

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA  
MBA EM GESTÃO DE ATIVOS**

**ATHOS FERREIRA GUIMARÃES**

**ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE COMO FERRAMENTA DE  
PREDIÇÃO DE FALHAS EM MOTORES DIESEL FERROVIÁRIOS**

**MONOGRAFIA DE ESPECIALIZAÇÃO**

**CURITIBA**

**2020**

**ATHOS FERREIRA GUIMARÃES**

**ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE COMO FERRAMENTA DE  
PREDIÇÃO DE FALHAS EM MOTORES DIESEL FERROVIÁRIOS**

Monografia apresentada como requisito parcial para a obtenção do título de Especialista - MBA em Gestão de Ativos - do Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Marcelo Rodrigues

**CURITIBA**

**2020**



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Campus Curitiba  
Diretoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Departamento Acadêmico de Eletrotécnica  
MBA em Gestão de Ativos



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE COMO FERRAMENTA DE PREDIÇÃO DE FALHAS EM MOTORES DIESEL FERROVIÁRIOS

por

ATHOS FERREIRA GUIMARÃES

Esta monografia foi apresentada em 30 de junho de 2020, como requisito parcial para obtenção do título de Especialista - MBA em Gestão de Ativos - outorgado pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O aluno Athos Ferreira Guimarães foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Emerson Rigoni, Dr. Eng.  
Professor Orientador - UTFPR

---

Prof. Wanderson Stael Paris, Me.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

---

Prof. Marcelo Rodrigues Dr.  
Membro Titular da Banca - UTFPR

Dedico este trabalho à minha família, pelos momentos de ausência.

## **AGRADECIMENTOS**

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Marcelo Rodrigues, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória. Gostaria de deixar registrado também, o meu reconhecimento à minha família, pois acredito que sem o apoio deles seria muito difícil vencer esse desafio.

*“Nada é particularmente difícil se você conseguir  
desmembrar em tarefas menores. ”  
(FORD, Henry, 1919)*

## RESUMO

FERREIRA GUIMARÃES, Athos. **Análise de óleo lubrificante como ferramenta de predição de falhas em motores diesel ferroviários**. 2019. 72. Monografia (MBA em Gestão de Ativos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Frente aos elevados níveis de competitividade presentes no setor logístico, a opção de escolha pelo modal ferroviário ou rodoviário pelos clientes é definida pelo operador que possuir melhores condições tarifárias. A otimização de custos em manutenção se torna chave no processo de melhoria e eficiência operacional de uma concessionária ferroviária. A locomotiva diesel-elétrica, e mais especificamente o motor diesel ferroviário possui elevada relevância. A implementação da técnica de manutenção preditiva por meio da Análise de Óleo Lubrificante nos motores diesel ferroviários é o tema deste trabalho. A metodologia empregada permitiu o estudo de todo o processo vigente e a realização de melhorias por meio de reestruturação de processos, melhorias na gestão de informação de resultados e implementação de novos procedimentos e checklists. O resultado alcançado permitiu uma redução de 19% na quantidade de alarmes abertos e aumento de 39% no indicador de aderência as coletas de amostra de óleo lubrificante pelas equipes de campo, além dos ganhos qualitativos evidenciados neste trabalho.

**Palavras-chave:** Análise de óleo, manutenção preditiva, motores a diesel ferroviários, confiabilidade, gerenciamento de dados.

## ABSTRACT

FERREIRA GUIMARÃES, Athos. **Lube oil analysis as a tool to failure prediction in railroad diesel engines**. 2019. 72. Monografia (MBA em Gestão de Ativos) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2019.

Given the high levels of competitiveness present in the logistics sector, the option to choose for railway or road modal by the customers of the sector is defined by the operator that has better tariff conditions. The optimization of maintenance costs becomes key in the process of improvement and operational efficiency of a railroad, given the high number of locomotives that the operator has to own to promote the movement of its trains. The diesel-electric locomotive, and more specifically the railway diesel engine, is highly relevant. The implementation of the predictive maintenance technique through the Lube Oil Analysis in the diesel engines is the theme of this work. The methodology employed allowed the study of the entire current process and the implementation of improvements through the rebuild of process flows, improvements in the information management of the results and the implementation of new procedures and checklists. The result achieved allowed a reduction of 19% in the number of open alarms and a 39% increase in the indicator of adherence to lubricant oil samples by the field teams, in addition to the qualitative gains evidenced in this work.

**Key words:** Lube oil analysis, predictive maintenance, railroad diesel engines, reliability, data management.



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxo de desenvolvimento do trabalho.....	18
Figura 2 - Diagrama pressão x volume do ciclo de trabalho de um motor diesel ideal .....	22
Figura 3 - Ciclo de trabalho de um motor a quarto tempos .....	23
Figura 4 - Ciclo de trabalho de um motor dois tempos.....	24
Figura 5 - Crankcase EMD 645E (a esquerda) e bloco GE 7FDL (a direita).....	26
Figura 6 - Cárter de motores diesel ferroviários .....	26
Figura 7 – Eixo virabrequim EMD 645E (superior) e GE 7FDL (inferior) ambos 16 cilindros .....	27
Figura 8 – Vista típica do excêntrico de um eixo comando .....	28
Figura 9 – Casquilhos e biela .....	28
Figura 10 – Pistão .....	29
Figura 11 – Camisa de cilindros de força .....	30
Figura 12 - Cabeçote.....	30
Figura 13 – Turbo alimentador .....	31
Figura 14 - Áreas de conhecimento do gerenciamento de dados .....	42
Figura 15 - Aderência a coleta de óleo lubrificante antes da implementação das melhorias.....	45
Figura 16 - Quantidade de alarmes abertos antes da implementação das melhorias .....	46
Figura 17 - Local do evento trem D12 .....	48
Figura 18 - Junta camisa-cabeçote .....	49
Figura 19 - Evolução de sódio no óleo lubrificante .....	49
Figura 20 - Local do evento D02 .....	50
Figura 21 - Trinca no pistão.....	51
Figura 22 - Evolução de sódio no óleo lubrificante .....	51
Figura 23 - Painel Gerencial para controle de resultados das análises de óleo lubrificante .....	58
Figura 24 - Ferramenta de auxílio a identificação de tendência .....	60
Figura 25 - Dreno de retorno obstruído locomotiva 3812 .....	63
Figura 26 - Dreno de retorno obstruído locomotiva 3812 .....	64
Figura 27 - Indicador de falhas evitadas .....	64
Figura 28 - Fluxograma do processo.....	65
Figura 29 - Número de alarmes abertos pós projeto .....	66
Figura 30 - Aderência a coleta de óleo lubrificante pós projeto.....	67

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diferenças básicas Diesel x Otto.....	21
Tabela 2 – Especificações 7FDL.....	23
Tabela 3 - Especificações 645E .....	24
Tabela 4 – Principais subcomponentes de um motor a diesel ferroviário .....	25
Tabela 5 –Subsistemas do Motor Diesel Ferroviário .....	32
Tabela 6 – Funções básicas do óleo lubrificante.....	33
Tabela 7 – Classificação dos óleos lubrificantes .....	36
Tabela 8 – Aditivos para óleos lubrificantes .....	36
Tabela 9 – Possíveis causas associadas por elemento .....	37
Tabela 10 - Possíveis causas associadas por elemento (cont.).....	38
Tabela 11 – Testes realizados em análise laboratorial .....	39
Tabela 12 - Áreas de conhecimento do gerenciamento de dados .....	42
Tabela 13 - Áreas de conhecimento do gerenciamento de dados (cont.) .....	43
Tabela 14 - Contaminação por água .....	53
Tabela 15 - Checklists específicos .....	56
Tabela 16 - Checklists específicos (cont.).....	57

## LISTA DE ABREVIATURAS

API – American Petroleum Institute

FMEA – Failure Mode Effect Analysis

FMECA – Failure Mode Effect Critically Analysis

JIT – Just in time

LCC – Life Cycle Cost

MCC - Manutenção Centrada na Confiabilidade

MDT (mean downtime) – Tempo médio de paralizações

MTBF (mean time between failure) – Tempo médio entre falhas

MTBM (mean time between maintenance) – Tempo médio entre manutenção

MTTF (mean time to failure) – Tempo médio para falhar

MTTR (mean time to repair) – Tempo médio para reparo

MTTRactive (mean time to repair active) – Tempo médio para reparo ativo

RCM - Reliability Centered Maintenance

RPN – Risk Priority Number

SAE – Society of Automobile Engineers

SAP - Systems Applications and Products (ERP)

TTF (time to failure) – Tempo até a falha

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>TEMA DE PESQUISA</b> .....	14
1.1	INTRODUÇÃO .....	14
1.2	PROBLEMA DE PESQUISA .....	15
1.3	OBJETIVOS .....	16
1.4	JUSTIFICATIVA .....	16
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS.....	17
1.6	ESTRUTURA DO TRABALHO .....	19
<b>2</b>	<b>FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	21
2.1	MOTOR DIESEL FERROVIÁRIO.....	21
2.1.1	Introdução .....	21
2.1.2.1	Bloco ou crankcase .....	26
2.1.2.2	Cárter ou reservatório de óleo lubrificante.....	26
2.1.2.3	Eixo virabrequim.....	27
2.1.2.4	Eixo comando.....	27
2.1.2.5	Bielas e casquilhos.....	28
2.1.2.6	Pistão .....	29
2.1.2.7	Camisa .....	29
2.1.2.8	Cabeçote .....	30
2.1.2.9	Turbo alimentador .....	31
2.1.2.10	Subsistemas do Motor Diesel Ferroviário.....	32
2.2	LUBRIFICANTES E TÉCNICA DE ANÁLISE DE ÓLEO .....	33
2.2.1	Lubrificante .....	33
2.2.1.1	Propriedades fundamentais do óleo lubrificante.....	34
2.2.1.2	Classificações do óleo lubrificante.....	35
2.2.1.3	Aditivos do óleo lubrificante .....	36
2.2.1.4	Análise de óleo lubrificante em Motores Diesel Ferroviários .....	37
2.3	SINTESE E CONCLUSÃO DE CAPÍTULO .....	40
<b>3</b>	<b>GESTÃO DE DADOS E INFORMAÇÃO</b> .....	41
3.1	GERENCIAMENTO DE DADOS .....	41
3.2	ÁREAS DE CONHECIMENTO .....	41
3.3	SINTESE E CONCLUSÃO DE CAPÍTULO .....	44
<b>4</b>	<b>DESENVOLVIMENTO</b> .....	45
4.1	RECONHECIMENTO DO PROCESSO ATUAL.....	45
4.2	MELHORIAS EM PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS, CRIAÇÃO DE CHECKLISTS E FERRAMENTAS DE GESTÃO INFORMATIVA .....	52
4.3	SINTESE E CONCLUSÃO DE CAPÍTULO .....	61
<b>5</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	62
5.1	RESULTADOS .....	62
5.2	CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	68
5.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	70
	REFERÊNCIAS.....	71

## 1 TEMA DE PESQUISA

A importância do setor ferroviário em países de extensões continentais é de extrema relevância para a garantia de competitividade das mercadorias nacionais. A logística corresponde a um custo médio de 12% a 13% do faturamento de empresas que atuam como exportadoras no Brasil. Atualmente o país possui em torno de 30.000 quilômetros de estradas de ferro com uma densidade média de 3,1 metros de trilho construído / quilometro quadrado, para efeitos comparativos o Estados Unidos da América possui uma densidade atual de 150 metros de trilho para cada quilometro quadrado. Além disto, existem dois outros fatores que contribuem para a disfunção das ferrovias no Brasil: 1. A baixa taxa de utilização das estradas de ferro existentes; e 2. O desequilíbrio da malha ferroviária, onde aproximadamente 52% estão concentrados na região sudeste. (ILOS, 2017)

### 1.1 INTRODUÇÃO

A locomotiva diesel-elétrica tem a função de rebocar uma composição (locomotivas e vagões). A função principal de uma locomotiva é tracionar. Conforme Brina (1988), tracionar remete a forma de obter esforço mecânico necessário para promover o deslocamento da composição, também denominado esforço trator. A força tratora na roda, em função da “aderência”, é capaz de romper as forças de atrito estático e promover a movimentação dos trens (BRINA,1988).

Dentre os diversos componentes de uma locomotiva diesel-elétrica - que serão apresentados de forma mais detalhada no segundo capítulo deste trabalho - destaca-se em especial o Motor Diesel ferroviário. Este componente representa em média 10% do valor financeiro de uma locomotiva nova, e em torno de 45% do custo de manutenção em revisões pesadas.

Para possibilitar uma melhor otimização dos custos de manutenção em motores diesel, a adoção de práticas preditivas se faz necessária. Desta forma é possível, a partir de um banco de dados da manutenção, utilizar do histórico de cada ativo para obter uma melhor previsão da falha do componente, e assim, é possível aumentar intervalo entre manutenções (XENOS, 1998). Para tal, a utilização da

ferramenta de análise de óleo lubrificante será abordada nos seguintes capítulos deste trabalho.

## 1.2 PROBLEMA DE PESQUISA

A gestão de manutenção atua de forma estratégica no setor industrial abrangendo uma vasta gama de processos e procedimentos. Os custos de falhas não esperadas se tornam um ofensor à produção de uma empresa, limitando sua capacidade de geração de valor. Em casos extremos, a depender da criticidade dos ativos em que tais falhas ocorrem, estes podem ser a causa principal para o encerramento de operações de empresas. (ARATO, 2004)

O motor diesel ferroviário se enquadra em um ativo de “criticidade A”, devido aos requisitos abaixo:

- Elevado valor de aquisição e manutenção
- Sistema sem redundância
- Necessidade de infraestrutura específica para intervenção de manutenção
- Necessidade de mão de obra específica para intervenção e diagnose de falhas

Falhas sistêmicas e desconhecidas em motores diesel, quando se tratando de um operador logístico ferroviário, podem colocar “em xeque” a saúde operacional e a sua condição de geração de caixa do concessionário. Para tal, métodos de manutenção preditivos podem ser utilizados como forma de prevenção de falhas, conhecendo assim o momento onde uma falha em potencial nasce. Estabelecer períodos de intervalo rotineiros para realização de coletas de dados estratégicos é o foco deste tipo de manutenção. (ARATO, 2004)

As dificuldades, e por muitas vezes, o insucesso da implementação de uma gestão de manutenção preditiva ocorre por não se dispor do conhecimento completo do processo e seus benefícios por todos os *stakeholders*. Neste contexto, a criação de um fluxo bem definido, treinamento e auditorias, e com auxílio de ferramentas online de gestão de coletas e resultados, podem trazer benefícios na utilização de técnicas preditivas. Desta hipótese emerge a questão principal, norteadora deste trabalho. **Como utilizar os dados de análises de óleo lubrificante dos motores**

## **diesel ferroviários como suporte para tomada de decisão de intervenção por meio de manutenção programada?**

### 1.3 OBJETIVOS

#### Objetivo Geral:

Estruturar o método de tratamento de dados de coletas de óleo lubrificante de motores diesel ferroviários, com intuito de programar melhor a manutenção e evitar falhas potenciais.

#### Objetivos Específicos:

- Identificar os elementos de contaminação, desgaste e aditivação característicos contidos em óleo lubrificante de motores diesel ferroviários.
- Estabelecer a correlação entre os elementos identificados no óleo lubrificante com as possíveis causas que possam estar originando tal anomalia.
- Elaborar uma proposta de painel gerencial dos resultados das análises de óleo lubrificante segregadas em faixas de tendência, anormalidade e gravidade por ativo, com objetivo de suportar a tomada de decisão de engenheiros de manutenção.
- Propor tarefas para combate de falhas (*troubleshoot*) em função de cada elemento identificado fora do padrão de normalidade.

### 1.4 JUSTIFICATIVA

Frente aos elevados níveis de competitividade presentes no setor logístico atualmente, a diferença de tarifa na unidade de centavos por tonelada transportada é

o que difere entre a opção pelo modal de transporte ferroviário ou rodoviário pelos clientes. Deste modo, buscar cada vez mais soluções de engenharia que permitam a maior confiabilidade e disponibilidade de ativos se faz necessário.

O Motor Diesel ferroviário possui relevância diferenciada, dado a classificação de risco que compõem sua criticidade. Tal ativo tem o potencial de promover falhas catastróficas para a locomotiva, impossibilitando a mesma de cumprir sua função principal - tracionar. Além dos lucros cessantes incorridos a uma falha em um motor diesel, devido a sua indisponibilidade, os custos para reparação com material e mão de obra são extremamente elevados.

