



UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENERGIA EM AMBIENTE
MESTRADO PROFISSIONAL EM ENERGIA E AMBIENTE

LIZANDRO DO AMARAL OLIVEIRA TERCEIRO

**IMPACTO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO DE VIA PERMANENTE E
ELETROELETRÔNICA NA LOGÍSTICA DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO**

São Luís – MA

2020

LIZANDRO DO AMARAL OLIVEIRA TERCEIRO

**IMPACTO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO DE VIA PERMANENTE E
ELETROELETRÔNICA NA LOGÍSTICA DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão, para obtenção do título de Mestre em Energia e Ambiente.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Sávio Mendes Sinfrônio

São Luís – MA

2020

LIZANDRO DO AMARAL OLIVEIRA TERCEIRO

**IMPACTO DO PROCESSO DE MANUTENÇÃO DE VIA PERMANENTE E
ELETROELETRÔNICA NA LOGÍSTICA DE TRANSPORTE FERROVIÁRIO**

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Francisco Sávio Mendes Sinfrônio (Orientador)

Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente (PPGEA/UFMA)

Prof. Dr. Paulo Henrique da Silva Leite Coelho

Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente (PPGEA/UFMA)

Prof. Dr. Mauro Sérgio Silva Pinto

Universidade Estadual do Maranhão

“A verdadeira viagem de descobrimento
não consiste em procurar novas paisagens,
mas em ter novos olhos”

Marcel Proust

Agradecimentos

A presente dissertação de mestrado não poderia ter êxito sem o precioso apoio de várias pessoas.

Em primeiro lugar, agradeço a Deus por me abençoar com tantos presentes majestosos, me dando até mais do que posso merecer. Sem essa força divina nenhuma conquista seria possível.

Não posso deixar de agradecer ao meu orientador, Professor Francisco Sávio Mendes Sinfrônio, por toda a paciência, empenho e sentido prático com que sempre me orientou neste trabalho. Muito obrigado por me ter corrigido quando necessário sem nunca me desmotivar.

Desejo igualmente agradecer a todos os meus colegas do Mestrado em Energia e Ambiente, especialmente a Jonas Carvalho, Luiz Gustavo Figueiredo e Yuri Vieira, cujo apoio e amizade estiveram presentes em todos os momentos.

Por último, quero agradecer à minha família e amigos pelo apoio incondicional que me deram, especialmente aos meus pais José Airton e Suzana Amaral, minha esposa Marcela Lima e minhas amadas filhas Elise Marie e Luma Cortez que foram de fundamental importância para a realização do trabalho e fonte de energia para a realização das diversas revisões ao longo da elaboração deste trabalho.

Resumo

Este trabalho visa apresentar o impacto do processo de manutenção de via permanente e eletroeletrônica em uma ferrovia de característica *Heavy Haul*. O estudo aponta o comparativo entre os formatos de manutenção básica, blocada e por distanciamento aplicados entre 2017 e 2019 (36 meses) através da avaliação dos indicadores de performance ferroviária. Foram consideradas as performances das falhas de via permanente e eletroeletrônica, do indicador trem hora parado, do indicador quilômetro médio entre paradas e por último o consumo específico, utilizando análise estatística com os testes ANOVA e de *Tukey*, através do software MATLAB® da MathWorks. A conclusão das análises permitiu indicar um rendimento melhor estabelecido para o formato de manutenção por distanciamento na ferrovia em estudo, ratificada nos testes apontados de acordo com as características indicadas nesses 3 anos de avaliação da base numérica causada pelo processo de aumento de capacidade (duplicação ferroviária).

Palavras-chave: Ferrovia *Heavy Haul*; manutenção; estatística; teste ANOVA; teste Tukey.

Abstract

This work aims to present the impact of the maintenance process of permanent and electro-electronic track in a Heavy Haul railway. The study points out the comparison between the basic, blocked maintenance and maintenance by distance formats applied between 2017 and 2019 (36 months) through the assessment of railway performance indicators. The performance of the failures of track and electro-electronic area, of the train hour stopped indicator, of the mean kilometer between stops indicator and the specific consumption yield were considered, using statistical analysis with ANOVA and Tukey tests, through the MATLAB® software by MathWorks. The conclusion of the analyzes allowed to indicate a better performance for the maintenance by distance format in the railway under study, ratified in the tests showed according to the characteristics indicated in these 3 years of evaluation of the numerical basis caused by the capacity increase process (railway duplication).

Key words: Heavy haul railway; maintenance; statistic; ANOVA test; Tukey test

Sumário

1. Introdução.....	1
2. Objetivos	3
2.1. Geral.....	3
2.2. Específicos	3
3. Referencial teórico	4
3.1. Estruturas Ferroviárias	4
3.2. Infraestrutura e Superestrutura ferroviária	6
3.2.1. Anomalias longitudinais.....	14
3.2.2. Anomalias transversais	15
3.2.3. Anomalias Superficiais.....	16
3.2.4. Anomalias em soldas e/ou juntas	17
3.2.5. Desgaste Boletó.....	18
3.2.6. Anomalias dos elementos de fixação	18
3.2.7. Anomalias nos Dormentes	19
3.2.8. Anomalia no lastro ou sublastro	21
3.3. Métodos de manutenção e via permanente	22
3.4. Processo de planejamento circulação de trens	24
3.5. Regras de manutenção ferroviária	27
4. Metodologia	28
5. Resultados e Discussões	30
5.1. Premissas de manutenção na ferrovia em estudo	30
5.1.1 Formatos de manutenção básico e bloqueado	33
5.1.2 Formato de manutenção por distanciamento.....	37
5.2. Análise quantitativa dos indicadores de manutenção	42
5.2.1. Tempos de Manutenção por modelo	43
5.2.2. Comportamento das falhas VP e Eletroeletrônica.....	46
5.2.3. Análise quantitativa do THP (trem hora parado).....	51
5.2.4. Análise quantitativa do KMEP (Quilômetro Médio Entre Paradas)	53
5.2.5. Análise quantitativa do Consumo Específico (Eficiência Energética).....	54
5.3. Análise Estatística das Variáveis em estudo	56
5.4. Teste T para os indicadores sem o efeito das obras de expansão.....	71
6. Conclusões	76

7. Referências bibliográficas 79

Lista de figuras

Figura 1 – Fluxograma de subsistemas de ferrovia.	4
Figura 2 – Representação esquemática dos componentes de Infraestrutura ferroviária.....	6
Figura 3 – Representação esquemática da composição de trilho.....	7
Figura 4 – Representação esquemática da bitola.	8
Figura 5 – Representação esquemática do retensor de linha (adaptado).....	9
Figura 6 – Representação esquemática dos elementos de fixação.	9
Figura 7 – Exemplo de dormentes de aço suportando trilhos ferroviários.	10
Figura 8 - Representação esquemática do aparelho de mudança de via. Visão (a) frontal e (b) superior.	11
Figura 9 - Representação esquemática do desnivelamento (a) longitudinal e (b) transversal.....	13
Figura 10 – Representação esquemática das trincas em trilhos.....	14
Figura 11 - Representação esquemática das trincas na concordância boleto/alma e alma/patim (adaptado).	15
Figura 12 - Representação esquemática da trinca estelar na furação.	15
Figura 13 – Representação esquemática da junta metálica.	17
Figura 14 – Exemplos de desgaste ondulatório (a) curto e (b) longo.....	18
Figura 15 - Processo de colmatação de lastro.	21
Figura 16 – Fluxograma das ações de manutenção de via permanente e suas atividades.	23
Figura 17 – Exemplo do planejamento da circulação ferroviária utilizando um gráfico de trens.	24
Figura 18 – Exemplo de circulação de trens em linha singela com pátio de cruzamento.....	25
Figura 19 - Planejamento de circulação.....	26
Figura 20 – Exemplo de circulação ferroviária em linha dupla (adaptado).	26
Figura 28 – <i>Timeline</i> das premissas de manutenção na ferrovia em estudo.....	31
Figura 29 – Evolução do processo de expansão na Ferrovia em estudo.	32
Figura 30 – Mapa esquemático da ferrovia do tipo <i>Heavy Haul</i> em estudo.	33
Figura 31 – Mapa de manutenção por dia da semana – modelo genérico.	35
Figura 32 – Ocupação dos TU por um bloco de manutenção.	37
Figura 33 – Classificação e distanciamento em zonas quentes e frias.	40
Figura 34 – Relação entre a produção do Trem Esmerilhador e os Impactos por Incêndio.....	41

