 – Seleção de tarefas aplicáveis e efetivas

Definidos e classificados os modos de falha, foi feito o levantamento e seleção das tarefas de manutenção para o conjunto de força. Para esta etapa, as tarefas de manutenção foram identificadas a partir de recomendações feitas em manuais de manutenção e trabalhos acadêmicos correlatos, assim como, principalmente, recomendações dos especialistas do setor. Paralelamente, a partir da consulta aos especialistas, buscou-se entender as características da política de manutenção adotada pela empresa analisada, o que facilitou identificar e priorizar tarefas de manutenção.

Foi verificado que as tarefas de manutenção da empresa sob análise são organizadas em três períodos (mensal, semestral e bienal), as quais podem ser tanto preventivas quanto corretivas / reparos. A manutenção do conjunto de força, por sua vez, é feita em duas fases: nos postos de manutenção e nas oficinas (*backshop*). Segundo os especialistas, cada conjunto de força possui uma vida útil prevista de 4 anos, cabendo sua troca completa a partir desse intervalo.

Nos postos, os conjuntos de força são inspecionados montados na locomotiva e podem ser trocados por conjuntos inteiros novos ou recuperados, quando há demanda por disponibilidade imediata, ou até mesmo possuir alguns componentes falhos trocados. Neste caso, podem ser trocados cabeçotes, vedações ou bielas, requerendo apenas a desmontagem parcial do conjunto de força. Foi verificado que, nestes locais, é possível realizar inspeções visuais do conjunto de força pelo topo dos cabeçotes e pelas janelas da camisa, assim como testes de pressão do cilindro, pressão da água de refrigeração, testes de vedação entre camisa e bloco e análise do óleo, sendo esta realizada com menor frequência.

Nas oficinas, por sua vez, são recebidos os conjuntos de força já retirados da locomotiva nos postos, que são desmontados e seguem para atividades de restauração ou recuperação, troca de componentes menores ou até mesmo o sucateamento. Para este trabalho, foi decidido abordar a manutenção realizada nos postos, onde é feito o tratamento direto e imediato das falhas da operação.

Foi verificado que, dentre as principais características do modelo de conjunto de força analisado, tanto os especialistas quanto os manuais de manutenção apontam para a viabilidade de inspeções visuais (Junior et al, 1982; Mayoyo, 2015; NCDOT Rail Division, 2015), o que facilita a realização de inspeções funcionais e manutenção combinada. O motor Diesel possui tampas de inspeção que podem ser retiradas para inspeção dos componentes no topo do cabeçote, próximo ao cárter e no interior da camisa, cujas janelas de admissão de ar permitem a inspeção visual do estado do cilindro, pistões, anéis e bielas.

Da mesma forma, o cabeçote se destacou ser dos poucos componentes do conjunto de força cujas falhas podem ser resolvidas pela sua troca isolada. Modos de falha associados ao cabeçote (trincas, vazamentos), uma vez detectados, podem ser resolvidos nos postos de manutenção tanto pela troca do conjunto inteiro quanto pela

troca individual por um componente novo ou recuperado. Isso pode permitir, em alguns casos, uma economia significativa na manutenção dos conjuntos de força, haja visto o custo elevado desse componente.

Conhecida a política de manutenção da empresa, foram levantadas as tarefas de manutenção mais apropriadas ao modelo de conjunto de força analisado, em função dos modos de falha encontrados nas etapas anteriores da metodologia MCC. A partir de consulta aos manuais de manutenção, trabalhos relacionados e relatos dos especialistas, foram encontradas 27 atividades básicas de manutenção candidatas à seleção, as quais foram combinadas para formar as tarefas de manutenção designadas para cada modo de falha. As tarefas combinadas podem incluir desde inspeções visuais, aperto e troca de componentes até ensaios de compressão (Junior et al, 1982; Mayoyo, 2015; NCDOT Rail Division, 2015). Na sequência, essas tarefas foram classificadas quanto ao seu tipo e na avaliação de sua aplicabilidade e efetividade.

Propostas as tarefas de manutenção, foi feita sua classificação quanto aos tipos de atividades conforme a metodologia MCC apresentada por Siqueira (2005). Foi verificado que todas as tarefas propostas consistem em manutenções combinadas e todas requerem ao menos uma tarefa de inspeção funcional (IF), uma vez que todas as falhas do conjunto de força são ocultas e, na maioria dos casos, é acompanhada por uma tarefa corretiva mediante necessidade, como a inspeção de vazamentos no cabeçote e sua troca subsequente. A predominância de inspeções funcionais também foi um resultado encontrado na análise MCC realizada por Silva et al (2008). Ainda assim, observou-se que algumas tarefas de manutenção podem evoluir para tarefas de inspeção preditiva (IP), restauração (RP) ou substituição preventiva (SP) em função de alguns modos de falha estarem relacionados a níveis de desgaste progressivo e faixas de desempenho mensuráveis ou até mesmo visíveis, como desgaste nos anéis (Junior et al, 1982). As tarefas recomendadas para alguns modos de falha são apresentadas na Quadro 3.

Quadro 3 – Tarefas de manutenção para o Conjunto de Força.

Modo(s) de falha	Tarefa selecionada
ajustador de folga ruidoso	Inspeção de ruído (IF) + Troca do ajustador (MC)
Cabeçote trincado	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do cabeçote ou CF (MC)
Injetor vazando	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão (IF) + Troca do componente (MC)
Válvula fora do tempo	Inspeção de temporização (IF) + Ajuste da temporização (MC)
Camisa trincada	Inspeção do CF em PMI (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do CF (SP, MC)
Camisa vazando água	Inspeção do CF em PMI (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do CF (SP, MC)
Cilindro escoriado	Inspeção de 01 rotação (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)
Janelas brunidas	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)
CF vazando óleo em seu perímetro	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)
Componentes misturados	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)
Aneis do pistão desgastados	Inspeção de 01 rotação (IP, IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)
Biela empenada	Leitura com fio de chumbo (IF) + Troca da biela (RP, SP, MC) ou CF (SP, MC)
Coroa molhada	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)
Pistão trincado	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)

Fonte: Adaptadas de Junior (1982); Mayoyo (2015); NCDOT Rail Division, (2015).

A avaliação da aplicabilidade e efetividade dessas tarefas foi feita mediante análise dos critérios recomendados pela metodologia, conforme Capítulo 2. Foi verificado que a avaliação completa dessas características depende da existência de dados consolidados de confiabilidade e custos da operação, os quais eram insuficientes para a proposta feita neste trabalho. Dessa forma, foram classificadas e selecionadas como aplicáveis e efetivas todas as tarefas passíveis de execução pela empresa analisada conforme a sua estratégia de manutenção e os relatos dos especialistas.

4.5 Etapa 7 – Definição da periodicidade das atividades

Selecionadas as tarefas, foi proposta a periodicidade de cada tarefa de manutenção. Dada a indisponibilidade de dados consolidados de confiabilidade e custos da empresa analisada para todos os modos de falha, a periodicidade foi proposta com base em consulta a manuais, planos de manutenção e trabalhos acadêmicos referentes a circunstâncias parecidas, adaptando-as aos períodos de

intervenção já adotados pela empresa. Para apenas um modo de falha de um componente foi demonstrado o cálculo da periodicidade, uma vez encontrados dados suficientes para uma demonstração.

Foi verificado que muitas tarefas possuem periodicidade mensal, o que se deve à frequência recomendada para inspeções funcionais, muitas delas visuais. Por outro lado, verificou-se há poucas intervenções feitas com frequência semestral e bienal, o que pode ser explicado pela dificuldade em adaptar intervalos de manutenção de outras ferrovias para a empresa analisada. Os menores intervalos apresentados no estudo conduzido por Mayoyo (2015) são de 45 e 105 dias. No plano de manutenção de uma companhia ferroviária norte-americana (NCDOT Rail Division, 2015), são propostos intervalos de 90, 360 e 720 dias, assim como certas atividades possuem intervalos de 3600 h. No trabalho de MCC realizado por Mayne (2014), por sua vez, são identificados intervalos diários, quadrimestrais e anuais, assim como intervalos baseados na quantidade de energia produzida pela locomotiva (de 7000 MWh até 33750 MWh). Essa seleção de tarefas e seus intervalos culmina na Tabela de Análise de Decisão, apresentada na Figura 35, e no Plano de Manutenção, conforme apêndice, concluindo as etapas 4 a 7. As tarefas apresentadas na tabela também foram filtradas em função de sua criticidade, superior ao valor 75.

Figura 35 – Formulário de análise de decisão preenchido para o Conjunto de Força

Análise de Decisão												
Unidade Item	Locomotiva GM Motor Diesel	Código Código	-	Facilitador Auditor	TCC 33 PO	Data Data	05/10/2019 11/10/2019	Folha De	1 1			
FU	Referência FA	MO	Consequência	1	2	3	4	5	6	7	Intervalo Inicial	Realizada por
2	1	1	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
2	1	4	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
2	1	5	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
2	1	7	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
2	1	9	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
2	1	10	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
2	1	11	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
2	1	12	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	1	3	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Semestral	PMLs
4	1	5	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	1	7	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	1	8	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	1	10	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	1	11	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	2	3	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	2	6	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Semestral	PMLs
4	2	7	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	2	9	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	2	11	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	2	13	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	2	16	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	2	18	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	2	20	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	2	22	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	2	23	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	3	3	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	3	6	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Semestral	PMLs
4	3	7	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	3	9	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	3	11	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	3	13	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	3	16	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	3	18	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	3	20	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	3	22	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
4	3	23	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
7	1	1	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
7	1	8	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
7	1	13	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
7	1	16	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
7	1	18	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
8	1	32	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs
8	1	34	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Mensal	PMLs

Fonte: Autoria própria (2019).

Através do histórico de falhas de um componente (Gaio, 2016) e seus custos de manutenção, é possível estimar a periodicidade ótima para tarefas de manutenção preventiva, quando aplicáveis. Para isso, é necessário compreender o comportamento do respectivo modo de falha, sua função de confiabilidade, seus custos de manutenção preventiva e reparo. Esta estimativa de intervalo ótimo de manutenção preventiva foi demonstrada para o modo de falha de cabeçote trincado, cujo histórico de falha se mostrou suficiente para uma análise demonstrativa e suas características de manutenção podem tornar tarefas preventivas vantajosas.

O material utilizado como histórico de falhas do conjunto de força foi uma planilha de rastreabilidade de componentes do motor Diesel utilizada pela empresa analisada (Anexo B). Nesta planilha, são registrados todos os componentes recebidos, recuperados e devolvidos pelas oficinas após retirada da locomotiva nos postos de manutenção. Esta planilha é preenchida com a identificação do componente, o tempo calculado entre a instalação na locomotiva e a sua devolução (considerado aqui como o tempo até a falha) e a descrição da falha, de forma a permitir às oficinas o controle de recebimento e emissão de componentes, assim como a garantia do serviço de recuperação do setor.

Foi verificado que esses dados careciam de tratamento e validação apropriados para análises de confiabilidade, como descrições padronizadas de falha e tempo de utilização para todos os registros. Dessa forma, a partir desses dados, foram escolhidos os registros cuja descrição de modo de falha e de tempo até a falha fossem suficientes para analisar a confiabilidade para o modo de falha cabeçote trincado. Das 65500 linhas com registros de falha e 17 colunas detalhando cada ocorrência, foram filtradas e selecionadas as falhas ocorridas no período de 2018 até o primeiro semestre de 2019, similar ao período de análise das ocorrências de avarias e reboques, cujas descrições (efeito de falha) fizessem alusão ao modo cabeçote trincado. A lista de amostras analisadas é apresentada na Tabela 2, com a identificação do cabeçote e o tempo de utilização em meses. Foi verificado para a amostra encontrada que o tempo máximo para a manifestação do modo de falha cabeçote trincado é de aproximadamente 11 anos.

