

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PAULA MATTOS CAVALHEIRO

PROCESSO DE ANÁLISE DE FALHAS APLICADO À FERROVIA

JUIZ DE FORA

2019

PAULA MATTOS CAVALHEIRO

PROCESSO DE ANÁLISE DE FALHAS APLICADO À FERROVIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Professor Dr. Luiz Henrique Dias Alves

JUIZ DE FORA

2019

Ficha catalográfica elaborada através do programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Mattos Cavaleiro, Paula.

PROCESSO DE ANÁLISE DE FALHAS APLICADO À FERROVIA / Paula Mattos Cavaleiro. -- 2019.

59 p.

Orientador: Luiz Henrique Dias Alves

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Faculdade de Engenharia, 2019.

1. Manutenção. 2. Produtividade. 3. Análise de Falhas. 4. Root Cause Analysis . I. Henrique Dias Alves, Luiz, orient. II. Título.

PAULA MATTOS CAVALHEIRO

PROCESSO DE ANÁLISE DE FALHAS APLICADO À FERROVIA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal de Juiz de Fora, como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Mecânico.

Aprovada em 11 de Março de 2019.

BANCA EXAMINADORA

Professor Dr. Luiz Henrique Dias Alves
Universidade Federal de Juiz de Fora

Professor Dr. Raphael Fortes Marcomini
Universidade Federal de Juiz de Fora

É evidente que para que haja sucesso empresarial no nível de competitividade e exigência atual é necessário pensar de forma criativa, analítica, inovadora e sair muitas das vezes da zona de conforto.

RESUMO

A competitividade atual no processo produtivo, relacionando tempo e custo, faz com que se deva restringir ao mínimo paradas do processo produtivo por falhas não previstas, que geram manutenção corretiva. Apresenta-se assim, uma metodologia para a realização de análise de falhas, utilizando os conceitos de Root Cause Analysis (RCA), com foco em alcançar níveis mais elevados de qualidade e confiabilidade, aumentando a satisfação do cliente e eliminando perdas produtivas. Possibilita que as falhas sejam analisadas de acordo com as causas e não somente de forma individual. A metodologia proporciona uma realimentação do sistema com relação aos procedimentos e escopos de manutenção da empresa e desenvolvimento de fornecedores. Projeto aplicado ao estudo de caso da quebra da mola da bomba injetora eletrônica de Diesel utilizada nas locomotivas GE-AC44MIL. A aplicação da metodologia comparando os anos de 2017 e 2018 aumentou em 2400% as ações de realimentação do sistema, redução de 1,75% das falhas com causa Mão de Obra e redução de 0,9 % das reincidências, ou seja, redução do mesmo modo de falha para o mesmo ativo.

Palavras-chave: Manutenção, Produtividade, Análise de Falhas, RCA.

ABSTRACT

The current competitiveness in the production process, relating time and cost, makes it necessary to restrict the production process to a minimum due to unforeseen failures that generate corrective maintenance. A procedure to perform theoretical fault analysis is presented, using the concepts of Root Cause Analysis (RCA), focused on achieving higher levels of quality and reliability, increasing customer satisfaction and eliminating productive losses. It allows faults to be analyzed according to the causes and not only individually. The methodology provides a feedback of the system with respect to the procedures and scopes of maintenance of the company and development of suppliers. Design applied to the case study of the spring break of the electronic diesel injection pump used in GE-AC44MIL locomotives. The application of the methodology comparing the years 2017 and 2018 increased by 2400% the feedback actions of the system, reducing 1.75% of failures with Manpower cause and reduction of 0.9% of recidivism, that is, reduction of same failure mode for the same asset.

Keywords: Maintenance, Productivity, Fault Analysis, RCA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Diagrama de ISHIKAWA.....	21
Figura 2: Diagrama PDCA	25
Figura 3: Fluxo de Análise de Falhas	29
Figura 4: Classificações de Causa	30
Figura 5: Classificação Mão de Obra – Atitude	31
Figura 6: Classificação Mão de Obra – Diagnóstico.....	31
Figura 7: Classificação Material – Recuperável.....	32
Figura 8: Classificação Material – Não Recuperável.....	32
Figura 9: Classificação Meio Ambiente – Acidente.....	33
Figura 10: Classificação Meio Ambiente – Corpo Estranho.....	33
Figura 11: Classificação Meio Ambiente – Fenômeno Natural	34
Figura 12: Classificação Meio Ambiente – Vandalismo.....	34
Figura 13: Classificação Meio Ambiente – Cliente.....	34
Figura 14: Classificação Método – Escopo	34
Figura 15: Classificação Método – Procedimento.....	35
Figura 16: Falha Operacional – Falta de Areia	36
Figura 17: Falha Operacional – Falta de Utilização	36
Figura 18: Falha Operacional – Freio Manual	36
Figura 19: Falha Operacional – Pane Seca.....	36
Figura 20: Falha Operacional	36
Figura 21: Inconclusivo	36
Figura 22: Nada Constatado	37
Figura 23: Componentes incendiados e origem do incêndio (Cilindro 2 Lado Direito)	41
Figura 24: Sistema básico de injeção ilustrativo	42
Figura 25: Bomba Injetora BOSCH F00B.L0P.04F	43
Figura 26: Sub componentes da Bomba Injetora BOSCH F00B.L0P.04.....	43
Figura 27: Componentes internos da bomba injetora fraturados.....	44
Figura 28: Quebra dos parafusos de fixação	44
Figura 29: Fratura da Mola, 0001	45
Figura 30: Fratura da Mola, 0002.....	46
Figura 31: Fratura da Mola, 0003	47
Figura 32: Fratura do Parafuso do Cabeçote, 0004	47

Figura 33: Fratura do Parafuso do Cabeçote, 0005	48
Figura 34: Trinca na sede do tubo de alta pressão, 0006.....	49
Figura 35: Rompimento do anel de vedação, 0007	49
Figura 36: Vida útil da Bomba Injetora até a Falha	51
Figura 37: Redução das Reincidências.....	53
Figura 38: Redução das Falhas de Mão de Obra.....	54
Figura 39: Aumento das Falhas de Método.....	55

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ANTT – Agência Nacional de Transportes Terrestres

EPL – Empresa de Planejamento e Logística

GE – General Eletric

HH – Homem-hora (unidade de medição)

PDCA – *Plan / Do / Check / Act* – Planejar / Executar / Checar / Corrigir

RCA – Root Cause Analysis

RJ – Rio de Janeiro

THP – Trem Hora Parado

TKU – Tonelada Quilômetro Útil Transportada

UIC – *International Union of Railways*

SUMÁRIO

<u>1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS</u>	<u>14</u>
1.1 INTRODUÇÃO	15
1.2 JUSTIFICATIVA.....	16
1.3 OBJETIVOS E ESCOPO DO TRABALHO	16
<u>2. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA</u>	<u>18</u>
2.1 CONCEITOS APLICADOS A ANÁLISE DE FALHAS	18
2.1.1 DEFINIÇÕES	18
2.1.1.1 TIPOS DE MANUTENÇÃO.....	18
2.1.1.2 ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO	19
2.1.1.3 MANUTENÇÃO ESTRATÉGICA (OU ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO) .	19
2.1.1.4 FALHA	20
2.1.1.5 MODO DE FALHA.....	20
2.1.1.6 FATORES CAUSAIS.....	20
2.1.1.7 CAUSAS.....	20
2.1.1.8 CAUSA RAIZ.....	20
2.1.1.9 DIAGRAMA DE CAUSA E EFEITO (ISHIKAWA OU ESPINHA DE PEIXE)	21
2.1.1.10 5 PORQUÊS	22
2.1.1.11 THP.....	23
2.1.1.12 TIPOS DE OCORRÊNCIAS.....	23
2.1.1.13 OUTRAS FERRAMENTAS DE ANÁLISE DE FALHAS.....	24
2.1.1.14 PDCA.....	24
2.1.1.15 RCA	25
2.1.1.16 RELATÓRIO DE ANÁLISE DE FALHAS	25
2.2 ETAPAS DA ANÁLISE DE FALHAS	27
2.2.1 ETAPA 0 - REGISTRO DA FALHA E BASE DE DADOS.....	27
2.2.2 ETAPA 1 – DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	28
2.2.3 ETAPA 2 – COLETA DE DADOS.....	28
2.2.4 ETAPA 3 – DEFINIÇÃO DA CAUSA RAIZ	28
2.2.5 ETAPA 4 – PLANO DE AÇÃO.....	28

2.2.6 ETAPA 5 – ACOMPANHAMENTO	28
2.3 CLASSIFICAÇÕES.....	29
2.3.1 6M NÍVEL 1 – MÃO DE OBRA	31
2.3.2 6M NÍVEL 1 – MATERIAL	32
2.3.3 6M NÍVEL 1 – MEIO AMBIENTE	33
2.3.4 6M NÍVEL 1 – MÉTODO.....	34
2.3.5 6M NÍVEL 1 – FALHA OPERACIONAL	35
2.3.6 6M NÍVEL 1 – INCONCLUSIVO.....	36
2.3.7 NADA CONSTADO	37
2.4 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS PARA ALCANÇAR OS OBJETIVOS DE COMPETITIVIDADE	37
2.4.1 CAPACITAÇÃO E TREINAMENTO.....	37
2.4.2 CONFIABILIDADE VERSUS DISPONIBILIDADE E CUSTO	38
<u>3. ESTUDO DE CASO.....</u>	39
3.1 A EMPRESA E SEUS ATIVOS.....	39
3.2 A ANÁLISE.....	39
3.2.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA	39
3.2.2 COLETA DE DADOS.....	40
3.2.3 DEFINIÇÃO DA CAUSA RAIZ	40
3.2.3.1 ANÁLISE DO INÍCIO DA PROPAGAÇÃO DO INCÊNDIO.....	40
3.2.3.2 ANÁLISE DA BOMBA INJETORA	43
3.2.3.3 CONSIDERAÇÕES DE ESTRATÉGIA.....	45
3.2.3.4 FALHA SISTÊMICA.....	45
3.2.3.5 CONCLUSÃO DA ANÁLISE.....	50
3.2.4 PLANO DE AÇÃO	50
<u>4. RESULTADOS ENCONTRADOS.....</u>	51
4.1 RESULTADO DA ANÁLISE DE FALHAS	51
4.2 RESULTADOS OBTIDOS EM REDUÇÃO DE REINCIDÊNCIAS	52
4.3 RESULTADOS OBTIDOS EM REDUÇÃO A FALHAS DE MÃO DE OBRA E MÉTODO.....	53

4.4 RESULTADOS OBTIDOS EM RELAÇÃO À REALIMENTAÇÃO DO SISTEMA ..	55
4.5 DEFINIÇÃO DAS AÇÕES PRIMÁRIAS	56
4.6 PRÓXIMOS DESAFIOS IDENTIFICADOS.....	56
<u>5. CONCLUSÃO.....</u>	<u>58</u>
<u>6. REFERÊNCIAS</u>	<u>60</u>
<u>ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE</u>	<u>62</u>

1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Nos dias atuais, com a globalização, aumenta-se a necessidade de menores custos de produção, com qualidade satisfatória e maior valor agregado. Essa busca proporciona a empresa maior competitividade no mercado, tornando os preços dos seus produtos em níveis lucrativos. Neste mercado heterogêneo, portanto, faz-se necessário um controle muito rigoroso dos custos de produção (NETO, 2006).

Os fatores determinantes da mudança de competição foram a deflagração das revoluções tecnológica, financeira, e comercial; as privatizações e a abertura da economia. Analisando as mudanças na indústria brasileira a partir de uma perspectiva histórica, De Negri, Salerno e Castro (2005) argumentam que a indústria brasileira “ganhou musculatura” com a política anterior à abertura, de substituição de importações. A proteção ao mercado, os subsídios e outras vantagens criaram um parque industrial forte e abrangente.

Diferentemente de outros países em desenvolvimento, o processo no Brasil foi voltado para o desenvolvimento do mercado interno, e não para a criação de empresas competitivas no mercado externo. Com isso, as demandas surgidas nos anos 1990 se depararam com uma mentalidade empresarial insular, caracterizada pela acomodação ao regime de mercado controlado, viciada em repassar seus custos para seus preços, expediente facilitado pelas altas taxas de inflação que mascaravam a realidade de preços e custos. Pouca atenção também era dada à inovação em suas várias dimensões: produtos e serviços, processos e gestão. (WOOD JR 2017).

Entretanto, o modal ferroviário é amplamente direcionado ao transporte realizado aos produtos de exportação, sendo o principal modal de exportação de grãos do Mato Grosso, 80% do marketshare da soja, milho e farelo escoados para o Porto de Santos. Além disso, é amplamente presente na carga de demais produtos como: Produtos Siderúrgicos, Minério de Ferro, Cimento e Cal, Derivados de Petróleo, Calcário, Carvão Mineral e Clinquer e Contêineres de Carga Geral, também aplicados à exportação.