Figura 35 – Resumo comparativo entre formatos de manutenção ferroviária avaliados.....	42
Figura 36 – Manutenção concedida em horas.....	44
Figura 37 – <i>Boxplot</i> dos tempos totais de manutenção por modelo de gestão.	45
Figura 38 – Comportamento de falhas VP (2017 - 2019).	46
Figura 39 – Distribuição falhas VP por modo.....	47
Figura 40 – <i>Boxplot</i> Falhas VP por formato de manutenção.	48
Figura 41 – Distribuição falhas da Eletroeletrônica (2017 a 2019).	49
Figura 42 – Estratificação das falhas da Eletroeletrônica por sistema (2017 a 2019).....	50
Figura 43 – <i>Boxplot</i> das falhas da Eletroeletrônica por formato de manutenção.	50
Figura 44 – Distribuição do THP Total e THP Manutenção por ano (2017 a 2019).....	52
Figura 45 – <i>Boxplot</i> do THP Manutenção por modelo (2017 a 2019).	53
Figura 46 – Distribuição do KMEP ao longo dos meses (2017 a 2019).....	54
Figura 47 – Distribuição do Consumo Específico ao longo do período estudado.	55
Figura 48 – <i>Boxplot</i> da Eficiência Energética por formato de manutenção.	56
Figura 49 – Gráfico de Resíduos e Intervalos de Falhas VP <i>versus</i> Formato.....	57
Figura 50 – Detalhamento ANOVA para Falhas de Via Permanente (VP) <i>versus</i> Formato.....	58
Figura 51 – Detalhamento teste <i>Tukey</i> para Falhas de Via Permanente (VP) <i>versus</i> Formato.	59
Figura 52 – Gráfico de Resíduos e Intervalos de Falhas EE <i>versus</i> Formato.	60
Figura 53 – Detalhamento ANOVA para Falhas de Eletroeletrônica (EE) <i>versus</i> Formato.	61
Figura 54 – Detalhamento teste <i>Tukey</i> para Falhas EE <i>versus</i> Formato.....	62
Figura 55 – Gráfico de Resíduos e Intervalos de THP Manutenção <i>versus</i> Formato.....	63
Figura 56 – Detalhamento ANOVA para THP Manutenção <i>versus</i> Formato.....	64
Figura 57 – Detalhamento teste <i>Tukey</i> para THP Manutenção <i>versus</i> Formato.	65
Figura 58 – Gráfico de Resíduos e Intervalos para KMEP <i>versus</i> Formato.	66
Figura 59 – Detalhamento ANOVA para KMEP <i>versus</i> Formato.	67
Figura 60 – Detalhamento teste <i>Tukey</i> para KMEP <i>versus</i> Formato.	68
Figura 61 – Gráfico de Resíduos e Intervalos para Eficiência Energética <i>versus</i> Formato.	69
Figura 62 – Detalhamento ANOVA para eficiência energética.	70
Figura 63 – Detalhamento teste <i>Tukey</i> para Eficiência Energética <i>versus</i> Formato.	71
Figura 64 – Teste T para Falhas VP em função do formato de manutenção.	72
Figura 61 – Matriz resumo das análises estatísticas para os formatos de manutenção.	73

Lista de tabelas

Tabela 1 - Características gerais dos dormentes (adaptado).....	20
Tabela 2 – Demanda de manutenção ferroviária.....	38

Lista de abreviaturas e siglas

AMV	Aparelho de Mudança de Via
ANOVA	Análise de Variância
ANTF	Associação Nacional de Transportes Ferroviários
AREMA	<i>American Railway Engineering and Maintenance-of-way Association</i>
BHC	<i>Bolt Hole Crack</i> ou Trinca estelar na furação
BOL	Bolha
CAN	Canoa
CAR	Caroço
CDV	Circuito de Via
CHW	<i>Cracking at Head/web fillet radius</i> ou Trinca na concordância Boletó/Alma
CMF	Compound Fissure ou Fratura Composta
CWF	<i>Cracking at web/foot fillet radius</i> ou Trinca na concordância Alma/Patim
DFR	<i>Detail Fracture</i> ou Fratura de Fragmentação
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
FSA	Fratura em Solda Aluminotérmica
FSE	Fratura em Solda Elétrica
FTR	Fratura em Trilho
GMG	Grupo Motor Gerador
GT	Gráfico de Trens
HCR	<i>Horizontal Crack</i> ou Trinca Horizontal
ISF	Instruções de Serviços Ferroviários
KMEP	Quilômetro Médio entre Paradas
KTKB	Mil Toneladas Quilômetro Bruto
MC	Manutenção Corretiva
MCH	Máquina de Chave
MPC	Manutenção Preventiva Condicional
MPS	Manutenção Preventiva Sistemática

OAE	Obras de Arte Especiais
PCz	Pátio de Cruzamento
RCF	<i>Rolling Contact Fatigue</i> ou Fadiga de Contato Rolante
TD	<i>Transverse Defect</i> ou Trinca transversal
THP	Trem Hora Parado
TRF	<i>Transversal Fissure</i> ou Fratura Transversal
TU	Travessão Universal
UIC	<i>International Union of Railways</i>
US	Ultrassom
VCR	<i>Vertical Crack</i> ou Trinca Vertical

1. Introdução

O modal ferroviário de cargas é um dos sistemas de logística mais importantes para a manutenção do transporte de carga no mundo moderno. Desta forma, vários países têm investido fortemente em modais ferroviários estruturados no intuito de facilitar a mecânica de distribuição ao longo de toda a malha comercial. No Brasil, devido a recentes hiatos no transporte de mercadorias via modal rodoviário, vários grupos vêm discutindo novas estratégias para o desenvolvimento do setor de transportes ferroviário com foco em uma matriz melhor equilibrada, mais eficiente, competitiva e segura.

Nas últimas duas décadas, após o marco de concessões iniciadas no país, o setor privado investiu cerca de R\$ 4,4 bilhões anuais em na infraestrutura no modal ferroviário, totalizando mais de R\$ 92 bilhões nesse período (ANTF, 2018). Em consequência, houve o aumento significativo de produção (170%) em tonelada quilômetro útil (TKU), fato este que resultou no aumento do número de empregos diretos e/ou indiretos, bem como duplicação do número de contêineres movimentados. Não obstante, houve evolução na frota de material rodante, com o aumento do número de locomotivas (176%), do número de vagões operantes (154%) e recuo nos índices de acidentes (86%) (ANTF, 2018).