Tabela 2 – Tempos até a falha para cabeçotes trincados.

Nº do Cabeçote	Tempo em Utilização (Meses)
CAB1K04	5
14C33585	9
15R0447	11
15G350014	29
13A1944	31
04M1588	37
D10806	40
12F0544	41
YF091229CIP	57
D46903	58
J30405	67
E34208	67
B61406	68
11L2102	79
11A1695	82
H28403	88
H51406	99
C25703	108
F17494	111
M12408	121
H31407	124
G29000	131

Fonte: Aatoria própria (2019).

Para demonstrar o cálculo do intervalo ótimo, são adotadas as seguintes hipóteses:

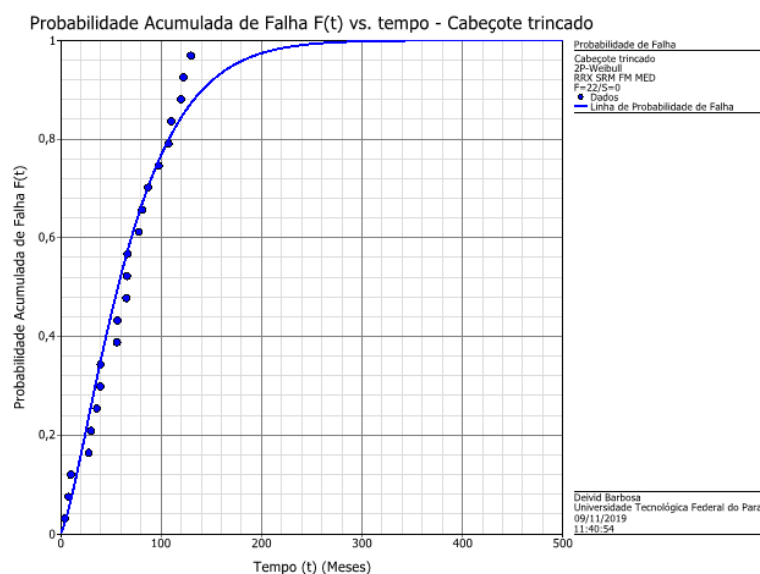
- Todos os cabeçotes listados eram de conjuntos de força novos antes de falhar (não houve trocas no conjunto de dados)
- As tarefas de manutenção preventiva indicadas nesta demonstração (troca por cabeçote novo e troca por um recuperado) restauram a confiabilidade ao mesmo nível de um cabeçote novo
- Os custos de manutenção preventiva e reparo estão relacionados aos custos de aquisição dos componentes trocados

Encontrada a relação de cabeçotes trincados, foi feita a determinação do modelo mais apropriado para representar a taxa de falhas e a probabilidade de falha para este

modo. Foi escolhida a distribuição de Weibull para modelar a confiabilidade do cabeçote sob o modo de falha escolhido.

Para obter os coeficientes β e η da distribuição de Weibull, assim como verificar a capacidade dessa distribuição modelar os dados encontrados, foi realizado o tratamento da lista de cabeçotes trincados pelo software *ReliaSoft Weibull++*®. O resultado da aplicação dessa regressão é apresentado na Figura 36. Os coeficientes encontrados na regressão são $\beta = 1,32$ e $\eta = 75$ meses (aproximadamente 6 anos). Foi verificado que a distribuição apresenta boa concordância com os dados operacionais. Foi encontrado um valor do coeficiente ρ igual a 0,97, considerado um bom ajuste para o modo de falha, estando muito próximo de 1 e, portanto, mostrando boa correlação (Weibull.com, 2017). Por outro lado, percebe-se que a curva modela satisfatoriamente a amostra até um intervalo de tempo de 120 meses, a partir do qual a diferença entre o ajuste e os dados aumenta drasticamente.

Figura 36 - Função Probabilidade acumulada de falha para cabeçote trincado.

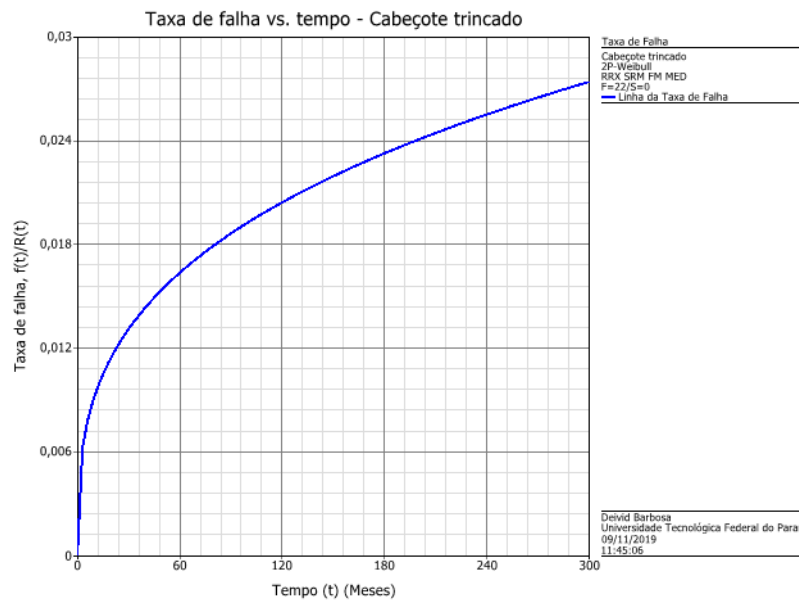


Fonte: Autoria própria (2019) utilizando Weibull++.

Verificou-se que o coeficiente β é ligeiramente maior do que 1, associado a uma maior predominância de desgaste ou fadiga. Valores entre 1,3 e 1,4 estão associados a modos de falha causados por fadiga (Lafraia, 2001) Esse resultado vai ao encontro das condições operacionais associadas ao modo de falha investigado. Cabeçotes estão sujeitos tanto a carregamentos cíclicos térmicos e mecânicos causados pelo

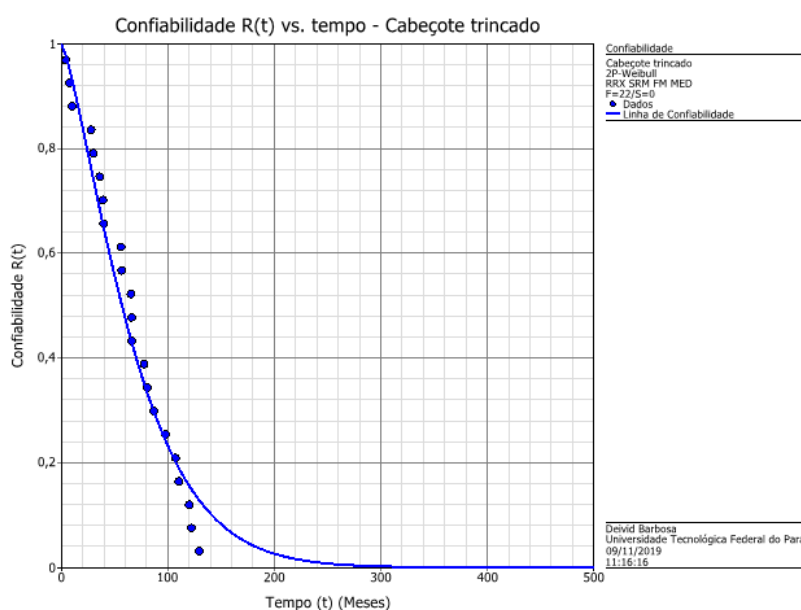
processo de combustão, mudanças de ponto de potência e desligamento do motor (Mayne, 2014), associados à fadiga térmica e mecânica, quanto por falhas operacionais (como choques térmicos) e falhas no material de base do cabeçote, com natureza mais aleatória. Tais fenômenos contribuem para o surgimento de trincas e, dessa forma, ajudam a explicar esse coeficiente. Com β maior do que 1 e uma taxa de falha crescente, conforme Figura 37, tem-se uma das condições atendidas que tornam possível o cálculo do intervalo ótimo de manutenção preventiva, tornando o cabeçote um candidato a receber esse tipo de manutenção. A Figura 38 apresenta a forma da função de confiabilidade, necessárias ao cálculo do intervalo ótimo.

Figura 37 – Função taxa de falha para cabeçote trincado.



Fonte: Autoria própria (2019) utilizando Weibull++.

Figura 38 – Função Confiabilidade para cabeçote trincado.



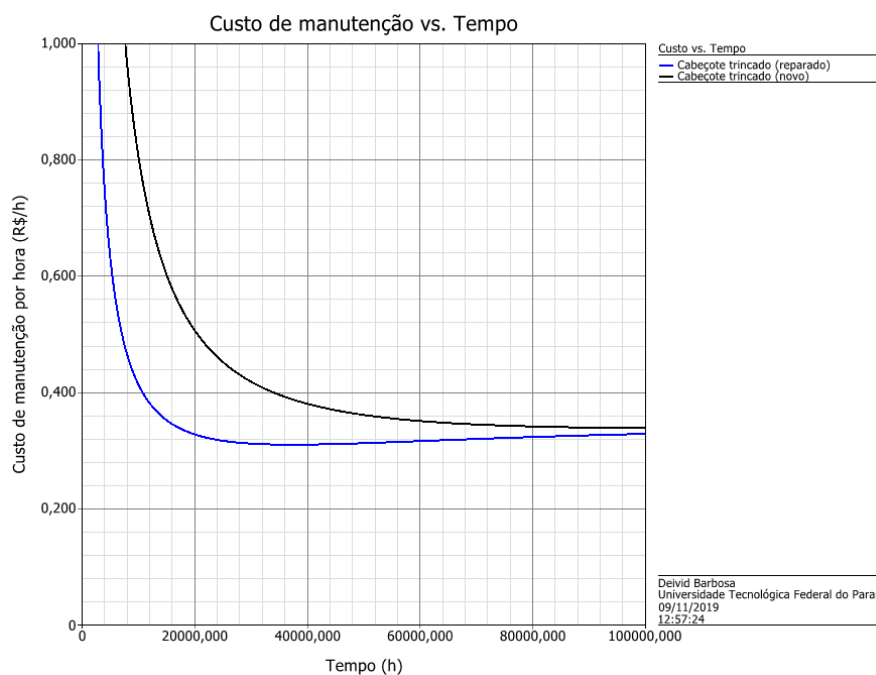
Fonte: Autoria própria (2019). utilizando Weibull++

Para esta demonstração, foi assumido que o custo de reparo corresponde à troca do conjunto de força inteiro por um novo. Esse custo corresponde à aquisição das peças novas, custando R\$ 17037,00 cada conjunto de força, conforme apresentado na Tabela 1. O custo de manutenção preventiva, por sua vez, foi modelado como correspondente à troca isolada do cabeçote trincado por um outro cabeçote, cujo custo corresponde à aquisição do cabeçote, a qual pode ser feita de dois modos:

- Troca do cabeçote trincado por uma peça nova com vedação (R\$ 6653,00)
- Troca do cabeçote trincado por uma peça recuperada com vedação (R\$ 2488,00)