Muito se tem debatido sobre as condições para o crescimento do modal ferroviário no Brasil, notadamente com relação a três aspectos distintos: necessidade de maior inserção do modal em cargas consideradas não dependentes (carga geral e granéis líquidos); aumento da oferta de serviços para atendimento da demanda reprimida; e necessidade do crescimento da extensão da rede, haja vista as dimensões continentais do país e o deslocamento das fronteiras de produção.

O sistema ferroviário de carga brasileiro conta com a nona rede mais extensa do mundo, com 29.817 km (UIC, 2014) e a sexta maior em produção, com 307 bilhões de TKU em 2015. Por outro lado, apresenta indicadores de desempenho, como produtividade (TKU/km) e densidade da rede (km/km²), bastante distintos dos pares mundiais. O mesmo acontece com a inserção do transporte ferroviário na matriz de transportes brasileira, atualmente de 14,9% (EPL, 2016), ao passo que o *modal share* ferroviário de países com dimensão continental é, em média, de 48%, ou seja, três vezes maior que o brasileiro. (MARCHETTI, 2018).

De acordo com a Confederação Nacional de Indústria, o transporte ferroviário é responsável por colocar a competitividade do Brasil “nos trilhos” uma vez que pode reduzir tanto a dependência do transporte rodoviário como os custos do transporte de insumos para as empresas e de mercadorias finais para os consumidores. Os ideais para o novo governo são adequar o modelo regulatório e renovar os contratos de concessão vigentes para promover o compartilhamento da malha entre concessionários, aumentar os investimentos e resolver o problema dos trechos ociosos. Um sistema ferroviário eficiente e bem conectado é um diferencial de competitividade no transporte de cargas. Para o Brasil superar os atuais gargalos logísticos, é fundamental aumentar o tamanho da malha, a velocidade média dos comboios e a conectividade do sistema. Prevendo assim, investimentos no setor bem como ampliação com a operação dos trechos ociosos.

1.1 INTRODUÇÃO

Conforme abordado nas considerações iniciais, o modal ferroviário brasileiro apresenta perspectivas de crescimento e investimentos nos próximos anos com a renovação e ampliação das concessões. Porém, foram também citados a importância de se buscar melhores práticas que resultem em maior eficiência, desempenho e produtividade. A análise de falhas se torna então, necessária para elevar o nível de qualidade do processo, pois visa garantir, através da determinação da causa raiz da falha, a redução expressiva de sua ocorrência no processo, elevando assim a confiabilidade, rentabilidade eliminando perdas e paradas do processo produtivo.

Ao realizar a análise das falhas se busca determinar as causas físicas dos problemas. O processo é baseado em disciplinas técnicas e usa da observação e inspeção. Deve-se analisar as evidências de forma a promover uma perspectiva clara e imparcial da falha. É

necessário também integrar a análise da evidência com uma compreensão quantitativa de estressores e informações básicas sobre o design, fabricação e histórico de serviço do produto ou sistema com falha. Explorando todos os contribuintes para falhas, tais como as causas raízes humanas e latentes. Executados de forma assertiva a análise de falhas RCA, são etapas críticas no processo geral de solução de problemas e são fundamentais ingredientes para corrigir e prevenir falhas, alcançar níveis mais elevados de qualidade e confiabilidade e, aumentando a satisfação do cliente.

1.2 JUSTIFICATIVA

A justificativa inicial para a realização deste trabalho é a crescente competitividade das organizações. Vivemos em uma era globalizada de recursos escassos e com exigências do cliente maiores. Para as empresas manterem-se competitivas e com margens lucrativas, é necessária uma redução da necessidade de manutenções corretivas, que acarretam custos extras à manutenção preventiva e preditiva, redução do nível de reincidência das falhas do processo e paradas do processo produtivo.

O trabalho justifica-se também pelo potencial de crescimento do setor ferroviário brasileiro, que vem apresentando bons resultados, de acordo com a ANTT pelo quarto ano consecutivo, houve um aumento na movimentação em relação ao ano anterior, desta vez, de 10%, com 375 bilhões de TKU transportados em 2017.

Todavia, a contextualização da análise de falhas aplicada a um processo produtivo e não aplicada de forma direta a um componente como, por exemplo, a realização de análise metalográfica de uma fratura, sem levar em consideração os demais fatores envolvidos, é algo ainda pouco explorado como podemos observar nos artigos publicados sobre análise de falhas que abordam as falhas de componentes.

1.3 OBJETIVOS E ESCOPO DO TRABALHO

O presente trabalho tem como objetivo principal desenvolver uma metodologia sistemática de análise de falhas de ativos. Aplicar a metodologia para análise de uma falha real de um componente mecânico para consolidar sua eficácia. Além disso, visa possibilitar a realização de análises sistêmicas das falhas, ao invés da realização de análises apenas

individuais, através das classificações das causas raízes e identificar os principais focos de atuação.

Este trabalho é direcionado às áreas da Engenharia da Manutenção, que corresponde a uma técnica mais avançada de manutenção e consiste em “antever os possíveis defeitos num estágio anterior a instalação, isto é, no processo de desenvolvimento do projeto” (PEREIRA, 2010, p. 41), que absorvem conceitos de Confiabilidade e Estratégia de Manutenção e também àqueles que desejam alcançar a excelência dos processos executados. Inicialmente, tem-se a apresentação de um referencial bibliográfico que envolva os assuntos pertinentes à análise de falhas dentro do processo produtivo, partindo de uma estratégia de manutenção pré-determinada.

É composto por cinco capítulos. O primeiro traz a contextualização do tema, com a prerrogativa do crescimento do modal ferroviário e os desafios do processo e como a análise de falhas pode contribuir para evolução do processo. São apresentados os objetivos do trabalho, as justificativas que embasam a sua realização.

O segundo capítulo fundamenta e procedimenta a análise realizada posteriormente.

O terceiro capítulo contempla um estudo de caso aplicando os conceitos desenvolvidos.

O quarto capítulo os resultados obtidos com a aplicação da Metodologia bem como as oportunidades de evolução.

Por fim, o quinto capítulo apresenta a conclusão deste Trabalho.

2. DESENVOLVIMENTO DA METODOLOGIA

Este capítulo apresenta o referencial bibliográfico pesquisado pelo acadêmico, no qual se busca abordar toda a esfera de conhecimento necessária para o desenvolvimento de uma metodologia de análise de falhas. Para tanto, o capítulo é dividido em três seções: a primeira versa sobre os conceitos iniciais para implementação da análise de falhas; a segunda, conceitos e metodologia atrelados à análise de falhas; e, por fim, a terceira parte, trás o procedimento de classificação das falhas.

2.1 CONCEITOS APLICADOS À ANÁLISE DE FALHAS

Através de metodologia RCA (*Root Cause Analysis*), buscaremos atingir o objetivo mais importante da análise de falhas que é diminuir a ocorrência de falhas decomponentes através da compreensão da causa raiz da falha. O analista de falhas deve se esforçar para descobrir a causa subjacente ou raiz (técnica) da falha. O fato de que um componente específico parece ter falhado de alguma forma não significa automaticamente que o próprio componente está com defeito. O problema pode estar na forma como o componente foi usado, inspecionado ou mantido. Se for verdadeiramente defeituoso, então a análise deve determinar se o defeito tem origem no projeto, fabricação (fabricação e montagem), seleção/processamento de material ou ambiente de serviço inesperado através de análise laboratorial.

A análise de falhas caminha ao lado da metodologia RCM (Reliability Centered Maintenance) - Manutenção Centrada em Confiabilidade. É usada para determinar os requisitos de manutenção de qualquer item físico no seu contexto operacional. Para isso, a metodologia analisa as funções e padrões de desempenho: de que forma ocorre a falha, o que causa cada falha, o que acontece quando ocorre a falha e o que deve ser feito para preveni-la.

O processo completo de análise de falhas se torna um ciclo PDCA (*Plan / Do / Check / Act* – Planejar, Executar, Checar, Corrigir).

2.1.1 Definições

2.1.1.1 Tipos de Manutenção

De acordo com a NBR 5462:

Manutenção Corretiva: Manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida

Manutenção Preventiva: Manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item.

Manutenção Preditiva: Manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva.

2.1.1.2 Engenharia de Manutenção

A Engenharia de Manutenção compreende um conjunto de atividades visando o aumento da confiabilidade e disponibilidade. É uma quebra de paradigma na manutenção, deixar de ficar consertando continuamente, para procurar as causas básicas, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, dar feedback ao projeto, interferir tecnicamente nas compras (KARDEC, 2002).

É o setor responsável pela padronização da manutenção, através da especificação das atividades que precisam ser realizadas, de acordo com o grau de manutenção, desde corretivas até preventivas pesadas.

2.1.1.3 Manutenção Estratégica (ou estratégia de manutenção)

A melhor estratégia, metodologia, varia de acordo com as necessidades das instituições, grau de criticidade de seus processos, custos de produção e perda da produção. A manutenção estratégica precisa estar voltada para os resultados empresariais da organização. Uma corretiva programada e uma preventiva podem ter escopos semelhantes ao se tratar de objetivos empresariais distintos.

É necessário eficiência ao invés de eficácia, não é satisfatório apenas reparar o ativo tão rápido quanto possível, é primordial manter a função do equipamento disponível para a operação reduzindo a probabilidade de uma parada subsequente de produção não planejada.

Um **gatilho de manutenção** é a utilização necessária de um componente para que ele receba uma substituição ou manutenção.

2.1.1.4 Falha

Falha é toda perda de função ou performance de um equipamento.

Uma peça ou componente é considerado em falha quando ocorre uma das três condições:

- a) Quando fica totalmente inoperante;
- b) Quando ainda opera, porém sem conseguir exercer sua função completamente, ou;
- c) Quando tenha ocorrido uma séria deterioração, tornando-o inconfiável ou inseguro para operar em uso contínuo, necessitando então sua imediata remoção para reparo ou substituição.

2.1.1.5 Modo de Falha

São as formas possíveis de como um componente ou equipamento pode deixar de cumprir suas funções. Quando um sistema tem muitas formas possíveis de falha, tem vários modos de falha ou riscos concorrentes. Quanto mais complexo é um sistema, mais modos de falha existem. A FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) é uma metodologia que busca avaliar os possíveis modos de falha que um componente pode apresentar aumentando a confiabilidade de forma preventiva. Pode ser aplicada à análise de falhas.

2.1.1.6 Fatores Causais

Todos os fatores que logicamente podem afetar resultados, incluindo aqueles que comprovadamente produzem o fenômeno.

2.1.1.7 Causas

Os fatores causais que são comprovados ou deduzidos como causadores, direta ou indiretamente, do fenômeno em análise.

2.1.1.8 Causa Raiz

A causa que, se corrigida, preveniria a recorrência desta ou de ocorrências similares. A causa raiz não se aplica apenas a ocorrência em análise, mas tem implicações genéricas a um grupo amplo de possíveis ocorrências, e este é o fundamental aspecto de que a causa deva ser identificada e corrigida. Poderão ser identificadas uma série de causas que podem estar interligadas entre si. Esta série deve ser pesquisada até que a(s) causa(s) fundamental(is) seja(m) identificada(s) e corrigida(s).

2.1.1.9 Diagrama de Causa e Efeito (ISHIKAWA ou Espinha de Peixe):

- Criado por Kaoru Ishikawa, o diagrama que tem a forma de uma espinha de peixe é um gráfico cuja finalidade é organizar o raciocínio e discussão sobre as causas de um

problema, analisar as dispersões em seu processo e os efeitos decorrentes disso. Considerada uma das sete ferramentas da qualidade, o diagrama de ISHIKAWA também é conhecido por diagrama 6M (Método, Material, Mão de Obra, Máquina, Medida, Meio ambiente), espinha de peixe, ou ainda diagrama de causa e efeito.