Diante de uma breve contextualização do complexo cenário ferroviário do Brasil é possível compreender que as concessionárias, pelo transporte férreo, possuem diversos desafios relativos à necessidade de excelência operacional. Dado também a devida relevância ao Motor Diesel ferroviário, é possível compreender que a busca por práticas de manutenção que auxiliem na predição de falhas deste componente e otimize o custo durante a ciclo de vida deste ativo se faz lógica.

Ante o exposto, o presente trabalho tem como foco explorar a técnica da análise de óleo lubrificante como ferramenta de predição de falhas catastróficas em Motores Diesel aplicados em locomotivas, e também como uma proposta de estudo, direcionada de acordo com os objetivos gerais e específicos previamente estabelecidos.

## 1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Definido o foco de estudo - discorrer sobre a prática da análise de óleo em motores diesel ferroviários - a pesquisa proposta tem objetivo de utilizar dados reais para composição de seu desenvolvimento e conclusões.

Segundo Santos (2007) a metodologia de pesquisa pode ser classificada de três maneiras: quanto aos objetivos, quanto aos procedimentos abordados e quanto a obtenção das informações. Optado por utilizar a classificação baseada nos procedimentos técnicos utilizados para este trabalho.

O presente trabalho pode ser segmentado em duas partes: a primeira é classificada como pesquisa bibliográfica, que discorre na fundamentação teórica básica. Esta é focada na abordagem de temas que principais que sustentam o

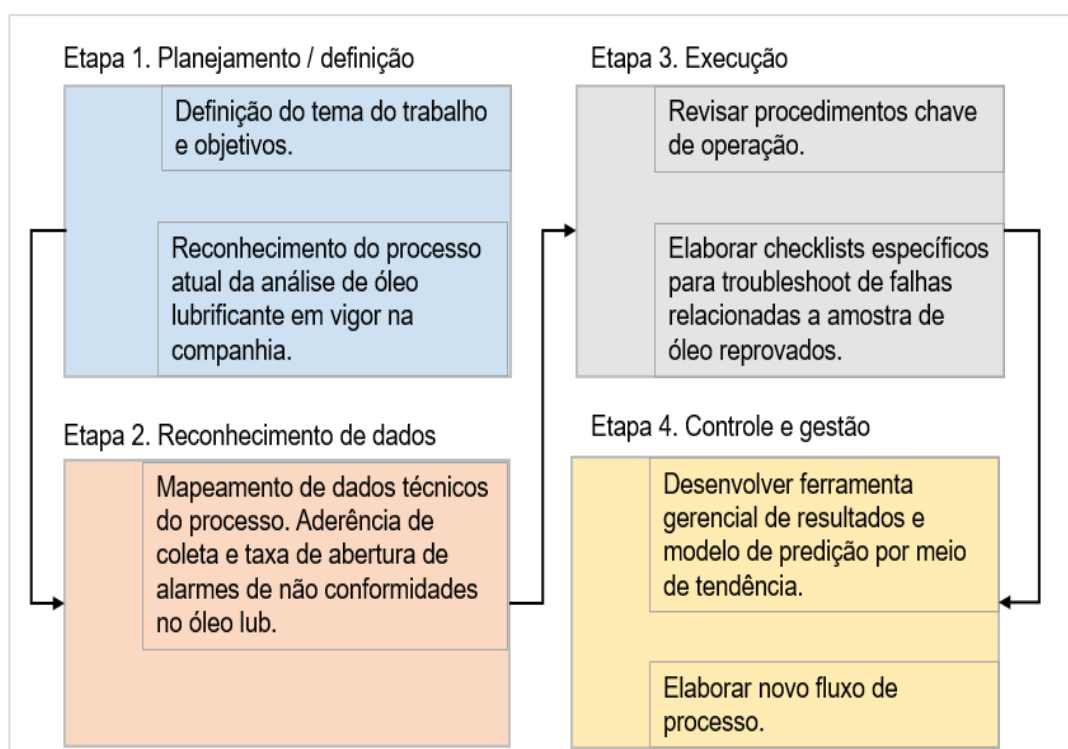


trabalho, tais como os conceitos manutenção, a explanação sobre as locomotivas diesel-elétricas, o motor diesel ferroviário e a técnica da análise de óleo lubrificante como manutenção preditiva.

A segunda parte tange ao desenvolvimento e conclusões, tais segmentos podem ser classificados como uma pesquisa estudo de caso. Neste serão realizadas conforme as quatro fases definidas por Gil (2002), a) delimitação da unidade de caso, que serão a utilização da análise de óleo lubrificante presente nos motores diesel ferroviário para a predição de falhas, b) a coleta de dados baseado na frota de locomotivas de uma concessionária logística ferroviária brasileira, c) análise e interpretação dos dados coletados, utilizando das interpretações dos laudos laboratoriais para a identificação de possíveis falhas internas ao motor diesel e suas causas principais, e d) redação do relatório, que será traduzido na conclusão deste trabalho demonstrando práticas de análise baseada em tendência e método de tomada de decisão para intervenção em locomotivas críticas.

O fluxo de tarefas do trabalho será desenvolvido conforme as etapas demonstradas na figura 1.

**Figura 1 - Fluxo de desenvolvimento do trabalho**



Fonte: Elaborado pelo autor

Etapa 1 tangue às tarefas de definição do tema do trabalho a ser discorrido ao longo desta dissertação. Nesta etapa também se explora a situação atual da problemática definida.

Etapa 2 requer análise detalhada dos dados observado, afim de reconhecer a como o processo atual se sustenta. Nesta etapa é necessário realizar medições de indicadores chave, como a aderência de coleta de óleo lubrificante, taxa de abertura de alarmes com base nos resultados dos laudos laboratoriais, número de locomotivas salvas por estas recomendações.

Etapa 3, esta etapa é considerada *hands on*, que significa execução. De posse das oportunidades mapeadas é realizado uma série de revisões em procedimentos operacionais e criação de checklists para buscar melhorar a eficiência da técnica da análise de óleo lubrificante na manutenção de locomotivas.

Etapa 4, apresenta uma ferramenta desenvolvida para aumentar o nível de controle dos resultados laboratoriais, assim como alterações no sistema SAP para dar maior robustez para o processo. É elaborado também ferramenta de tendência afim de conhecer dados em rampa crescente com foco em melhor programação de manutenção. Por fim é revisado o fluxo do processo incorporando as melhorias desenvolvidas.

## 1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

O primeiro capítulo deste trabalho envolve a definição de tema, objetivos e justificativa. Os demais capítulos foram estruturados da seguinte forma:

- O Capítulo 2 será focando em apresentar o objeto da pesquisa do trabalho. Serão abordados os conceitos do princípio de funcionamento de motores diesel ferroviários com foco nos modelos GE7FDL e EMD645E, técnicas de manutenção preditivas e a análise de óleo lubrificante.
- O Capítulo 3 apresentará os processos de coleta, envio e registro das amostras de óleo lubrificante. A composição da base de dados em sistema único de

manutenção. Os métodos de análise dos resultados, tomada de decisão e tarefas de combate de falhas de anomalias.

- O Capítulo 4 compõe o desenvolvimento do trabalho. Serão abordados os aspectos da Gestão de Ativos aplicáveis ao trabalho, com foco na Confiabilidade por meio de uma correta gestão de informação.
- O Capítulo 5 apresentará as conclusões do trabalho. Serão demonstradas as dificuldades na gestão de resultados para compor uma base histórica confiável. O método de análise e tomada de decisão. Os ganhos qualitativos da adoção da análise de óleo como prática preditiva e o custo evitado (*cost avoidance*) pela aplicação desta prática.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo terá o objetivo de apresentar os conceitos do funcionamento do motor diesel ferroviário.

### 2.1 MOTOR DIESEL FERROVIÁRIO

O motor diesel ferroviário é considerado um motor térmico de combustão interna, constituído de câmaras específicas para promover a explosão controlada da mistura ar/combustível. O fluxo de ar segue para o interior dos cilindros de combustão, onde são comprimidos a uma taxa elevada (entre 14:1 a 17:1). No momento em que o pistão se posiciona na parte superior de seu curso o combustível é injetado em elevada pressão (pulverizado) e ocorre o efeito detonação ao entrar em contato com o comburente. A força da explosão dessa mistura força o pistão para o sentido inferior permitindo rotacionar o eixo principal (virabrequim), assim produzindo trabalho (w). O motor categorizado a diesel se difere de seu par Otto conforme a tabela 1.

**Tabela 1 – Diferenças básicas Diesel x Otto**

<b>Motor a combustão interna</b>	<b>Fluido</b>	<b>Ignição</b>
Otto	Gasolina / Álcool	Baixa pressão ignição forçada
Diesel	Diesel	Alta pressão (pulverizado) autoignição por meio de elevada taxa de compressão

Fonte: Adaptado de SHAPIRO, 2013

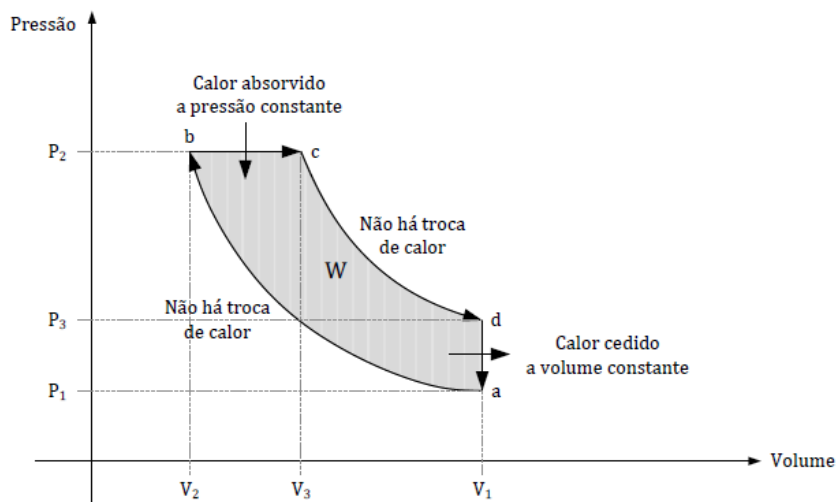
#### 2.1.1 Introdução

A vantagem do ciclo Diesel sobre o Otto reside na sua melhor eficiência energética. É possível produzir maior quantidade de trabalho por uma mesma unidade de consumo de combustível. Além de desta, o diesel requer menos necessidade de

refino por tanto se tornando um produto mais barato na ponta do consumidor. (SHAPIRO, 2013)

O diagrama representado na figura 08 demonstra o ciclo de trabalho ideal de um motor a diesel. A geração de trabalho ocorre mediante a um processo de quatro estágios que ocorre internamente do motor, são eles:

**Figura 2 - Diagrama pressão x volume do ciclo de trabalho de um motor diesel ideal**

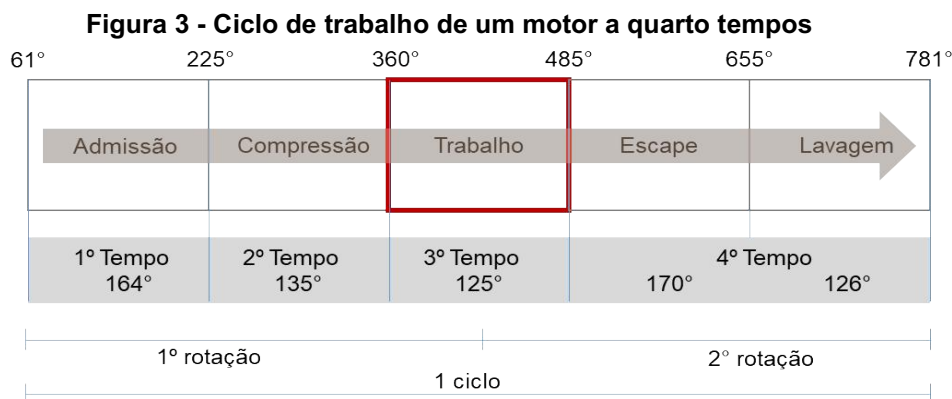


Fonte: SHAPIRO, 2013

- (1) Fluxo a-b: Compressão adiabática. O volume de ar é compactado acarretando em um aumento de pressão, sem troca de calor.
- (2) Fluxo b-c: Aquecimento a pressão constante. O ar altamente compactado absorve calor.
- (3) Fluxo c-d: Expansão adiabática. O volume de ar é expandido acarretando em redução de pressão, sem troca de calor.
- (4) Fluxo d-a: Resfriamento a volume constante. O ar cede calor e reduz pressão (SHAPIRO, 2013).

Os motores diesel podem ser divididos quanto aos seus tempos de trabalho, podendo ser de dois ou quatro tempos.

1. **Motor de quatro tempos:** Um ciclo é realizado com quatro cursos do pistão, portanto é necessárias duas rotações completas para a geração de trabalho.



Fonte: Adaptado de SHAPIRO, 2013

O modelo de motor diesel a quatro tempo mais comum utilizado no mercado ferroviário brasileiro é o 7FDL, produzido pela GE.

**Tabela 2 – Especificações 7FDL**

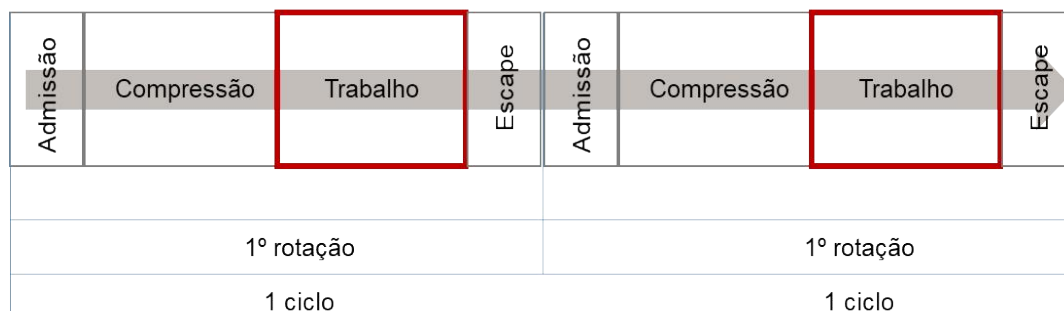
<b>Rotação máxima:</b>	1050 RPM
<b>Potência Bruta</b>	2000 – 4500 HP
<b>Nº de cilindros</b>	12 – 16
<b>Configuração</b>	V
<b>Ciclo</b>	Diesel quatro tempos
<b>Admissão</b>	Turbinada
<b>Arrefecimento</b>	Água

Fonte: GE, 2018

A tabela 2 apresenta as especificações básicas deste motor. A máxima rotação de trabalho do motor é de 1050 rpm, nesta condição a potência bruta produzida pode atingir até 4500HP a depender de sua configuração e número de cilindros (GE, 2018).

2. **Motor de dois tempos:** Um ciclo é realizado com dois cursos do pistão, portanto é necessária uma rotação completa para a geração de trabalho.

**Figura 4 - Ciclo de trabalho de um motor dois tempos**



Fonte: Adaptado de SHAPIRO, 2013

O modelo 645E, produzido pela EMD, é o motor diesel dois tempos mais comum utilizado no mercado ferroviário brasileiro.