Comparando-se os modais terrestres, é possível perceber que o modal ferroviário se sobressai em relação ao modal rodoviário, em função dos baixos custos de transporte e por ser a solução ambientalmente mais correta, uma vez que as ferrovias possuem menor taxa de emissão atmosférica de carbono por tonelada transportada.

Um vagão graneleiro, por exemplo, tem a capacidade de transportar a mesma quantidade de soja que 2,5 caminhões bi-trens, consumindo apenas 30% do combustível que seria requerido pelo equivalente rodoviário. Com esses índices, o transporte ferroviário torna-se 52% mais barato (R\$ 89,18 *versus* R\$187,46 para granel sólido agrícola, por mil TKU) e 66% menos poluente do que o modal rodoviário (ANTF, 2018).

De maneira geral, os custos de transporte mais elevados ocorrem na seguinte ordem estabelecida: modal aéreo, rodoviário, ferroviário e hidroviário. Além disso, os fatores operacionais: velocidade, consistência, capacidade, disponibilidade e frequência de atendimento, são amplamente empregados na avaliação dos modais de transporte segundo características e demandas de mercado.

Vale observar que a manutenção dos níveis aceitáveis de velocidade, capacidade e disponibilidade, em ferrovias, é influenciada pelas ações de manutenção preventiva, em especial daquelas voltadas ao controle das falhas e defeitos rotineiros.

Desta forma, as novas políticas de manutenção apresentam uma visão mais ampla dos componentes organizacionais, levando em consideração a segurança, a integridade ambiental, a eficiência energética e a qualidade do produto ou prestação do serviço. Assim, tais políticas têm como objetivo executar intervenções preventivas de forma a garantir a disponibilidade operacional sempre que necessário.

No ambiente da prestação de serviços de logística ferroviária, a confiabilidade dos equipamentos e o tempo de ocupação da via de circulação são os indicadores de qualidade mais empregados. Assim, uma baixa confiabilidade de um ativo de via permanente, por exemplo, pode implicar em falhas prematuras e, conseqüentemente, interrupções de circulação e na pontualidade do sistema de transporte. Vale pontuar que o principal desafio do modal ferroviário é manter esses níveis de previsibilidade operacional de forma a trazer um nível de prestação de serviço satisfatório e demonstrar para os seus potenciais usuários, os benefícios de transportar carga por meio de uma ferrovia. Neste contexto, o gerenciamento do modal ferroviário, principalmente no caso das chamadas *Heavy Hauls*¹, deve buscar o equilíbrio entre as intervenções de manutenção nas vias de circulação e a capacidade operacional de escoamento de carga na prestação de seus serviços.

Desta forma, este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto da manutenção de via permanente na logística de transporte ferroviário de minério ferroso.

¹ Segundo classificação do IHHHA (*International Heavy Haul Association*), as ferrovias *Heavy Haul* são aquelas que operam trens unitários ou combinados com carga maior ou igual a 5000 toneladas métricas (carga por eixo maior ou igual 25 toneladas) e que apresentem planos de escoamento de carga maior ou igual 20 milhões de toneladas por ano, numa extensão mínima de 159 km.

2. Objetivos

2.1. Geral

Avaliar o impacto dos processos de manutenção de via permanente na logística de transporte ferroviário de produto mineral ferroso.

2.2. Específicos

- Determinar possíveis problemas associados a via permanente de uma ferrovia *Heavy Haul*;
- Mapear quais seriam os problemas de eletroeletrônica mais comuns em uma ferrovia *Heavy Haul*;
- Avaliar o impacto das políticas de manutenção nos indicadores operacionais de uma ferrovia *Heavy Haul*;
- Apresentar ferramentas de análise dos indicadores ferroviários como forma de conferir o desempenho dos formatos de manutenção da ferrovia em estudo.

3. Referencial teórico

3.1. Estruturas Ferroviárias

O modal ferroviário possui uma estrutura de suporte às atividades conhecida como via férrea, podendo ser classificada como um bem público ou privado. Este modal apresenta características de utilização em elevado grau, gestão por empresas especializadas com direito exclusivo de exploração através de concessão pelo poder público e funcionamento similar ao de uma prestadora de serviços de transporte (NETO, 2019).

Do ponto de vista forma, as ferrovias são compostas por quatro subsistemas básicos (Energia Elétrica, Eletrônica, Civil e Material Rodante) sendo cada uma destas responsáveis por diferentes setores correspondentes, conforme apresentado na Figura 1 (COIMBRA, 2008).

Figura 1 – Fluxograma de subsistemas de ferrovia.



Fonte: COIMBRA (2008).

O subsistema de energia elétrica tem o objetivo de suprir a energia de toda a estrutura ferroviária, incluindo as estações, oficinas, setores administrativos e de suporte operacional. Para tanto, a demanda elétrica mais representativa é suportada pela operadora de energia elétrica local, através da alimentação das subestações da ferrovia (SUCENA, 2002).

Já o subsistema relacionado à eletrônica é comumente responsável pelo controle de tráfego e comunicações para as atividades ferroviárias (COIMBRA, 2008). Desta forma, o setor de sinalização deve propiciar mecanismos para a prevenção de acidentes ferroviários, garantindo as seguintes premissas:

- Estabelecer um distanciamento seguro entre dois ou mais trens, de forma a propiciar paradas seguras entre os mesmos e, conseqüentemente, evitando colisões entre as composições;
- Impedir condições operacionais entre rotas colidentes de circulação, evitando assim que dois ou mais trens circulem para um mesmo segmento da ferrovia em sentidos opostos;
- Estabelecer velocidades de circulação controladas, permitindo assim a ativação automática dos sistemas de frenagem das composições em caso de avanço da velocidade permitida (SUCENA, 2002).

Por outro lado, o setor de telecomunicações é formado por sistemas e equipamentos específicos que permitem a integração das diversas áreas operacionais de um ferrovia, mediante transmissão avançada de dados e voz (COIMBRA, 2008).

O subsistema material rodante é responsável pela manutenção da frota de veículos de uma ferrovia. Neste estão alocados a subdivisão de veículos ferroviários responsável pela capacidade tratora dos mesmos, operado nos segmentos de material de tração (locomotivas, autos de linha, equipamentos de via permanente, etc.) e de material rebocado (vagões, carros de passageiros, veículos especiais, etc.) (COIMBRA, 2008).

As áreas de Edificações, Obras de Arte e Linha Férrea fazem parte das subdivisões do subsistema Civil. Dessa forma, as construções empregadas na ferrovia, com o intuito de suportar a permanência de equipamentos, insumos e recursos humanos podem ser classificadas como instalações operacionais, de manutenção ou administrativas. Já as Obras de Arte são representadas pelas construções que permitem a operacionalização de uma estrada de ferro (pontes, túneis, bueiros, sistemas de drenagem, entre outros). Já a Linha Férrea pode ser definida como o conjunto de

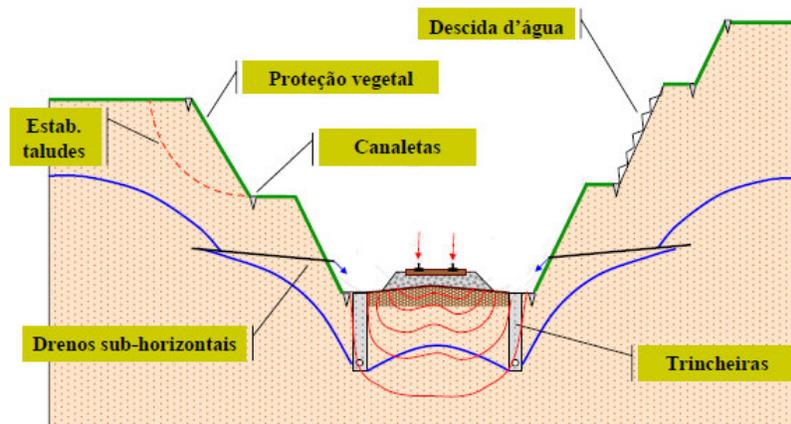
construções, instalações e equipamentos com o objetivo de estabelecer o tráfego de veículos ferroviários. (SUCENA, 2002).