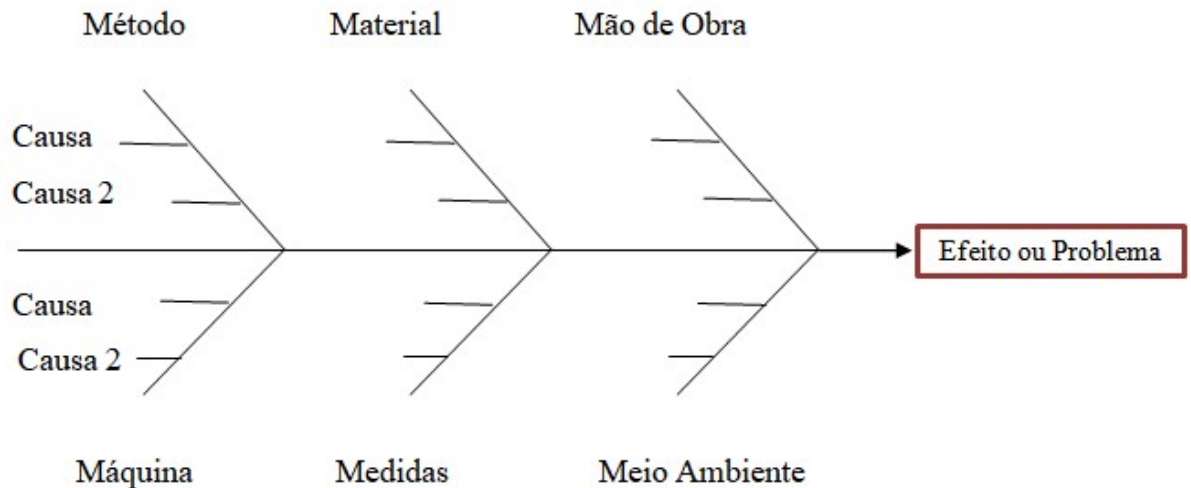


Figura 1: Diagrama de ISHIKAWA
Fonte: Autor

A composição do diagrama de ISHIKAWA considera que os problemas podem ser classificados em seis tipos diferentes de causas, que são: o método (utilizado para executar o trabalho), a máquina (que pode ser a falta de manutenção ou operação errada da mesma), a medida (as decisões sobre o processo), o meio ambiente (qualidade ou não do ambiente corporativo), a mão-de-obra (refere-se ao nível de qualificação do executor do processo) e o material (baixo nível de qualidade da matéria prima usada no processo). É importante lembrar também, que nem todos os M's são aplicáveis na execução do diagrama de ISHIKAWA, uma vez que eles nem sempre serão compatíveis com o estudo de causa e efeito abordado. O sistema proposto pelo diagrama de causa e efeito permite estruturar hierarquicamente as causas potenciais de um determinado problema, como também uma oportunidade de melhoria e seus efeitos sobre a qualidade de um produto.

Elaboração do Diagrama:

1 - Definição do Problema: Primeiramente, deve-se determinar o problema que será analisado no diagrama de ISHIKAWA, assim como o objetivo que se espera alcançar através dele. O mais importante é evitar ser superficial, focando no problema de forma objetiva e em termos de qualidade que possa ser mensurável de alguma forma.

2 - Estruturação do Diagrama: Após a primeira etapa, o executor do diagrama de ISHIKAWA deve juntar todas as informações necessárias a respeito do problema em questão. Ele pode também, por exemplo, descrever o problema a ser analisado na "cabeça" do peixe, a fim de facilitar sua visualização.

3 - Agrupamento das informações: Após reunir uma equipe que possa ajudar na criação do diagrama, a mesma deve apresentar as informações agrupadas por meio de uma sessão de *brainstorming*. É interessante trazer para o *brainstorming* pessoas que estejam relacionadas diretamente com o problema, assim como de outras áreas, com perspectivas diferentes que agreguem valor ao diagrama e ao processo.

4 - Classificação das Causas: Deve-se ordenar todas as informações da melhor maneira possível, apontando as principais causas e eliminando as informações dispensáveis. É muito importante fazer uma análise profunda das causas, com o intuito de detectar quais delas impactam mais no problema e quais seriam suas possíveis soluções. Após a análise das causas, deve-se elaborar um plano de ação e definir os responsáveis, como também um prazo para a conclusão de cada ação.

5 - Conclusão do Diagrama: Por fim, desenhe o diagrama, levando em consideração as causas que devem estar de acordo com os 6M's.

O diagrama de ISHIKAWA representa a forte relação que existe entre um determinado resultado de um processo qualquer (efeito) e os diversos fatores (causas) que conseqüentemente contribuem para esse resultado específico.

2.1.1.10 5 Porquês:

Método para análise de falhas simples que consiste em esgotar determinada questão apontada como causa de anomalia por intermédio de perguntas direcionadas ao fator motivador da ocorrência (Busca da causa fundamental). O objetivo geral é perguntar “por que” depois que cada causa foi identificada até que a causa raiz verdadeira é identificada. Pode haver mais ou menos de cinco "porquês" para alcançar o nível de causa raiz desejado.

2.1.1.11 THP

Trem Hora Parado. Sigla utilizada para representar a parada ou extrapolação do tempo de circulação de um trem ao previsto. Considerada a parada produtiva da ferrovia, objetivo de redução através da análise de falhas.

2.1.1.12 Tipos de Ocorrências

Quando as falhas ocorrem, devem ser registradas por área isenta ao ocorrido. É interessante que haja uma área responsável exclusiva pelos registros. Assim, algumas classificações podem ser utilizadas para definir a condição que a falha infringiu ao processo produtivo bem como a condição que o ativo apresenta em função da falha. Tais informações são de suma importância para a análise de falhas para que haja entendimento das consequências da falha e bem como a priorização de análises de acordo com a gravidade e impacto operacional:

- **Defeito (DEF):** Falha em sistema(s) do ativo que reduz de alguma forma sua capacidade e/ou segurança operacional (em qualquer situação). Neste tipo de falha o veículo pode permanecer executando suas atividades (com ou sem restrição operacional). Também recebem a classificação de Defeito situações que necessitam de acompanhamento da manutenção, como por exemplo, vazamentos.
- **Defeito em Inspeção (DFI):** Falha ou defeito do ativo identificada durante uma manutenção ou quando um equipamento for entregue para operação após algum atendimento preventivo ou corretivo com defeito não solucionado que acarrete em restrição para o ativo.
- **Falha em Serviço (FLS):** Falha em sistema(s) do equipamento que anula sua capacidade operacional ou de segurança, impedindo a capacidade do equipamento produzir ou circular.
- **Falha Causa Operação (FCO):** Falha em que fica evidenciado que a perda de desempenho do ativo foi devido a uma ação errônea ou mau uso durante a operação dos equipamentos.
- **Não Conformidade (NCO):** Classificação utilizada para relatar situações não conformes do ativo e que não reduzam a sua capacidade e/ou segurança

operacional e que não necessitam de acompanhamento da manutenção. Normalmente utilizada para relatar banco rasgado, janela trincada, etc.

- Vandalismo/Furto/Sabotagem (VAN): Anomalias no ativo causadas por atos de vandalismo (ação de hostilidade, violência, pichações e destruições contra o patrimônio), furtos (que podem ser consumados ou tentados, representando a subtração de material, equipamento e outros ou sua tentativa não consumada por circunstâncias alheias à vontade do agente) e/ou sabotagem (ação com o intuito de impedir ou embaraçar o curso normal do trabalho ou danificar o ativo ou seus componentes). Os casos podem ser externos (terceiros) ou internos.
- Acidente (ACI): Ocorrência com material rodante cuja característica seja de Acidente Ferroviário como, por exemplo: descarrilamento, abalroamento, atropelamento e avarias causadas por fatores ambientais externos.
- Registro de impacto: Indicação de perda produtiva (THP).

Vale ressaltar, que as classificações acima indicam a abertura das Ocorrências no momento que ocorrem, no entanto, com a Análise de Falha realizada, a causa raiz será determinada e poderá diferir do tipo de ocorrência aberta.

2.1.1.13 Outras Ferramentas de Análise de Falhas

- Entrevistas aos Mantenedores e Operadores e demais pessoas envolvidas no evento;
- Investigação laboratorial;
- Análise de Estresse;

2.1.1.14 PDCA

Conforme citado anteriormente, um processo de análise de falhas completo forma um ciclo PDCA (*Plan / Do / Check / Act* – Planejar, Executar, Checar, Corrigir). Vamos abordar brevemente os conceitos envolvidos em tal metodologia. É uma ferramenta que visa controlar e melhorar os processos de forma contínua, aperfeiçoamento dos processos de uma empresa identificando as causas dos problemas e implementando soluções. Todo seu processo é formado por atividades planejadas recorrentes, sem fim pré-definido. O Ciclo PDCA tem seu início pela etapa de planejamento (Plan), nessa etapa o objetivo é focar na parte estratégica do ciclo, ou seja, no levantamento e análise das informações. Em seguida ocorre a execução (Do), onde tudo aquilo previamente planejado é executado, gerando a necessidade

de avaliar a qualidade do que está sendo feito e nos levando à etapa do processo de checagem (Check). Nessa etapa temos a verificação de tudo o que foi feito, comparando o que havia sido planejado com o resultado final e com consequentes problemas e falhas que possam ter ocorrido durante o processo. Por fim, toda essa análise implica na necessidade de ação (Act) e na correção dos problemas e divergências encontradas.



Figura 2: Diagrama PDCA
Fonte: Werkema, 2005 (Adaptado)

2.1.1.15 RCA

A metodologia utilizada é baseada na Análise de Causa Raiz (*Root Cause Analysis*). São investigados os reais fatores que levaram o equipamento ou ativo a perderem suas funções primárias, apegando-se somente às evidências concretas, não sendo levadas em consideração suposições ou hipóteses. É considerada a última oportunidade de bloqueio do evento.

2.1.1.16 Relatório de Análise de Falhas

Documento no qual são inseridas todas as informações relevantes para a definição da causa raiz de uma determinada ocorrência, bem como as ações que a serem tomadas para que o problema seja solucionado e não reincida em um ou mais equipamentos da frota. Nele, além do histórico de manutenção do veículo, o responsável pela análise poderá anexar fotos, gráficos, formulários ou qualquer outra informação que enriqueça o documento.

O modelo de entrega da análise de falha pode atender às normas e formatos de quaisquer empresas, entretanto entende-se necessário um nicho de informações básicas que

devem ser contidas para que haja entendimento pelas partes interessadas (leitores, leigos ou não). O relatório deve conter:

Cabeçalho

Informações iniciais: Responsável Pela Análise, Localidade (Oficina responsável pela Análise), Tipo do Relatório (Presencial ou Via Sistema), Número de identificação do relatório, Data de Confecção e Data de Revisão (Caso pertinente).

Dados do Evento

Número de Identificação da Falha (número de registro), Identificação do Ativo, Sintoma, Descrição da Falha, Reincidência (Sim ou Não), Duração da Perda de Produtividade (THP), Data e Escopo da última Manutenção Preventiva.

Verificações e testes Realizados

Nessa seção, serão relatados quais os testes e verificações foram realizados pela Equipe de Manutenção ou pelo Analista da Falha relatando os resultados obtidos.

Análise do Evento

Será realizada descrita a análise realizada através de registros fotográficos em ordem cronológica.

Dados do Modo de Falha

Descrição do Componente envolvido na causa raiz da falha. É importante descrever o componente, indicar o registro de envio para o laboratório, identificar a última intervenção no sistema, qual escopo de manutenção evitaria a falha, e caso seja uma falha de mão de obra indicar a equipe responsável.

Definição da Causa Raiz

Realização dos “5 Porquês” e estratificação da causa conforme metodologia descrita.

Plano de Ação

Elaboração do Plano de Ação, visando evolução dos processos e mitigação dos modos de falhas semelhantes.

2.2 ETAPAS DA ANÁLISE DE FALHAS

2.2.1 Etapa 0 - Registro da Falha e Base de Dados

Conforme 2.1.1.9 todas as falhas devem ser registradas via sistema da Empresa. Assim, é de suma importância a criação de uma base de dados que seja de fácil acesso à equipe de análise de falhas, podem ser utilizadas planilhas eletrônicas ou outro sistema adotado pela empresa. O registro conterá todas as informações iniciais necessárias para realização da análise inclusive se houve reincidência do modo de falha, já analisado ou não bem como o histórico de manutenções dos equipamentos. Em caso de reincidência, deve-se rever a análise anterior (caso exista), aplicar a metodologia PDCA e verificar se é possível a realização de novas ações mitigadoras ou se é decisão corporativa conviver com o modo de falha, seja por inviabilidade financeira de suprimi-lo ou outro motivo.

As principais informações que uma base de dados consistente deve ter são:

- Data e horário da Ocorrência;
- Número do Ativo (Locomotiva, Vagão, Equipamento de Manutenção de Via ou Ativo de Via Permanente), número único para cada ativo;
- THP? (Houve Impacto Operacional?);
- Modelo do Ativo;
- Tipo de Ocorrência (Conforme item 2.1.1.9);
- Trem (Trem no qual o ativo se encontrava no momento do evento ou trem que verificou a falha da Via Permanente);
- Código do Incidente (Cada ocorrência deve ter um número de identificação único);
- Status (Indicando se já houve atendimento);
- Sumário (Relato do Registro);
- Atendimento (Relato do Atendimento caso tenha ocorrido, número do registro e responsável);
- Classificação Análise de Falhas;
- Componente Afetado;
- Última manutenção realizada e responsável;
- Se o Sintoma é Reincidente;
- Disposições (observações do analista de falhas).

Foram listadas as principais informações, porém em cada processo para cada grupo de ativos e suas particularidades ajustes devem ser realizados.

2.2.2 Etapa 1 – Definição do Problema

Nesta etapa é descrita a anomalia que se deseja tratar. A descrição da anomalia deve ocorrer de forma prática e objetiva, procurando orientar-se através das seguintes perguntas:

1. Qual é o problema?
2. Quando aconteceu?
3. Onde aconteceu?

2.2.3 Etapa 2 – Coleta de Dados

Nesta etapa são coletados todos os dados referentes ao evento analisado. Esta etapa é fundamental para a definição da causa raiz. A coleta incompleta poderá influenciar na determinação do fator causal.