**Tabela 3 - Especificações 645E**

<b>Rotação máxima:</b>	904 RPM
<b>Potência Bruta</b>	1500 – 3900 HP
<b>Nº de cilindros</b>	8 -12 -16 - 20
<b>Configuração</b>	V
<b>Ciclo</b>	Diesel dois tempos
<b>Admissão</b>	Soprado ou Turbinado
<b>Arrefecimento</b>	Água

Fonte: Adaptado de EMD, 2015

A tabela 3 apresenta as especificações básicas do 645E. A máxima rotação de trabalho deste motor é menos ao se comparado com os modelos GE, podendo alcançar 904 rpm, nesta condição a potência bruta produzida pode atingir até 3900HP a depender de sua configuração e número de cilindros (EMD, 2015)

### 2.1.2 Principais subcomponentes

O motor diesel é estruturalmente constituído por nove subcomponentes principais. Cada qual possuindo sua devida função:

**Tabela 4 – Principais subcomponentes de um motor a diesel ferroviário**

<b>Subcomponente:</b>	<b>Função</b>
Bloco ou <i>crankcase</i>	Estrutura principal de sustentação do motor a diesel
Cárter ou reservatório de óleo lubrificante	Estrutura inferior de depósito de óleo lubrificante
Eixo virabrequim	Eixo movido pela combustão (manivelas)
Eixo de comando	Eixo de excêntricos (comes)
Bielas e casquilhos	Estrutura de ligação do pistão ao eixo virabrequim constituído como elemento patente de sacrifício
Pistão	Estrutura rígida responsável por conter a explosão interna da câmara e transferir energia cinética as bielas e consequentemente eixo virabrequim
Camisa	Estrutura da câmara de combustão
Cabeçote	Estrutura superior a camisa responsável por alojar válvulas, injetores e galerias de arrefecimento.
Turbo alimentador	Responsável por comprimir o ar de admissão

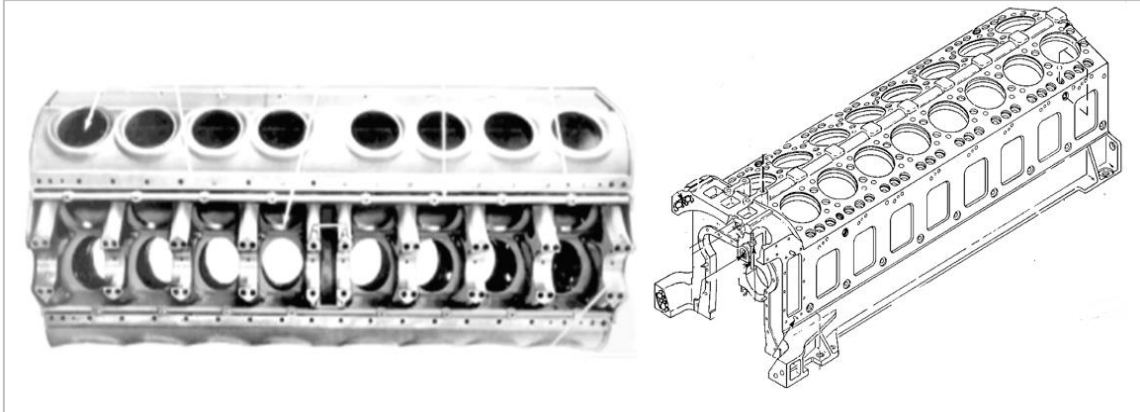
Fonte: Adaptado de EMD, 2015

Os componentes E, F, G e H quando instalados são denominados unicamente como “conjunto de força”.



### 2.1.2.1 Bloco ou *crankcase*

**Figura 5 - Crankcase EMD 645E (a esquerda) e bloco GE 7FDL (a direita)**



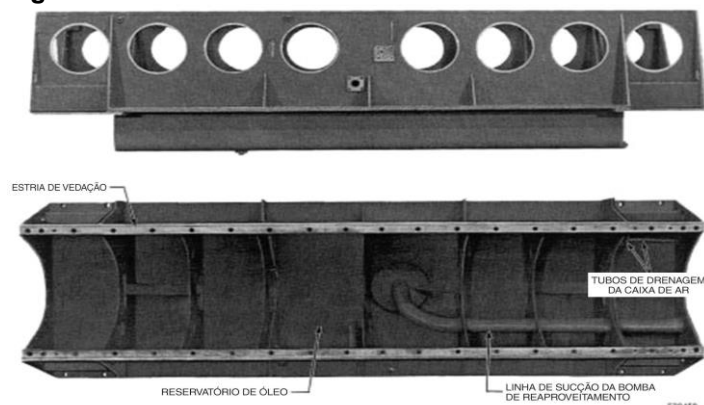
Fonte: Adaptado de Borba (2008)

É o maior subcomponente do motor diesel em área superficial e a sua estrutura principal de sustentação. Os modelos GE 7FDL possuem bloco em uma peça única de ferro fundido e usinado posteriormente. Já o modelo EMD 645E possui sua estrutura denominada *crankcase* fabricada em chapas de aço soldadas (BORBA, 2008).

### 2.1.2.2 Cárter ou reservatório de óleo lubrificante

É o subcomponente do motor diesel responsável por depositar o óleo lubrificante, sendo o ponto de partida e retorno de todo o circuito de lubrificação.

**Figura 6 - Cárter de motores diesel ferroviários**



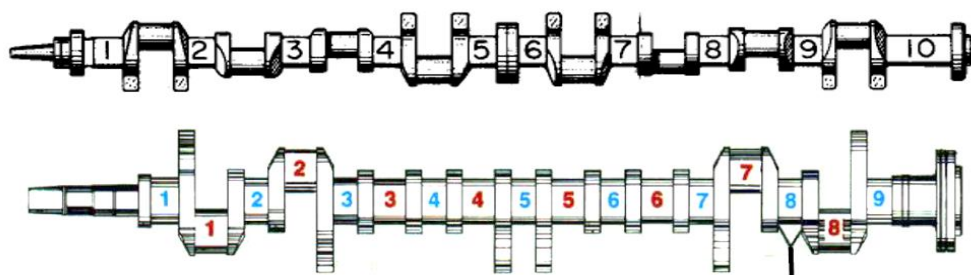
Fonte: Adaptado de Borba (2008)

A figura 06 apresenta o cárter dos motores diesel ferroviários. Eles possuem um sistema de segmentação com o objetivo tipo “quebra onda” com intuito de minimizar os efeitos da inércia do movimento do óleo lubrificante durante o funcionamento da locomotiva (EMD, 2015).

### 2.1.2.3 Eixo virabrequim

O virabrequim é o eixo principal do motor diesel, sendo responsável por transmitir o trabalho gerado pelo ciclo diesel e gerar força motriz para o alternador da locomotiva (BORBA, 2008).

Figura 7 – Eixo virabrequim EMD 645E (superior) e GE 7FDL (inferior) ambos 16 cilindros



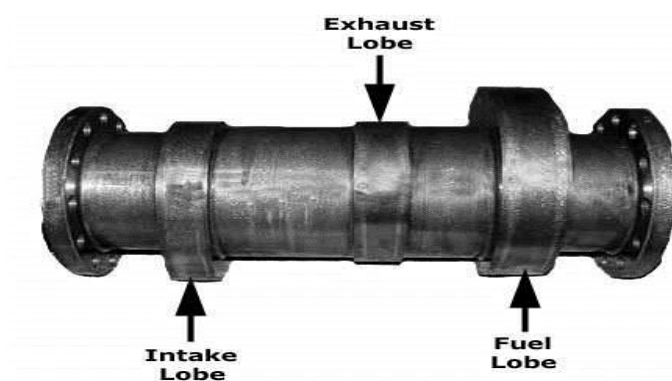
Fonte: GE, 2010

Os eixos virabrequim são manufacturados em aço forjado e posteriormente usinado para garantia dimensional e confecção de galerias internas para passagem de óleo lubrificante. Em algumas situações é possível realizar a reparação e recondicionamento por meio do processo de cromagem (EMD, 2015).

### 2.1.2.4 Eixo comando

O eixo comando é responsável por garantir os corretos tempos de abertura, fechamento de válvulas e injeção de combustível. O eixo é tipo seccionado e possui três excêntricos (comes) por conjunto de força, onde dois deles são responsáveis por acionar ponte de válvulas e um para acionar a unidade injetora (BORBA, 2008).

Figura 8 – Vista típica do excêntrico de um eixo comando



Fonte: Adaptado de Borba (2008)

A correta instalação do eixo comando é extremamente crítica pois é responsável pelo “*timing*” correto de abertura e fechamento de válvulas e também a injeção de combustível para o interior dos conjuntos de força (BORBA, 2008).

#### 2.1.2.5 Bielas e casquilhos

As bielas são responsáveis por realizar a transferência de energia de forma linear do pistão para o eixo virabrequim, onde é convertida em energia rotacional (EMD, 2015).

Figura 9 – Casquilhos e biela



Fonte: GE, 2010

Os casquilhos são constituídos de metais patentes, normalmente uma liga superficial de *babbitt* (cobre, chumbo, estanho entre outros elementos) que permitem o perfeito “deslizamento” do eixo retendo o filme de óleo lubrificante (GE, 2010).

#### 2.1.2.6 Pistão

O pistão é uma peça única, normalmente construída em liga de ferro fundido e possui a função de conter a explosão trabalhando em conjunto com a câmara de combustão para transferir a energia gerada para as bielas e consequente movimentação do eixo virabrequim (GE, 2018).

**Figura 10 – Pistão**



Fonte: Adaptado de GE, 2010

A maioria dos pistões possuem três ranhuras para instalação de anéis que tem a função de manter a compressão e retenção dos gases de escape (estanqueidade) e também permitir a raspagem de óleo lubrificante do pistão (GE, 2018).

#### 2.1.2.7 Camisa

A camisa do cilindro é uma estrutura construída em ferro fundido. A função principal da camisa é conter e controlar a combustão e seus gases gerados (GE, 2010).

**Figura 11 – Camisa de cilindros de força**



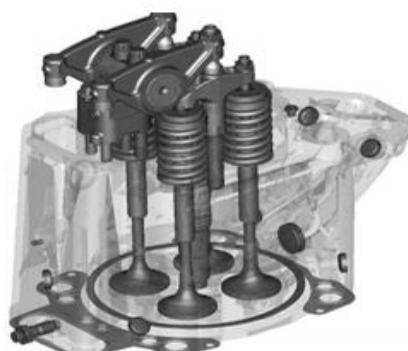
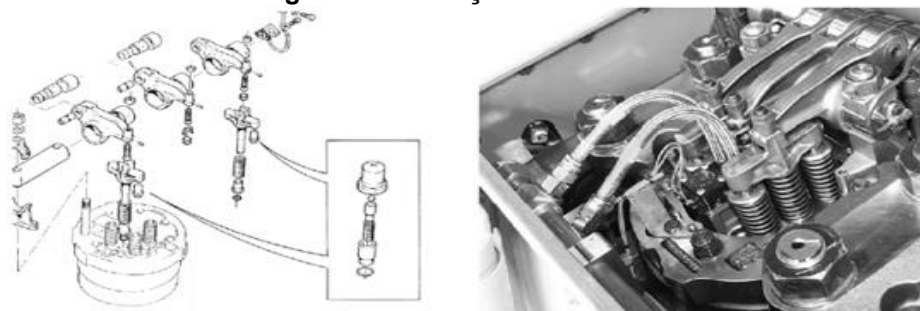
Fonte: Adaptado de Borba (2008)

A estrutura externa da camisa, também denominada jaqueta possui galerias internas para passagem de água de arrefecimento. A camisa também possui prisioneiros que são utilizados para a fixação do cabeçote (BORBA, 2008)

#### 2.1.2.8 Cabeçote

O cabeçote é um componente complexo construtivamente, manufaturado em ferro fundido.

**Figura 12 - Cabeçote**



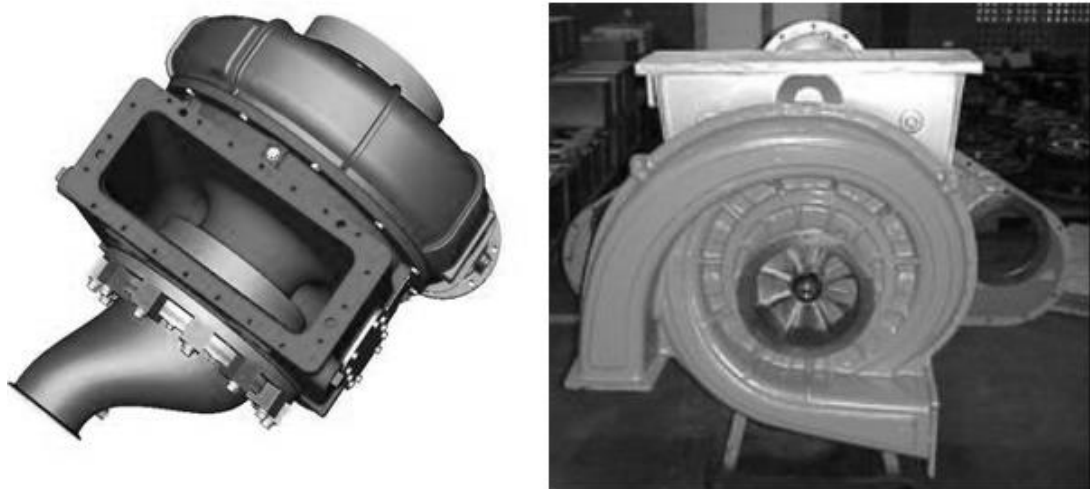
Fonte: GE, 2010

Sua estrutura é disposta de galerias internas para passagem de água de arrefecimento, sedes para instalação de válvulas e injetor, prisioneiros para instalação do eixo de balancins. Sua função é ser a estrutura que permite o trabalho das válvulas e injetor, além de ser uma espécie de “tampa” do cilindro de força (GE, 2008).

#### 2.1.2.9 Turbo alimentador

O turbo alimentador tem a função de elevar a taxa de compressão do ar de admissão do motor diesel no intuito de elevar a eficiência volumétrica no interior dos cilindros de força, deste modo melhorando a queima do combustível e geração de maior potência (EMD, 2015).

Figura 13 – Turbo alimentador



Fonte: GE, 2018

O turbo alimentador é basicamente constituído de um eixo concêntrico onde é instalado em uma ponta um *impeller* (roda compressora) construída em alumínio fundido que realiza a compressão do ar de admissão e em outra ponta uma roda de escape constituída de palhetas intertravadas em um disco. Todo o conjunto rotor é enclausurado em uma carcaça cavilhada que é acoplada no motor diesel. Os turbos podem ainda ser acionados por meio de engrenagem e constituídos de embreagem ou serem instalados livremente no bloco (BORBA, 2008).

## 2.1.2.10 Subsistemas do Motor Diesel Ferroviário

O Motor Diesel Ferroviário é dividido em subsistemas que possuem funções distintas, porém em conjunto, garantem seu perfeito funcionamento. A tabela 5 explicita suas funções e os principais subcomponentes envolvidos em cada circuito.

Tabela 5 – Subsistemas do Motor Diesel Ferroviário

<b>Subsistema:</b>	<b>Função</b>	<b>Subcomponentes principais:</b>
Admissão de ar	Garante o correto fluxo de ar puro e limpo, nos corretos parâmetros de temperatura e pressão para formação da mistura no interior dos cilindros	Filtros de admissão (papel/porta/ciclone) Aftercoolers Blowers/Turbo alimentador Dutos de admissão
Lubrificação	Garante o correto fluxo de óleo lubrificante para o interior do motor diesel. É responsável por evitar o desgaste por meio do contato direto entre as peças móveis e também por transportar o calor gerado	Bombas (limpeza/dupla ação/pré lubrificação de turbo) Resfriador de óleo Válvula de alívio de pressão Separador de óleo (coalescedor) Linhas de alimentação
Arrefecimento	Garante o correto controle de temperatura das câmaras de combustão, transportando o calor gerado pelos ciclos de trabalho.	Bombas d'água Reservatório de expansão Válvula de sobre pressão Resfriador de óleo Radiador e ventiladores
Combustível	Garante o correto fluxo de óleo combustível a pressão correta para o interior das câmaras de combustão.	Bombas injetoras Injetores de combustível Filtros (Primário e Secundário) Bomba de transferência Tanque de combustível
Exaustão	Garantir o correto fluxo dos gases gerados pela combustão pelo escape da locomotiva.	Válvulas de escape Dutos de escape Turbina ("Roda-quente")

Fonte: BRINA, 200

## 2.2 LUBRIFICANTES E TÉCNICA DE ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE EM MOTORES DIESEL FERROVIÁRIOS

Quando ocorre um movimento relativo entre superfícies é normalmente desejável minimizar a fricção e o desgaste. Qualquer substância interposta que reduz a fricção e desgaste é um lubrificante (CUNHA, 2005).

### 2.2.1 Lubrificante

A lubrificação pode ser feita de muitas formas diferentes, dependendo da geometria dos corpos em contato, da aspereza e textura das superfícies deslizantes, da carga, da pressão, da temperatura, das velocidades de rolamento e escorregamento, das condições ambientais, das propriedades físicas e químicas do lubrificante, da composição do material, e das propriedades das camadas superficiais das peças. Duas outras funções importantes dos lubrificantes são proteção contra corrosão e auxílio à vedação (CUNHA, 2005).