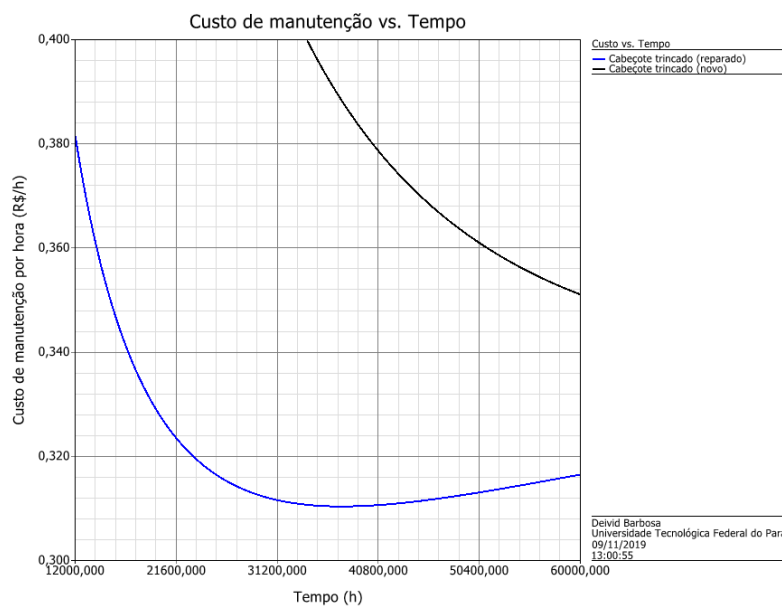
Em função da ausência de dados mais adequados sobre custo de mão-de-obra, lucro cessante (devido ao tempo de parada da locomotiva e do trem), tempos de parada sob falha e de reparo para cada tarefa de manutenção, os custos de manutenção preventiva e de reparo foram calculados de forma simplificada, com os dados apresentados acima. O intervalo ótimo de manutenção, considerando cada uma das alternativas, foi calculado utilizando o critério do custo mínimo por tempo, através do software *Reliasoft Blocksim*®. O resultado pode ser visto nas Figuras 39 e 40.

Figura 39 – Comportamento do custo de manutenção por tempo.



Fonte: Autoria própria (2019) utilizando *Blocksim*.

Figura 40 – Custo mínimo de manutenção por tempo.



Fonte: Autoria própria (2019) utilizando *Blocksim*.

Os intervalos ótimos de troca preventiva, encontrados para cada tarefa, são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Intervalos ótimos de troca do cabeçote

Tarefa	Intervalo para troca (anos)	Custo anual de manutenção (R\$/ano)
Troca por cabeçote recuperado	4.3	R\$ 2,719.10
Troca por cabeçote novo	15.9	R\$ 2,956.50

Fonte: Aatoria própria (2019).

A partir da Figura 40 e da Tabela 3, percebe-se que, para a tarefa de troca do cabeçote por um componente novo, não é possível encontrar um intervalo válido. Isso pode ser explicado pelo comportamento da função de confiabilidade encontrada para o modo de falha, com o tempo característico η , de 6 anos, muito inferior ao intervalo encontrado, de 14 anos e, portanto, violando o critério de validade da equação (Barringer, 2008). Da mesma forma, a relação entre os custos de manutenção preventiva e reparo que, associada aos parâmetros informados, não é suficiente para tornar vantajosa uma intervenção preventiva em um tempo mais curto.

Para a curva referente à tarefa de manutenção de troca por um cabeçote recuperado, foi possível localizar um intervalo ótimo de troca próximo a 4 anos, o qual poderia ser incluído no intervalo de tarefas realizadas com periodicidade bienal. Apesar das duas tarefas possuírem as mesmas funções de confiabilidade, foi verificado que a relação entre custos de manutenção preventiva e de reparos é mais vantajosa para a troca por componentes recuperados, custando menos da metade de um cabeçote novo e aproximadamente 1/7 do custo de um conjunto de força inteiro, o que traz um custo anual de manutenção estimado em R\$ 2720,00 por cabeçote. Essa diferença nos custos vai ao encontro da política de manutenção da empresa analisada prever setores e fornecedores dedicados à restauração e recuperação de cabeçotes e outros componentes do conjunto de força. Da mesma forma, o intervalo encontrado é próximo ao intervalo previsto para troca do conjunto de força, de 4 anos, conforme indicado pelos especialistas.

O modo de falha cabeçote trincado se mostra um candidato potencial para receber tarefas de manutenção preventiva. Verificou-se que a relação entre custos de manutenção preventiva e de reparo também se mostra bastante relevante na

viabilidade de intervenções preventivas, uma vez que, quanto maior a diferença entre os custos de manutenção preventiva e de reparo, menores são intervalos ótimos para troca (ReliaWiki.org, 2017). Por outro lado, o intervalo encontrado serviu para demonstrar a utilização desse critério. A definição de intervalos de manutenção deve utilizar análises mais sistêmicas e assumir condições de longo prazo, o que torna análises como LCC bastante atraentes para esse tipo de estudo.

Dessa forma, a demonstração do cálculo do intervalo foi realizada, escolhendo o modo de falha cabeçote trincado como objeto de estudo. Esse modo apresentou comportamento de falha atrelado ao desgaste, conforme comprovado pela análise de confiabilidade, e pode ser trocado por uma peça nova ou recuperada com custos menores do que a troca do conjunto completo. Essas duas formas de troca foram comparadas como duas tarefas diferentes de manutenção preventiva sob o critério do custo mínimo de manutenção por tempo, cujo resultado foi o menor custo apresentado pela troca por cabeçote recuperado.

Neste capítulo, foi verificado que a metodologia MCC foi aplicada ao subsistema Conjunto de Força, resultando em um plano de manutenção adaptado ao contexto da empresa, assim como na demonstração do cálculo do intervalo ótimo de manutenção. As etapas da metodologia puderam ser executadas com sucesso, transformando informações isoladas sobre o subsistema em tarefas de manutenção adequadas às condições do equipamento e ao contexto da empresa analisada.

Um cabeçote trincado, por exemplo, foi um modo de falha identificado em um manual de manutenção e classificado pela lógica de decisão da metodologia MCC como um modo de falha oculto à operação normal, que requer atividades que detectem a ocorrência da falha e a respectiva manutenção corretiva. A partir desse direcionamento pela metodologia, foram propostas tarefas de inspeção visual, teste de pressão e troca do componente, adequadas ao modo de falha e encontradas tanto em manuais de manutenção quanto nos relatos dos especialistas de manutenção da companhia, reforçando a aplicabilidade e coerência do plano proposto.

As tarefas encontradas se mostraram próximas das adotadas pela empresa analisada e das estratégias adotadas em manuais e outros trabalhos correlatos. A predominância de inspeções funcionais no plano de manutenção, por exemplo, foi um resultado compartilhado pelo plano proposto por Silva et al (2008). A capacidade da

metodologia e do plano de manutenção resultante da metodologia validar a estratégia de manutenção adotada pela operadora ferroviária foi outro resultado encontrado e partilhado pela aplicação da metodologia feita por Mayne (2014). Da mesma forma, o cálculo do intervalo ótimo, apesar de simplificado, permitiu demonstrar os ganhos potenciais do uso de análises de confiabilidade na gestão de manutenção. A demonstração do cálculo do intervalo de manutenção preventiva para a troca de um cabeçote trincado permitiu comparar duas estratégias de manutenção preventiva, destacando a possível vantagem do uso de cabeçote recuperado quanto ao custo de manutenção e justificando a manutenção de uma estrutura operacional dentro da empresa para a realização dessa atividade, tanto na forma do intervalo de troca de 4 anos quanto à existência de oficinas e contratos para recuperação. O cálculo realizado foi ao encontro do desafio da empresa de planejar a manutenção conciliando disponibilidade, demanda e custos de manutenção.

Por outro lado, o estudo de caso realizado apresentou limitações que reduziram a efetividade dos resultados encontrados. O subsistema escolhido possui grande complexidade, o que onerou o levantamento de informações e requereu sua simplificação. Os dados e históricos de falhas disponíveis se mostraram insuficientes para análises mais adequadas de frequência de falhas, aplicabilidade e efetividade de tarefas de manutenção, assim como a periodicidade das mesmas. Tais limitações foram refletidas na análise FMEA, por exemplo, que teve de ser realizada de forma qualitativa, amparada pela percepção dos especialistas do setor. Da mesma forma, os intervalos para as tarefas de manutenção tiveram de ser adaptados de procedimentos operacionais de outras companhias, impedindo a proposta de um plano otimizado ao contexto da empresa escolhida. A predominância de tarefas mensais pode impactar negativamente na disponibilidade dos ativos, indo de encontro ao objetivo de utilizar de forma eficiente a frota de locomotivas. Por fim, o critério escolhido para cálculo do intervalo de manutenção teve de ser simplificado em função dos dados disponíveis, dispensando informações relevantes como tempo de reparo, custo de oportunidade e a própria disponibilidade dos ativos.

5 CONCLUSÕES

Neste capítulo, são apresentadas as considerações finais e as sugestões de ações futuras a respeito deste trabalho.

O presente projeto de pesquisa consistiu em propor um plano de manutenção através de uma metodologia de gestão da manutenção para o conjunto de força dos motores Diesel de dois tempos da frota de locomotivas uma companhia ferroviária brasileira. Esta empresa possui aproximadamente 75% da frota movida por esse tipo de motor e está em expansão, requerendo cada vez mais eficiência operacional, o que inclui a utilização eficiente das locomotivas e a gestão eficiente da manutenção, que pode ser facilitada pela demonstração da aplicação da metodologia MCC.

No primeiro capítulo, o problema e oportunidade de investigação foram definidos. O contexto de expansão operacional puxada pelo agronegócio cria grandes desafios à engenharia de manutenção de prover a disponibilidade necessária em acordo com os custos de manutenção, ressaltando a necessidade de um planejamento da manutenção voltado para as demandas operacionais, amparada por metodologias de gestão da manutenção, como a MCC. Do mesmo modo, conforme análise de históricos de falhas, há sistemas e subsistemas da locomotiva que demandam maior atenção do time de engenharia, por causar mais impacto na operação na forma de avarias com reboque, causando atrasos de trem. No segundo capítulo, foi realizada a revisão bibliográfica do motor Diesel e da metodologia MCC. Outros trabalhos realizados no mesmo contexto foram citados e apresentados, provendo os conceitos, caminhos e informações necessárias à execução deste trabalho.

No terceiro capítulo, os materiais e métodos foram propostos para a proposta do plano de manutenção em um subsistema do motor Diesel amparado pela metodologia MCC, organizada em sete etapas. As etapas propostas foram, primeiramente, selecionar o sistema e coletar informações sobre o sistema e subsistema escolhido, mediante análise do histórico de falhas de locomotivas da empresa e das características do sistema e subsistema escolhidos (motor Diesel e conjunto de força); seguida pela análise de modos, falhas e efeitos (FMEA) utilizando dados da literatura e a percepção de especialistas do setor; selecionar as funções significantes e classificar os modos de falha quanto à manifestação e consequência, levantar, avaliar

e selecionar as tarefas de manutenção para os modos de falha encontrados, considerando características como aplicabilidade e efetividade; concluindo pela definição da periodicidade das tarefas, através da adaptação de intervalos de outras companhias e a demonstração do cálculo do intervalo ótimo mediante emprego de critérios de custo e ferramentas de confiabilidade. resultando em um plano de manutenção. Dessa forma, foi estabelecido o caminho para atender os objetivos apresentados, de propor um plano de manutenção para um subsistema do motor Diesel mediante emprego da metodologia MCC, através da revisão bibliográfica, históricos de falhas, delimitação do subsistema, execução das sete etapas e a demonstração do cálculo do intervalo de manutenção.