2.2.4 Etapa 3 – Definição da Causa Raiz

Nesta etapa o responsável pela análise irá organizar os dados coletados, Uma das formas usualmente utilizada é o diagrama de ISHIKAWA. Após elaboração do diagrama, deverá ser realizada uma reflexão dos dados e evidências para verificar qual o maior responsável pela falha ocorrida.

2.2.5 Etapa 4 – Plano de Ação

Nesta etapa são propostas ações para correção e bloqueio das anomalias detectadas durante a pesquisa da falha. Deverá ser analisada a viabilidade (dificuldade de implantação e custo/benefício) das ações sugeridas. É fundamental avaliar se as ações propostas não irão gerar novos problemas (efeito colateral).

2.2.6 Etapa 5 – Acompanhamento

As ações propostas no tópico anterior não terão validade se não possuírem um acompanhamento de suas evoluções. Para que o objetivo final possa ser atingido, é necessário um plano de ação unificado, com responsáveis e prazos para cada atividade. As atividades macros deverão ser divididas em outras menores para que suas evoluções possam ser acompanhadas de forma mais precisa. O responsável pela análise deve sempre ter em mente

que nem sempre serão necessárias ações de bloqueio e evitar, sempre que possível, propor um grande número de ações para um único responsável.

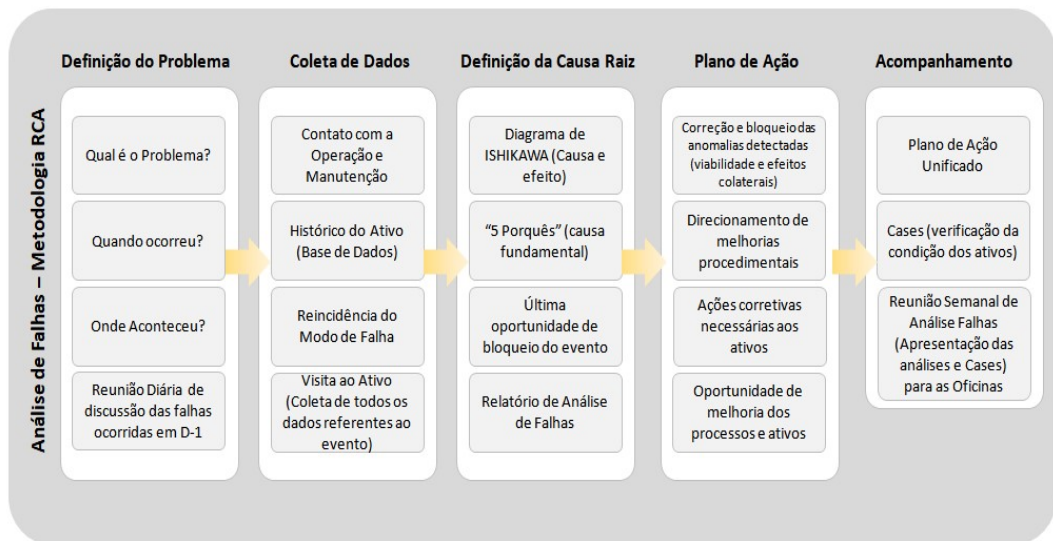


Figura 3: Fluxo de Análise de Falhas
Fonte: Autor

Vale ressaltar que a análise de falhas junto à prática da Engenharia de Manutenção requer uma mudança cultural da organização. De acordo com Nascif e Dorigo (2009, p. 189), tal técnica pode ser definida da seguinte forma:

“É deixar de ficar consertando continuamente para procurar as causas básicas, modificar situações permanentes de mau desempenho, deixar de conviver com problemas crônicos, melhorar padrões e sistemáticas, desenvolver a manutenibilidade, dar *feedback* ao Projeto, interferir tecnicamente nas compras. [...] significa perseguir *benchmarks*, aplicar técnicas modernas, estar nivelado com a manutenção do Primeiro Mundo”.

2.3 CLASSIFICAÇÕES

A partir do exposto, entendemos que cada falha analisada tenha uma causa raiz, assim, nesta seção serão definidas as causas 6M's empregadas para Material Rodante (Locomotivas, Vagões e Equipamentos de Manutenção de Via), entendendo as particularidades de cada tipo de Ativo. Apesar do Diagrama de ISHIKAWA indicar seis classificações (Método, Material, Mão de Obra, Máquina, Medida, Meio ambiente), para atender a necessidade ferroviária foram analisados eventos da Empresa X e traçada uma classificação na qual cada falha será estratificada em três níveis de 6M viabilizando assim, as tratativas para cada modo de falha na sua raiz e levando ao nível de baixa reincidência.

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Locos	Vagões	E.V.
Mão de Obra	Atitude Diagnóstico	Inconclusivo Localidade Outros	X	X	X
			X	X	X
			X	X	X
			X	X	X
			X	X	X
Material	Estrutura	Recuperáveis ou Não Recuperáveis	X	X	X
	Mecânico		X	X	X
	Truque		X	X	X
	Elétrico		X	X	X
	Eletrônico		X	X	X
	Hidráulico		X	X	X
	Pneumático		X	X	X
	Software		X	-	X
	Freio		-	X	-
	Choque Tração		-	X	-
	Rodeiro		-	X	-
Meio Ambiente	Acidente	-	X	X	X
	Corpo Estranho		X	X	X
	Fenômeno Natural		X	X	X
	Vandalismo		X	X	X
	Cliente		X	X	-
Método	Escopo	Inexistente Inadequado Vencido	X	X	X
	Procedimento		X	X	X
Falha Operacional	Falta de Areia	-	X	-	-
	Falta de Utilização		X	-	-
	Freio Manual		X	X	-
	Pane Seca		X	-	X
Inconclusivo	-	-	X	X	X
Nada Constatado	-	-	X	X	X
		-	X	X	X

Legenda: (x) Classificação presente para o grupo de ativos
 (-) Classificação não pertinente para o grupo de ativos
 (E.V.) Equipamentos de Manutenção de Via

Figura 4: Classificações de Causa
 Fonte: Autor

Na sequência, trataremos a estratificação de cada classificação com suas respectivas aplicações.

2.3.1 6M Nível 1 – Mão de Obra

As falhas de Mão de Obra são aquelas cuja responsabilidade é da manutenção (Oficina). Temos algumas condições: imperícia ou imprudência do mantenedor (descumprimento de procedimento), a não realização de uma atividade prevista no escopo de manutenção ou o não atendimento a uma condição de falha sinalizada pela Operação que evolui em nível de gravidade.

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Mão de Obra	Atitude	Responsável	Eventos relacionados a descumprimento de procedimentos ou desvios comportamentais (imprudência, negligência ou imperícia) do mantenedor, técnico ou especialista responsável pela execução da tarefa em que se instalou o modo de falha ou em que se teve a oportunidade de identificá-lo.

Figura 5: Classificação Mão de Obra - Atitude

Fonte: Autor

Exemplos:

- Máquina falhou devido à saturação do filtro diesel sendo que a mesma havia passado por manutenção preventiva com escopo de 250 horas onde contempla a substituição do componente;
- Máquina com cabo de alimentação eletrônica cortado devido ao contato com a borda de uma eletrocalha. A mesma passou por preventiva de 1.000 horas, deveria ter recebido a proteção de borracha nas bordas da calha, conforme orienta o escopo da manutenção, fato que não ocorreu;
- Responsável pela execução da manutenção do equipamento libera-o para operação antes da conclusão de toda a atividade corretiva, vindo o mesmo a falhar logo em seguida.

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Mão de Obra	Diagnóstico	Responsável	Eventos envolvendo diagnósticos incorretos que resultam em uma reincidência de um modo de falha após o ativo ter passado por manutenção.

Figura 6: Classificação Mão de Obra - Diagnóstico

Fonte: Autor

Exemplo: Equipamento é encaminhado para a manutenção devido perda de tração hidráulica e o diagnóstico da equipe aponta para falha na bomba hidráulica. Componente é então substituído e equipamento liberado para circular. Logo após a liberação o mesmo modo de falha veio a reincidir e o equipamento é retirado para manutenção. Desta vez, é

evidenciado que a falha não era bomba, e sim, falta de sinal elétrico para acionamento do componente.

Fluxo de Validação: Relatórios de análise de falhas cuja causa raiz possui relação com mão de obra, cuja equipe responsável pôde ser identificada, deverão ser validados com um responsável, exceto para os casos envolvendo Engenharia, localidades não identificadas (Inconclusivo) ou empresas externas (Outros) e evidenciada a tratativa realizada.

2.3.2 6M Nível 1 – Material

São as falhas cujo é evidente a falha de um componente de forma pontual (sem reincidências), entretanto, não se pode identificar causas secundárias ou contribuidoras. Os materiais serão direcionados ao laboratório e passarão pelas análises pertinentes para avaliar as características do material. A análise deverá ser encaminhada a Equipe de Estratégia de Manutenção para que os escopos preventivos sejam avaliados e verifica-se assim se há alguma oportunidade de revisão de procedimentos.

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Material	Estrutura Mecânico Truque Elétrico Eletrônico Hidráulico Pneumático Software Freio Choque Tração Rodeiro	Recuperável Empresa ou Terceiro	Eventos envolvendo componentes de itens reparáveis pela própria Empresa ou por terceiros.

Figura 7: Classificação Material - Recuperável

Fonte: Autor

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Material	Estrutura Mecânico Truque Elétrico Eletrônico Hidráulico Pneumático Software Freio Choque Tração Rodeiro	Não Recuperável	Eventos envolvendo componentes NÃO reparáveis pela própria Empresa ou por terceiros

Figura 8: Classificação Material – Não Recuperável

Fonte: Autor

Exemplo: Ocorreu quebra da solda do telescópio do arado lateral direito de uma Reguladora de Lastro. Na visita ao equipamento para análise não foi evidenciado nenhum contato indevido do conjunto do arado lateral com a Via ou obstáculo que pudesse gerar esforço excessivo no componente. Não havia registro anterior do modo de falha sem atendimento. O escopo de manutenção de 250 horas solicita a inspeção do arado lateral e na realização do mesmo não foram constatadas condições abaixo do padrão que pudessem ocasionar a falha.

2.3.3 6M Nível 1 – Meio Ambiente

São as falhas ocasionadas por fatores externos ao equipamento, manutenção ou operação.

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Meio Ambiente	Acidente	-	Eventos envolvendo anomalias causadas por acidentes com o veículo, tais como abalroamentos e descarrilamentos.

Figura 9: Classificação Meio Ambiente - Acidente
Fonte: Autor

Exemplo: Equipamento passa por check-list antes da circulação, todos os sistemas estão em perfeita condições inicia-se a circulação na via em velocidade correta à determinada para o trecho, após um determinado trecho percorrido, um animal é visto o freio é acionado, mas devido à distância necessária para a frenagem atropela o animal, a colisão causa uma avaria no equipamento.

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Meio Ambiente	Corpo Estranho	-	Eventos envolvendo anomalias oriundas da presença de materiais ou sedimentos não pertencentes ao projeto original do veículo ou cuja origem seja o ambiente externo.

Figura 10: Classificação Meio Ambiente – Corpo Estranho
Fonte: Autor

Exemplo: Saturação prematura do um filtro de ar devido ao local de operação, como, por exemplo, durante trabalho em túneis, construção de via férrea.

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Meio Ambiente	Fenômeno Natural	-	Eventos envolvendo anomalias causadas por fenômenos naturais, tais como descargas elétricas, chuvas, granizo e queda de barreiras.

Figura 11: Classificação Meio Ambiente – Fenômeno Natural

Fonte: Autor

Exemplo: Antena de comunicação quebrada devido à chuva de granizo.

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Meio Ambiente	Vandalismo	-	Eventos envolvendo danos no ativo causados por pessoas pertencentes ou não a companhia.

Figura 12: Classificação Meio Ambiente – Vandalismo

Fonte: Autor

Exemplos:

- Equipamento depredado com vidros quebrados;
- Mangueiras de combustível cortadas podendo ou não ser tentativa de furto de combustível.

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Meio Ambiente	Cliente	-	Eventos envolvendo danos no ativo causados por clientes durante carga ou descarga em seus terminais.

Figura 13: Classificação Meio Ambiente – Cliente

Fonte: Autor

Exemplo: Durante inspeção do trem após descarga foi verificado vagão com freio manual fora avariado. Avaria foi provocada por contato com da trava de rodas do virador de vagões.

2.3.4 6M Nível 1 – Método

São as falhas cuja causa raiz está relacionada com a Estratégia de Manutenção, seja ela pela não existência de um escopo ou por um procedimento escrito de maneira errônea.

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Método	Escopo	Inexistente Inadequado Vencido	Eventos envolvendo anomalias causadas pela inexistência de um escopo de manutenção ou por um escopo inadequado ou que venceu.