3.2. Infraestrutura e Superestrutura ferroviária

As obras de terraplenagem, obras de arte corrente e obras de arte especiais, são elementos que constituem a Infraestrutura ferroviária, localizadas basicamente abaixo do *grade* de terraplenagem (NETO, 2019).

A Infraestrutura de uma ferrovia pode ser considerada um complexo de obras dedicadas à construção da plataforma da estrada de ferro, servindo de suporte à via permanente e com o objetivo de manter o traçado da linha conforme projeto e em condições favoráveis de tráfego. Os principais elementos que compõem a infraestrutura são: as obras de aterro, corte, drenagem, pontes, viadutos, túneis, etc. (Figura 2) (COIMBRA, 2008).

Figura 2 – Representação esquemática dos componentes de Infraestrutura ferroviária.



Fonte: SUCENA (2002).

No intuito de desenvolver uma geometria de via estável e, conseqüentemente, uma menor susceptibilidade à acidentes ferroviários, a Infraestrutura serve de suporte para a Via Permanente, especialmente nas camadas mais superficiais da terraplanagem (COIMBRA, 2008).

Por outro lado, a superestrutura ferroviária é composta pelos trilhos, dormentes, fixações e lastro. Além destes quatro elementos, alguns autores incluem o sublastro como o quinto componente da superestrutura. Devendo pontuar que, nas estradas de ferro mais antigas, o lastro ficava acomodado diretamente sobre o subleito natural, não sendo empregadas camadas de sublastro (SILVA, 2016).

Neste contexto, a superestrutura de uma ferrovia é responsável por receber os esforços diretos do escoamento de carga, através dos trilhos, acessórios de fixação, aparelhos de mudança de via, dormentes, lastro e sublastro (CÉZAR, 2018).

Os trilhos são elementos de via permanente que têm o objetivo de guiar os veículos ferroviários para um determinado trajeto. Para tanto, os trilhos se comportam como um conjunto de vigas metálicas contínuas que ao serem submetidos aos esforços, efetuam a transferência dos mesmos para os dormentes (SILVA, 2016). Além disso, os trilhos possuem funções adicionais tais como fornecer uma superfície de rolamento estruturada, distribuir as forças de aceleração e frenagem, além de suportar na condução de corrente elétrica para os circuitos de segurança da via (KLINCEVICIUS, 2011).

O perfil mais comum utilizado nas vias de circulação ferroviária é do tipo Vignole (Figura 3), tendo sua composição estabelecida pela NBR 7590.

Figura 3 – Representação esquemática da composição de trilho.

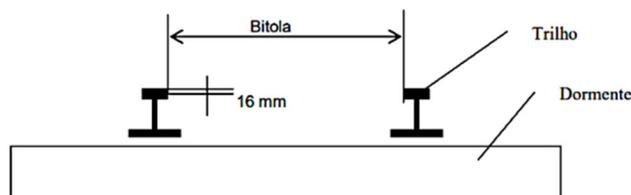


Fonte: MÂCEDO (2009).

Como representado na figura anterior, o boleto é responsável pelo suporte e deslocamento da roda de um veículo ferroviário. Já a alma é o elemento de sustentação posicionado entre o boleto e o patim, sendo este último a base do trilho que recebe os elementos de fixação para integração junto aos dormentes (MÂCEDO, 2009).

A adequada circulação de veículos ferroviários sobre os boletos dos trilhos depende do correto dimensionamento da bitola, sendo esta uma medida geométrica da distância entre as faces internas dos dois trilhos, considerando o ponto a 16 mm abaixo do topo do boleto (Figura 5) (NETO, 2019).

Figura 4 – Representação esquemática da bitola.



Fonte: NETO (2019).

Neste conjunto, as placas de apoio são responsáveis por manter a união dos trilhos junto aos dormentes, gerando o prolongamento da vida útil dos dormentes e absorção mais uniforme das cargas sobre os dormentes (SUCENA, 2002).

As fixações de linha podem ser classificadas como rígidas e elásticas. A fixação rígida é formada pela utilização de elementos metálicos tais como pregos, grampos de linha (*tirefonds*), com o objetivo de manter a bitola. Estes, por sua vez, são bloqueados por uma peça metálica conhecida com retensor de linha, que é instalada no patim do trilho e apoiada na lateral do dormente, a fim de evitar o movimento longitudinal (escorregamento do trilho sobre o dormente) (Figura 5). Além disso, é comum nesse tipo de fixação, a presença de arruelas de pressão que tem como missão evitar a perda da pressão dos elementos, em função da vibração na linha proveniente da passagem da carga (SUCENA, 2002).

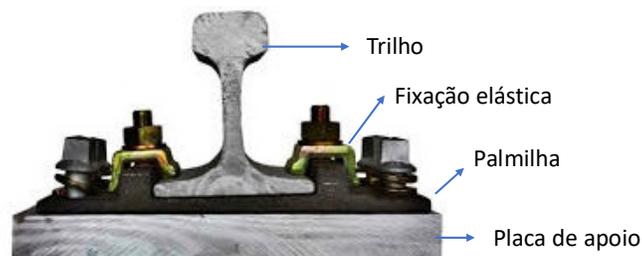
Figura 5 – Representação esquemática do retensor de linha (adaptado).



Fonte: DNIT (2016a).

Já a fixação elástica é mais eficiente pois permitir movimentos transversais e longitudinais, mesmo que de forma limitada, quando comparada à fixação rígida. Apesar de haver vários tipos de fixação elástica, os mais comuns são os que utilizam grampo elástico simples e duplo e fixação *Pandrol* (Figura 6) (SUCENA, 2002).

Figura 6 – Representação esquemática dos elementos de fixação.



Fonte: Adaptado de DNIT (2016b); SUCENA (2002).

Por fim, as palmilhas são elementos isolantes para ferrovias que utilizam o sistema de sinalização, ou seja, condução elétrica por meio dos trilhos. Além disso, são elementos com boa resiliência mecânica que auxiliam na redução das vibrações transmitidas à infraestrutura e conseqüentemente reduzem ruídos acústicos durante a passagem dos veículos ferroviários (SUCENA, 2002).

Por sua vez, os dormentes são elementos da superestrutura ferroviária que recebem e repassam esforços mecânicos provenientes da carga transportada para o lastro, de maneira uniforme, além de servir como apoio para a padronização da distância entre trilhos (NETO, 2019).

Assim, fatores como dimensão, comprimento e largura são determinantes para suportar de forma adequada os esforços transmitidos ao lastro, sem que sejam ultrapassados os limites previamente estabelecidos. Além disso, os dormentes devem ter rigidez à elasticidade de carga, vida útil elevada, capacidade de fixação do trilho e resistência à deslocamentos laterais e longitudinais (COIMBRA, 2008).

Os dormentes podem variar quanto a natureza de fabricação podendo ser fabricados com madeira, aço, concreto ou outros polímeros (Figura 7). Além disso, os dormentes de concreto podem ser classificados como monobloco (c1), bibloco (c2) e polibloco (c3) (NETO, 2019).

Figura 7 – Exemplo de dormentes de aço suportando trilhos ferroviários.