O lubrificante possui dez funções básicas que consistem em:

**Tabela 6 – Funções básicas do óleo lubrificante**

#	Função básica
1	Lubrificar os componentes do motor e prevenir o desgaste
2	Reduzir atrito
3	Proteger peças do motor contra ferrugem
4	Manter as peças do motor limpas
5	Resfriar os depósitos na câmara de combustão
6	Resfriar as peças do motor
7	Proporcionar a vedação contra pressões de combustão
8	Ser antiespumante
9	Contribuir para a economia de combustível
10	Permitir uma partida fácil

Fonte: SENAI, 1997



Para fins de correlação com o objeto de estudo deste trabalho, será enfatizado o óleo lubrificante na aplicação de motores a diesel ferroviários.

#### 2.2.1.1 Propriedades fundamentais do óleo lubrificante

O óleo lubrificante possui propriedades fundamentais, que o diferencia entre as suas diversas classes. Suas características interferem no desempenho, qualidade e durabilidade do fluido e consequente na performance do motor.

- Viscosidade: A viscosidade fornece uma medida da resistência do fluido ao cisalhamento e pode ser definido como a tensão de cisalhamento em um plano no fluido por unidade de gradiente de velocidade normal ao plano. Esta pode ser expressa em termos de viscosidade cinemática ( $\text{mm}^2/\text{s}$  ou  $\text{cSt}$ ) ou viscosidade absoluta (dinâmica) cuja unidade é o  $\text{Pa}\cdot\text{s}$  (CUNHA, 2005).
- Índice de viscosidade: O índice de viscosidade é um número sem unidade, usado para indicar que a viscosidade cinemática depende da temperatura do óleo. Ela é baseada na comparação da viscosidade cinemática do óleo testado a  $40\text{ }^\circ\text{C}$ , com a viscosidade cinemática de dois óleos de referências – um dos quais tem um VI igual a 0, e o outro com VI igual a 100 – cada um tendo a mesma viscosidade em  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , como o óleo testado (CUNHA, 2005).
- Densidade: O petróleo e seus derivados expandem-se quando aquecidos, isto é, o volume aumenta e o peso não se modifica. Por esta razão, a densidade é medida a uma temperatura padrão ou, então, convertida para esta temperatura por meio de tabelas. A densidade é um número que define o peso de um certo volume de uma substância quando submetida a uma determinada temperatura (SENAI, 1997).
- Ponto de Fulgor: Ponto de fulgor ou lampejo é a temperatura em que o óleo, quando aquecido em aparelho adequado, desprende os primeiros vapores

que se inflamam momentaneamente (lampejo) ao contato de uma chama (SENAI, 1997).

- Ponto de fluidez: É a menor temperatura, expressa em múltiplos de 3°C, na qual a amostra ainda flui, quando resfriada e observada sob condições determinadas. O método P-MB-820 para determinação do ponto de fluidez consiste em resfriar uma amostra a um ritmo pré-determinado, observando-se a sua fluidez a cada queda de temperatura de 3°C até que virtualmente a superfície da amostra permanece imóvel por 5 segundos ao se colocar o tubo de ensaio em posição horizontal, conforme ilustração abaixo. Somando 3°C à temperatura anotada no momento em que a superfície permanece imóvel por 5 segundos, obtemos o ponto de fluidez, P-MB-820 (SENAI, 1997).
- TBN: Os óleos lubrificantes utilizados em motores diesel possuem uma reserva alcalina destinada a neutralização dos ácidos formados durante o processo de combustão. O número de basicidade total é um ensaio destinado a monitorar o estoque alcalino presente no óleo lubrificante. (SENAI, 1997).

#### 2.2.1.2 Classificações do óleo lubrificante

A necessidade de classificação de óleos lubrificantes surgiu das necessidades da indústria em padronizar os produtos quanto a suas aplicações. A classificação é realizada após a realização de testes específicos quanto as suas características físicas, funções, composições entre outros requisitos. Órgãos reguladores são responsáveis por classificar os óleos lubrificantes (ALVES, 2016).

Tabela 7 – Classificação dos óleos lubrificantes

Órgão regulador	Método de Classificação
SAE ( <i>Society of Automotive Engineers</i> )	Classifica o óleo lubrificante por faixas de viscosidade, não levando em conta os requisitos de desempenho.
API ( <i>American Petroleum Institute</i> )	Classifica o óleo lubrificante por níveis de desempenho e quanto a sua aplicação. Os óleos utilizados em motores podem ser classificados quanto a seus ciclos e tipo de serviço.
ACEA ( <i>Association des Constructeurs Européens de l'Automobile</i> )	Classifica o óleo lubrificante com base em testes do órgão API para aplicações de fabricantes automotivos europeus.
JASO ( <i>Japanese Automobile Standards Organization</i> )	Classifica o óleo lubrificante com base em ordem crescente de desempenho.
NMMA ( <i>National Marine Manufacturers Association</i> )	Classifica o óleo lubrificante específicos para aplicação em motores de popa dois tempos.

Fonte: ALVES, 2016

### 2.2.1.3 Aditivos do óleo lubrificante

Os aditivos são adicionados aos óleos básicos no intuito de aumentar a vida útil do produto, agregando características necessárias para manter sua performance em regime de trabalho. Os principais aditivos para óleos lubrificantes podem ser verificados na tabela 8.

Tabela 8 – Aditivos para óleos lubrificantes

Aditivo	Aditivo	Aditivo
Detergentes	Dispersantes	Detergentes alcalinos
Antioxidantes	Anticorrosivos	Antiferrugem
Antidesgaste	Antiespumantes	Agentes de adesividade
Modificadores de atrito	Reguladores de pontos de fluidez e viscosidade	Extrema pressão

Fonte: ALVES, 2016

#### 2.2.1.4 Análise de óleo lubrificante em Motores Diesel Ferroviários

Análise de óleo é uma ferramenta de manutenção preditiva de diagnóstico para monitorar e avaliar as condições dos fluidos e equipamentos. Por meio da análise de óleo é possível identificar elementos químicos que podem ser associados a fatores de desgaste e contaminação no interior de máquinas e verificar a qualidade do óleo lubrificante em uso (ALVES, 2016).

Esta seção terá o objetivo de explorar a análise de óleo de forma customizada para o ambiente ferroviário, portanto serão abordados somente testes específicos que fazem sentido para a detecção de elementos que compõem tal contexto. Abaixo os principais elementos monitorados em uma análise de óleo lubrificante em um Motor Diesel Ferroviário e as possíveis causas associadas:

**Tabela 9 – Possíveis causas associadas por elemento**

<b>Elemento</b>	<b>Possível causa associada</b>
Água	Contaminação por água, pode estar associado a trincas no sistema de arrefecimento (bloco / conjunto de força / resfriador de óleo).
Chumbo	Desgaste de metal patente, normalmente associado a desgaste de casquilhos de moentes e/ou munhões de eixo virabrequim.
Cobre	Desgaste de metal, pode estar associado a casquilhos de eixos virabrequim, sapata de ponte de válvulas, buchas flutuantes de balancins.
Cromo	Pode estar associado a desgaste da parede de camisas de cilindros ou desgaste de eixo virabrequim que sofreram processo de recuperação por cromagem.
Diluição	Contaminação por óleo diesel. Pode estar associada a bicos injetores defeituosos ou desregulados.
Estanho	Desgaste de metal patente, normalmente associado a desgaste de casquilhos de moentes e/ou munhões de eixo virabrequim.
Ferro	Pode estar associado a desgaste de anéis de compressão instalados em pistões ou desgaste de engrenagens.

Fonte: ALVES, 2016

Para identificação dos elementos supracitados, testes específicos no óleo lubrificantes são realizados em ambiente controlado de laboratório no intuito de verificar a composição da amostra.

**Tabela 10 - Possíveis causas associadas por elemento (cont.)**

<b>Elemento</b>	<b>Possível causa associada</b>
Fuligem	Contaminação por gases de escapamento. Pode estar associado a baixa eficiência de compressão de cilindros.
Prata	Pode estar associado a desgaste do casquilho (denominado telha) do carregador do pistão.
Silício	Contaminação por silício. Pode estar associado a deficiência de filtragem de ar de admissão.
Sódio	Contaminação por sódio advém do aditivo adicionado a água de arrefecimento. Pode estar associado a trincas no sistema de arrefecimento (bloco / conjunto de força / resfriador de óleo).
TBN	Índice de basicidade do óleo. É monitorado para garantir seu efeito contra a oxidação do lubrificante está eficiente.
Viscosidade	Propriedade fundamental do óleo lubrificante. Sua variação pode ser associada a diluição (quando baixa) e a fuligem (quando elevada)
Zinco	Contaminação por zinco. Pode es associado a desprendimento de pintura interna do bloco e ou fixações zincadas depositadas no cárter.

Os testes mais comuns para identificação de elementos presentes no óleo de um Motor Diesel Ferroviário são:

**Tabela 11 – Testes realizados em análise laboratorial**

<b>Teste</b>	<b>Objetivo de detecção</b>
<b>ASTM D5185 - Espectrometria de emissão óptica a plasma</b>	Neste teste é possível verificar a quantidade em partes por milhões de elementos de desgaste (Ferro/Cobre/Alumínio/Cromo/Chumbo/Estanho/Prata), elementos contaminantes (Silício e Sódio) e Aditivação (zinco).
<b>ASTM D445 – Teste de viscosidade aferido pelo escoamento por gravidade através de um viscosímetro capilar de vidro calibrado</b>	Este teste fornece a viscosidade do óleo a temperatura de 40°C.
<b>ASTM D6304 – Método de ensaio padrão para Determinação de água em produtos petrolíferos, óleos lubrificantes e aditivos por titulação coulométrica de Karl Fischer</b>	Este método de ensaio abrange a determinação direta da água na faixa de 10 mg/kg a 25 000 mg/kg de arrastada em produtos petrolíferos e hidrocarbonetos por meio de instrumentação automatizada.
<b>ASTM E2412-04 Espectrometria por infravermelho</b>	Este teste é possível identificar o percentual de contaminação de óleo diesel, fuligem e oxidantes presente no óleo lubrificante.
<b>NBR16358 - Teste de chapa quente (crepitação)</b>	Este teste é possível detectar a presença de água no óleo.

Fonte: ALVES, 2016

## 2.3 SINTESE E CONCLUSÃO DE CAPÍTULO

O capítulo 2 teve como objetivo apresentar os conceitos do princípio de funcionamento do motor diesel ferroviário e as funções de seus subcomponentes. Este capítulo também abordou os fundamentos da técnica da análise de óleo lubrificante, onde apresentou os riscos associados as contaminações por elementos específicos e os principais testes realizados em laboratório.

Estes conceitos são pré-requisitos básicos para o entendimento dos próximos capítulos. O motor diesel ferroviário e a técnica da análise de óleo lubrificante são os dois pilares de desenvolvimento deste trabalho.

O capítulo 3 discorrerá sobre a importância da gestão de informação e base de dados, como base para sustentação de melhorias aplicadas em processos internos de empresas. Este capítulo tem o objetivo fundamentar a melhoria identificada no processo de Análise de Óleo Lubrificante, que será desenvolvido no capítulo 4 deste trabalho.

### 3 GESTÃO DE DADOS E INFORMAÇÃO

A gestão de informação possui papel fundamental quando se trata de gestão de ativos. A baixa qualidade no gerenciamento de dados pode colocar riscos diversos ao negócio caso mal gerenciado. As apurações de balanços financeiros, receitas, despesas, números de ativos físicos, entre outros números precisam estar em sistemas confiáveis e protegidos.

Se tratando de dados relacionados a gestão de ativos físicos, um bom gerenciamento de dados é primordial para a extensão da vida útil de equipamentos. Os históricos de manutenções são a base para as corretas tomadas de decisão. Este capítulo terá o objetivo de conceituar a gestão de dados dando relevância ao tema, que é a fundamental para o entendimento do desenvolvimento do presente trabalho.

#### 3.1 GERENCIAMENTO DE DADOS

De acordo com o DAMA (*Data Management Association*) o gerenciamento de dados pode ser definido como: “o desenvolvimento, execução e supervisão de planos, políticas, programas e práticas que controlam, protegem, entregam e aumentam o valor dos ativos de dados e informações”. (LOUZADA, 2017)

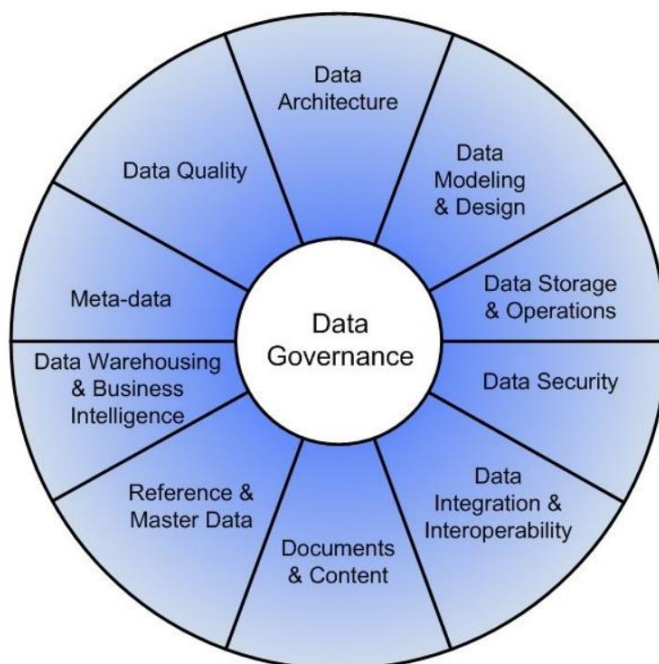
O gerenciamento de dados é, recuperar, controlar e limpar dados. Esses processos se sobrepõem e interagem de forma abrangente e descrevem os processos usados para planejar, especificar, ativar, criar, adquirir, manter, usar, arquivar dentro de cada área de conhecimento de uma determinada entidade. (DAMA, 2014)

#### 3.2 ÁREAS DE CONHECIMENTO

O DAMA define as áreas de conhecimento em 10 categorias, cada qual com suas atividades associadas. Cada área de conhecimento pode ser explorada e aprofundada em outras subcategorias específicas. A figura 17 mostra as dez áreas de conhecimento especificados pelo DAMA.



**Figura 14 - Áreas de conhecimento do gerenciamento de dados**



Fonte: DAMA, 2014

**Tabela 12 - Áreas de conhecimento do gerenciamento de dados**

<b>Área de conhecimento</b>	<b>Descrição</b>
Governança de dados	Planejamento, supervisão e controle sobre o gerenciamento de dados e o uso de dados e recursos relacionados a dados.
Arquitetura de dados	Estrutura geral de dados e recursos relacionados a dados como parte integrante da arquitetura corporativa.
Modelagem e Design de Dados	Análise, design, construção, teste e manutenção.
Armazenamento de dados e operações	Implantação estruturada de armazenamento de ativos de dados físicos e gestão.
Segurança de dados	Garante privacidade, confidencialidade e acesso restrito ao dados.
Integração e Interoperabilidade de dados	Aquisição, extração, transformação, movimento, entrega, replicação, federação, virtualização e suporte operacional.

Fonte: DAMA, 2014

O gerenciamento efetivo de dados e informações é uma preocupação para muitas organizações. A quantidade de informações digitais no mundo está aumentando dez vezes a cada cinco anos, e as organizações estão tendo dificuldade em gerenciar esses dados e mantê-lo seguro. (LOUZADA, 2017)

**Tabela 13 - Áreas de conhecimento do gerenciamento de dados (cont.)**

<b>Área de conhecimento</b>	<b>Descrição</b>
Documentos e Conteúdo	Armazenando, protegendo, indexando e permitindo o acesso aos dados encontrados em fontes não estruturadas (arquivos eletrônicos e registros físicos) e disponibilizar esses dados para integração e interoperabilidade com dados estruturados (banco de dados).
Referência e Master Data	Gerenciamento de dados compartilhados para reduzir a redundância e garantir melhor qualidade dos dados através de definição padronizada e uso de valores de dados.
Data Warehousing & Business Intelligence	Gerenciando o processamento analítico de dados e permitindo acesso a dados de suporte à decisão para geração de relatórios e análises.
Metadados	Coleta, categorização, manutenção, integração, controle, gerenciamento e entregando metadados.
Qualidade dos dados	Definindo, monitorando, mantendo a integridade dos dados e melhorando a qualidade dos dados

Fonte: DAMA, 2014

O gerenciamento efetivo de dados e informações é uma preocupação para muitas organizações. A quantidade de informações digitais no mundo está aumentando dez vezes a cada cinco anos, e as organizações estão tendo dificuldade em gerenciar esses dados e mantê-lo seguro. (LOUZADA, 2017)

A gestão incorreta de dados pode produzir consequências negativas para um determinado negócio, como:

- Perdas financeira.
- Risco de litígio.
- Custo com excesso de armazenamento de dados.
- Processos de fluxo de trabalho ineficientes.
- Perda de reputação no mercado.
- Publicidade negativa.