Figura 14: Classificação Método – Escopo

Fonte: Autor

Exemplos:

- Ocorreu quebra do olhal de fixação do cilindro do arado central de uma Reguladora. Os componentes do sistema em questão, pino, rótula e suporte, sofrem desgaste devido ao atrito entre eles e não há escopo que preveja a lubrificação;
- O motor de ventilação de uma Socadora de Lastro avariou. A falha ocorreu devido ao desgaste excessivo dos componentes do motor, porém, há escopo preventivo que contempla inspeção visual do componente o que não é suficiente para evitar o modo de falha;
- Ocorreu a perda de potência do motor Diesel de uma Socadora de Lastro sendo a causa a saturação do filtro de ar, entretanto, a preventiva do equipamento estava vencida há 100 horas trabalhadas e o escopo previsto contemplaria a substituição do filtro.

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Método	Procedimento	Inexistente Inadequado	Eventos envolvendo anomalias causadas pela inexistência de um procedimento de manutenção ou por um procedimento de manutenção inadequado.

Figura 15: Classificação Método – Procedimento
Fonte: Autor

Exemplos:

- Equipamento apresenta modo de falha em determinado componente e, após a conclusão das análises, percebeu-se que a causa raiz do evento está relacionada a uma determinada atividade de manutenção não prevista em procedimento. Desta forma, não há uma forma padrão de executar tal atividade, permitindo que tanto este como outros modos de falha também sejam instalados;
- Equipamento apresenta modo de falha em determinado componente e, após a conclusão das análises, percebeu-se que a causa raiz do evento está relacionada a uma determinada atividade de manutenção passível de otimização, a fim de evitar futuras ocorrências similares, como, por exemplo, uma nova maneira de “como fazer” determinado teste ou uma instalação de componente.

Fluxo de Validação: Relatórios de análise de falhas cuja causa raiz possuem relação com método, deverão ser validados com um responsável, para que aja ajuste ou criação de escopos e/ou procedimentos.

2.3.5 6M Nível 1 – Falha Operacional

São as falhas causadas por consequência de uma operação inadequada do ativo.

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Falha Operacional	Falta de Areia	-	Utilizado apenas para locomotivas, corresponde às falhas em que a locomotiva apresenta patinação de rodas e constata-se ausência de areia no areeiro (responsável por garantir a aderência em trechos de rampa e chuva).

Figura 16: Falha Operacional – Falta de Areia
Fonte: Autor

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Falha Operacional	Falta de Utilização	-	Utilizado apenas para locomotivas, corresponde às falhas em que a locomotiva apresenta descarga do seu conjunto de baterias devido ao ativo ter permanecido inoperante sem que o sistema fosse isolado.

Figura 17: Falha Operacional – Falta de Utilização
Fonte: Autor

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Falha Operacional	Freio Manual	-	Utilizado apenas para vagões, corresponde às falhas em que a composição é liberada com vagão com freio manual acionado. O evento acarreta danos no ativo e frenagem indevida da composição.

Figura 18: Falha Operacional – Freio Manual
Fonte: Autor

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Falha Operacional	Pane Seca	-	Utilizado nos casos em que o ativo tem sua produção interrompida devido à ausência de combustível.

Figura 19: Falha Operacional – Pane Seca
Fonte: Autor

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Falha Operacional	-	-	Utilizado nos casos em que há descumprimento de procedimentos operacionais levando à parada e/ou danos nos ativos.

Figura 20: Falha Operacional
Fonte: Autor

2.3.6 6M Nível 1 – Inconclusivo

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Inconclusivo	-	-	Falhas envolvendo anomalias cuja causa raiz não pôde ser definida devido à falta de evidências ou dúvida entre fatores causais.

Figura 21: Inconclusivo
Fonte: Autor

2.3.7 6M Nível 1 – Nada Constatado

6M Nível 1	6M Nível 2	6M Nível 3	Descrição
Nada Constatado	-	-	Falhas relatadas pela operação, entretanto o diagnóstico em oficina não detecta anomalias e não é possível comprovar uma falha do operador.

Figura 22: Nada Constatado
Fonte: Autor

2.4 CONSIDERAÇÕES ADICIONAIS PARA ALCANÇAR OS OBJETIVOS DE COMPETITIVIDADE

A eficácia da análise de falhas dependerá de determinados fatores, como financeiro, o tecnológico e o material e humano.

Assim, qualquer área dependerá de forma direta da Gestão de Pessoas. Segundo Fischer (2002), o termo Gestão de Pessoas trata-se das estratégias que determinada empresa apresenta para orientar o comportamento humano dentro do trabalho.

O foco desta gestão é o capital humano, através de sua capacitação e criação de motivação para desempenho das funções dentro da empresa. Na era da globalização, essas virtudes proporcionam uma força de trabalho mais competitiva e, conseqüentemente, performances mais produtivas.

2.4.1 Capacitação e Treinamento

Conforme de Marchi; Souza e Carvalho (2013) entende-se a capacitação como uma “vantagem competitiva”, uma vez que o desenvolvimento dos colaboradores potencializa os resultados operacionais. Treinamentos são executados para promover a capacitação dos recursos humanos. No entanto, vale ressaltar a diferença entre os termos “treinamento” e “capacitação pessoal”. Enquanto o treinamento é a preparação em curto prazo, para que o sujeito execute dada tarefa, a capacitação pessoal é mais abrangente, e focaliza não só as demandas atuais do colaborador, mas planos de desenvolvimento em longo prazo (MARRAS, 2009).

Em linhas gerais, as equipes de Análise de Falhas e Estratégia de Manutenção podem efetuar análises e procedimentos em níveis de excelência, porém, se a equipe de manutenção responsável pela “vida” dos ativos, não estiver capacitada para receber as informações não haverá ganhos no processo nem a curto nem em longo prazo. Ainda em tempo, o nível de

complexidade da análise de falha é diretamente ligado a capacitação profissional do executor e a sua motivação profissional.

2.4.2 Confiabilidade versus Disponibilidade e Custo

Para realizar essa avaliação, vamos primeiro definir os conceitos de Confiabilidade e Disponibilidade:

Confiabilidade: é a probabilidade que um item possa desempenhar sua função requerida, por um intervalo de tempo estabelecido, sob condições definidas de uso.

Disponibilidade: é o tempo em que o equipamento, sistema ou instalação está disponível para operar ou em condições de produzir.

Ao longo dessa revisão bibliográfica determinamos que o objetivo principal da análise de falhas é a redução da ocorrência de falhas bem como das reincidências. Trabalhamos então, com o objetivo centrado na redução da taxa de falhas, ou seja, a menor taxa possível para a relação $\frac{\text{Número de Falhas}}{\text{Km Produzido}}$. Entretanto, nos voltando novamente para a competitividade é valioso realizarmos uma reflexão: Até que ponto a Confiabilidade deve ser priorizada em detrimento da disponibilidade e custos de manutenção?

A resposta para reflexão nos foi dada na realização do conceito de Manutenção Estratégica. Cada empresa terá seu patamar ideal dessa relação. É possível ter uma taxa de falhas $\frac{\text{Número de Falhas}}{\text{Km Produzido}} \sim 0$ ao realizar substituições preventivas de componentes ao invés da substituição por condição, entretanto, o custo será alto e a disponibilidade do ativo para operação comprometida. Cabe à equipe de Engenharia responsável a determinação do ótimo de acordo com os objetivos empresariais. Ainda em tempo, vale ressaltar que uma manutenção apenas corretiva leva a um retrocesso e perdas produtivas inestimáveis.

3. ESTUDO DE CASO

O capítulo apresenta o estudo de caso realizado pelo acadêmico, no qual são apresentadas as informações e análises, embasadas pelo referencial teórico apresentado no capítulo 2, para esse estudo de caso, alguns conhecimentos técnicos foram necessários, dessa maneira ao decorrer da análise realizada serão introduzidos pontualmente. Inicia-se com a descrição do evento objeto de estudo e dos conceitos relacionados. Em seguida, apresenta-se o desenvolvimento da análise utilizando a metodologia definida no presente trabalho e por fim as ações de saída geradas pela análise realizada. O estudo de caso será realizado com foco em Material Rodante, ativo Locomotiva. Os dados específicos da empresa serão resguardados utilizando numerações de identificação diferentes dos empregados.

3.1 A EMPRESA E SEUS ATIVOS

O objeto de estudo do acadêmico ocorre numa organização atuante no segmento logístico ferroviário, descrita neste trabalho como “Empresa X”. Os produtos transportados são divididos em dois grupos: Minério de Ferro e Cargas Gerais. A empresa possui uma gama de modelos de locomotivas responsáveis por atender os requisitos da malha ferroviária e ao tipo de carga transportada. O modelo em análise será uma locomotiva GE-AC44MIL.

3.2 A ANÁLISE

3.2.1 Definição do Problema

Tendo posse de uma base de dados adequada iremos iniciar a análise, conforme descrito no capítulo 2 realizando a definição do problema:

1. Qual é o problema?

Locomotiva pegou fogo, incendiando o compartimento do Motor Diesel.

2. Quando aconteceu?

Aconteceu no dia 06/04/018 às 16:35 h.

3. Onde aconteceu?

Pátio RJ.

Essas são as considerações iniciais para começarmos a descrever a anomalia, seguimos assim para o próximo passo.

3.2.2 Coleta de Dados

Nessa etapa, iremos coletar o maior número de dados possíveis sobre o evento.

- Data e horário da Ocorrência: *06/04/018 às 16:35 h;*
- Número do Ativo: *Locomotiva 0001;*
- THP: *Impacto Operacional de parada estimado em 5 h;*
- Modelo do Ativo: *Modelo GE-AC44MIL;*
- Tipo de Ocorrência: *Falha em Serviço;*
- Trem: *XXX0001;*
- Código do Incidente: *9999999;*
- Status: *Atendido;*
- Sumário: *Locomotiva circulando pegou fogo incendiando compartimento do Motor Diesel. Condenada para oficina.*
- Última manutenção realizada: *12/01/2018;*
- Se o Sintoma é Reincidente: *Sintoma não é reincidente para o ativo.*

3.2.3 Definição da Causa Raiz

Para realizar a definição da causa raiz nesse caso, será necessário realizar a inspeção completa do ativo. Partiremos então da informação que houve um incêndio no compartimento do Motor Diesel, por onde nossa análise se iniciará;

3.2.3.1 Análise do Início da Propagação do Incêndio

Ao analisar visualmente o compartimento do Motor Diesel da Locomotiva, foi possível verificar a origem de propagação do incêndio como sendo resultado de um fluxo contínuo de pulverização de óleo Diesel, uma vez que foi verificado a presença de combustível nos componentes incendiados e o caminho percorrido.



Figura 23: Componentes incendiados e origem do incêndio (Cilindro 2 Lado Direito)
Fonte: Autor

O incêndio teve início no segundo cilindro do lado direito do motor diesel (primeira figura), a pulverização de Diesel percorreu todo o motor levando os componentes à incineração até que o vazamento atingiu a parte externa da máquina e foi contido.

Podemos observar que houve uma pulverização contínua de Diesel que, ao entrar em contato com partes quentes do escape inflamou. Olhando abaixo para um esquema simples do sistema de injeção de Diesel e nos atentando para a função da bomba injetora: a principal parte do sistema de alimentação diesel que tem como funções: dosar o combustível de acordo com as necessidades do motor; enviar o combustível para os bicos injetores de acordo com a ordem de ignição do motor e promover pressão suficiente para pulverizar o combustível na massa de ar quente na câmara de combustão. Concluímos uma possível falha do componente que ocasionou a pulverização de Diesel conforme figura 23.