Fonte: NETO (2019); COIMBRA (2008).

Vale observar que já existem dormentes de plástico reciclado presente nas instalações metroviárias, apresentando benefícios importantes sob a óptica de sustentabilidade, capacidade de manutenção, susceptibilidade a intempéries, integridade física e vida útil, quando comparado ao dormente de eucalipto (SOUZA *et al*, 2015).

De modo similar, o sublastro é uma camada de material granular que fica localizada entre o lastro e subleito, agindo como filtro mecânico, de forma a prevenir a penetração de material indesejado no lastro. Dessa forma, o sublastro tem o objetivo de amortecer o impacto das cargas

provenientes do transporte, evitar a contaminação por lama, do lastro e por último e economia de material no processo construtivo (KLINCEVICIUS, 2011).

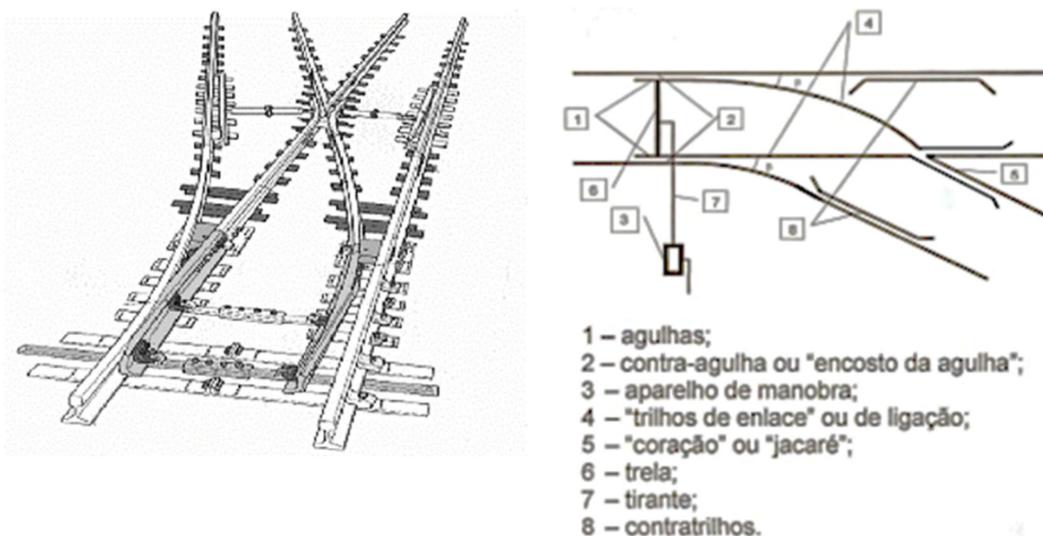
Além disso, o sublastro é considerado uma camada superior da infraestrutura com características especiais quando comparado à superestrutura de uma maneira geral, apresentando o aumento da capacidade de suporte da plataforma, economia de material empregado para a construção da plataforma, proteção do lastro da plataforma, aumento da resistência do leito à erosão e à penetração da água e permissão de uma elasticidade ao apoio do lastro (CÉZAR, 2018).

O lastro, por sua vez, é uma camada de material granulado alocado abaixo dos dormentes, de forma a envolvê-los parcialmente, e que melhoram a distribuição de carga no solo e aplicar resistência aos esforços laterais, longitudinais e verticais. Não obstante, os espaços vazios entre os grãos do material que forma o lastro, servem para facilitar a drenagem da água na via (SILVA, 2016).

Os aparelhos de mudança de via (AMV), vulgarmente denominados de chaves, são responsáveis pela transição dos veículos ferroviários de uma linha para outra ou para algum desvio ferroviário, sendo necessário a formação de canais que permitem a livre passagem dos rodeiros e, conseqüentemente, de seus frisos (NETO, 2019).

Estes dispositivos são compostos por elementos, dentre eles: agulhas, trilhos de encosto e acessórios e o jacaré com as pernas de cruzamento, contratrilhos e trilhos de ligação (Figura 8) (CÉZAR, 2018).

Figura 8 - Representação esquemática do aparelho de mudança de via. Visão (a) frontal e (b) superior.



Fonte: Adaptado de COIMBRA (2008).

O Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT, 2015) especifica os principais componentes do AMV, conforme ISF-215:

- **Chave:** usualmente conhecida como grade de agulhas é formada pela agulha, trilhos de encosto e pelos acessórios de forma a montar uma estrutura que permita a passagem e condução dos veículos ferroviários de uma linha ferroviária para outra.
- **Aparelho de manobra:** é o componente operado manualmente ou automaticamente que permite o direcionamento das agulhas de um lado para outro.
- **Trilho de enlace ou ligação:** região do equipamento que interliga a chave ao coração do aparelho de mudança de via.
- **Coice:** componente que deixa a articulação da agulha com o trilho de ligação.
- **Coração ou Jacaré:** componente que permite a passagem do veículo ferroviário entre os trilhos de uma via para os trilhos da outra.
- **Calço:** elemento utilizado na região do AMV com o objetivo de manter espaçamento adequado entre os trilhos e trilhos de encosto ou agulha e contra agulha.
- **Coxins:** componente em forma de placa que é instalada sob as agulhas que permite o deslizamento das mesmas em sua face superior.
- **Contra agulha:** elemento de encosto da agulha.
- **Contratrilho:** elementos de proteção na região do jacaré ou coração de forma a evitar a colisão da roda de um veículo ferroviário contra o jacaré ou agulha.

Além disso, os aparelhos de mudança de via podem ainda serem classificações de acordo com o modelo construtivo, a citar:

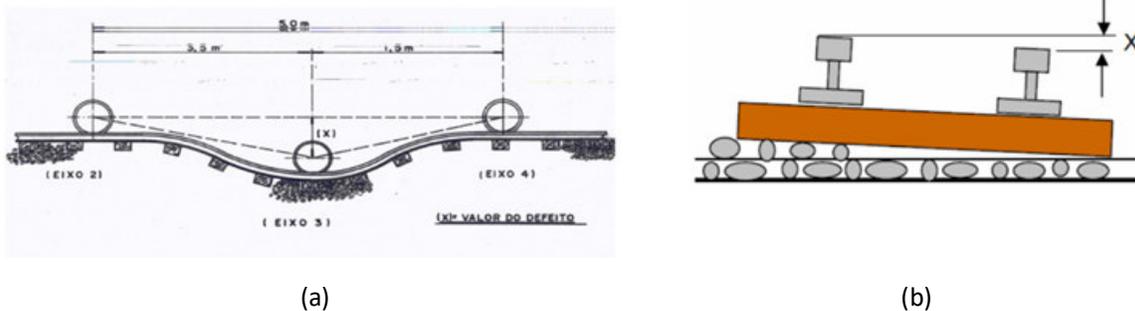
- **AMV com derivação lateral:** AMV com uma das linhas em tangente e outra derivando para a esquerda ou direita;
- **AMV simétrico:** aparelho de mudança de via com derivação de mesma angulação referenciado pela tangente de entrada;

- **AMV assimétrico:** aparelho de mudança de via com derivação de linhas em ângulos diferenciados, referenciada pela tangente de entrada;
- **AMV híbrido:** aparelho de mudança de via onde são aplicados componentes que atendem duas normas diferentes (UIC – *International Union of Railways* e AREMA – *American Railway Engineering and Maintenance-of-way Association*);

Alguns fatores podem influenciar no processo de desnivelamento transversal ou longitudinal da ferrovia, como por exemplo, a presença de dormente laqueado, juntas desniveladas, bolsões de lama, entre outros (SILVA, 2016).