No quarto capítulo, são apresentados e analisados os resultados da aplicação das sete etapas da metodologia. A primeira etapa consistiu na escolha do subsistema sob análise, sendo o conjunto de força escolhido em função do impacto de suas falhas na quantidade de avarias e reboques sofridas pela empresa analisada e do custo elevado associado ao subsistema e à sua manutenção. Foram levantadas, conforme recomendação da metodologia, informações como contexto operacional e funcionamento, definindo as funções do conjunto de força, todas elas relacionadas ao ciclo Diesel e suas interfaces.

Para a segunda etapa, as falhas funcionais foram encontradas e analisadas pela análise FMEA, para a qual foram levantados e analisados os modos e os efeitos de falha para o subsistema. Através dessa ferramenta, apoiada por dados da literatura e da percepção de especialistas da companhia estudada, foi possível organizar, classificar e priorizar essas informações de forma a viabilizar a seleção das tarefas de manutenção, facilitando sua gestão para a operação. Todos os modos encontrados apresentaram severidade máxima e detecção difícil, diferindo entre si pela ocorrência. Os modos mais críticos foram filtrados a partir de um critério de criticidade definido para visualizar os modos de falha mais frequentes.

Na terceira etapa, as funções, falhas e modos encontrados foram selecionados e classificados em função de sua importância, manifestação e consequências, sendo todas ocultas com impacto econômico operacional conforme a lógica de decisão da metodologia MCC. Dessa forma, na quarta, quinta e sexta etapas, as tarefas de manutenção foram levantadas, classificadas e selecionadas com o auxílio de dados

de manuais de manutenção e do conhecimento da estratégia de manutenção da empresa. Todos os modos de falha encontrados demandaram manutenção combinada composta, pelo menos, por inspeções funcionais, demandadas para falhas ocultas, resultado esse observado em outros trabalhos.

Por fim, a periodicidade das atividades foi definida na sétima etapa, resultando em uma proposta do plano de manutenção, apresentado no Apêndice A. Em função de limitações na qualidade dos dados de confiabilidade e custos disponíveis, os intervalos propostos no plano de manutenção foram definidos com base nos intervalos propostos nas referências consultadas e adaptados à realidade da empresa analisada. Verificou-se, como resultado, uma predominância de intervenções mensais, o que se deve à quantidade de inspeções funcionais recomendadas, muitas delas visuais. Para fins demonstrativos, foi estimado o intervalo ótimo de manutenção preventiva de um componente do conjunto de força (cabeçote trincado). O intervalo encontrado, além de poder coincidir com uma das revisões, vai ao encontro do tempo utilizado pela empresa para troca do conjunto de força. Isso permitiu destacar os ganhos potenciais de análises de confiabilidade e dos custos de manutenção preventiva e de reparo nos custos totais de manutenção.

O plano de manutenção proposto e a demonstração do cálculo do intervalo ótimo, resultantes da análise do histórico de falhas, escolha do subsistema e da aplicação da metodologia MCC, foi ao encontro do desafio da empresa de planejar a manutenção conciliando critérios como disponibilidade e custos. Mostrou-se possível a utilização de uma metodologia de gestão de manutenção para o planejamento e de ferramentas de confiabilidade e critérios de custo para estimar periodicidades.

As principais limitações para o desenvolvimento deste trabalho são similares às limitações encontradas em outros estudos de caso. A menor quantidade e qualidade de dados de falha, manutenção e custos requereu o uso de amostras mais limitadas, critérios mais simples e maior dependência de informações de trabalhos similares e do *feedback* dos especialistas do setor. Não foi possível analisar com profundidade aspectos importantes neste trabalho, como a disponibilidade de locomotivas e os custos envolvendo todos os modos de falha. Isso afetou atividades como a análise FMEA, tornando-a mais qualitativa, e a definição dos intervalos de manutenção que, uma vez adaptados outras companhias, requer adequação às condições da empresa

analisada. A complexidade do subsistema escolhido também requereu simplificar o levantamento dos dados.

Apesar das limitações referentes aos dados de falha desses componentes ser um desafio deste trabalho, foi possível demonstrar a aplicação da metodologia em todas as fases apresentadas neste trabalho. Foi possível organizar as informações necessárias para orientar a implementação da metodologia, conforme venha a ser demandada. O plano de manutenção resultante contém de forma estruturada, organizada e padronizada, informações suficientes para compreender cada modo de falha e suas tarefas de manutenção, levantados a partir de manuais de manutenção, procedimentos e produções de companhias ferroviárias nacionais e estrangeiras, permitindo não só questionar as políticas de manutenção vigentes quanto validar boas práticas já adotadas no meio analisado. Da mesma forma, o cálculo do intervalo ótimo de manutenção preventiva é demonstrado, reforçando a relevância do uso de análises de confiabilidade e de custos. Este intervalo foi calculado para um modo de falha de um componente (cabeçote trincado) e permitiu comparações com as estratégias da empresa. Uma vez que a gestão da manutenção tem um papel cada vez mais relevante no nível de serviço das organizações, garantindo as funções dos ativos, principalmente na operação ferroviária brasileira, em expansão, os resultados apresentados neste trabalho reforçam a relevância do tema, metodologia e ferramentas, reforçada por outros trabalhos nacionais e estrangeiros.

Recomenda-se para trabalhos futuros a revisão e implementação desse plano de manutenção amparada por bases de dados mais completas, organizadas, padronizadas, com mais qualidade e rastreabilidade, assim como análises mais sistêmicas e abrangentes, como o método LCC. Cabe também estender a metodologia para outros subsistemas do motor Diesel e da locomotiva, conforme relevância e disponibilidade de dados. Da mesma forma, também se recomenda a realização de análises amparadas e validadas por modelos e softwares apropriados para análises de confiabilidade, facilitando a integração entre etapas da metodologia e a avaliação de diversas oportunidades de melhoria, como manutenção por oportunidade para grupos de componentes e a maximização da disponibilidade dos ativos.

REFERÊNCIAS

- BARRINGER, Paul. **Find Annual Costs Using Life Cycle Cost Calculations With Planned Replacements**. Barringer & Associates, Inc. 2008. Disponível em: < <http://www.barringer1.com/jan05prb.htm>>. Acesso em: 20 out. 2019.
- BORBA, José L. **Estrutura das locomotivas diesel-elétricas – Motor diesel ferroviário**. Curitiba: UNIALL – Universidade Corporativa América Latina Logística, 2009. – Vol. III.
- BORBA, José L. **Material de Tração**. Belo Horizonte: IEC – Instituto de Educação Continuada – Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, 2007.
- BORBA, José Luiz. **Mecânica de Locomotivas. Curso de Especialização em Transporte Ferroviário de Cargas**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2008.
- BOULANGER, P.; ADAM, B. **Motores Diesel**. 1º edição. Paris: Ed. Hemus, 1978.
- GAEDE, Marcelo André de Souza. **Árvore de Falhas como Subsídio na Implementação da Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Rio de Janeiro: Instituto Militar de Engenharia, 2008. Monografia (Especialização em Transporte Ferroviário de Carga).
- GAIO, Evandro Dias. **Proposta de um plano de manutenção de um equipamento industrial através da utilização de ferramentas da Manutenção Centrada em Confiabilidade**. Juiz de Fora: Universidade Federal de Juiz de Fora, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação).
- JUNIOR, Valter Calixto Siqueira; PACHECO, Luciano Augusto Milanesi. **Manual de manutenção Motor Turbo Alimentado 645E3B GM**. 1ª Edição. São Paulo. 1982.
- KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção função estratégica**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- KITAMURA, Fábio. **Treinamento sobre Locomotiva Diesel-Elétrica GE/GM**. Juiz de Fora: Teach Treinamentos Especiais, 2005.
- LAFRAIA, J. R. B. **Manual de confiabilidade, manutenibilidade e disponibilidade**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.
- LI, Zhaojun Steven; MOBIN, Mohammad S. **System reliability assessment incorporating interface and function failure**. Annual Reliability and Maintainability Symposium (RAMS). IEEE, 2015. p. 1-8.
- MAYNE, Caleb. **Reliability-centered maintenance analysis of a Rio Tinto iron ore locomotive engine**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - University of Southern Queensland, 2014.

MAYOYO, Aobakwe Reginald. **Factors that cause engine failure on diesel locomotives**. 2015. Tese de Doutorado. University of Johannesburg.

MIO DAL PAI, Leonardo Rafael. **Estudo do custo do ciclo de vida de um motor diesel de locomotiva**. Curitiba: Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2012. Monografia (Especialização em Engenharia da Confiabilidade).

MOUBRAY, John. **Manutenção Centrada na Confiabilidade**. Lutterworth, Inglaterra: Aladon Ltd, 2000.

NCDOT Rail Division. **Preventive Maintenance (PM) Procedures**. 2015. Disponível em: <<https://connect.ncdot.gov/resources/Rail-Division-Resources/Documents/NCDOT%20Rail%20Division%20PM%20Procedures.pdf>> Acesso em: 20 ago. 2019.

NELSON, W. B. **Applied life data analysis**. [S.l.]: John Wiley & Sons, 2005. v. 577.

PARANÁ (Estado). Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística. **Pregão Eletrônico Nº 15/2015**. Paraná, 2015.

PARANÁ (Estado). Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística. **Pregão Eletrônico Nº 20/2017**. Paraná, 2017

PARANÁ (Estado). Secretaria de Estado de Infraestrutura e Logística. **Pregão Eletrônico Nº 64/2018**. Paraná, 2018

RELIASOFT. **BlockSim**. Disponível em: <<https://www.reliasoft.com/products/reliability-analysis/blocksimpl>> Acesso em: 20 mai. 2019.

RELIAWIKI.ORG. **Preventive Maintenance**. 2017. Disponível em: <http://www.reliawiki.org/index.php/Preventive_Maintenance> Acesso em: 20 set. 2019.

REZVANIZANIANI, S. M. et al. **Reliability centered maintenance for rolling stock: A case study in coaches' wheel sets of passenger trains of Iranian railway**. International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management. IEEE, 2008. p. 516-520.

RIGONI, Emerson. **METODOLOGIA PARA IMPLANTAÇÃO DA MANUTENÇÃO CENTRADA NA CONFIABILIDADE: uma abordagem fundamentada em Sistemas Baseados em Conhecimento e Lógica Fuzzy**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2009. 342 f. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina.

SILVA, Magno Faustino; DE OLIVEIRA ROCHA, Marcílio Eustáquio. **ELABORAÇÃO**

DA PLANO DE MANUTENÇÃO DE LOCOMOTIVAS UTILIZANDO A FERRAMENTA RCM. Monografia - Instituto Militar de Engenharia. Disponível em: <<http://transportes.ime.eb.br/etfc/monografias/MON081.pdf>>. Acesso em: 28 mar. 2019, 00:16.

SIQUEIRA, Iony Patriota. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: manual de implementação.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2005.