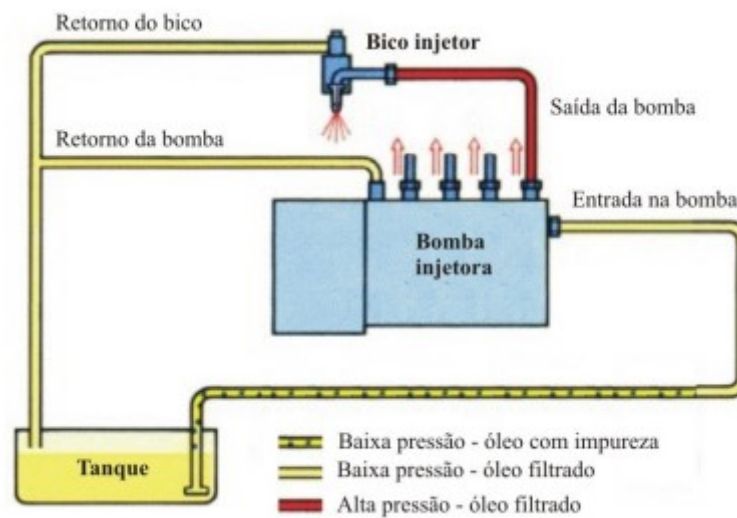


Figura 24: Sistema básico de injeção ilustrativo
Fonte: VARELLA, 2010



Figura 25: Bomba Injetora BOSCH F00B.L0P.04F
Fonte: Autor

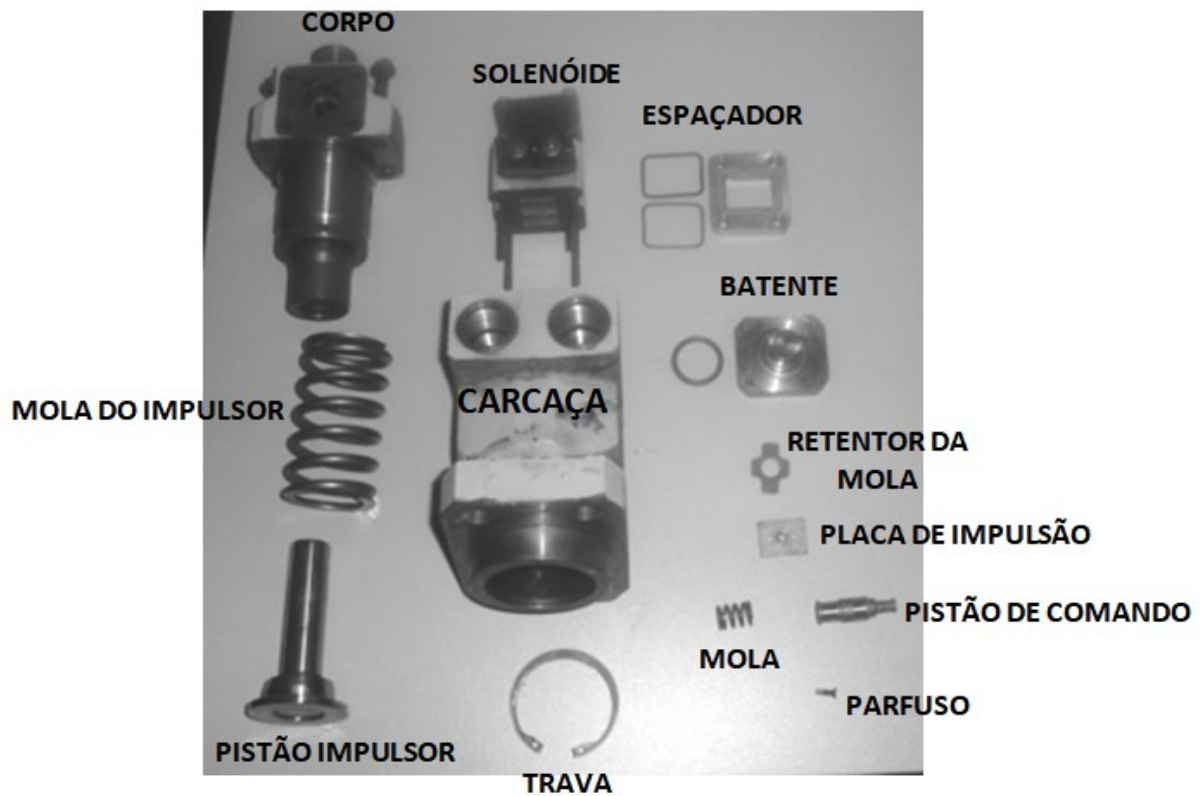


Figura 26: Subcomponentes da Bomba Injetora BOSCH F00B.L0P.04F
Fonte: Autor

3.2.3.2 Análise da Bomba Injetora

Ao realizar a desmontagem do componente em bancada laboratorial, o seguinte cenário de dano foi constatado nos seus componentes internos:



Figura 27: Componentes internos da bomba injetora fraturados
Fonte: Autor

Os componentes interiores observados com falha são componentes de desgaste (mola do impulsor, pistão do impulsor e trava interna).

Ao observar os componentes externos verificamos fratura dos parafusos de fixação do solenóide da bomba.



Figura 28: Quebra dos parafusos de fixação
Fonte: Autor

Assim, concluímos que a falha do componente teve início com a fratura da mola causando desestabilização e desalinhamento funcional dos componentes internos e consequente fratura dos parafusos de fixação do solenóide da bomba. A perda de torque do conjunto solenóide permitiu a pulverização externa do diesel e alimentação do incêndio.

3.2.3.3 Considerações de Estratégia

O Escopo de substituição do componente estava positivo, ou seja, de acordo com o procedimento da Engenharia de Estratégia da empresa, a substituição ainda não era necessária. Até o momento, não haviam registros de falhas semelhantes, ou seja, com o mesmo modo de falha. Caminhávamos então para uma definição da falha como Material (algo pontual), entretanto, fomos surpreendidos com mais seis falhas em locomotivas distintas, porém do mesmo modelo, do mesmo componente (Bomba Injetora). Assim, algo que seria pontual, passou a ser um problema sistêmico.

3.2.3.4 Falha Sistêmica

A análise dessa falha então evoluiu para uma análise conjunta de todas as sete falhas apresentadas no componente e o que as falhas teriam em comum incluindo os gatilhos de substituição dos componentes.

Os subcomponentes da Bomba Injetora que falharam diferem entre os casos:

Fratura da Mola (três ocorrências)

- Locomotiva 0001 (falha aqui analisada):

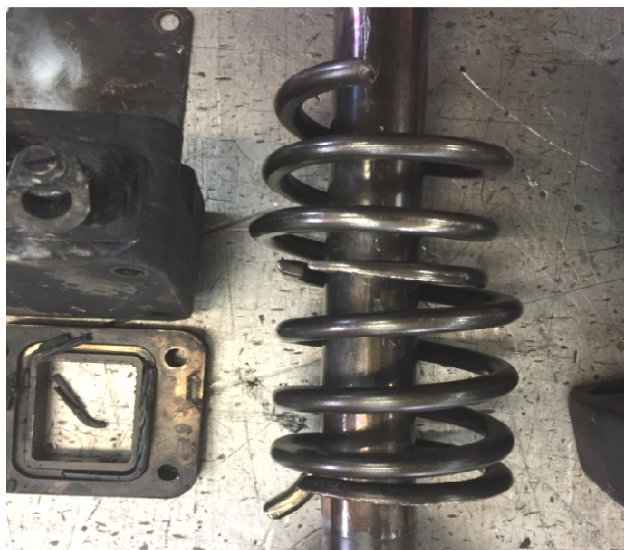


Figura 29: Fratura da Mola, 0001
Fonte: Autor

Informações: Bomba Original da Máquina;
Máquina Incendiada;
Tempo de Operação: 5.830.530 litros (2535 dias);
Gatilho Empresa: 76,8%
Gatilho Fabricante (GE): 138,8%

- Locomotiva 0002:



Figura 30: Fratura da Mola, 0002
Fonte: Autor

Informações: Bomba Original da Máquina;
Tempo de Operação: 5.304.271 litros (2536 dias)
Gatilho Empresa: 70%
Gatilho Fabricante (GE): 126,3%

- Locomotiva 0003:



Figura 31: Fratura da Mola, 0003
Fonte: Autor

Informações: Bomba Original da Máquina;

Tempo de Operação: 5.821.592 litros (2523 dias)

Gatilho Empresa: 76,7%

Gatilho Fabricante (GE): 138,6%

Fratura do parafuso do cabeçote (duas ocorrências)

- Locomotiva 0004:



Figura 32: Fratura do Parafuso do Cabeçote, 0004
Fonte: Autor

Informações: Bomba recuperada pelo Laboratório da Empresa;

Tempo de Operação: 1.841.955 litros (724 dias) (Bomba)

6.536.487 litros (2801 dias) (Parafuso)

Gatilho Empresa (Parafuso): 86,5%

Gatilho Fabricante (GE) (Parafuso): 156,3%

- Locomotiva 0005:



Figura 33: Fratura do Parafuso do Cabeçote, 0005

Fonte: Autor

Informações: Bomba Original da Máquina;

Tempo de Operação: 5.410.009 litros (2434 dias)

Gatilho Empresa: 71,3%

Gatilho Fabricante (GE): 128,8%

Trinca na sede do tubo de alta pressão (uma ocorrência)

- Locomotiva 0006:



Figura 34: Trinca na sede do tubo de alta pressão, 0006
Fonte: Autor

Informações: Bomba Original da Máquina;

Tempo de Operação: 7.643.447 litros (3473 dias)

Gatilho Empresa: 100,7%

Gatilho Fabricante (GE): 182%

Rompimento do anel de vedação (uma ocorrência)

- Locomotiva 0007:

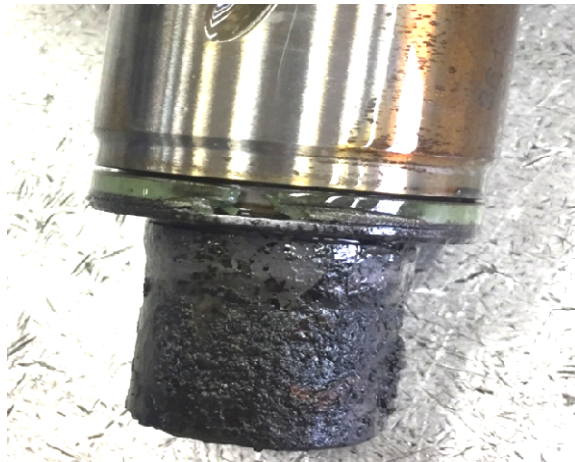


Figura 35: Rompimento do anel de vedação, 0007
Fonte: Autor

Informações: Duas Bombas Originais da Máquina;

Tempo de Operação: 7.357.227 litros (3543 dias)

Gatilho Empresa: 96,9%

Gatilho Fabricante (GE): 175,2%

3.2.3.5 Conclusão da Análise

A partir de todas as asserções feitas nos itens anteriores, iremos concluir o relatório de análise de falhas contendo a definição da causa raiz, lembrando que a falha em análise é da Locomotiva 0001 e que as demais informações foram agregadas para definição da causa raiz.

- 5 Porquês:

Falha: Incêndio no compartimento do Motor Diesel

Porquê? Pulverização de Diesel nas partes aquecidas de escape;

Porquê? Perda de fixação do corpo do solenóide da Bomba Injetora;

Porquê? Quebra dos parafusos de fixação;

Porquê? Quebra da mola interna da Bomba Injetora propiciando vibração excessiva;

Porquê? Escopo de Substituição do componente Inadequado

- Causa Raiz:

Método – Escopo – Inadequado

3.2.4 **Plano de Ação**

Mediante a análise realizada, a elaboração do Plano de Ação nos parece trivial, fazendo a adequação do escopo de substituição da Bomba Injetora adotando o escopo previsto pela GE/BOSCH. Entretanto, a sugestão é encaminhada à Engenharia de Estratégia. Pode ser considerado vantajoso pela Empresa conviver com as falhas ao invés de aumentar os custos com substituições. Serão avaliadas a criticidade e viabilidade financeira.

4. RESULTADOS ENCONTRADOS

Baseado nos conceitos de competitividade atuais e levando em conta que a manutenção corretiva agrega perdas produtivas aos processos e deve ser evitada foi desenvolvida uma metodologia de análise de falhas que tem por objetivo a criação de ações que visam a redução das perdas produtivas. Partindo da contribuição de Kaoru Ishikawa que desenvolveu o diagrama de causa e efeito com seis classificações de causa (Método, Material, Mão de Obra, Máquina, Medida, Meio ambiente), desenvolvemos sete classificações (Método, Material, Mão de Obra, Meio Ambiente, Falha Operacional, Inconclusivo e Nada Constatado) com estratificação em três níveis que atendem o cenário de falhas atual da ferrovia e que direcionam às ações mitigadoras dos modos de falha.