O desnivelamento longitudinal é medido através da comparação entre os valores de cotas estimadas do projeto inicial e as cotas reais de cada trilho (Figura 9a) (SILVA, 2016). Por outro lado, o desnivelamento transversal é dado através da medida proveniente da comparação do nivelamento de um trilho em relação aos adjacentes mediante extrapolação do valor de referência (Figura 9b).

Figura 9 - Representação esquemática do desnivelamento (a) longitudinal e (b) transversal.



Fonte: (CÉZAR, 2018).

Já em relação aos trilhos, os problemas comumente observados podem ter caráter interno (defeitos metalúrgicos de sua fabricação) ou externo (uso e desgaste operacional dos trilhos) sendo, no primeiro caso, observadas as seguintes manifestações prévias frente a ocorrência da fratura propriamente dita: anomalias longitudinais (ocorre ao longo do trilho), transversais (incidem no

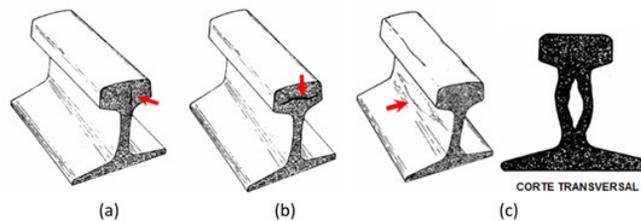
sentido perpendicular ao trilho) e verticais (ocorrem de baixo para cima ou *vice-versa*), anomalias superficiais, irregularidades nas soldas e juntas e desgastes na área do boleto (COIMBRA, 2008).

3.2.1. Anomalias longitudinais

Como supracitado, as anomalias longitudinais usualmente ocorrem ao longo do plano da estrutura do trilho, sendo suas trincas são propagadas em sentidos diferentes. Em consequência, as trincas identificadas nos trilhos são classificadas como:

- a) **Trinca vertical (*Vertical Crack - VCR*)**: surgem na região central do boleto, com desenvolvimento longitudinal progressivo e crescimento acelerado após afloramento da trinca (Figura 10a);
- b) **Trinca horizontal (*Horizontal Crack - HCR*)**: desenvolvem no sentido paralelo ao topo de boleto, apresentando crescimento acelerado (Figura 10b);
- c) **Bolha (*BOL*)**: é caracterizada por uma fenda vertical na região da alma do trilho devido presença de gás e/ou vazios em sua estrutura física (Figura 10c);

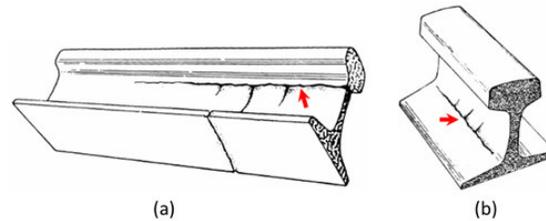
Figura 10 – Representação esquemática das trincas em trilhos.



Fonte: adaptado de COIMBRA (2008).

- d) **Trinca na concordância boleto/alma (*Cracking at head/web fillet radius - CHW*)**: tem início na face externa dos trilhos na região de transição entre o boleto e alma (Figura 11a);
- e) **Trinca na concordância alma/patim (*Cracking at web/foot fillet radius - CWF*)**: pode gerar a separação da alma do patim, oferecendo sinais de surgimento na face externa do trilho (Figura 11 b);

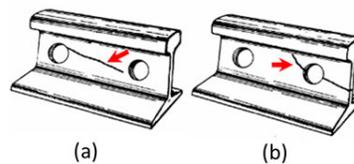
Figura 11 - Representação esquemática das trincas na concordância boleto/alma e alma/patim (adaptado).



Fonte: adaptado de COIMBRA (2008).

- f) **Trinca estelar na furação (Bolt Hole Crack - BHC):** tem surgimento a partir do furo de fixação da tala, podendo ter propagação para outro ponto mais frágil do trilho tal como o furo seguinte (Figura 12a) ou para a região do patim ou boleto (Figura 12b).

Figura 12 - Representação esquemática da trinca estelar na furação.



Fonte: Adaptado de COIMBRA (2008).

3.2.2. Anomalias transversais

São anomalias apresentadas nos trilhos, que após o avanço, pode incorrer na fratura transversal. Estas são usualmente identificadas através de técnicas de ultrassom, sendo classificadas pelas características de propagação das trincas, a citar:

- a) **Trinca transversal (Transverse Defect - TD):** apresenta o crescimento da trinca de forma mais lenta até que seu tamanho aumente para cerca de 20 a 25% da área do boleto.

Posteriormente evoluindo, de forma mais rápida, para até a completa fratura (CÉZAR, 2018);

- b) **Fratura Transversal (*Transversal Fissure* - TRF):** é representada por uma fratura de formato oval ou circular, com ou sem brilho, gerada a partir de um núcleo ou centro cristalino no interior do boleto;
- c) **Fratura de Fragmentação (*Detail Fracture* - DFR):** é resultado de uma separação de material, no sentido longitudinal na superfície de rolamento;
- d) **Fratura Composta (*Compound Fissure* - CMF):** é formada pela ruptura transversal de uma trinca que progrediu a partir do boleto (SCHNEIDER, 2005). Na Fratura Composta, a trinca tem origem na anomalia interna que inicialmente avança de forma mais lenta até atingir um tamanho entre 30 e 35% da área do boleto (COIMBRA, 2008).

3.2.3. Anomalias Superficiais

As anomalias superficiais surgem na região da superfície de rolamento (face superior do boleto), não sendo estas perceptíveis através de inspeções visuais. As anomalias de superfície mais comuns são: escamação do boleto, *shelling* na superfície do boleto, patinagem, escoamento, esmagamento do boleto, sulco do boleto, fissuração, estilhamento e despedaçamento de canto de bitola (COIMBRA, 2008). Além disso, é possível classificar algumas anomalias superficiais como defeitos de fadiga de contato rolante (*Rolling Contact Fatigue* – RCF), sendo estas notadas por:

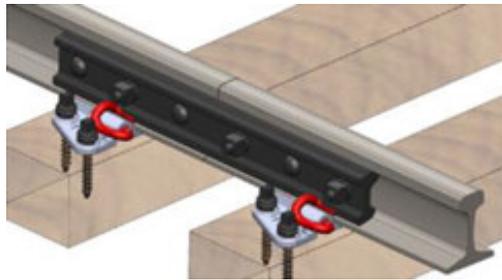
- a) ***Cracking*:** fissuras de tamanho reduzido na superfície do trilho (PEDRONI, 2008);
- b) ***Head Checks*:** fissuras na região do boleto, especialmente na região de medição da bitola;
- c) ***Shelling*:** despedaçamento do canto do boleto, especialmente na região de medição da bitola;
- d) ***Flaking*:** escamação de boleto;
- e) ***Spalling*:** fragmentação da região do canto do boleto, especialmente na região de medição de bitola.

3.2.4. Anomalias em soldas e/ou juntas

As perturbações mais comuns nas regiões de junção dos trilhos por solda são chamadas de caroço (CAR) e canoa (CAN). Essas são representadas por superfícies corrugadas de ondas curtas que, em função da passagem de trens sobre, geram ruídos e em condições operacionais trazem a sensação de circulação em região conexão dos trilhos com dispositivos mecânicos com aspecto de vibração semelhante a região de juntas metálicas. Essas superfícies corrugadas são formadas por depressões (CAN) ou pontos elevados (CAR) com 5 - 10 cm de comprimento e cerca de 1 mm de profundidade, sendo geradas em regiões que sofre processos de soldagem (COIMBRA, 2008).