SOUZA, Rafael Doro. **Análise da Gestão da Manutenção Focando a Manutenção Centrada na Confiabilidade: Estudo de Caso MRS Logística.** 2008. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2008.

USRNC. **0420 - E111 - Emergency Diesel Generators.** Disponível em: <<https://www.nrc.gov/docs/ML1122/ML11229A187.pdf>> Acesso em: 20 mai. 2019.

WEIBULL.COM. **How Good Is Your Assumed Distribution's Fit?.** 2007. Disponível em: <<https://www.weibull.com/hotwire/issue71/relbasics71.htm>> Acesso em: 20 set. 2019.

APÊNDICE A – PLANO DE MANUTENÇÃO COMPLETO

Plano de Manutenção Centrada na Confiabilidade																				
Unidade Item	Locomotiva GM Motor Diesel	Código	Facilitador Auditor	TCC 33		Data	Data	Folha De	1	1	Períodicidade	Atividade	Mudança de Projeto	Manutenção Combinada						
				PO	FO															
Falha	Componente	Unidade	Sistema	Componente	Função	Falha	Modo de falha	Efeito de falha	Criticidade	Visível Evidente	Segurança Ambiente	Operac/Economia	Inspeção Operacional	Restauração Preventiva	Substituição Preventiva	Inspeção Funcional	Manutenção Combinada	Mudança de Projeto		
Admitir ar fresco no cilindro	Camisa	1	1	2	1	1	1	Janelas obstruídas	15	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Limpeza (MC) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Admitir ar fresco no cilindro	Conjunto de Força	1	1	3	1	1	2	Componentes misturados	15	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Admitir ar fresco no cilindro	Cabeçote	1	1	1	1	2	1	Dano ao motor, falha das válvulas, falha de ignição, ruído	12	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	N	S	S	N	Inspeção do ajuste (IF) + Ajuste de folga do ajustador (RP)(MC)	Mensal
Admitir ar fresco no cilindro	Cabeçote	1	1	1	1	2	2	Dano ao motor, falha das válvulas, falha de ignição, ruído	12	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	N	S	S	N	Inspeção de ruído (IF) + Troca do ajustador (MC)	Mensal
Admitir ar fresco no cilindro	Camisa	1	1	2	1	2	3	Motor não gira, motor não parte, perda de potência, fumaça	12	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Limpeza (MC) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Admitir ar fresco no cilindro	Conjunto de Força	1	1	3	1	2	4	Componentes misturados	12	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Cabeçote	1	1	1	2	1	1	parada do motor, pressão positiva do carter	75	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do cabeçote ou CF (MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Cabeçote	1	1	1	2	1	2	falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	50	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	S	S	S	N	Inspeção de ruído (IF) + Teste de pressão do cilindro (IF, IF) + Troca do cabeçote (SP, MC)	Semestral
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Cabeçote	1	1	1	2	1	3	perda de potência, fumaça	50	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	N	S	S	N	Inspeção de temporização (IF) + Ajuste da temporização (MC)	Semestral
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Camisa	1	1	2	2	1	4	Motor não gira	75	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Camisa	1	1	2	2	1	5	Camisa danificada	75	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	S	S	S	N	Inspeção do CF em PMI (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Camisa	1	1	2	2	1	6	Camisa riscada no cilindro	50	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	S	S	S	N	Inspeção de 01 rotação (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Conjunto de Força	1	1	3	2	1	7	Motor não parte, perda de compressão, parada do motor	75	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF, IF) + Teste de pressão do cilindro (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Conjunto de Força	1	1	3	2	1	8	CF desgastado	50	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Conjunto de Força	1	1	3	2	1	9	Componentes misturados	50	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Conjunto de Força	1	1	3	2	1	9	Componentes superaquecidos	75	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Pistão e biela	1	1	4	2	1	10	pressão baixa do óleo do motor	75	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	S	S	S	N	Inspeção de 01 rotação (IF, IF) + Teste de pressão do cilindro (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Pistão e biela	1	1	4	2	1	11	uso excessivo de lubrificante	75	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	S	S	S	N	Inspeção de 01 rotação (IF, IF) + Teste de pressão do cilindro (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Pistão e biela	1	1	4	2	1	11	Motor não parte, sem ignição, uso excessivo de lub. perda de potência, fumaça	75	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão do cilindro (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Pistão e biela	1	1	4	2	1	12	Perda de compressão	75	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Pistão e biela	1	1	4	2	1	12	Anel riscado verticalmente com risco vertical manom	75	NÃO	NAO	SIM	OEO	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal

Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Não comprime ar fresco	Pistão e biela	1	1	4	2	1	13	Biela girou acasalada incorretamente com peças do cesto	Motor não gira	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	S	S	S	N	Inspecção visual (IF) + Troca da biela (RP, SP, MC) ou CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Não comprime ar fresco	Pistão e biela	1	1	4	2	1	14	Mancal da biela danificado	Motor não gira	60	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	S	S	S	N	Inspecção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Cabeçote	1	1	1	2	2	1	ajustador de folga desajustado	Dano ao motor, falha das válvulas, falha de ignição, ruído	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	S	S	S	N	Inspecção de ajuste (IF) + Ajuste de folga do ajustador (RP)(MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Cabeçote	1	1	1	2	2	2	ajustador de folga ruidoso	Dano ao motor, falha das válvulas, falha de ignição, ruído	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspecção de ruído (IF) + Troca do ajustador (MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Cabeçote	1	1	1	2	2	3	Cabeçote trincado	parada do motor, pressão positiva do carter	60	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspecção visual (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do cabeçote ou CF (MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Cabeçote	1	1	1	2	2	4	Componentes mal apertados	Vibração excessiva, perda de potência sem fumaça, fumaça	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspecção de aperto (IF) + Correção do aperto (MC)	Semestral
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Cabeçote	1	1	1	2	2	5	Válvula de descarga com defeito	falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspecção de ruído (IF) + Teste de pressão do cilindro (IF, IF) + Troca do cabeçote (SP, MC)	Semestral
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Cabeçote	1	1	1	2	2	6	Válvula fora do tempo	perda de potência, fumaça	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspecção de temporização (IF) + Ajuste de temporização (MC)	Semestral
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Camisa	1	1	2	2	2	7	Camisa danificada	Motor não gira	60	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	S	S	S	N	Inspecção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Camisa	1	1	2	2	2	8	Camisa envernizada	Uso excessivo de óleo lubrificante	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	S	S	S	N	Inspecção visual (IF) + Teste de carga (RP)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Camisa	1	1	2	2	2	9	Camisa riscada no cilindro	Motor não gira	60	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspecção do CF em PMI (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Camisa	1	1	2	2	2	10	Cilindro escorinado	Motor não parte, perda de compressão, parada do motor	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspecção de 01 rotação (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Camisa	1	1	2	2	2	11	Janelas brunidas	anel quebrado, perda de compressão	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspecção visual (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Camisa	1	1	2	2	2	12	Vedação inferior da camisa danificada	parada do motor, pressão positiva do carter	60	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Teste de vedação (IF) + Análise do óleo (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Conjunto de Força	1	1	3	2	2	13	CF desgastado	uso excessivo de lubrificante, falha de ignição, ruído	60	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspecção visual (IF, IF) + Teste de pressão do cilindro (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Conjunto de Força	1	1	3	2	2	14	Componentes misturados	Ruído	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	S	S	S	N	Inspecção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Conjunto de Força	1	1	3	2	2	15	Componentes superaquecidos	pressão baixa do óleo do motor	60	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	S	S	S	N	Inspecção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Pistão e biela	1	1	4	2	2	16	Anéis do pistão desgastados	uso excessivo de lubrificante	60	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspecção de 01 rotação (IF, IF) + Teste de pressão do cilindro (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Pistão e biela	1	1	4	2	2	17	Anéis do pistão não gram livremente	óleo contaminado	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspecção visual (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Pistão e biela	1	1	4	2	2	18	Anéis do pistão quebrados	Motor não parte, sem ignição, uso excessivo de lub. perda de potência, fumaça	60	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspecção visual (IF) + Teste de pressão do cilindro (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Comprime ar a pressão inferior à limite (275 PSI)	Pistão e biela	1	1	4	2	2	19	Anéis montados incorretamente	uso excessivo de lubrificante	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	S	S	S	N	Inspecção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem

Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Pistão e biela	1	1	4	2	2	20	Anel riscado verticalmente com risco vertical marrom	Perda de compressão	60	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Pistão e biela	1	1	4	2	2	21	Biela danificada	Motor não gira	40	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca da biela (RP, SP, MC) ou CF (SP, MC)	Bienal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Pistão e biela	1	1	4	2	2	22	Biela empenada	Ruído	40	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Leitura com fio de chumbo (IF) + Troca da biela (RP, SP, MC) ou CF (SP, MC)	Bienal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Pistão e biela	1	1	4	2	2	23	Componentes soltos	pressão baixa do óleo do motor	40	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Pistão e biela	1	1	4	2	2	24	Pinos e mancais superaquecidos	pressão baixa do óleo do motor	60	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Pistão e biela	1	1	4	2	2	25	Pistão danificado	Perda de compressão	40	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Semestral
Comprimir ar fresco a uma pressão adequada dentro do cilindro (275 a 350 PSI)	Pistão e biela	1	1	4	2	2	26	Pistão trincado	parada do motor, pressão positiva do caner	40	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Cabeçote	1	1	1	3	1	1	modelo de injetor errado	falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	40	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do componente (MC)	Após montagem
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Cabeçote	1	1	1	3	1	2	Injetor fora do tempo	falha de ignição	60	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção do ajuste (IF) + Ajuste de tempo de injetor (MC)	Semestral
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Cabeçote	1	1	1	3	1	3	Injetor vazando	óleo contaminado, falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	60	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão (IF) + Troca do componente (MC)	Mensal
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Conjunto de Força	1	1	3	3	1	4	Cilindro sem pulverização	Motor não parte	40	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	teste de pulverização (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Conjunto de Força	1	1	3	3	1	5	Componentes misturados	Ruído	40	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Cabeçote	1	1	1	3	2	1	Componentes mal apertados	Vibração excessiva, perda de potência sem fumaça, fumaça	40	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção de aperto (IF) + Correção do aperto (MC)	Semestral
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Cabeçote	1	1	1	3	2	2	modelo de injetor errado	falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	40	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do componente (MC)	Após montagem
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Cabeçote	1	1	1	3	2	3	Injetor fora do tempo	falha de ignição	60	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção do ajuste (IF) + Ajuste de tempo de injetor (MC)	Semestral
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Cabeçote	1	1	1	3	2	4	Injetor vazando	óleo contaminado, falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	60	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão (IF) + Troca do componente (MC)	Mensal
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Conjunto de Força	1	1	3	3	2	5	Cilindro sem pulverização	Motor não parte	40	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	teste de pulverização (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Conjunto de Força	1	1	3	3	2	6	Componentes misturados	Ruído	40	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Cabeçote	1	1	1	3	3	1	Componentes mal apertados	Vibração excessiva, perda de potência sem fumaça, fumaça	32	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção de aperto (IF) + Correção do aperto (MC)	Semestral
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Cabeçote	1	1	1	3	3	2	modelo de injetor errado	falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	32	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do componente (MC)	Após montagem
Injetar combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Cabeçote	1	1	1	3	3	3	Injetor fora do tempo	falha de ignição	48	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção do ajuste (IF) + Ajuste de tempo de injetor (MC)	Semestral