4.1 RESULTADO DA ANÁLISE DE FALHAS

O resultado principal da análise realizada indica que a falha do componente ocorreu devido ao desgaste dos subcomponentes da Bomba Injetora. Na sequência, podemos observar que os gatilhos de manutenção (escopo), ou seja, a produção do ativo (em litros consumidos de Diesel) para realização da substituição do componente excedia o recomendado pelo fabricante conforme podemos ver no gráfico abaixo:

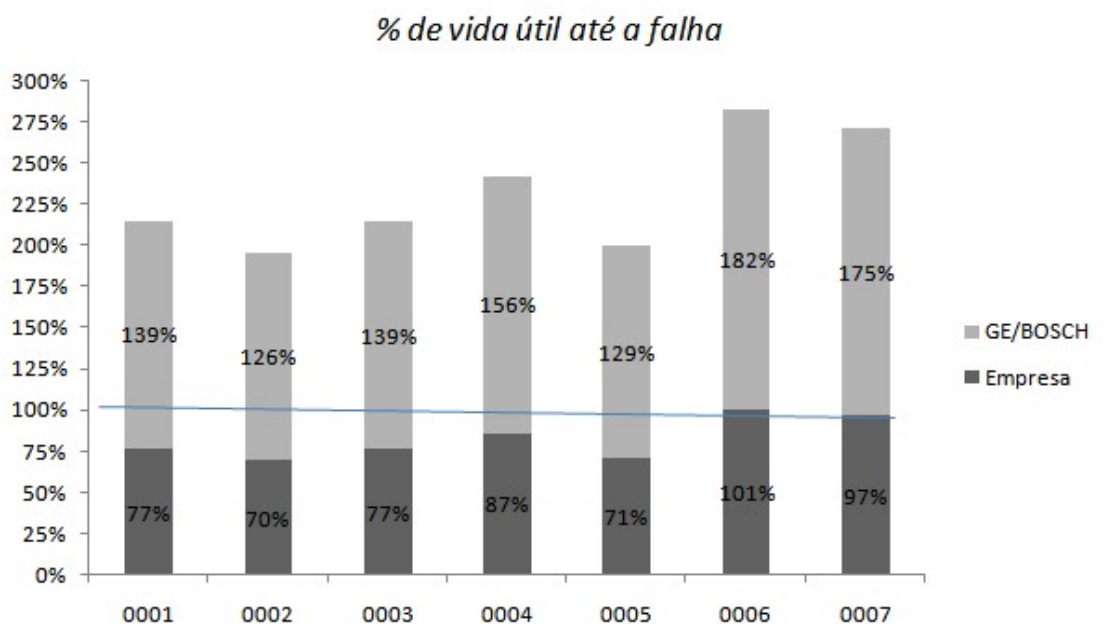


Figura 36: Vida útil da Bomba Injetora até a Falha
Fonte: Autor

O gráfico apresenta a porcentagem da utilização do ativo para a realização da substituição da bomba injetora levando em consideração os parâmetros estabelecidos pela Empresa X (barras cinzas escuras) e os parâmetros estabelecidos pelo fornecedor (barras cinzas claras).

Podemos observar que o gatilho previsto pela Empresa X (7590000 l) corresponde a 80% a mais de utilização do que o indicado pelo fabricante (4200000 l) e que a falha mais prematura ocorreu com 70% do gatilho da Empresa X e 126% do recomendado pelo fabricante. Se adotássemos um novo gatilho baseado no fabricante trocaríamos 1,8 vezes a mais que no gatilho previsto pela empresa. Se adotássemos o limiar mínimo de utilização trocaríamos 1,3 vezes a mais. Levando em consideração que o Motor Diesel de uma locomotiva GE-AC44MIL possui 16 cilindros, há uma bomba para cada cilindro e que cada bomba custa aproximadamente USD 550,00, o custo de substituição total para uma locomotiva sem levar em consideração a mão de obra (HH – Homem Hora Trabalhado) é de aproximadamente USD 8800,00, a decisão da empresa foi conviver com as falhas.

4.2 RESULTADOS OBTIDOS EM REDUÇÃO DE REINCIDÊNCIAS

Para dissertar sobre a redução das falhas analisadas iremos abordar novamente Material Rodante, ativo Vagões. A escolha se dá devido a este ser o primeiro grupo de ativos em que a análise de falhas foi implementada ainda de forma inicial em 2017, porém, já recebendo a atenção de uma equipe. Gerando assim, uma base histórica para avaliação. No ano de 2018, a metodologia foi aplicada em sua essência. Iremos analisar as ocorrências que geraram perda operacional (THP).

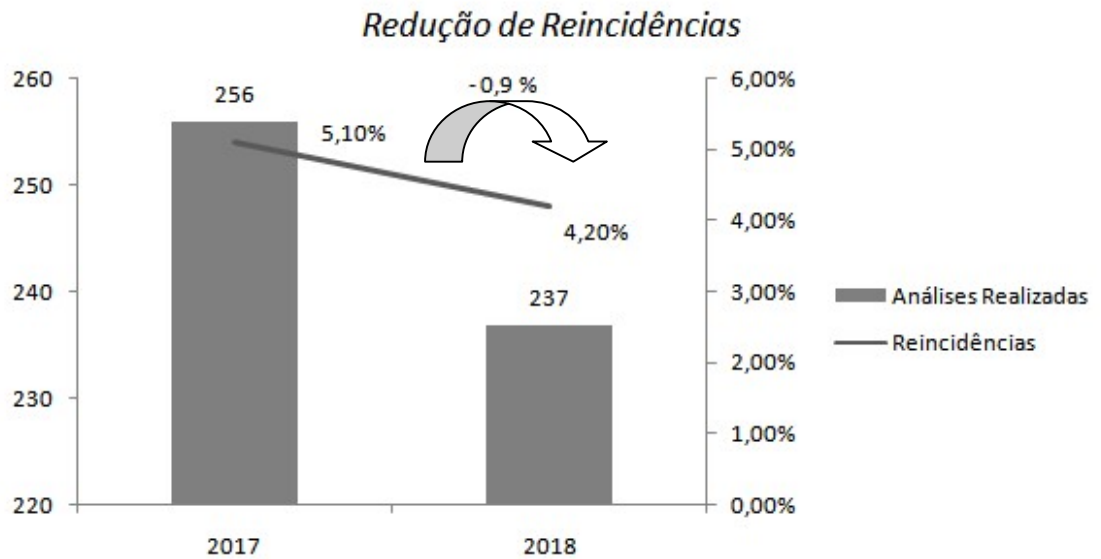


Figura 37: Redução das Reincidências
Fonte: Autor

O gráfico apresenta a porcentagem de eventos de reincidência com relação ao volume de falhas analisadas. Em 2017 foram realizadas 256 análises com 5,10% de falhas reincidentes, já em 2018 foram realizadas 237 análises com 4,20% de falhas reincidentes.

É considerado reincidência quando o mesmo ativo apresenta o mesmo modo de falha considerando um período de 180 dias após a primeira falha. Com um ano da metodologia aplicada, conseguimos uma redução de 0,9% das reincidências.

4.3 RESULTADOS OBTIDOS EM REDUÇÃO A FALHAS DE MÃO DE OBRA E MÉTODO

As falhas relacionadas a Método ou Mão de Obra, são aquelas que possuem maior possibilidade de tratativa pela Engenharia de Manutenção. As falhas de Método são direcionadas a parte da Engenharia responsável pela Estratégia e as falhas de Mão de Obra são direcionadas ao responsável pela equipe que realiza a tratativa a tratativa pode ser relacionada a treinamento e capacitação ou mesmo uma explicação da falha de um ponto de vista distinto.

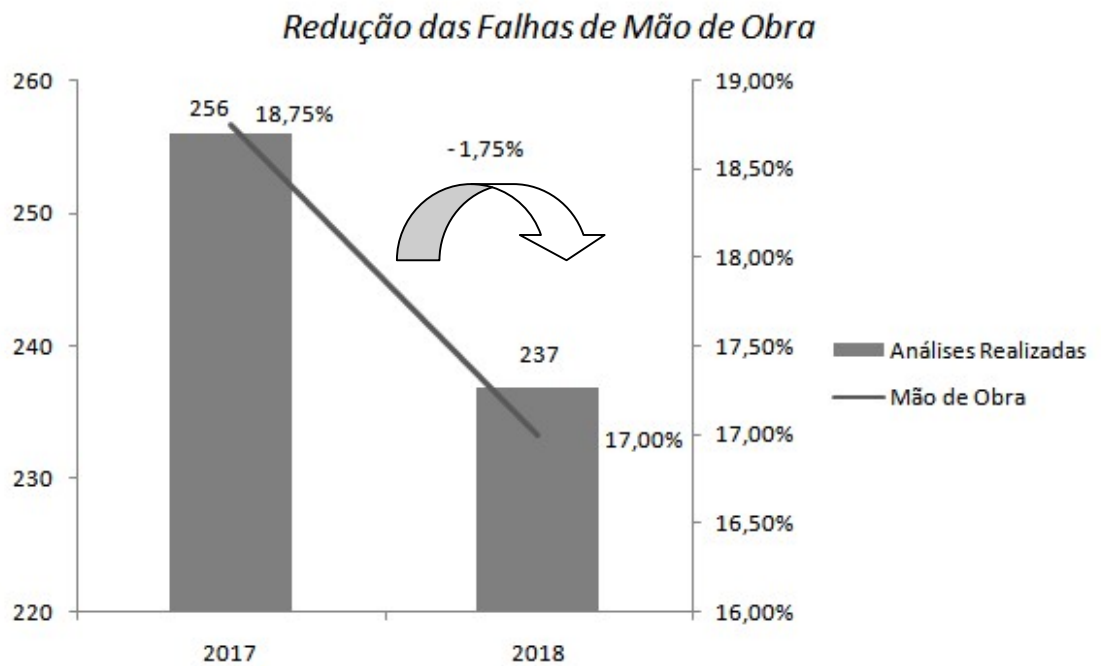


Figura 38: Redução das Falhas de Mão de Obra
Fonte: Autor

O gráfico apresenta a porcentagem de eventos causa Mão de Obra com relação ao volume de falhas analisadas. Em 2017 foram realizadas 256 análises com 18,75% de causas Mão de Obra, já em 2018 foram realizadas 237 análises com 17,00% de classificações dessa causa raiz.

Com um ano da metodologia aplicada, conseguimos uma redução de 1,75% das falhas causa Mão de Obra.

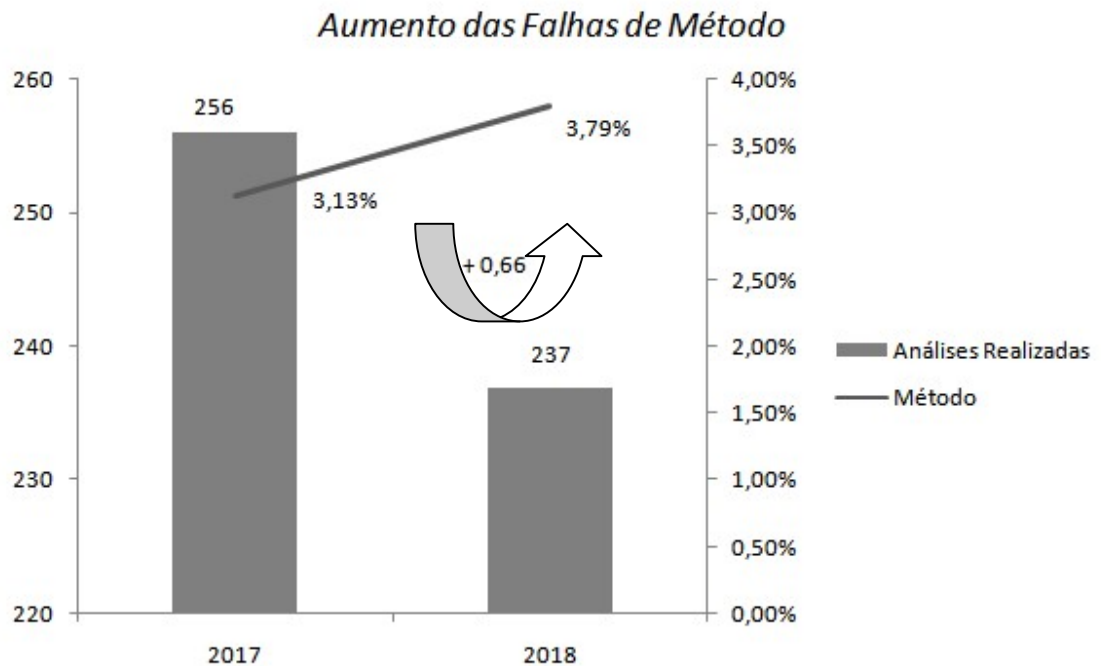


Figura 39: Aumento das Falhas de Método
Fonte: Autor

O gráfico apresenta a porcentagem de eventos causa Método com relação ao volume de falhas analisadas. Em 2017 foram realizadas 256 análises com 3,13% de causas Mão de Obra, já em 2018 foram realizadas 237 análises com 3,79% de classificações dessa causa raiz.

Diferente do esperado quando se fala de evolução dos processos e em reduzir as falhas de responsabilidade Engenharia, as falhas de método tiveram um aumento de 0,66% comprando 2017 com 2018. Entretanto, uma ressalva deve ser feita com relação a esse cenário. Sabendo que o Minério de Ferro é a carga principal, e entendendo a retração na produção no primeiro trimestre de 2018 com relação ao quarto trimestre de 2017, o início de 2018 foi prejudicado em volume de carga até que fosse restabelecido o volume através da ampliação da Carga Geral. Sabendo que 2,95% das falhas classificadas em 2018 têm seu nível três de Classificação “Vencido” faz-se a relação da diminuição da realização dos Escopos preventivos a fim de reduzir custos para a companhia. Voltamos mais uma vez ao ponto supracitado que a Estratégia de Manutenção deve andar ao lado aos objetivos da empresa.

4.4 RESULTADOS OBTIDOS EM RELAÇÃO À REALIMENTAÇÃO DO SISTEMA

Levando em consideração a última etapa do ciclo PDCA (Alavancar/Ajustar/Atuar/Agir), foram geradas em 2017 apenas duas ações para ajustes nos

processos (Escopos e Procedimentos) e desenvolvimento de fornecedores e produtos, com a implantação da análise de falhas de forma concreta em 2018 foram concluídas 48 ações. Apontando um crescimento de 2400%.