As juntas mecânicas ou juntas metálicas são talas utilizadas na região da alma do trilho (em ambos os lados) que, ao serem parafusadas, realizam a junção dos trilhos de forma a garantir segurança na passagem dos trens (Figura 13). Essas juntas apresentam folgas provenientes do processo de dilatação dos trilhos, que com a passagem dos rolos, geram sequências de choques e, em consequência, desnivelam na região da junta (LORENZ, 2018).

Figura 13 – Representação esquemática da junta metálica.



Fonte: ALMEIDA; DIAS (2019).

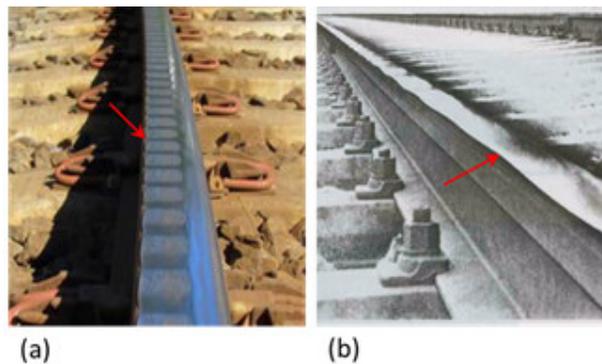
A trinca em solda elétrica e trinca em solda aluminotérmica são anomalias bastante conhecidas no ambiente ferroviário, podendo ocorrer tanto no plano horizontal quanto no transversal, em função de um defeito interno proveniente do processo de soldagem por inclusão, incrustação ou colapso de material (PEDRONI, 2008).

3.2.5. Desgaste Boleta

Em função do contínuo tráfego nas ferrovias, o contato roda-trilho gera naturalmente o desgaste dos boletos, na qual os desgastes laterais são provenientes da pressão lateral ou horizontal exercida pelos frisos dos rodeiros, em relação a face lateral do boleto, e são mais severos em região de curvas, principalmente para curvas de raio pequeno (COIMBRA, 2008). Todavia, também é possível identificar desgastes laterais em retas com irregularidades de via ou de inscrição das rodas ferroviárias (MÂCEDO, 2009).

Dessa forma, os desgastes ondulatorios (Figura 14) têm relação com o efeito exercido pela circulação dos veículos ferroviários, associados à falta de ações preventivas de manutenção. Estes, por sua vez, são classificados em curtos (3 a 8 cm) ou longos (8 a 30 cm), podendo causar danos severos ao material rodante e à via permanente (COIMBRA, 2008).

Figura 14 – Exemplos de desgaste ondulatorio (a) curto e (b) longo.



Fonte: Adaptados de ALMEIDA; DIAS (2019); SEMPREBONE (2005).

Importante acrescentar que o desgaste ondulatorio pode inclusive provocar degradação dinâmica da geometria de via, aceleração da fadiga dos trilhos com antecipação do desenvolvimento de anomalias internas e efeito nocivo aos elementos de suspensão dos veículos por ressonância (SEMPREBONE, 2005).

3.2.6. Anomalias dos elementos de fixação

Os elementos de fixação apresentam anomalias em função do desgaste mecânico provenientes da ação dos esforços laterais e verticais do tráfego estabelecido, além das interferências externas tais como: vandalismos (furto de peças) e ação do tempo (oxidação) (COIMBRA, 2008).

3.2.7. Anomalias nos Dormentes

Os problemas associados aos dormentes têm relação direta com o desgaste natural pelas condições de utilização, além da ação do tempo., sendo as mais corriqueiras: desgaste da placa de apoio, apodrecimento das fibras devido ação do tempo (especialmente dormentes de madeira), fissuras longitudinais na região superior do dormente gerando assim dificuldade de retenção dos elementos de fixação e fratura transversal na região central ou área de apoio do trilho (COIMBRA, 2008). Na tabela 1 é mostrado um comparativo entre os dormentes quanto às principais características de avaliação desses elementos na via permanente.

Tabela 1 - Características gerais dos dormentes (adaptado).

Características	Tipo de Dormente			
	Madeira (Eucalipto)	Plástico	Concreto	Aço
Peso (kg)	120 - 140	120 - 130	180 - 400	70 - 80
Vida útil (anos)	5 - 20	25 - 30*	Acima de 50*	Acima de 50*
Resistência ao ataque de microorganismos	Sim, se houver tratamento específico	Sim	Sim	Sim
Ruído c/ tráfego	Não	Não	Não	Sim
Promove isolamento elétrico	Sim	Sim	Sim	Não
Resistência para deslocamento longitudinal de 15mm (kN)	4,86	>7,57**	8,86 - 9,86	6,43
Resistência para deslocamento lateral em curvas de 25mm (kN)	7,57	>4,86**	6,14 - 9,14	8,14

* Estimativa

** Testes de utilização em andamento na MRS Logística (estimativa).

Fonte: RUSSO (2012).

3.2.8. Anomalia no lastro ou sublastro

O lastro apresenta problemas relacionados ao crescimento da vegetação na faixa de domínio da via, resultando em deficiência na drenagem e a formação de bolsões de lama. Como consequência, tem-se a contaminação da via permanente com finos gerados do material granulado do lastro e posterior degradação do sublastro (COIMBRA, 2008).

A drenagem deficiente causa aparecimento de laqueados - água que penetra e permaneceu confinada na plataforma como bolsões – e, conseqüentemente, a colmatação do lastro (SILVA, 2017).

A colmatação da via é dada pela obstrução dos vazios do lastro, gerando a redução da capacidade de drenagem, o que incorre na concentração de materiais de granulometria reduzida (finos) associados à umidade formando uma camada de lama com efeito colateral negativo direto à plasticidade do lastro. Além disso, se o material tiver ausência de umidade, o fino seco agrega no material graúdo gerando um efeito de preenchimento dos vazios causando um aumento na rigidez do lastro (Figura 15) (SILVA, 2017).

Figura 15 - Processo de colmatação de lastro.



Fonte: Adaptado de SILVA (2017).

É importante salientar que o excesso de atividades de manutenção, especialmente correção geométrica da superestrutura pode causar o desgaste prematuro do lastro, podendo inclusive influenciar no processo de colmatação da via (ALMEIDA; DIAS, 2019).

3.3. Métodos de manutenção e via permanente

Segundo (PIRES, 2007), os processos de manutenção compreendem três grupos distintos: manutenção corretiva planejada ou não, manutenção preventiva e manutenção preditiva.

A manutenção corretiva não planejada é geralmente implementada em sistemas na ausência de um sistema de gestão da manutenção, apresentando custos elevados em função da degradação do ativo, uma vez que a manutenção só acontece quando o equipamento entra em colapso (ALMEIDA; DIAS, 2019). Já a manutenção corretiva planejada se dá na condição de não funcionamento pleno de um sistema, que mesmo com redução do desempenho, permite condições para planejamento das atividades antes da falha acontecer de forma efetiva (CÉZAR, 2018).

A intervenção que é realizada em um determinado ativo antes da existência da falha ou redução de sua performance é conhecida como manutenção preventiva. Esse tipo de intervenção permite um melhor processo de planejamento pois leva em consideração a frequência/tempo previamente estabelecidos (CÉZAR, 2018).