O gerenciamento de dados é vital para todas as organizações. Quer sejam conhecidas como Gerenciamento de dados, Gerenciamento de recursos de dados ou Gerenciamento de informações corporativas, as organizações reconhecem cada vez mais que os dados que possuem são um ativo valioso que deve ser gerenciado adequadamente para garantir o sucesso. Empresas, governos e outras organizações são mais eficazes quando utilizam seus ativos de dados. (DAMA, 2014)

### 3.3 SINTESE E CONCLUSÃO DE CAPÍTULO

O capítulo 3 teve como objetivo apresentar os conceitos do gerenciamento de dados e gestão de informação. Estes conceitos serão utilizados como fundamentação teórica para o entendimento dos próximos capítulos, onde será verificado que a correta administração de informações relativas a laudos de manutenção é fundamental para melhor tomada de decisão.

O capítulo 4 discorrerá sobre o desenvolvimento da oportunidade de melhoria identificada, que abrangem a melhoria no processo de manutenção preditiva - a análise de óleo lubrificante em motores diesel ferroviários.

## 4 DESENVOLVIMENTO

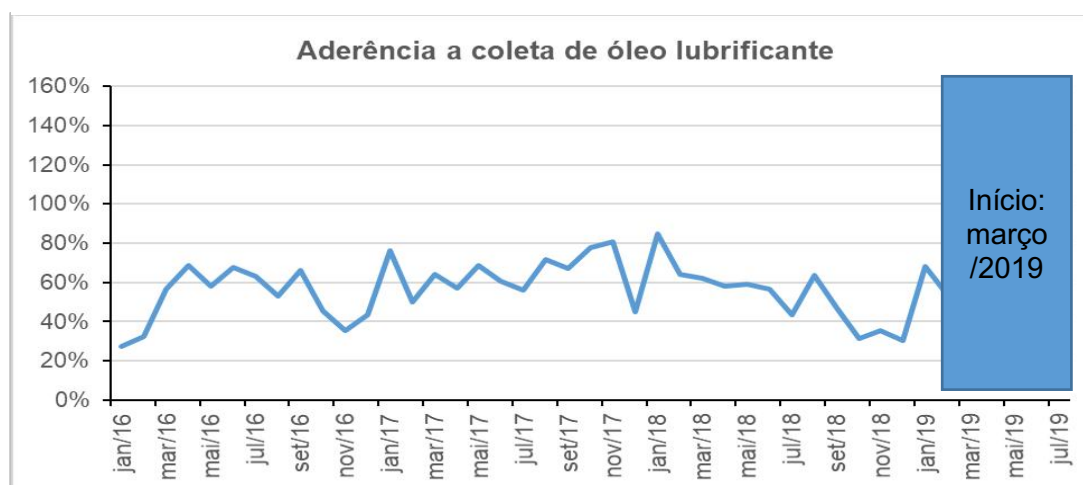
Este capítulo apresentará o desenvolvimento do trabalho através da utilização das ferramentas estudadas nos capítulos 2 e 3. A discussão será dividida em três seções básicas (4.1 até 4.3) onde serão abordados os temas relativos a oportunidade de melhoria na gestão de informações, que é relativa aos resultados do processo da análise de óleo lubrificante de motores diesel ferroviários de uma determinada frota de locomotivas de uma ferrovia brasileira.

### 4.1 RECONHECIMENTO DO PROCESSO ATUAL

Para que um processo seja controlado é necessário que este possua indicadores mensuráveis. Um indicador fundamental no processo de análise de óleo lubrificante é a aderência a realização de suas coletas. Este indicador é básico para o reconhecimento do processo pois demonstra a maturidade deste tipo de técnica preditiva.

A figura 18 apresenta aderência a coleta de óleo lubrificante por tempo de uma determinada companhia ferroviária brasileira. Os resultados foram obtidos do sistema de controle de manutenção interno. Foi plotado desde janeiro de 2016 até março de 2019. Conforme é possível observar, os resultados sofrem uma variação elevada chegando a atingir patamares próximos a 30% de aderência a coleta, e pontualmente atinge níveis superiores a 80%, demonstrando completa instabilidade.

**Figura 15 - Aderência a coleta de óleo lubrificante antes da implementação das melhorias**

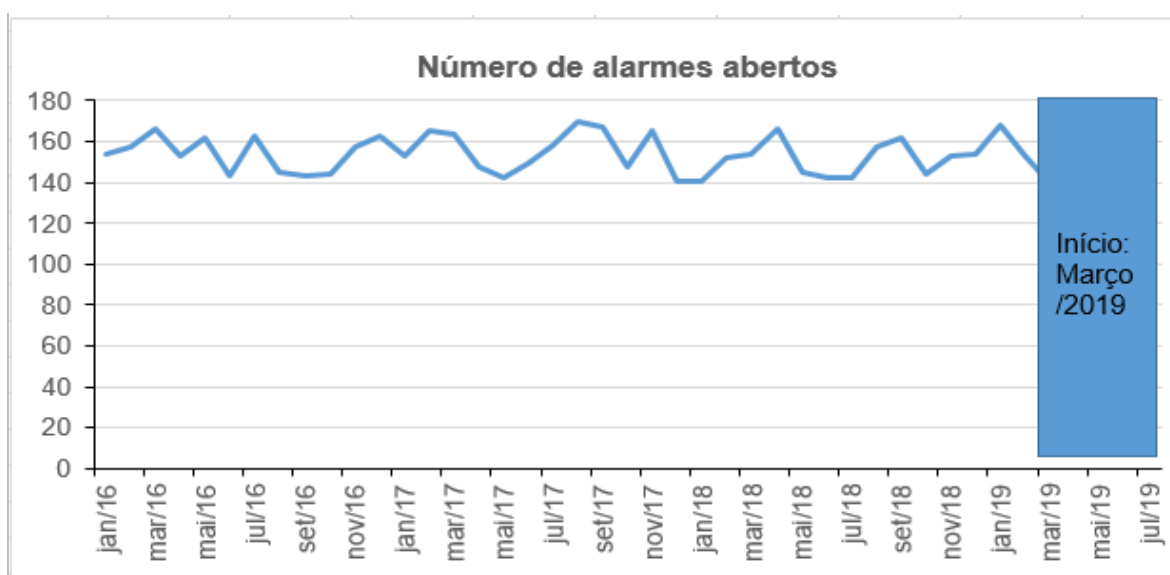


Fonte: Elaborado pelo autor

Outro indicador importante que auxilia na compreensão do processo atual é analisar a quantidade de alarmes em aberto. Isso é, verificar qual o passivo atual de diagnósticos que precisam ser feitos nos motores diesel ferroviários, afim de identificar uma possível causa de falha e atuar em sua correção. Conforme verificado na tabela 9 da seção 2.2.1.4 deste trabalho, em uma única amostra de óleo lubrificante são verificados a presença de até 14 elementos.

A figura 19 apresenta a quantidade de alarmes em aberto por tempo. Os alarmes são quaisquer tipos de anormalidades identificado nas amostras de óleo lubrificante após a entrega do laudo pelo laboratório. O volume médio por mês de alarmes que permaneciam em aberto de janeiro de 2016 até março de 2019 era de 154 alarmes.

**Figura 16 - Quantidade de alarmes abertos antes da implementação das melhorias**



Fonte: Elaborado pelo autor

Ao analisarmos os dois gráficos em conjunto é possível traçar um diagnóstico que sugere que processo atual de coleta e posterior tratamento de motores diesel com indícios de anormalidades não está funcionando em sua melhor performance. O processo se encontra com baixa aderência as coletas e de forma instável. Além disso há um elevado número de alarmes em aberto, sem perspectiva de redução.

Frente a este cenário algumas hipóteses podem ser traçadas acerca do processo vigente:

- 1) As equipes de manutenção não reconhecem valor na técnica preditiva, portanto não realizam a coleta.
- 2) As equipes de manutenção não possuem recursos para realização da coleta de óleo lubrificante.
- 3) As equipes de manutenção não seguem um processo único com fluxograma de tomada de decisão bem definido.
- 4) As equipes de manutenção não possuem procedimentos técnicos que demonstram como realizar a tratativa de combate de falhas por meio de checklist.

Dentre as hipóteses acima listadas foi verificado que há a necessidade de atuar no processo de análise de óleo lubrificante de forma imediata, seguindo os pontos elencados como direcionadores das atividades de melhoria. As próximas seções deste capítulo subsidiarão a implementação deste projeto.

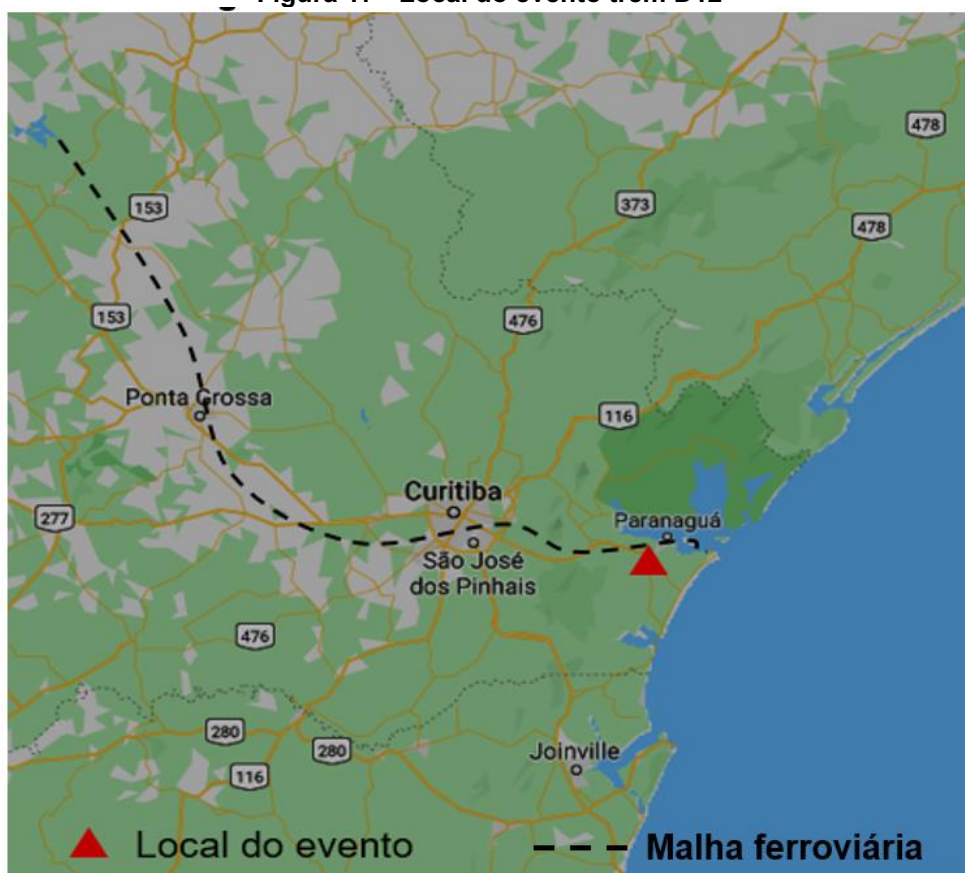
#### 4.1.1 Análise de eventos

Analisar o histórico de eventos de falhas é fundamental para identificar as oportunidades que foram perdidas caso um processo de análise de óleo eficiente já estivesse instaurado. Esta seção demonstrará dois casos reais de falhas consideradas catastróficas de motores diesel ferroviários que poderiam ser evitadas caso um acompanhamento rotineiro dos laudos laboratoriais fosse realizado pelo time de manutenção.

##### 4.1.1.1 Evento trem D12

O primeiro caso ocorreu em 03/02/2019. O trem de código D12 carregado com 98 vagões de soja originado de Londrina/PR seguia até o porto da cidade de Paranaguá/PR.

Figura 17 - Local do evento trem D12



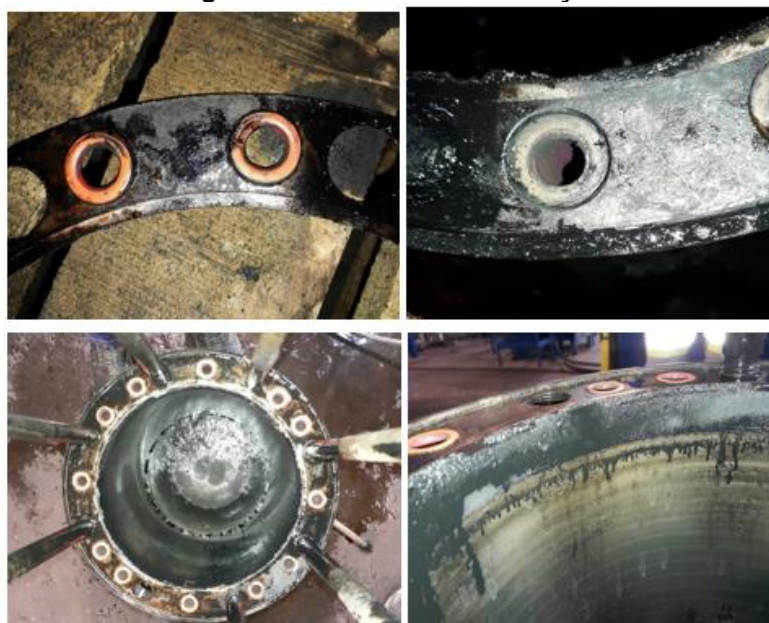
Fonte: Elaborado pelo autor

Durante a chegada da estação de Marumbi, na descida da serra de Paranaguá, o maquinista percebe o acionamento do sensor de proteção do motor diesel indicando baixo nível de água no sistema de arrefecimento. Ao chegar ao local de instalação do motor identifica que há um volume excessivo de água sendo escoada para fora do conjunto de força do motor diesel em direção ao cárter. A máquina é em seguida rebocada e destinada para oficina de manutenção de locomotivas.

Examinando a máquina é identificada uma falha no conjunto de força de posição 07. As juntas de assentamento entre a camisa e o cabeçote perderam sua eficiência de estanqueidade e permitiram um vazamento excessivo pelos canais das galerias de passagem de água de resfriamento.

A figura 21 representa a condição do assentamento da face da estrutura camisa-cabeçote. É possível identificar sinais de carbonização pelo anel metálico e queima dos anéis de vedação em material *viton*. A perda de eficiência da junta permitiu passagem de água de arrefecimento para fora do conjunto de força, baixando o volume do reservatório principal e assim acionando a proteção do motor diesel.

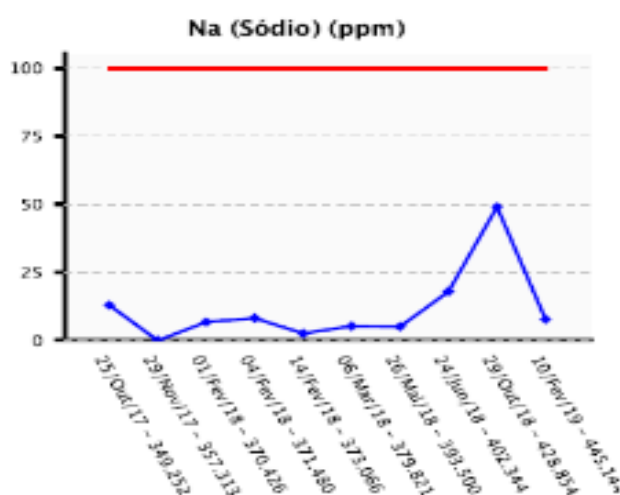
**Figura 18 - Junta camisa-cabeçote**



Fonte: Elaborado pelo autor

Após a ocorrência da falha e identificada sua consequência, é necessário identificar qual a causa de bloqueio. Avaliando o histórico de análise de óleo lubrificante desta locomotiva é possível perceber que um aumento gradual do índice de sódio (Na) ocorreu durante o período de maio de 2018 até fevereiro de 2019, onde a falha catastrófica ocorreu.