4.5 DEFINIÇÃO DAS AÇÕES PRIMÁRIAS

É evidente que as ações de eliminação das falhas dependem de cada caso e suas particularidades, no entanto, é possível definir ações de start para aplicarmos a cada classificação:

Mão de Obra: Indicar a falha para o responsável pelo Mantenedor que executou indevidamente ou deixou de executar a atividade que originou a falha para a realização de tratativa de Mão de Obra.

Material: Segregar o componente para análise laboratorial.

Meio Ambiente: Em caso de Fenômenos Naturais não há ação primária, pois estamos expostos às intempéries da natureza. Em casos de Acidente e Vandalismo direcionar a análise da falha à área responsável pela segurança. Já com relação aos eventos de Corpo Estranho, pôde propor a descontaminação do sistema bem como verificar as condições operacionais. No caso de avaria causada pelo Cliente encaminhar a análise para a área responsável pela parte comercial da empresa para que comunique ao cliente os danos causados e estabeleça condições de ressarcimento.

Método: Direcionar a análise para a Engenharia de Estratégia para avaliar se há necessidade e viabilidade de alteração de procedimentos ou escopos.

Falha Operacional: Indicar a falha para o responsável pelo Operador que executou indevidamente ou deixou de executar a atividade que originou a falha para a realização de tratativa de Operação.

Inconclusivo ou Nada Constatado: Buscar evolução do processo de análise de falhas.

4.6 PRÓXIMOS DESAFIOS IDENTIFICADOS

Assim como dito anteriormente que as falhas relacionadas a Método e Mão de Obra podem sofrer tratativas da Engenharia de Manutenção, as falhas com causa Nada Constatado ou Inconclusivo são diretamente tratadas pela análise de falhas. Como o objetivo principal

desse projeto é o desenvolvimento de uma metodologia de análise de falhas acredito que o maior desafio que encontramos para 2019 seja a redução de ambas as classificações.

As falhas classificadas como Nada Constatado são aquelas cuja análise em oficina não identificou o modo de falha instalado e não foi possível comprovar uma Falha Operacional, entretanto, é plausível acreditar que há uma causa por trás dessas ocorrências. O maior desafio é elevar o nível da Análise de Falhas para compreender tais eventos.

Ao se tratar da causa Inconclusiva, é comumente frequente quando há a identificação de mais de uma causa que originou a falha, porém, entende-se com papel da Análise de Falhas realizar a definição da causa raiz, ou seja, a causa caso não ocorresse a falha não aconteceria.

Aplicar o FEMEA (Failure Mode and Effect Analysis) – Análise dos Tipos de Falha e Efeitos ao processo para potencializar os resultados.

5. CONCLUSÃO

O presente estudo possibilitou o desenvolvimento de técnicas de definição de causa raiz das falhas que pode ser aplicado no setor de Manutenção e em outros processos nos quais se objetiva a retroalimentação do sistema para que não sejam repetidas as mesmas falhas de processo, ganhando em confiabilidade, produtividade, estratégia e satisfação do cliente. Com isso, os custos da manutenção se tornam reduzidos e elencando valor aos processos operacionais. A capacidade de análise é um trunfo ao meio de um cenário extremamente competitivo que leva estabilidade a cadeia produtiva empresarial.

A qualidade do processo de análise de falhas está diretamente ligada com a capacitação técnica dos profissionais que irão realizá-la, bem como a motivação na investigação das falhas o que se pode obter através de um processo de gestão ótimo aliado com uma boa equipe técnica. Como vimos anteriormente, muitas das vezes a análise de falhas está ligada a repetição das verificações realizadas e a sua ampliação para outros ativos, o que depende do entendimento do profissional ao realizar a ligação entre os modos de falha similares e a metodologia para que a causa raiz seja encontrada e a estratégia de manutenção modificada para mitigação do problema.

Ainda assim, é necessário amplo respeito às diretrizes empresariais para que a Análise de Falhas junto a Estratégia de Manutenção consigam o aumento da confiabilidade e redução de custos ao ponto de satisfazer os objetivos principais da companhia.

A comparação realizada no presente trabalho nos mostra que a evolução nas falhas tratáveis a nível pessoal quando o processo estava ainda em desenvolvimento (2017) e no ano de sua aplicação definitiva (2018 através de uma metodologia) indica uma redução das falhas. No entanto, quanto às falhas relacionadas aos Escopos/Procedimentos de manutenção nos mostram uma piora, entretanto refletindo a crise enfrentada e a necessidade de redução de custos ao se abrir mão da realização de escopos preventivos pela Empresa X, porém, mais uma vez valida o projeto levando em consideração que se a realização dos escopos fosse efetivada as falhas não ocorreriam, indicando também que a retroalimentação do sistema com a modificação de 48 itens procedimentais foi positiva.

Com a aplicação da metodologia foi possível identificar a causa raiz do incêndio na locomotiva analisada bem como alcançar redução das falhas causa mão de obra (-1,75%) e reincidências (-0,9%) do mesmo modo de falha para o mesmo ativo e elevar o patamar de retroalimentação do sistema. Através de um olhar simplificado pode-se assimilar que os

ganhos não apresentam expressiva relevância, porém deve-se levar em consideração que a metodologia foi aplicada a uma empresa com excelência de gestão, engenharia de manutenção responsável pela estratégia que possui procedimentos estruturados e processos bem definidos com níveis diferenciados de manutenção.

A realização das classificações de falhas de forma padronizada permite a realização de uma análise sistêmica que pode identificar o principal foco de atuação em um processo. Analisam-se as falhas de forma macro e não apenas individualmente criando um novo referencial para a prática de ações de manutenção, pode-se trabalhar com relação aos componentes ou as causas e tratá-los com ordem de prioridade e criticidade.

6. REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462:** Confiabilidade e manutenibilidade. Rio de Janeiro, p. 37. 1994.

AMORIM, T. N. G. F. **Competitividade organizacional:** caminhos alternativos. Disponível em: < <http://www.anpad.org.br/admin/pdf/enanpad1997-est-11.pdf>>. Acesso em 21 Fev. 2019.

ANTT – AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Terminologia básica.** Disponível em:< http://appweb2.antt.gov.br/relatorios/ferroviario/concessionarias2008/15_Terminologia_Basic a2008.pdf> Acesso em 06 Fev.2019.

BANDEIRA, A. A. **Indicadores de Desempenho:** Instrumentos à Produtividade Organizacional. Rio de Janeiro, Qualitymark, 2009.

BECKER, W. T.; SHIPLEY, R. J. **Failure Analysis and Prevention.** ASM International, vol. 11, 2002.

CALDAS, M. P.; WOOD JR, T. **Empresas brasileiras e o desafio da competitividade.** Disponível em: < <http://www.scielo.br/pdf/rae/v47n3/v47n3a06.pdf>>. Acesso em 04 Fev. 2019.

CNI - CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA. **Transporte ferroviário:** colocando a competitividade nos trilhos. Disponível em: < https://bucket-gw-cni-static-cms-si.s3.amazonaws.com/media/filer_public/02/81/028180ef-3567-4139-bbd2-f632639e7482/23_-_transporte_ferroviario_resumo.pdf> Acesso em 20 Jan. 2019.

FISCHER, A. L. **Um resgate conceitual e histórico dos modelos de gestão de pessoas.** Disponível em: <<http://www.diferencialmg.com.br/site/images/artigos/Gesto%20estratgica%20de%20pessoas%20artigo.pdf>>. Acesso em: 01 Nov. 2017.

ISTOE. **Produção de minério da Vale no 1º trimestre cai 12,2% ante 4º tri de 2017.** Disponível em: < <https://istoe.com.br/producao-de-minerio-da-vale-no-1o-trimestre-cai-122-ante-4o-tri-de-2017/>>. Acesso em 14 Jan. 2019.

KARDEC, A.; FLORES, J.; SEIXAS, E. **Gestão estratégica e indicadores de desempenho.** Rio de Janeiro: Qualitymark: ABRAMAN, 2002.

KARDEC, A.; NASCIF, J. **Manutenção Função Estratégica.** Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

LIMA, C. R. C.; SOUZA, S. S. **Manutenção centrada em confiabilidade como ferramenta estratégica.** Disponível em: <http://www.abepro.org.br/biblioteca/enegep2003_tr0109_1353.pdf> Acesso em 21 Jan. 2019.

LOBO, A. **Modal ferroviário registra maior resultado da história.** Disponível em: < <http://www.ilos.com.br/web/modal-ferroviario-registra-maior-crescimento-da-historia/>> Acesso em 16 Jan. 2019.

MARCHETTI, D. et al. **Logística**. Disponível em: <<https://www.bndes.gov.br/wps/wcm/connect/site/57fe3c6d-7ab5-4804-9fbd-46170e26a02e/Logistica.pdf?MOD=AJPERES&CVID=m90nFpv>>. Acesso em 12 Jan. 2018

MARCHI, M. O.; SOUZA, T. M.; CARVALHO M. B. **Treinamento e desenvolvimento de pessoas**. Disponível em: <<https://periodicos.set.edu.br/index.php/cadernohumanas/article/view/359/244>>. Acesso em: 27 Fev. 2019.

MARRAS, J. P. **Administração de recursos humanos: do operacional ao estratégico**. 13. ed., São Paulo. Saraiva, 2009.

MARTINS, P. **Administração da Produção**. Saraiva, 2005.

MAXIMIANO, A. **Teoria Geral da Administração**. São Paulo, Atlas, 2012.

NASCIF, J. **Manutenção - Função estratégica**. 2ª edição. Rio de Janeiro: QualityMark, 2001.

NASCIF, J.; DORIGO, L. C. **Manutenção Orientada para Resultados**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

NETO, A. F. F. **A importância da Globalização para as empresas brasileiras**. São Paulo: Thesis, 2006. Disponível em: <http://www.cantareira.br/thesis2/ed_5/1_alvaro.pdf>. Acesso em: 02 Fev. 2019.

OLIVEIRA, D. **Mudança de patamar de competitividade nacional depende da sociedade e não só do governo**. Disponível em: <<https://www.itforum365.com.br/digital/mudanca-de-patamar-de-competitividade-nacional-depende-da-sociedade-e-nao-so-do-governo/>>. Acesso em 28 Dez. 2018.

PASCHOAL, D. R. S; et al. **Disponibilidade e confiabilidade: aplicação da gestão da manutenção na busca de maior competitividade**. Disponível em:<http://www.fsma.edu.br/EP/Artigos/REV_ENG_3_artigo_3.pdf>. Acesso em 25 Fev. 2019.

PEINADO, J.; GRAEML, A. R. **Administração da produção**. UnicenP, 2007.

PEREIRA, M. J. S. **Engenharia de Manutenção: teoria e prática**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2011.

SANTOS, N. **Ferrovia é o principal modal de exportação de grãos do Mato Grosso**. Disponível em: <<http://www.agroplanning.com.br/2018/09/12/ferrovia-e-o-principal-modal-de-exportacao-de-graos-do-mato-grosso/>>. Acesso em 10 Fev. 2019.

VARELLA, C. A. A.; SANTOS, G. S. **Noções básicas de motores dieséis**. Disponível em: <http://www.ufrj.br/institutos/it/deng/varella/Downloads/IT154_motores_e_tratores/Literatura/No%E7%F5es%20B%E1sicas%20de%20Motores%20Diesel.pdf> Acesso em 15 jan.2019.

WERKEMA, C. **Métodos PDCA e DMAIC e suas ferramentas analíticas**. Campus, 2012.

ANEXO A – TERMO DE AUTENTICIDADE



UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA

Termo de Declaração de Autenticidade de Autoria

Declaro, sob as penas da lei e para os devidos fins, junto à Universidade Federal de Juiz de Fora, que meu Trabalho de Conclusão de Curso do Curso de Graduação em Engenharia Mecânica é original, de minha única e exclusiva autoria. E não se trata de cópia integral ou parcial de textos e trabalhos de autoria de outrem, seja em formato de papel, eletrônico, digital, áudio-visual ou qualquer outro meio.

Declaro ainda ter total conhecimento e compreensão do que é considerado plágio, não apenas a cópia integral do trabalho, mas também de parte dele, inclusive de artigos e/ou parágrafos, sem citação do autor ou de sua fonte.

Declaro, por fim, ter total conhecimento e compreensão das punições decorrentes da prática de plágio, através das sanções civis previstas na lei do direito autoral¹ e criminais previstas no Código Penal², além das cominações administrativas e acadêmicas que poderão resultar em reprovação no Trabalho de Conclusão de Curso.

Juiz de Fora, ____ de _____ de 20____.

NOME LEGÍVEL DO ALUNO (A)

Matrícula

ASSINATURA

CPF

¹ LEI N° 9.610, DE 19 DE FEVEREIRO DE 1998. Altera, atualiza e consolida a legislação sobre direitos autorais e dá outras providências.

² Art. 184. Violar direitos de autor e os que lhe são conexos: Pena - detenção, de 3 (três) meses a 1 (um) ano, ou multa.