Injetor combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	injeta mais combustível do que o adequado	Cabeçote	1	1	1	3	3	4	Injetor vazando	óleo contaminado, falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	48	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção visual (IF) + Teste de pressão (IF) + Troca do componente (MC)	Mensal
Injetor combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	injeta mais combustível do que o adequado	Conjunto de Força	1	1	3	3	3	5	Cilindro sem pulverização	Motor não parte	32	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	teste de pulverização (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Injetor combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	injeta mais combustível do que o adequado	Conjunto de Força	1	1	3	3	3	6	Componentes misturados	Ruído	32	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Injetor combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Não injeta combustível pulverizado	Cabeçote	1	1	1	3	4	1	Componentes mal apertados	Vibração excessiva, perda de potência sem fumaça, fumaça	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção de aperto (IF) + Correção do aperto (MC)	Semestral
Injetor combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Não injeta combustível pulverizado	Cabeçote	1	1	1	3	4	2	modelo de injetor errado	falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção visual (IF) + Troca do componente (MC)	Após montagem
Injetor combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Não injeta combustível pulverizado	Cabeçote	1	1	1	3	4	3	Injetor fora do tempo	falha de ignição	60	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção do ajuste (IF) + Ajuste de tempo de injetor (MC)	Semestral
Injetor combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Não injeta combustível pulverizado	Cabeçote	1	1	1	3	4	4	Injetor vazando	óleo contaminado, falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	60	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção visual (IF) + Teste de pressão (IF) + Troca do componente (MC)	Mensal
Injetor combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Não injeta combustível pulverizado	Conjunto de Força	1	1	3	3	4	5	Cilindro sem pulverização	Motor não parte	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	teste de pulverização (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Injetor combustível pulverizado no cilindro na proporção adequada	Não injeta combustível pulverizado	Conjunto de Força	1	1	3	3	4	6	Componentes misturados	Ruído	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Não queima mistura	Cabeçote	1	1	1	4	1	1	modelo de injetor errado	falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção visual (IF) + Troca do componente (MC)	Após montagem
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Não queima mistura	Cabeçote	1	1	1	4	1	2	Injetor fora do tempo	falha de ignição	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção do ajuste (IF) + Teste de pressão (IF) + Troca do componente (MC)	Semestral
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Não queima mistura	Cabeçote	1	1	1	4	1	3	Injetor vazando	óleo contaminado, falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção visual (IF) + Teste de pressão (IF) + Troca do componente (MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Não queima mistura	Cabeçote	1	1	1	4	1	4	válvula de descarga com defeito	falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção de ruído (IF) + Teste de pressão do cilindro (IF, IF) + Troca do cabeçote (SP, MC)	Semestral
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Não queima mistura	Camisa	1	1	2	4	1	5	Camisa danificada	Motor não gira	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Não queima mistura	Camisa	1	1	2	4	1	6	Camisa trincada	Motor não gira	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção do CF em PMI (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Não queima mistura	Camisa	1	1	2	4	1	7	Camisa vazando água	óleo contaminado	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção do CF em PMI (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Não queima mistura	Conjunto de Força	1	1	3	4	1	8	CF desgastado	uso excessivo de lubrificante, falha de ignição, ruído	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção visual (IF, IF) + Teste de pressão do cilindro (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Não queima mistura	Conjunto de Força	1	1	3	4	1	9	Componentes misturados	Ruído	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Não queima mistura	Pistão e biela	1	1	4	4	1	10	Anéis do pistão desgastados	uso excessivo de lubrificante	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção de O1 rotação (IF, IF) + Teste de pressão do cilindro (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Não queima mistura	Pistão e biela	1	1	4	4	1	11	Coroa molhada	Vazamento no injetor	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Cabeçote	1	1	1	4	2	1	ajustador de folga desajustado	Dano ao motor, falha das válvulas, falha de ignição, ruído	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção do ajuste (IF) + Ajuste de folga do ajustador (RP/IMC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Cabeçote	1	1	1	4	2	2	ajustador de folga ruídos	Dano ao motor, falha das válvulas, falha de ignição, ruído	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção de ruído (IF) + Troca do ajustador (MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Cabeçote	1	1	1	4	2	3	Cabeçote vazando água no topo	óleo contaminado	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção visual (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca da vedação, cabeçote ou CF (MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Cabeçote	1	1	1	4	2	4	Componentes mal apertados	Vibração excessiva, perda de potência sem fumaça, fumaça	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspecção de aperto (IF) + Correção do aperto (MC)	Semestral

Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Cabeçote	1	1	1	4	2	6	Injetor fora do tempo	falha de ignição	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Inspeção do ajuste (IF) + Ajuste de tempo de injetor (MC)	Semestral
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Cabeçote	1	1	1	4	2	7	Injetor vazando	óleo contaminado, falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão (IF) + Troca do componente (MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Cabeçote	1	1	1	4	2	8	válvula de descarga com defeito	falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção de ruído (IF) + Teste de pressão do cilindro (IF, IF) + Troca do cabeçote (SP, MC)	Semestral
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Camisa	1	1	2	4	2	9	Camisa danificada	Motor não gira	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Camisa	1	1	2	4	2	10	Camisa envenenada	Uso excessivo de óleo lubrificante	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de carga (RP)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Camisa	1	1	2	4	2	11	Camisa riscada no cilindro	Motor não gira	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção do CF em PMI (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Camisa	1	1	2	4	2	12	Camisa trincada	óleo contaminado	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção do CF em PMI (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Camisa	1	1	2	4	2	13	Camisa vazando água	óleo contaminado	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção do CF em PMI (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Camisa	1	1	2	4	2	14	Cilindro esconido	Motor não parte, perda de compressão, parada do motor	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção de OI rotação (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Camisa	1	1	2	4	2	15	Janelas brnidas	anel quebrado, perda de compressão	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Conjunto de Força	1	1	3	4	2	16	CF desgastado	uso excessivo de lubrificante, falha de ignição, ruído	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF, IF) + Teste de pressão do cilindro (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Conjunto de Força	1	1	3	4	2	17	Componentes misturados	Ruído	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Pistão e biela	1	1	4	4	2	18	Anéis do pistão desgastados	uso excessivo de lubrificante	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção de OI rotação (IF, IF) + Teste de pressão do cilindro (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Pistão e biela	1	1	4	4	2	19	Anéis do pistão não gram livremente	óleo contaminado	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Pistão e biela	1	1	4	4	2	20	Anéis do pistão quebrados	Motor não parte, sem ignição, uso excessivo de lub, perda de potência, fumaça	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão do cilindro (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Pistão e biela	1	1	4	4	2	21	Anéis montados incorretamente	uso excessivo de lubrificante	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Pistão e biela	1	1	4	4	2	22	Anel riscado verticalmente com risco vertical marrom	Perda de compressão	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Pistão e biela	1	1	4	4	2	23	Coroa excessivamente úmida	uso excessivo de lubrificante	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção da caixa de ar (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Pistão e biela	1	1	4	4	2	24	Pistão danificado	Perda de compressão	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF, IF) + Análise do óleo (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Semestral
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima parcialmente a mistura	Pistão e biela	1	1	4	4	2	25	Pistão trincado	parada do motor, pressão positiva do Carter	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão do cilindro (IF, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Cabeçote	1	1	1	4	3	1	ajustador de folga desgastado	Dano ao motor, falha das válvulas, falha de ignição, ruído	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	S	N	S	S	N	Inspeção do ajuste (IF) + Ajuste de folga do ajustador (RP)(MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Cabeçote	1	1	1	4	3	2	ajustador de folga ruidoso	Dano ao motor, falha das válvulas, falha de ignição, ruído	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção de ruído (IF) + Troca do ajustador (MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Cabeçote	1	1	1	4	3	3	Cabeçote vazando água no topo	óleo contaminado	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca da vedação, cabeçote ou CF (MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Cabeçote	1	1	1	4	3	4	Componentes mal apertados	Vibração excessiva, perda de potência sem fumaça, fumaça	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção de aperto (IF) + Correção do aperto (MC)	Semestral
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Cabeçote	1	1	1	4	3	5	modelo de injetor errado	falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do componente (MC)	Após montagem
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Cabeçote	1	1	1	4	3	6	Injetor fora do tempo	Falha de ignição	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção do ajuste (IF) + Ajuste de tempo de injetor (MC)	Semestral

Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Cabeçote	1	1	1	4	3	7	Injetor vazando	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão (IF) + Troca do componente (MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Cabeçote	1	1	1	4	3	8	válvula de descarga com defeito	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção de ruído (IF) + Teste de pressão do cilindro (IF) + Troca do cabeçote (SP, MC)	Semestral
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Camisa	1	1	2	4	3	9	Camisa danificada	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Camisa	1	1	2	4	3	10	Camisa enveredada	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Teste de carga (RP)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Camisa	1	1	2	4	3	11	Camisa riscada no cilindro	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção do CF em PMI (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Camisa	1	1	2	4	3	12	Camisa trincada	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção do CF em PMI (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Camisa	1	1	2	4	3	13	Camisa vazando água	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção de 01 rotação (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Camisa	1	1	2	4	3	14	Cilindro esconido	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Camisa	1	1	2	4	3	15	Janelas brnidas	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Conjunto de Força	1	1	3	4	3	16	CF desgastado	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão do cilindro (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Conjunto de Força	1	1	3	4	3	17	Componentes misturados	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Pistão e biela	1	1	4	4	3	18	Anéis do pistão desgastados	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção de 01 rotação (IF) + Teste de pressão do cilindro (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Pistão e biela	1	1	4	4	3	19	Anéis do pistão não giram livremente	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Pistão e biela	1	1	4	4	3	20	Anéis do pistão quebrados	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão do cilindro (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Pistão e biela	1	1	4	4	3	21	Anéis morteados incorretamente	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Pistão e biela	1	1	4	4	3	22	Anel riscado verticalmente com risco vertical marrom	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Pistão e biela	1	1	4	4	3	23	Coroa excessivamente úmida	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção da caixa de ar (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Pistão e biela	1	1	4	4	3	24	Pistão danificado	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Semestral
Queimar totalmente mistura ar-combustível dentro do cilindro	Queima fora do cilindro	Pistão e biela	1	1	4	4	3	25	Pistão trincado	50	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão do cilindro (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Não transmite potência ao virabrequim	Cabeçote	1	1	1	5	1	1	válvula de descarga com defeito	15	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção de ruído (IF) + Teste de pressão do cilindro (IF) + Troca do cabeçote (SP, MC)	Semestral
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Não transmite potência ao virabrequim	Cabeçote	1	1	1	5	1	2	Válvula fora do tempo	15	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção de temporização (IF) + Ajuste da temporização (MC)	Semestral
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Não transmite potência ao virabrequim	Camisa	1	1	2	5	1	3	Camisa danificada	15	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Não transmite potência ao virabrequim	Camisa	1	1	2	5	1	4	Camisa trincada	15	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção do CF em PMI (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Não transmite potência ao virabrequim	Camisa	1	1	2	5	1	5	Camisa vazando água	15	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	N	S	N	S	N	N	N	Inspeção do CF em PMI (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal

Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Não transmite potência ao virabrequim	Camisa	1	1	2	5	1	6	Sopro em marcha lenta	Falha de ignição, ruído	15	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção de ruído (IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Não transmite potência ao virabrequim	Conjunto de Força	1	1	3	5	1	7	CF desgastado	uso excessivo de lubrificante, falha de ignição, ruído	15	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF, IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Não transmite potência ao virabrequim	Conjunto de Força	1	1	3	5	1	8	Componentes misturados	Ruído	15	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Não transmite potência ao virabrequim	Conjunto de Força	1	1	3	5	1	9	Componentes superaquecidos	pressão baixa do óleo do motor	15	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Não transmite potência ao virabrequim	Pistão e biela	1	1	4	5	1	10	Anéis do pistão quebrados	Motor não parte, sem ignição, uso excessivo de lub, perda de potência, fumaça	15	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Não transmite potência ao virabrequim	Pistão e biela	1	1	4	5	1	11	Biela girou acasalada incorretamente com peças do eixo	Motor não gira	15	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca da biela (RP, SP, MC) ou CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Não transmite potência ao virabrequim	Pistão e biela	1	1	4	5	1	12	Mancal da biela danificado	Motor não gira	15	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Não transmite potência ao virabrequim	Pistão e biela	1	1	4	5	1	13	Pistão danificado	Perda de compressão	15	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Análise do óleo (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Semestral
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Não transmite potência ao virabrequim	Pistão e biela	1	1	4	5	1	14	Pistão trincado	parada do motor, pressão positiva do carter	15	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Transmite menos potência ao virabrequim	Cabeçote	1	1	1	5	2	1	ajustador de folga desajustado	Dano ao motor, falha das válvulas, falha de ignição, ruído	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção do ajuste (IF) + Ajuste de folga do ajustador (RP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Transmite menos potência ao virabrequim	Cabeçote	1	1	1	5	2	2	ajustador de folga ruidoso	Dano ao motor, falha das válvulas, falha de ignição, ruído	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção de ruído (IF) + Troca do ajustador (MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Transmite menos potência ao virabrequim	Cabeçote	1	1	1	5	2	3	Cabeçote trincado	parada do motor, pressão positiva do carter	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do cabeçote ou CF (MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Transmite menos potência ao virabrequim	Cabeçote	1	1	1	5	2	4	Componentes mal apertados	Vibração excessiva, perda de potência sem fumaça, fumaça	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção de aperto (IF) + Correção do aperto (MC)	Semestral
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Transmite menos potência ao virabrequim	Cabeçote	1	1	1	5	2	5	Guia da válvula desgastada	parada do motor, pressão positiva do carter	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do cabeçote ou CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Transmite menos potência ao virabrequim	Cabeçote	1	1	1	5	2	6	válvula de descarga com defeito	falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção de ruído (IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do cabeçote (SP, MC)	Semestral
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Transmite menos potência ao virabrequim	Cabeçote	1	1	1	5	2	7	Válvula fora do tempo	perda de potência, fumaça	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção de temporização (IF) + Ajuste da temporização (MC)	Semestral
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Transmite menos potência ao virabrequim	Camisa	1	1	2	5	2	8	Camisa danificada	Motor não gira	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Transmite menos potência ao virabrequim	Camisa	1	1	2	5	2	9	Camisa envernizada	Uso excessivo de óleo lubrificante	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de carga (RP)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Transmite menos potência ao virabrequim	Camisa	1	1	2	5	2	10	Camisa riscada no cilindro	Motor não gira	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção de CF em PMI (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Transmite menos potência ao virabrequim	Camisa	1	1	2	5	2	11	Camisa trincada	óleo contaminado	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção do CF em PMI (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustível ao virabrequim	Transmite menos potência ao virabrequim	Camisa	1	1	2	5	2	12	Camisa vazando água	óleo contaminado	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção do CF em PMI (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal

Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Camisa	1	1	2	5	2	13	Cilindro escurado	Motor não parte, perda de compressão, parada do motor	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção de 01 rotação (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Camisa	1	1	2	5	2	14	Janelas brnidas	anel quebrado, perda de compressão	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Camisa	1	1	2	5	2	15	Sopro em marcha lenta	Falha de ignição, ruído	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção de ruído (IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Camisa	1	1	2	5	2	16	Vedação inferior da camisa danificada	parada do motor, pressão positiva do carter	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Teste de vedação (IF) + Análise do óleo (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Conjunto de Força	1	1	3	5	2	17	CF desgastado	uso excessivo de lubrificante, falha de ignição, ruído	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Conjunto de Força	1	1	3	5	2	18	Componentes misturados	Ruído	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Conjunto de Força	1	1	3	5	2	19	Componentes superaquecidos	pressão baixa do óleo do motor	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Pistão e biela	1	1	4	5	2	20	Anéis do pistão desgastados	uso excessivo de lubrificante	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção de 01 rotação (IP, IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Pistão e biela	1	1	4	5	2	21	Anéis do pistão não gram livremente	óleo contaminado	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Pistão e biela	1	1	4	5	2	22	Anéis montados incorretamente	uso excessivo de lubrificante	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Pistão e biela	1	1	4	5	2	23	Anel riscado verticalmente com risco vertical marrom	Perda de compressão	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Pistão e biela	1	1	4	5	2	24	Biela danificada	Motor não gira	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca da biela (RP, SP, MC) ou CF (SP, MC)	Bienal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Pistão e biela	1	1	4	5	2	25	Biela empenada	Ruído	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Leitura com fio de chumbo (IF) + Troca da biela (RP, SP, MC) ou CF (SP, MC)	Bienal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Pistão e biela	1	1	4	5	2	26	Casquilho danificado	Ruído	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Leitura com fio de chumbo (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Pistão e biela	1	1	4	5	2	27	Cesto danificado	Vibração excessiva	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Pistão e biela	1	1	4	5	2	28	Componentes soltos	pressão baixa do óleo do motor	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Pistão e biela	1	1	4	5	2	29	Pinos e mancais superaquecidos	pressão baixa do óleo do motor	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Pistão e biela	1	1	4	5	2	30	Pistão danificado	Perda de compressão	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Análise do óleo (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Semestral
Transmitir toda potência dos gases de combustão ao virabrequim	Pistão e biela	1	1	4	5	2	31	Pistão trincado	parada do motor, pressão positiva do carter	12	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Evulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Cabeçote	1	1	1	6	1	1	Cabeçote trincado	parada do motor, pressão positiva do carter	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	S	N	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do cabeçote ou CF (MC)	Mensal
Evulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Cabeçote	1	1	1	6	1	2	válvula de descarga com defeito	falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção de ruído (IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do cabeçote (SP, MC)	Semestral

Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Não expulsa os gases pelas válvulas de escape	Cabeçote	1	1	1	6	1	3	Válvula fora do tempo	perda de potência, fumaça	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção de temporização (IF) + Ajuste da temporização (MC)	Semestral
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Não expulsa os gases pelas válvulas de escape	Camisa	1	1	2	6	1	4	Camisa danificada	Motor não gira	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Não expulsa os gases pelas válvulas de escape	Camisa	1	1	2	6	1	5	Sopro em marcha lenta	Falha de ignição, ruído	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção de ruído (IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Não expulsa os gases pelas válvulas de escape	Conjunto de Força	1	1	3	6	1	6	CF desgastado	uso excessivo de lubrificante, falha de ignição, ruído	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Não expulsa os gases pelas válvulas de escape	Conjunto de Força	1	1	3	6	1	7	Componentes misturados	Ruído	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Não expulsa os gases pelas válvulas de escape	Conjunto de Força	1	1	3	6	1	8	Som excessivo ou anormal no escape	Falha de ignição, ruído	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção de ruído (IF) + Teste de carga (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Não expulsa os gases pelas válvulas de escape	Pistão e biela	1	1	4	6	1	9	Anéis do pistão desgastados	uso excessivo de lubrificante	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção de 01 rotação (IP, IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Não expulsa os gases pelas válvulas de escape	Pistão e biela	1	1	4	6	1	10	Anéis do pistão quebrados	Motor não parte, sem ignição, uso excessivo de lub, perda de potência, fumaça	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Não expulsa os gases pelas válvulas de escape	Pistão e biela	1	1	4	6	1	11	Pistão danificado	Perda de compressão	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Análise do óleo (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Semestral
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Expulsa gases de escape antes da hora	Cabeçote	1	1	1	6	2	1	ajustador de folga desajustado	Dano ao motor, falha das válvulas, falha de ignição, ruído	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção do ajuste (IF) + Ajuste de folga do ajustador (RP)(MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Expulsa gases de escape antes da hora	Cabeçote	1	1	1	6	2	2	ajustador de folga ruidoso	Dano ao motor, falha das válvulas, falha de ignição, ruído	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção de ruído (IF) + Troca do ajustador (MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Expulsa gases de escape antes da hora	Cabeçote	1	1	1	6	2	3	Cabeçote trincado	parada do motor, pressão positiva do carter	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do cabeçote ou CF (MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Expulsa gases de escape antes da hora	Cabeçote	1	1	1	6	2	4	Componentes mal apertados	Vibração excessiva, perda de potência sem fumaça, fumaça	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção de aperto (IF) + Correção do aperto (MC)	Semestral
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Expulsa gases de escape antes da hora	Cabeçote	1	1	1	6	2	5	Gua da válvula desgastada	parada do motor, pressão positiva do carter	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do cabeçote ou CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Expulsa gases de escape antes da hora	Cabeçote	1	1	1	6	2	6	válvula de descarga com defeito	falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaça	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção de ruído (IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do cabeçote (SP, MC)	Semestral
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Expulsa gases de escape antes da hora	Cabeçote	1	1	1	6	2	7	Válvula fora do tempo	perda de potência, fumaça	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção de temporização (IF) + Ajuste da temporização (MC)	Semestral
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Expulsa gases de escape antes da hora	Camisa	1	1	2	6	2	8	Camisa danificada	Motor não gira	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Expulsa gases de escape antes da hora	Camisa	1	1	2	6	2	9	Camisa envernizada	Uso excessivo de óleo lubrificante	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Teste de carga (RP)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Expulsa gases de escape antes da hora	Camisa	1	1	2	6	2	10	Camisa riscada no cilindro	Motor não gira	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção do CF em PMI (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Expulsa gases de escape antes da hora	Camisa	1	1	2	6	2	11	Cilindro escorinado	Motor não parte, perda de compressão, parada do motor	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção de 01 rotação (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Expulsa gases de escape antes da hora	Camisa	1	1	2	6	2	12	Janelas brumidas	anel quebrado, perda de compressão	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Expulsa gases de escape antes da hora	Camisa	1	1	2	6	2	13	Parafusos do caranqueio do cilindro quebrados	parada do motor, pressão positiva do carter	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	N	N	N	N	N	N	Inspeção visual (IF) + Troca do componente (MC)	Bienal

Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Camisa	1	1	2	6	2	14	Sopro em marcha lenta	Falha de ignição, ruído	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção de ruído (IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Camisa	1	1	2	6	2	15	Vedação inferior da camisa danificada	parada do motor, pressão positiva do Carter	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Teste de vedação (IF) + Análise do óleo (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Conjunto de Força	1	1	3	6	2	16	CF desgastado	uso excessivo de lubrificante, falha de ignição, ruído	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Conjunto de Força	1	1	3	6	2	17	Componentes misturados	Ruído	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Conjunto de Força	1	1	3	6	2	18	Componentes superaquecidos	pressão baixa do óleo do motor	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Conjunto de Força	1	1	3	6	2	19	Som excessivo ou anormal no escape	Falha de ignição, ruído	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção de ruído (IF) + Teste de carga (IP) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Pistão e biela	1	1	4	6	2	20	Anéis do pistão não gram livremente	óleo contaminado	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Pistão e biela	1	1	4	6	2	21	Anéis montados incorretamente	uso excessivo de lubrificante	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Pistão e biela	1	1	4	6	2	22	Anel riscado verticalmente com risco vertical maior	Perda de compressão	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Pistão e biela	1	1	4	6	2	23	Biela danificada	Motor não gira	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	S	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca da biela (RP, SP, MC) ou CF (SP, MC)	Bienal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Pistão e biela	1	1	4	6	2	24	Biela empenada	Ruído	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Leitura com fio de alumínio (IF) + Troca da biela (RP, SP, MC) ou CF (SP, MC)	Bienal
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Pistão e biela	1	1	4	6	2	25	Pistão danificado	Perda de compressão	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Análise do óleo (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Semestral
Expulsar gases de escape pelas válvulas de escape no tempo correto	Pistão e biela	1	1	4	6	2	26	Pistão trincado	parada do motor, pressão positiva do Carter	40	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Cabeçote	1	1	1	7	1	1	Cabeçote vazando água no topo	óleo contaminado	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca da vedação, cabeçote ou CF (MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Cabeçote	1	1	1	7	1	2	Componentes mal apertados	Vibração excessiva, perda de potência sem fumaca, fumaca	30	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção de aperto (IF) + Correção do aperto (MC)	Semestral
Circular lubrificante pelos componentes	Cabeçote	1	1	1	7	1	3	modelo de injetor errado	falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaca	30	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do componente (MC)	Após montagem
Circular lubrificante pelos componentes	Cabeçote	1	1	1	7	1	4	Injetor fora do tempo	falha de ignição	45	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção do ajuste (IF) + Ajuste de tempo de injetor (MC)	Semestral
Circular lubrificante pelos componentes	Cabeçote	1	1	1	7	1	5	Injetor vazando	óleo contaminado, falha de ignição, ruído, perda de potência, fumaca	45	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de pressão (IF) + Troca do componente (MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Camisa	1	1	2	7	1	6	Camisa envernizada	Uso excessivo de óleo lubrificante	30	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	S	S	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de carga (RP)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Camisa	1	1	2	7	1	7	Camisa trincada	óleo contaminado	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção do CF em PMI (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Camisa	1	1	2	7	1	8	Camisa vazando água	óleo contaminado	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção do CF em PMI (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Camisa	1	1	2	7	1	9	Cilindro escorrido	Motor não parte, perda de compressão, parada do motor	30	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	S	N	Inspeção de 01 rotação (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Camisa	1	1	2	7	1	10	Janelas com corrimento	uso excessivo de lubrificante	30	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	S	N	Inspeção da caixa de ar (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal

Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Camisa	1	1	2	7	1	11	Vedação inferior da camisa danificada	parada do motor, pressão positiva do carter	46	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Teste de vedação (IF) + Análise do óleo (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Conjunto de Força	1	1	3	7	1	12	CF desgastado	uso excessivo de lubrificante, falta de ignição, ruído	60	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Conjunto de Força	1	1	3	7	1	13	CF vazando óleo em seu perimetro	uso excessivo de lubrificante	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Conjunto de Força	1	1	3	7	1	14	Componentes misturados	Ruído	30	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Conjunto de Força	1	1	3	7	1	15	Componentes superaquecidos	pressão baixa do óleo do motor	45	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Pistão e biela	1	1	4	7	1	16	Anéis do pistão desgastados	uso excessivo de lubrificante	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção de DT rotação (IP, IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Pistão e biela	1	1	4	7	1	17	Anéis do pistão não gram livremente	óleo contaminado	30	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Pistão e biela	1	1	4	7	1	18	Anéis do pistão quebrados	Motor não parte, sem ignição, uso excessivo de lub, perda de potência, fumaça	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Pistão e biela	1	1	4	7	1	19	Anéis montados incorretamente	uso excessivo de lubrificante	30	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Pistão e biela	1	1	4	7	1	20	Anel riscado verticalmente com risco vertical mamom	Perda de compressão	45	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Pistão e biela	1	1	4	7	1	21	Biela danificada	Motor não gira	30	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca da biela (RP, SP, MC) ou CF (SP, MC)	Bienal
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Pistão e biela	1	1	4	7	1	22	Biela empennada	Ruído	30	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Leitura com fio de estumbo (IF) + Troca da biela (RP, SP, MC) ou CF (SP, MC)	Bienal
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Pistão e biela	1	1	4	7	1	23	Casquilho danificado	Ruído	30	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Leitura com fio de estumbo (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Pistão e biela	1	1	4	7	1	24	Cesto danificado	Vibração excessiva	30	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Pistão e biela	1	1	4	7	1	25	Componentes soltos	pressão baixa do óleo do motor	30	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Pistão e biela	1	1	4	7	1	26	Coroa excessivamente úmida	uso excessivo de lubrificante	45	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção da caixa de ar (IF) + Troca de CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Pistão e biela	1	1	4	7	1	27	Coroa molhada	Vazamento no injetor	45	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Pistão e biela	1	1	4	7	1	28	Mancal da biela danificado	Motor não gira	30	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Pistão e biela	1	1	4	7	1	29	Pinos e marcais superaquecidos	pressão baixa do óleo do motor	45	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Pistão e biela	1	1	4	7	1	30	Pistão danificado	Perda de compressão	30	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Análise do óleo (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Semestral
Circular lubrificante pelos componentes	Não circula pelos componentes	Pistão e biela	1	1	4	7	1	31	Pistão trincado	parada do motor, pressão positiva do carter	30	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular água de refrigeração pelos componentes	Não circula pelos componentes	Cabeçote	1	1	1	8	1	32	Cabeçote vazando água no topo	óleo contaminado	80	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Teste de vedação, cabeçote ou CF (MC)	Mensal
Circular água de refrigeração pelos componentes	Não circula pelos componentes	Camisa	1	1	2	8	1	33	Camisa trincada	óleo contaminado	75	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção do CF em PMI (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular água de refrigeração pelos componentes	Não circula pelos componentes	Camisa	1	1	2	8	1	34	Camisa vazando água	óleo contaminado	80	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção do CF em PMI (IF) + Teste de pressão da água (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular água de refrigeração pelos componentes	Não circula pelos componentes	Conjunto de Força	1	1	3	8	1	35	CF desgastado	uso excessivo de lubrificante, falta de ignição, ruído	60	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	S	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Teste de pressão do cilindro (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal
Circular água de refrigeração pelos componentes	Não circula pelos componentes	Conjunto de Força	1	1	3	8	1	36	Componentes misturados	Ruído	30	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IF) + Troca do CF (SP, MC)	Após montagem
Circular água de refrigeração pelos componentes	Não circula pelos componentes	Conjunto de Força	1	1	3	8	1	37	Componentes superaquecidos	pressão baixa do óleo do motor	45	NÃO	NÃO	SIM	OEO	N	N	N	S	S	N	Inspeção visual (IP, IF) + Troca do CF (SP, MC)	Mensal

ANEXO A – HISTÓRICO DE AVARIAS E REBOQUES

	B	C	U	V	AO	AQ
1	AVARIA (KMEF)	REBOQUE (MKBF)	Sistema	Conjunto	Área	Data Evento
2220	Sim	Sim	MOTOR DE COMBUSTAO	CONJUNTO DE FORCA	Locomotiva	08/01/2018
2344	Sim	Sim	MOTOR DE COMBUSTAO	CONJUNTO DE FORCA	Locomotiva	21/01/2018
2381	Sim	Não	MOTOR DE COMBUSTAO	CONJUNTO DE FORCA	Locomotiva	22/01/2018
2541	Sim	Sim	MOTOR DE COMBUSTAO	CONJUNTO DE FORCA	Locomotiva	01/02/2018
2680	Sim	Sim	MOTOR DE COMBUSTAO	CONJUNTO DE FORCA	Locomotiva	13/02/2018
2681	Sim	Sim	MOTOR DE COMBUSTAO	CONJUNTO DE FORCA	Locomotiva	14/02/2018
2781	Sim	Sim	MOTOR DE COMBUSTAO	CONJUNTO DE FORCA	Locomotiva	21/02/2018
2819	Sim	Não	MOTOR DE COMBUSTAO	CONJUNTO DE FORCA	Locomotiva	24/02/2018

← → | dinamica | **base** | Planilha1 | +

ANEXO B – PLANILHA DE RASTREABILIDADE DE COMPONENTES

	A	B	F	G	H	J	K	N
1	Numero de Cabecote	Cabecote	Data de Reparação	Numero da Camisa	Numero da Biela	Tempo em Utilização (Meses)	Data de Chegada ao Click Shop	EFEITO DE FALHA (descrição da etic
2	H14501		21/12/2005		0289094K	169.3		CAMISA TRINCADA
240	G86299		06/12/2006			157.6		REVISAR SEDE
1424	A58702		22/12/2006			137.1	27/03/2018	BOBRIULHANDO NO FURO DO SACADOR
1469	9780773		18/01/2007			145.8	06/01/2019	CF JOGANDO ÓLEO PARA CIMA,CAMISA ESPELHADA
1511	L59101		02/02/2007			146.9	27/02/2019	ALTO CONSUMO DE ÓLEO PELOS ANÉIS
1810	L09001		29/03/2007			153.9		SEM ETIQUETA
2059	9700988		23/05/2007			152.0		ANÉIS GASTOS
2175	FL6402		05/06/2007			151.6		SEM ETIQUETA
2128	H1304666		05/06/2007			145.9	30/05/2019	VAZANDO ÁGUA
2228	G29000		28/06/2007			129.9	27/02/2018	CABEQOTE TRINCADO.FOI TROCADO TODO O CF POR FALTA DE CABEQOTE
2688	H16906		26/09/2007			130.7	22/06/2018	VAZAMENTO DE ÁGUA
2852	041103		29/10/2007			137.1	31/01/2019	SOPRANDO VÁLVULAS
2920	D51006		12/11/2007			124.6	06/02/2018	CF COM VAZAMENTO DE ÁGUA
2945	0060077		21/11/2007			146.0		SEM ETIQUETA
2949	A51106		21/11/2007			129.4	09/07/2018	PISTÃO E VÁLVULA QUEBRADA
2992	PH284261		29/11/2007			134.3	11/12/2018	PISTÃO QUEBRADO
3067	8418475		14/12/2007			132.0	17/10/2018	BX MOTOR DIESEL VIRABREQUIM QUEBRADO NO 6 COLO FIXO
3086	D65903		17/12/2007			124.2	27/02/2018	VAZAMENTO DE ÁGUA
3192	JL3099		11/01/2008			124.7	10/04/2018	TRINCA ENTRE ASENTAMENTO DO INJETOR PARTE DE BAIXO
3227	D50706		21/01/2008			128.0	27/07/2018	ANEL DE COMPRESSÃO QUEBRADO
3419	8911310		19/02/2008			134.2	27/02/2019	VAZANDO ÁGUA E CAMISA TRINCADA
3503	R42816		27/02/2008			125.0	04/06/2018	BAIXO LÍMITE DIESEL - TRÓCA PREVENTIVA