**Figura 19 - Evolução de sódio no óleo lubrificante**



Fonte: Sistema *OilXplorer* sistema de gestão de resultados

Conforme verificado na tabela 9 deste trabalho, a contaminação por sódio advém do aditivo adicionado a água de arrefecimento. Pode estar associado a trincas

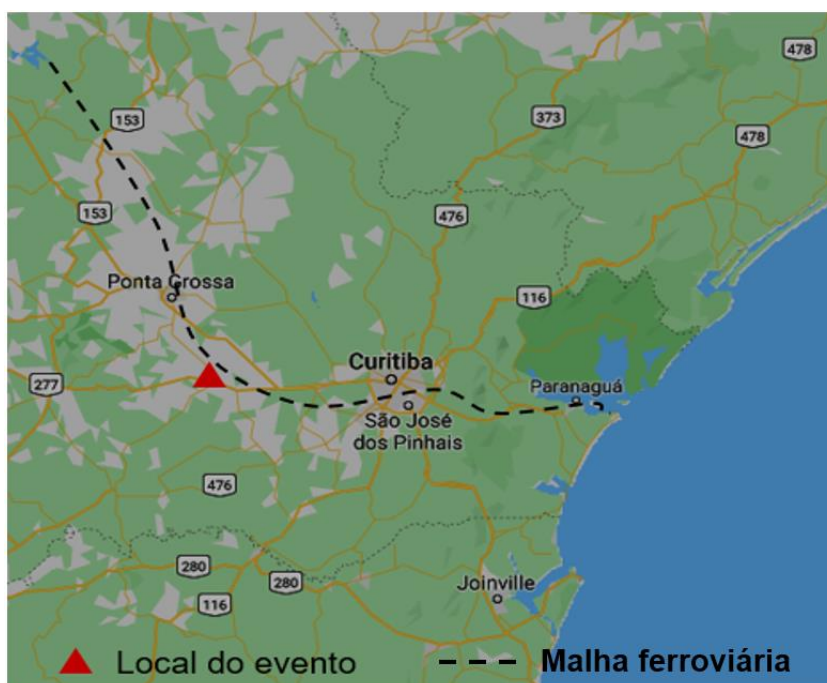


no sistema de arrefecimento. Avaliando este evento foi possível verificar a tendência de evolução deste elemento, e caso fosse acompanhado de forma rotineira pela manutenção, uma parada antecipada a falha poderia ter sido realizada.

#### 4.1.1.2 Evento Trem D02

O segundo evento ocorreu em 17/02/2019. O trem de código D02 carregado com 75 vagões de farelo de soja originado de Maringá/PR e seguia até o porto da cidade de São Francisco do Sul/SC.

**Figura 20 - Local do evento D02**



Fonte: Elaborado pelo autor

Durante a chegada da estação de Ponto Grossa, no interior do estado Paraná, o maquinista percebe o acionamento do sensor de proteção do motor diesel indicando elevada pressão interna no bloco do motor diesel. Deste modo o motor é desligado. O maquinista entre em contato com a rádio mecânica afim de obter informações técnicas de como proceder e orientado a solicitar o reboque da locomotiva.

Já em oficina de manutenção, o motor diesel é examinando e durante a inspeção de rotação do motor, é identificado uma trinca na “saia” do pistão, instalado no conjunto de força número 03. A figura 24 expões a trinca.

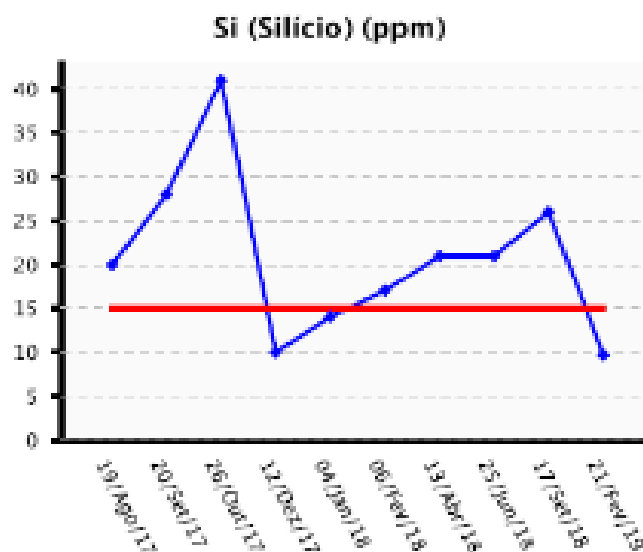
Figura 21 - Trinca no pistão



Fonte: Elaborado pelo autor

A trinca no pistão permitiu a sucção de ar de admissão para o interior do conjunto de força de número 03, deste modo depositando os gases no sentido do cárter do motor diesel. O acumulo de gases destinado ao interior do bloco do motor gradualmente aumentou a sua pressão interna até ultrapassar o valor limite de acionamento do detector, comumente chamado de pressão positiva no cárter. Esta falha é considerada de gravidade alta pois em situações extremas pode gerar a perda completa do motor, inclusive colocando em risco a saúde de colaboradores no entorno, visto que é possível ocorrer projeção de peças internas do motor.

Figura 22 - Evolução de sódio no óleo lubrificante



Fonte: Elaborado pelo autor

Avaliando histórico de análises de óleo desta locomotiva, é possível verificar a tendência de crescimento do particulado de silício (Si) desde dezembro de 2017 até próximo a dia 21 de fevereiro de 2019. A escalada dos índices de silício no óleo confirma a teoria da constante admissão de ar de admissão para dentro do cárter.

O silício indica também que o ar de admissão estava com excesso de sílica ou areia, sugerindo que os filtros de admissão de ar não estavam na condição ideal de eficiência. Avaliando este evento foi possível verificar que se houvesse um monitoramento constante dos resultados das análises de óleo, esta falha poderia ter sido evitada.

#### 4.2 MELHORIAS EM PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS, CRIAÇÃO DE CHECKLISTS E FERRAMENTAS DE GESTÃO INFORMATIVA

Mediante ao apresentado na seção 4.1 é possível compreender que existe um potencial inexplorado de detecção de falhas ocultas pelo setor de manutenção. Buscando capturar as oportunidades foi necessário reconhecer que o processo vigente e inclusive os procedimentos existentes possuíam lacunas quanto a sua interpretação e utilização.

Foi identificada a oportunidade de revisão em quatro procedimentos básicos:

##### 4.2.1 Revisão do procedimento “Coleta de Amostra de Óleo Lubrificante de Motores Diesel Ferroviários”

O procedimento de coleta de amostra de óleo lubrificante em motores diesel ferroviários é a norma que rege o ponto de partida do processo. Neste procedimento são esclarecidos quais as precauções que se devem tomar ao ser realizada a amostra. Quais as formas existentes de coleta, e os cuidados operacionais.

Por exemplo, uma boa coleta pode ser considerada quando o motor diesel da locomotiva está ligado em marcha lenta, e com temperatura aproximadamente a 60°C (temperatura de trabalho). Neste procedimento é importante ressaltar também a forma correta de coleta, para que não seja realizada qualquer tipo de contaminação da amostra.

A melhor forma de coleta é em configurações de locomotivas que possuem o seu próprio registro de dreno na linha de óleo, porém esta configuração só é presente em locomotivas modernas. Em locomotivas mais antigas a forma de coleta pode variar em coleta diretamente pelo cárter, por meio de seringa e mangueira descartável ou por meio de instalação de registro tipo engate rápido em situações onde o sistema de lubrificante possui ponto de espera.

#### 4.2.2 Revisão do procedimento “Operação da Chapa Aquecedora Petrodidática”

O procedimento de operação da chapa aquecedora petrodidática é utilizado para realização do teste de crepitação do óleo. É um teste simples e rápido que busca a identificação da presença de água em mistura com o óleo lubrificante. Sua função é detectar causas associadas conforme a tabela 9, apresentado nas referências bibliográficas deste trabalho.

**Tabela 14 - Contaminação por água**

<b>Elemento</b>	<b>Possível causa associada</b>
Água	Contaminação por água, pode estar associado a trincas no sistema de arrefecimento (bloco / conjunto de força / resfriador de óleo).

Fonte: Elaborado pelo autor

O teste de crepitação é realizado basicamente por meio do aquecimento de uma pedra cerâmica, acima de 120°C e após atingimento desta temperatura é depositado um fio de óleo lubrificante. Caso o óleo depositado aquecido sofre o fenômeno de crepitação (borbulhamento) pode ser indicar que há contaminação de água no óleo. A água ao entrar em contato com a pedra aquecida chega a vaporizar instantaneamente assim tornando o efeito de borbulhamento aparente. Já o óleo não sofre alterações, pois diferentemente da água que possui temperatura de ebulição próximo dos 100°C, o óleo possui em torno de 300°C.

Neste procedimento foi necessário realizar revisões que tangem aos gatilhos de utilização da chapa petrodidática em diagnósticos. Foram avaliados casos de

vazamento de água do sistema de arrefecimento de motores diesel onde o teste não havia sido realizado e falhas voltaram a se reincidir. Deste modo foi alterado a necessidade de realização do teste de forma preventiva em revisões de rotinas mensais.

#### 4.2.3 Revisão do procedimento “Operação do Viscosímetro FGK-1200PA Parker Kittiwake”

O procedimento de Operação do Viscosímetro FGK-1200PA Parker Kittiwake é utilizado com objetivo de aferir a viscosidade presente do óleo. Conforme verificado na revisão bibliográfica deste trabalho a viscosidade é uma propriedade básica dos fluidos e significa medir qual sua resistência ao arraste.

Acompanhar a viscosidade do óleo é fundamental para a manutenção, pois a depender dos valores encontrados ações de correção precisam ser tomadas. Em um ambiente ferroviário a viscosidade do óleo lubrificante pode alterar basicamente pelas seguintes formas:

- i) Reduzir caso houver contaminação por óleo diesel
- ii) Aumentar caso houver contaminação por fuligens provenientes de queima incompleta de gases
- iii) Aumentar caso houver excesso de oxidação no óleo

A utilização do viscosímetro entra em cena para monitorar quaisquer desvios e acusar tais possibilidades. O procedimento de operação do Viscosímetro digital FGK-1200PA tiveram revisões semelhantes à da operação da Chapa Aquecedora Petrodidática, onde os gatilhos de utilização foram instaurados para realização do teste de forma preventiva em revisões de rotinas mensais.

#### 4.2.4 Revisão do procedimento “Registro, Envio de Amostras de Óleo e Tratamento de Notas”

O último procedimento identificado com potencial de melhoria e revisão é o procedimento chamado de Registro, Envio de Amostras de Óleo e Tratamento de Notas. Este procedimento unifica o processo que ocorre após a coleta da amostra de

óleo lubrificante nas locomotivas (Coleta de Amostra de Óleo Lubrificante de Motores Diesel Ferroviários detalhado na seção 4.2.1).

Durante vistas em campo e acompanhamento junto as equipes administrativas foi identificado um gargalo nesta etapa. Muitas das coletas realizadas pelas equipes de campo eram estocas na ferramentaria e não eram enviadas. Diferentemente dos procedimentos 4.2.2 e 4.2.3, onde as operações e resultados dos testes já são imediatos, o procedimento 4.2.4 é a continuação do procedimento 4.2.1, pois a amostra precisa “viajar” até o laboratório responsável para que seja feita as análises em equipamentos específicos.

Após longa estadia em campo e diagnose, foi constatado que os problemas que afetavam a baixa performance dos envios das amostras resultando na baixa aderência a coleta demonstrada pela Figura 18 desta seção foi a combinação de algumas das hipóteses que justificaram a execução deste projeto.

**As equipes de manutenção não reconhecem valor na técnica preditiva, portanto não realizam a coleta** – as equipes administrativas não tinham conhecimento da técnica, e executar operacionalmente o registro e envio das amostras era uma atividade secundária e de baixa prioridade.

**As equipes de manutenção não possuem recursos para realização da coleta de óleo lubrificante** – para algumas equipes de manutenção faltava computador com internet estável, portanto inviabilizava que os preenchimentos de dados no sistema e agendamento de coleta pela transportadora acontecesse.

**As equipes de manutenção não seguem um processo único com fluxograma de tomada de decisão bem definido** – frente a um cenário onde muitos não estavam engajados com o programa e lhes faltava recurso, era impossível imaginar um fluxograma definido de processo.

Identificado o cenário, foi realizada a revisão e capacitação do procedimento de Registro, Envio de Amostras de Óleo e Tratamento de Notas. Neste foi “re-redigido” todo o fluxo do processo com passo-a-passo dos acessos e operacionalização dos diversos sistemas que precisam ser utilizados para que uma amostra de óleo seja coletada.

Para uma única amostra é necessário utilizar três sistemas, o sistema de ERP interno da ferrovia para lançamento dos dados oficiais na base de dados de manutenção, o sistema do fornecedor responsável pela análise laboratorial e o sistema da transportadora para agendamento da coleta dos pacotes. Tal

complexidade de sistemas foi avaliada como oportunidade de melhoria, porém os custos associados para uma integração de plataformas ERP entre cliente e dois fornecedores (laboratório e transportadora) não se provaram factíveis até o presente momento.

Além da reestruturação do passo-a-passo de utilização dos sistemas, foi desenhado o fluxograma do processo onde todos puderam ser treinados e capacitados. O fluxograma será apresentado em um tópico específico das conclusões deste trabalho. Por fim foi anexado no apêndice deste procedimento os Checklists de combate de falhas para as anomalias identificadas na análise de óleo, este tópico será tratado na seção 4.2.5.

#### 4.2.5 Desenvolvimento de Checklists específicos para combate de falhas

O desenvolvimento de checklists surgiu durante as vistas em campo juntos aos técnicos especializados responsáveis pelos diagnósticos de locomotivas. Avaliando a forma de trabalho das diversas oficinas localizadas no país, foi verificado uma despadronização entre os colaboradores.

Foi verificado que alguns tinham maior habilidade e celeridade frente a um elemento, dado a sua experiência com determinado modo de falha, outros já possuíam uma diagnose mais lenta e necessitavam recorrer ao suporte da engenharia com maior frequência. A introdução dos checklist permitiu um nivelamento de conhecimento entre os executantes.

**Tabela 15 - Checklists específicos**

Descrição	Elemento	GM	GE
Checklist de Manutenção Preditiva - Diagnóstico de Óleo Lubrificante	Ferro	X	X
Checklist de Manutenção Preditiva - Diagnóstico de Óleo Lubrificante	Água	X	X
Checklist de Manutenção Preditiva - Diagnóstico de Óleo Lubrificante	Diluição	X	X
Checklist de Manutenção Preditiva - Diagnóstico de Óleo Lubrificante	Cobre	X	X
Checklist de Manutenção Preditiva - Diagnóstico de Óleo Lubrificante	Prata	X	X

Fonte: Elaborado pelo autor

A tabela 15 e 16 relaciona todos os checklists desenvolvidos pelo time. Foram segmentados por elemento causador do alarme e divididos entre as duas configurações de fabricantes de locomotivas GE e GM. A utilização do checklist passou a ser obrigatória em todos os diagnósticos de análise de óleo lubrificante com potencial de falha.

**Tabela 16 - Checklists específicos (cont.)**

Descrição	Elemento	GM	GE
Checklist de Manutenção Preditiva - Diagnóstico de Óleo Lubrificante	Cromo	X	X
Checklist de Manutenção Preditiva - Diagnóstico de Óleo Lubrificante	Zinco	X	X
Checklist de Manutenção Preditiva - Diagnóstico de Óleo Lubrificante	Sódio	X	X
Checklist de Manutenção Preditiva - Diagnóstico de Óleo Lubrificante	Fuligem	X	X
Checklist de Manutenção Preditiva - Diagnóstico de Óleo Lubrificante	Silício	X	X
Checklist de Manutenção Preditiva - Diagnóstico de Óleo Lubrificante	Cobre/Chumbo/Estanho	X	X

Fonte: Elaborado pelo autor

#### 4.2.6 Desenvolvimento de ferramenta gerencial para acompanhamento dos resultados

A necessidade de melhoria de controle nos resultados foi evidenciada durante a fase de reconhecimento do processo. Informações básicas como:

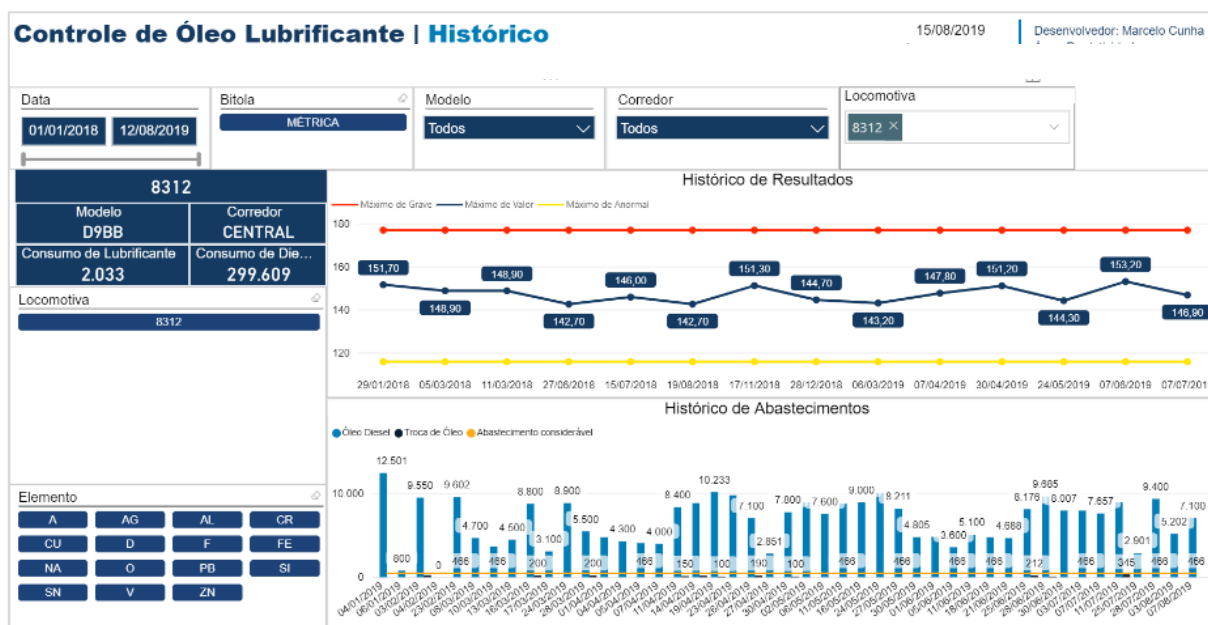
- 1) Quantos alarmes a locomotiva “X” possui pendente diagnóstico?
- 2) Qual o histórico da viscosidade da locomotiva “Y”?
- 3) Qual a relação de desgaste dos elementos cobre/chumbo/estanho da frota “A”?
- 4) Qual a periodicidade histórica de trocas de carga de óleo da locomotiva “Z”?

Para responder estas perguntas era necessário um esforço tremendo, sendo necessário realização de download de tabelas de pelo menos três sistemas internos. Frente a essa necessidade de melhoria foi realizado o desenvolvimento do Painel Gerencial para acompanhamento de resultados dos laudos das análises de óleo lubrificante.



O painel foi desenvolvido em plataforma Microsoft PowerBi onde foi possível realizar operar com atualizações automáticas, sem a necessidade de intervenção manual por qualquer colaborador. As rotinas de atualizações são diárias.

Figura 23 - Painel Gerencial para controle de resultados das análises de óleo lubrificante



Fonte: Elaborado pelo autor

O painel segue um formato tipo *dashboard* (gráficos interativos) onde o usuário consegue manipular da forma que preferir. As entradas básicas são: número da locomotiva que se seja analisar e elemento que deseja observar. Existem filtros que permitem verificar a qual estrutura está locomotiva está cadastrada. O primeiro filtro denominado “Bitola” diz respeito a segregação de operações em bitola ferroviária métrica e larga. O segundo filtro refere-se ao “Modelo” da locomotiva. O terceiro filtro é “Corredor” que segmenta as operações em níveis de alocação geográfica.

A figura 26 demonstra a locomotiva de número “8312” como selecionada. A imagem tipo cartão na face esquerda superior demonstra suas características:

- Locomotiva opera em bitola métrica
- Está alocada geograficamente no corredor Central
- É do modelo D9BB
- Possui um consumo de óleo lubrificante de 2.033 litros no período YTD (*year to date* ou seja, desde o início do ano vigente até a presente data)

e) Possui consumo de óleo diesel de 299.609 litros no mesmo período YTD

Os botões na face esquerda inferior permitem a seleção do elemento que se deseja visualizar. O gráfico superior demonstra a curva histórica do elemento selecionado com as bandas de “anormalidade” e “gravidade” denominadas pelas linhas em amarelo e vermelho respectivamente. O gráfico inferior apresenta a evolução do consumo de óleo diesel e óleo lubrificante no tempo.

É extremamente importante analisar simultaneamente de forma gráfica a evolução do elemento e o consumo de óleo lubrificante no tempo. Uma eventual queda no teor de um elemento no óleo em uma determinada data pode estar associada a uma possível troca da carga de óleo (reposição por óleo novo), deste modo levando a uma conclusão de melhora do equipamento que não é real.

O painel gerencial é uma ferramenta de uso disseminado em todas as unidades de manutenção de locomotivas da companhia e está permitindo maior transparência nas condições dos motores diesel das locomotivas, assim como maior velocidade nas tomadas de decisão.

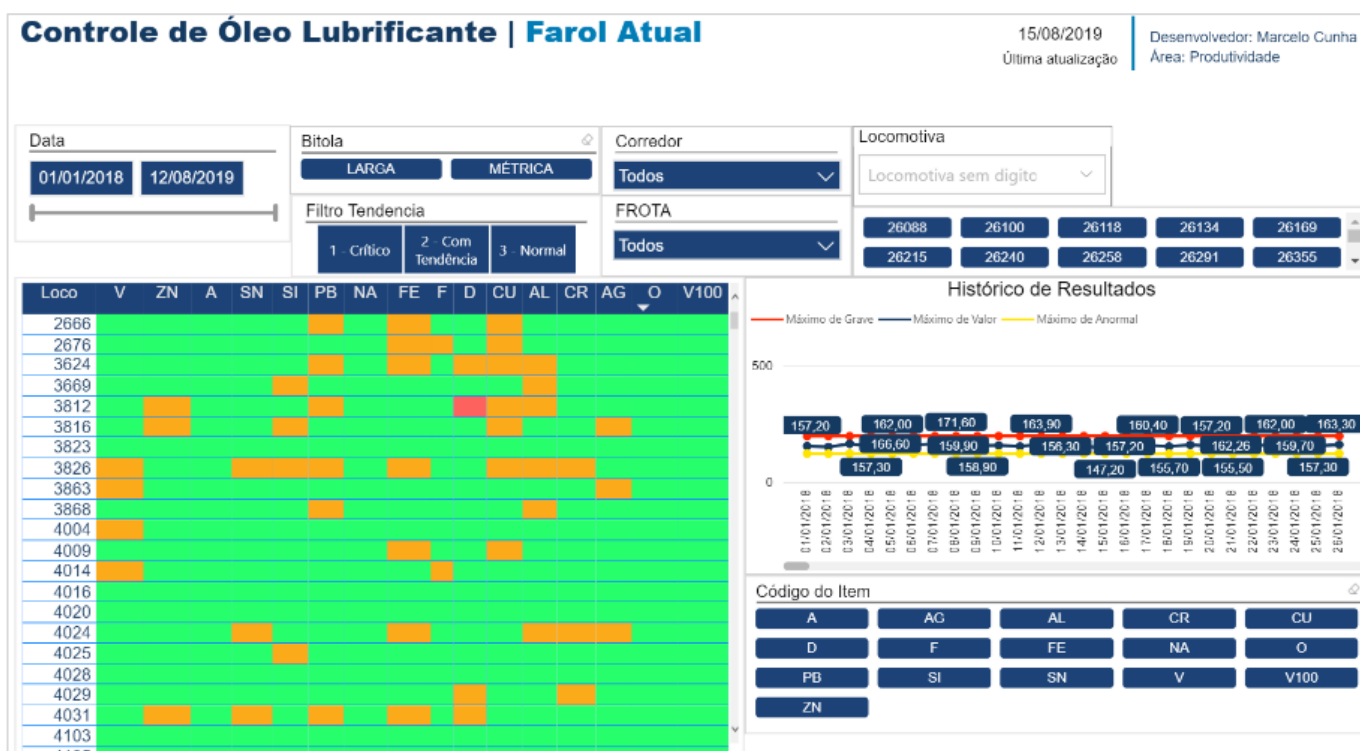
#### 4.2.7 Desenvolvimento de ferramenta de auxílio a identificação de tendência

O Painel Gerencial apresentado na seção 4.2.6 é uma ferramenta excelente para reconhecimento do histórico de uma determinada locomotiva, no que se refere aos resultados da análise de óleo e consumos de óleo lubrificante e diesel. Porém, esta ferramenta está limitada ao presente e passado. No intuito de responder à pergunta:

- 1) Este elemento está em rampa crescente ou decrescente no tempo?
- 2) Existe a necessidade de um acompanhamento mais próximo pelas equipes de manutenção da locomotiva “A” ou “B”?

Estas são perguntas que precisam ser respondidas de forma rápida e assertiva em um cenário onde existem uma população acima de 400 locomotivas em operação. Optar por priorizar uma locomotiva “A” frente a “B” pode ser uma decisão que causará prejuízos tremendos ou evitar tais custos.

Figura 24 - Ferramenta de auxílio a identificação de tendência



Fonte: Elaborado pelo autor

A ferramenta de auxílio a identificação de tendência foi desenvolvida com objetivo de responder as perguntas 1 e 2 desta seção. Sua aparência se assemelha ao Painel Gerencial, porém é realizado algumas modificações.

Foi incluído uma “tabela de cores” na face esquerda onde é denominado de farol. Nele é possível identificar nas linhas o número de todas as locomotivas da operação e nas colunas todos os elementos analisados pelo laboratório. Cada cor tem um significado:

- Vermelho: Tendência confirmada em patamar crítico
- Amarelo: Tendência confirmada em patamar anormal
- Normal: Não há tendência confirmada

É possível utilizar os botões superior para realizar a filtragem de todas locomotivas com algum elemento em patamar “vermelho” ou “amarelo” por exemplo. O restante do painel se assemelha ao descrito na seção 4.2.6.

A literatura define que entre 3 a 5 pontos em rampa positiva (ascensão), isto é, ponto “a”>”b”>”c”>... em dados históricos podem ser considerados como uma

tendência. O inverso também é verdadeiro, porém agora os a sequência segue como ponto “a”<”b”<”c”<... Como tendências decrescentes não geram valor para as análises, o farol de tendência foi programado para alertar somente tendências positivas.

Dado a escassez de resultados de análises de óleo de algumas locomotivas e a periodicidade de coleta de amostras, foi programado para o limite de pelo menos 3 pontos consecutivos em ascensão para definição de tendência.

#### 4.3 SINTESE E CONCLUSÃO DE CAPÍTULO

O capítulo 4 teve como objetivo apresentar de forma estruturada a oportunidade identificada de melhoria no processo da análise de óleo lubrificante de locomotivas de uma determinada companhia ferroviária brasileira. O capítulo se iniciou apresentando o processo atual, por meio de reconhecimento geral.

Em seguida foi analisado eventos que comprovam falhas que poderiam ser evitadas. Adiante foi realizado o detalhamento das melhorias levantadas na fase de hipótese e discorrido como cada qual foi desenvolvida.

O capítulo 5 será o capítulo final deste trabalho, onde se discorrerá sobre as conclusões da implementação das melhorias elencadas no capítulo 4. Serão apresentados resultados qualitativos que tangem a melhoria da manutenção e resultados quantitativos relativos a melhoria nos dois indicadores previamente apresentados na fase de reconhecimento do processo na seção 4.1, aderência a coleta de óleo lubrificante e quantidade de alarmes em aberto.

## 5 CONCLUSÃO

Este capítulo tem o objetivo de apresentar os resultados e conclusões acerca das melhorias realizadas no processo de análise de óleo lubrificante de motores diesel ferroviários. O capítulo será dividido em três partes, onde será apresentado inicialmente os resultados, em seguida as conclusões e por fim as sugestões para trabalhos futuros.

### 5.1 RESULTADOS

Após a implementação das melhorias relatadas no capítulo 4 foi possível perceber maior engajamento pelas equipes que fazem parte do processo. Os treinamentos e visitas em campo promoveram a utilização dos checklists, das ferramentas de painel de resultados e ferramenta a identificação a tendência.

Com isto, incorreu em maior capacidade de diagnose pelos técnicos de campo, e por consequência uma maior e melhor capacidade na identificação de falhas durante as revisões preventivas. Abaixo será detalhado dois eventos que ilustram o resultado de algumas inspeções utilizando o checklist de manutenção preditiva:

- I. **Não conformidade identificada no laudo laboratorial:** Presença de diesel.  
**Possíveis efeitos caso a falha não seja corrigida:** Queda na viscosidade do óleo lubrificante, aumento na taxa de desgaste de componentes internos e em situações extremas pode incorrer em incêndio no motor diesel.

**Locomotiva:** 3812

**Causa:** Identificado dreno de retorno de óleo diesel obstruído. Devido a esta obstrução o fluido se represa nas seções de retorno e seguem um caminho alternativo que o direciona para o cárter do motor diesel e não para o tanque de combustível (a qual se deveria).

**Correção:** Realizado limpeza de todas as galerias de retorno de óleo diesel de todos os 12 conjuntos de força. Substituído todas as juntas e vedações do sistema de retorno e realizada nova regulação de pontuação do motor diesel.

Figura 25 - Dreno de retorno obstruído locomotiva 3812



Fonte: Elaborado pelo autor

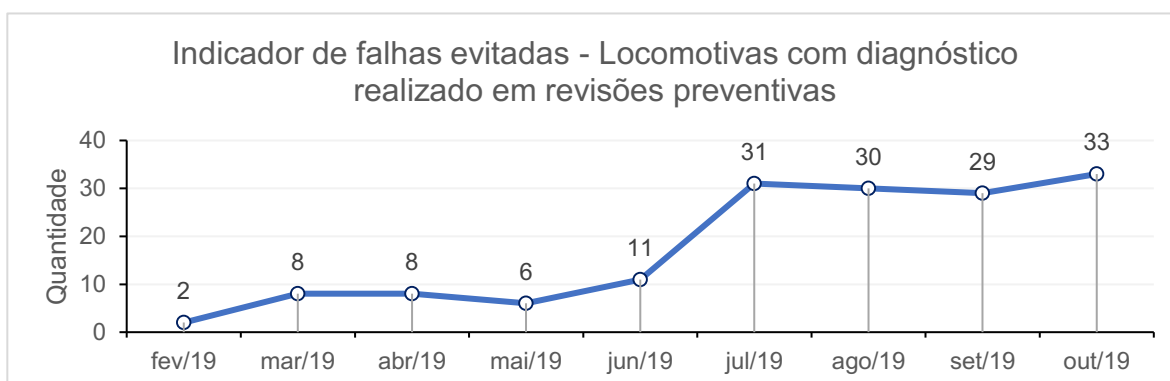
- II. **Não conformidade identificada no laudo laboratorial:** Presença de sódio.  
**Possíveis efeitos caso a falha não seja corrigida:** Calço hidráulico, baixo nível de água de arrefecimento, sobre aquecimento do motor diesel.  
**Locomotiva:** 9514  
**Causa:** Identificado vazamento na conexão da tubulação de admissão de água de arrefecimento para o conjunto de força número 09. A causa pode estar associada a alguns fatores como: mal assentamento da vedação durante a montagem, vedação de material inadequado para este ambiente de trabalho, torque incorreto nas fixações da conexão na face da camisa.

**Figura 26 - Dreno de retorno obstruído locomotiva 3812**

Fonte: Elaborado pelo autor

**Correção:** Inspeccionado superficialmente a camisa por sinais de sobre aquecimento e trincas. Realizada a substituição da junta de assentamento da conexão e conferido torque final nas fixações.

Estes são dois exemplos de vários que foram possíveis ser registrados. Em busca de conferir ainda mais credibilidade ao tema e também maior visibilidade aos executantes técnicos, foi desenvolvido o indicador de falhas evitadas.

**Figura 27 - Indicador de falhas evitadas**

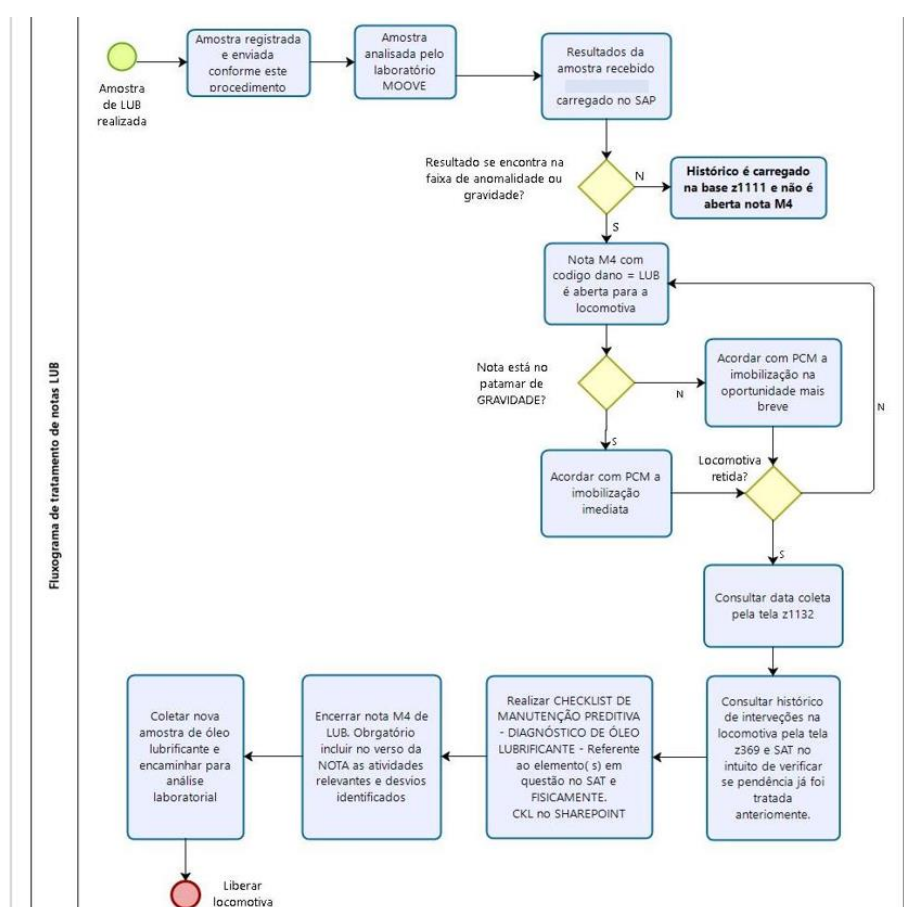
Fonte: Elaborado pelo autor

Este indicador representa a quantidade de locomotivas que obtiveram diagnóstico positivo durante a utilização dos checklists preditivos. Isto é, uma determinada locomotiva saiu de serviço para a realização de uma manutenção programada, porém esta possuía algum sintoma diagnosticado pelo laudo da última amostra laboratorial de seu óleo lubrificante. Após inspeção foi constatada a falha e corrigida. Deste modo evitando uma possível falha catastrófica no trecho.

### 5.1.1 Novo fluxograma do processo

O desenvolvimento do fluxograma abaixo foi necessário para que as equipes de manutenção pudessem se orientar acerca do macroprocesso.

**Figura 28 - Fluxograma do processo**



Fonte: Elaborado pelo autor

O gatilho para início do fluxograma é a realização de uma coleta de óleo lubrificante em uma determinada locomotiva. Após a coleta ocorre-se o registro e envio da amostra. Em seguida ocorre a análise em laboratório externo, o qual envia



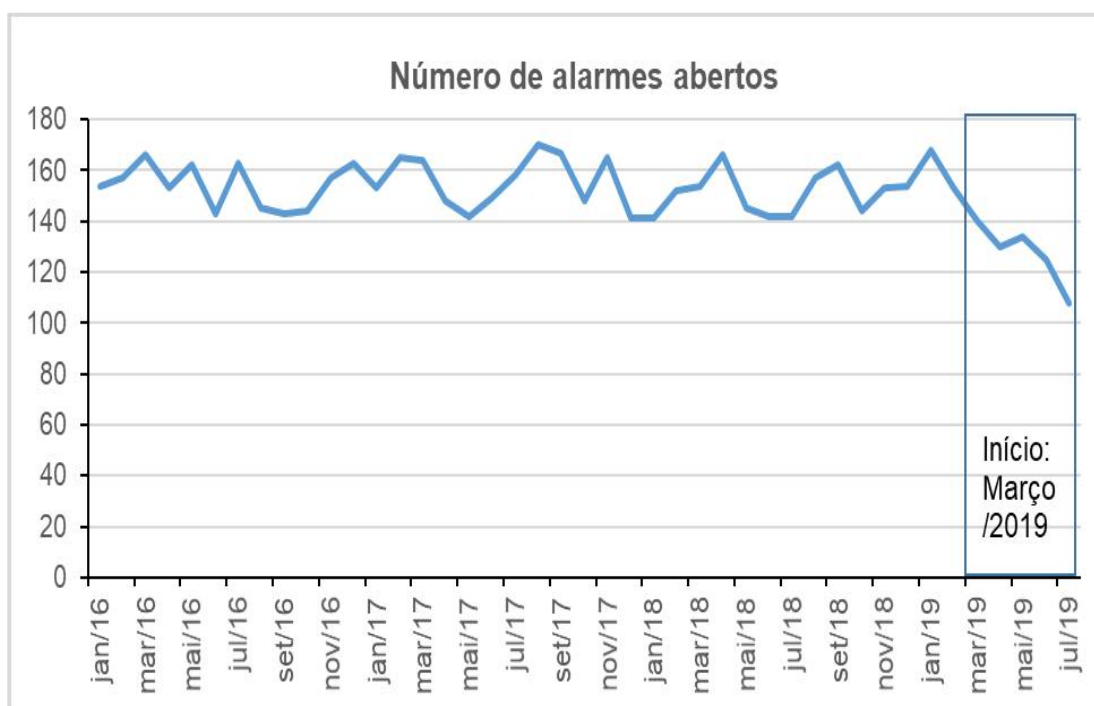
os resultados para as equipes de manutenção carregarem em sistema interno de gestão.

Após a carga, as locomotivas com sintomas graves possuem critério de imobilização imediato e as anormais seguem para tratativa em concomitância com as revisões programadas. Com as locomotivas estacionadas em oficina é realizado os checklists de manutenção preditiva, conforme o elemento sintoma e após a tratativa os dados devem ser lançados no sistema. Uma nova amostra deve ser realizada para atestar a efetividade da intervenção e assim o processo é encerrado.

### 5.1.2 Melhoria dos indicadores: aderência a coleta de óleo lubrificante e alarmes em aberto

Avaliando os indicadores analisados na fase de reconhecimento do processo, foi possível observar uma melhoria significativa tanto no número de alarmes em aberto, tanto quanto no indicador de aderência a coleta de óleo lubrificante. Estes indicadores foram definidos como os direcionadores da performance do projeto.

**Figura 29 - Número de alarmes abertos pós projeto**



Fonte: Elaborado pelo autor

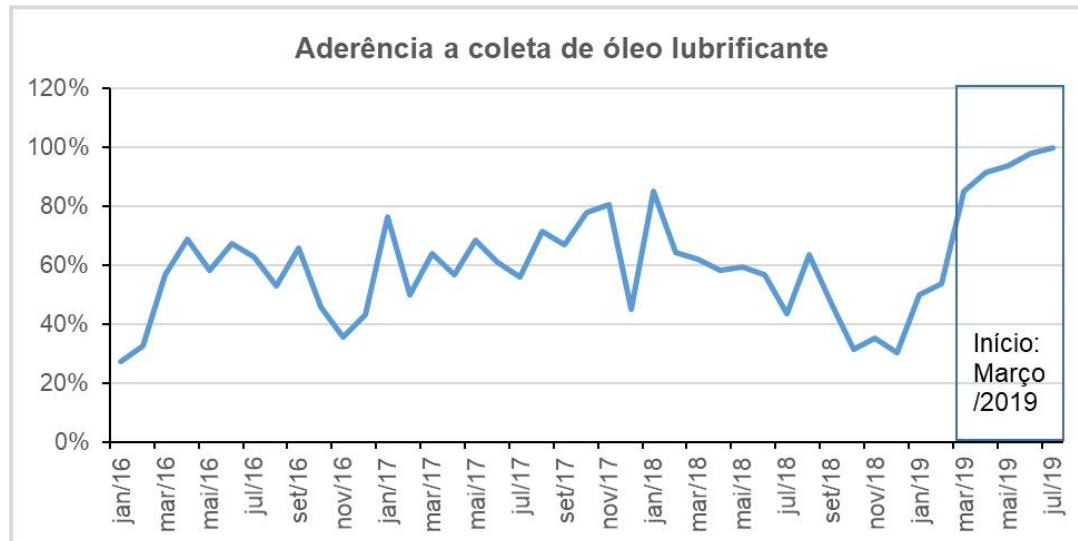
A figura 32 apresenta o indicador “Número de alarmes abertos”. A apuração dos dados realizada após março de 2019 demonstrou uma queda bastante positiva neste número, contabilizada em uma redução média de 19%.

Os fatores que levaram para tal queda são:

- i) A melhor gestão dos resultados, pois com a implementação do farol de resultados foi possível encerrar alarmes que ainda estavam sendo processados, porém a causa falha já havia sido tratada.
- ii) Implementação dos procedimentos e checklists, pois muitos defeitos não eram tratados por falta de conhecimento técnico e/ou baixa assertividade nos diagnósticos anteriores.

O indicador “Aderência a coleta de óleo lubrificante” também demonstrou evolução favorável. A figura 33 apresenta o histórico desde janeiro de 2016 até julho de 2019.

**Figura 30 - Aderência a coleta de óleo lubrificante pós projeto**



Fonte: Elaborado pelo autor

O indicador saiu de uma média de 56% de aderência anterior ao projeto para uma média de 95%, obtendo um ganho de 39 pontos percentuais. Desta forma pode se concluir que em média, 95% de uma frota, tem coletas realizadas dentro do período

estipulado pela engenharia. Isso garante melhor acompanhamento e eficiência para esta técnica de manutenção preditiva.

Os fatores que levaram para tal queda são:

- i) A melhor gestão dos resultados, pois com a implementação do farol de resultados foi possível acompanhar quais as locomotivas que estavam com atraso em suas coletas, e assim prioriza-las.
- ii) O desenvolvimento e divulgação do fluxograma geral do processo. Desta forma todos os colaboradores envolvidos entenderam em qual etapa do processo se situavam e assim permitiu melhor engajamento entre as equipes.

## 5.2 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mercado ferroviário, por ser parte de uma logística integrada (terminal de carregamento, ferrovia e portos) é necessário obter a maior redução de desperdícios no processo de movimentação de cargas. Frente a elevada complexidade, por menores que possam ser os impactos, os efeitos de eventuais falhas não esperadas são catastróficamente onerosos para a companhia. Buscar alternativas que possam cercar tais falhas inesperadas e garantir maior confiabilidade de ativos é o cerne desta monografia.

Conclui-se por meio deste trabalho que a técnica preditiva de análise de óleo lubrificante possui função estratégica na manutenção de locomotivas. Porém simplesmente realizar coletas de amostra de óleo e enviar para análise laboratorial pode ser um grande desperdício de recursos da companhia caso uma boa gestão de informação de resultados não for realizada.

É possível concluir também que a adoção de técnicas preditivas necessita ser implementada por empresas com a manutenção em estágio maduro. É imprescindível a presença de um “owner” (dono) para o processo que possa ser o líder do desenvolvido com outras áreas.

Além dos ganhos quantitativos mensurados na seção anterior, é possível relacionar os ganhos qualitativos por uma boa implementação de análise de óleo lubrificante:

- i) Maior confiabilidade de locomotivas
- ii) Maior disponibilidade de locomotivas
- iii) Manutenção melhor programada
- iv) Manutenção mais produtiva e eficiente
- v) Menor impactos por falhas não previstas em trecho
- vi) Redução no tempo de transito dos trens
- vii) Maior capacidade de transporte
- viii) Redução de custos com manutenção não programada
- ix) Redução de custos de oportunidade por máquina parada

Com relação aos objetivos propostos no início deste trabalho, pode-se concluir que o objetivo geral foi devidamente cumprido. Em relação aos objetivos específicos, conclui-se que foi possível identificar os elementos de contaminação, desgaste e aditivação característicos contidos em óleo lubrificante de motores diesel ferroviários. Através da revisão bibliográfica, foi possível realizar a correlação entre os elementos identificados no óleo lubrificante com as possíveis causas que possam estar originando tal anomalia.

Foi desenvolvido o painel gerencial dos resultados das análises de óleo lubrificante segregadas em faixas de tendência, anormalidade e gravidade por ativo. E em conjunto foram criadas as tarefas para combate de falhas (*troubleshoot*) em função de cada elemento identificado fora do padrão de normalidade. Deste modo suportando a tomada de decisão de engenheiros de manutenção.

Finalmente, conclui-se que o desenvolvimento deste trabalho contribuiu para o desenvolvimento acadêmico e profissional do autor. As disciplinas estudadas durante o curso de especialização MBA em Gestão de Ativos contribuíram de forma substancial para a elaboração do presente Trabalho de Conclusão de Curso.

### 5.3 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como sugestões e recomendações para trabalhos que possuam o tema correlacionado com os tópicos: técnica preditiva e manutenção ferroviária de locomotivas é possível explorar de forma mais detalhada os seguintes aspectos.

Aprofundar em técnicas de manutenção preditiva que podem ser executadas em inspeção de locomotivas como:

- i) Implementar a técnica de análise de vibrações mecânicas em equipamentos eletro rotativos
- ii) Implementar a técnica de termográfica em equipamentos e armários elétricos

Tais técnicas em conjunto subsidiarão cada vez mais a busca por maior previsibilidade nas manutenções programadas. Deste modo aumentando a interação com as células de planejamento e programação alcançando um dos principais objetivos da manutenção, a disponibilidade.

Além disto, viabilizar a correlação destas técnicas preditivas para construção de algoritmo de risco em linguagem computacional (exemplo: R). O resultado deste algoritmo será, em semelhança ao RPN (*risk priority number*), a criação de um *ranking* de criticidade de locomotivas.

Deste modo será possível realizar um gerenciamento de frota baseado em inputs de diversos sintomas captados por tais técnicas preditivas. O resultado será a criação de uma ferramenta que permita subsídio para a tomada de decisão de engenheiros de planejamento e manutenção.

## REFERÊNCIAS

- ALVES, L. F. N. **Determinação de metais em óleos lubrificantes utilizando a técnica de espectrometria de emissão óptica com plasma induzido por laser**. 2016. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Nuclear) – Instituto de pesquisas energéticas e nucleares, Universidade de São Paulo. 2016
- ARATO JR., A. **Manutenção preditiva usando análise de vibrações**. Barueri: Manole, 2004. 190 p.
- BRINA, H. L, **Estradas de ferro volume 1**. Ed. Associação brasileira de editoras universitárias, 1988
- BORBA, J. L., **Mecânica de Locomotivas**. Apostila PUC-Vale, 2008.
- CUNHA, R. C. **Análise do estado de conservação de um redutor de velocidade através da técnica de partículas de desgaste no óleo lubrificante auxiliada pela análise de vibrações**. 2005. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2005
- DAMA. The Data Management Association, **DAMA-DMBOK2 FRAMEWORK**, 06 de março de 2014. Disponível em: <https://dama.org/sites/default/files/download/DAMA-DMBOK2-Framework-V2-20140317-FINAL.pdf>. Acesso em: 18 dezembro de 2019.
- EMD, **Apostila de treinamento de motores a diesel**. Apostila, 2015
- ILOS, FLEURY, P. **Ferrovias brasileiras – dez anos de privatização**. Disponível em: [www.ilos.com.br](http://www.ilos.com.br), 2017
- GE, **Guia de inspeção e análise de casquilhos de motor diesel**. Apostila, 2010
- GE, **Apostila de treinamento de motores a diesel**. Apostila, 2018
- GIL, A. C. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.
- LOUZADA, Paula. **Dados e gerenciamento informações, qual a importância?** FM2S, 17 de agosto de 2017. Disponível em: <https://www.fm2s.com.br/gerenciamento-de-dados-e-informacoes-e-importante/> >. Acesso em: 18 dezembro de 2019.
- MORAN, M. J., SHAPIRO, H. N., BOETTNER, D. D., & BAILEY, M. B. **Princípios de Termodinâmica para Engenharia**. Rio de Janeiro: LTC. 2013
- SANTOS, R. A. dos. **Metodologia científica: a construção do conhecimento**. 7. ed. Rio de Janeiro: DP&A, 2007.