A manutenção preditiva se baseia na aplicação estrutura de técnica de medições e análises através de meios de supervisão ou de amostragem, com o intuito de minimizar a utilização da manutenção preventiva e corretiva. A manutenção preditiva pode ser aferida de duas formas diferentes: a manutenção preditiva por controle estatístico e a manutenção preditiva por controle, monitoração e medição de parâmetros (PIRES, 2007).

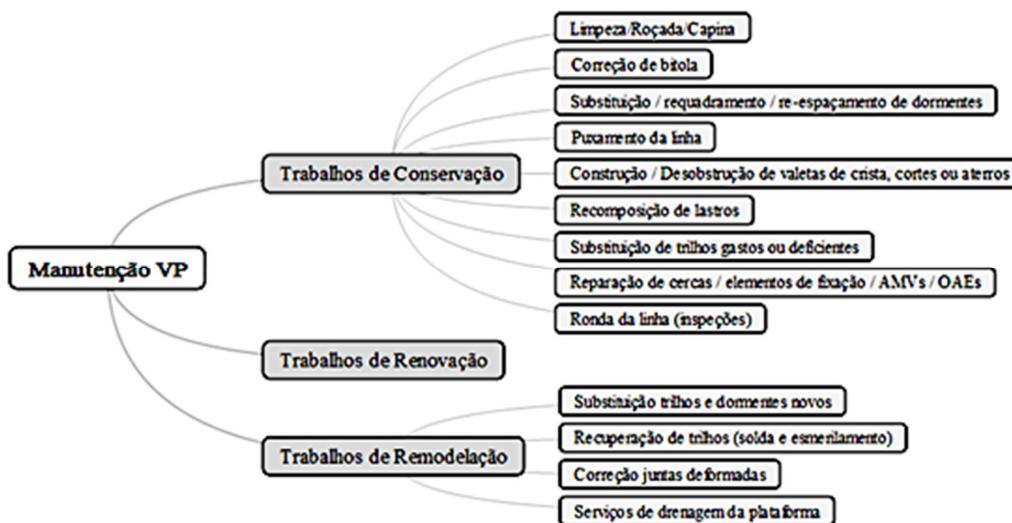
A manutenção preditiva baseada no controle estatístico do cenário de grande quantidade de máquinas similares, com o objetivo de organizar uma base de informações contendo dados da falha (quando e quantas ocorreram), tempo de funcionamento dos componentes desde a última falha, sobressalentes substituídos, dados do fabricante, etc. (PIRES, 2007)

Por outro lado, a manutenção preditiva por controle, monitoração e medição de parâmetros é utilizada na condição de monitoramento das informações medidas pelos instrumentos embarcados

nas máquinas, permitindo tomada de decisão para intervenção com base no comportamento das informações quando comparado ao padrão determinado pelo fabricante (PIRES, 2007)

Com o objetivo de manter a integridade da via permanente de forma a cumprir todas as funções com eficiência e segurança, são necessárias ações que classificam o processo de manutenção da via permanente conforme exposto na Figura 16 (NETO, 2019).

Figura 16 – Fluxograma das ações de manutenção de via permanente e suas atividades.



Fonte: Adaptado de NETO (2019).

Nos trabalhos de renovação são executadas as atividades por empresas contratadas e dependendo das condições, podem estar relacionados à mão-de-obra própria. Além disso, são atividades programadas em locais da ferrovia em que o nível de degradação está acelerado de tal forma que o custo de manutenção comece a comprometer o processo de circulação (NETO, 2019).

Usualmente estes são realizados por equipamentos específicos com o objetivo de reconstruir uma nova linha, em função da degradação gerada pelo escoamento de carga ao longo do tempo. Para tanto, inicialmente é realizado a descontaminação do lastro com um equipamento ferroviário chamado de “desguarnecedora”. Este usa uma corrente de escavação por baixo da via, avançando no sentido longitudinal da linha, de modo a remover a brita contaminada por um sistema de peneiras (MAROTTA, 2016). Posteriormente, a contempla a substituição dos trilhos, dormentes, lastro e elementos de fixação e feita pela “renovadora” (CAETANO, 2018).

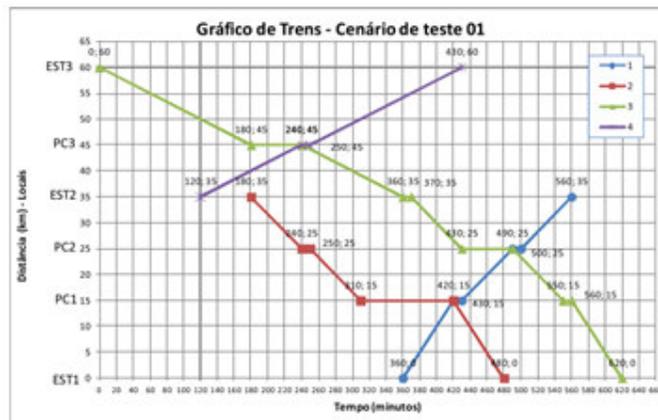
Para atacar os problemas superficiais dos trilhos, em função do tráfego ferroviário, a atividade de esmerilamento de trilho deve acontecer com base em ciclos preestabelecidos. Basicamente o funcionamento desses processo de esmerilhamento é estabelecido pela combinação do movimento de rotação do rebolo associado ao movimento com oscilação longitudinal do trem, resultando em um desgaste na superfície do trilho como forma de uniformizar e adaptar o trilho reduzindo as deformações indesejadas (MÂCEDO, 2009).

O processo de movimento em sentido de circulação ou concessão de tempos de trabalho para os trens dependem basicamente do planejamento de circulação em um centro de controle.

3.4. Processo de planejamento circulação de trens

O processo de planejamento da circulação de trens é realizado comumente pela aplicação do gráfico de trens (GT) (Figura 17), na qual são representados os espaços percorridos pelas composições ferroviárias (PEREIRA, 2015).

Figura 17 – Exemplo do planejamento da circulação ferroviária utilizando um gráfico de trens.



Fonte: PEREIRA (2015).

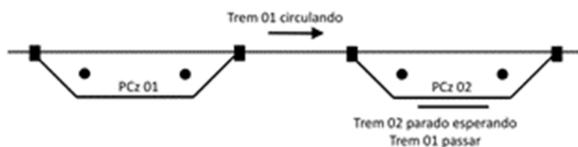
Tal mapeamento permite ao operador do Centro de Controle uma previsibilidade maior dos cruzamentos ou conflitos que poderiam reduzir a continuidade da circulação dos trens na malha

ferroviária. Para tanto, seu planejamento contempla a definição dos horários de partida e chegada de cada trem na malha, com o objetivo de otimizar custos, tempos de parada ou até mesmo tempo de trânsito em um determinado trajeto (PEREIRA, 2015).

Além disso, a quantidade de linhas em uma ferrovia determina a capacidade de transporte, podendo ter duas ou mais linhas ou uma linha principal (singela). Portanto, uma ferrovia singela é aquela que possui uma linha única para a circulação dos trens, nos dois sentidos, e que utiliza o conceito de pátio de cruzamento para efetivar a circulação dos demais trens na malha (PEREIRA, 2015). Dessa forma, quando dois trens competem pela ocupação do mesmo segmento da ferrovia, temos um conflito, mesmo na condição de trens no mesmo sentido ou sentidos opostos (PEREIRA, 2015)

A Figura 18 apresenta o modelo esquemático de um cruzamento na qual o Trem 02 aguarda no pátio de cruzamento PCz 02 até que o Trem 01, ao partir do pátio de cruzamento PCz 01, tenha a passagem completa do vagão da cauda sobre a região do AMV de entrada do PCz 02, dando assim condições de partida do Trem 02 para prosseguir com sua circulação projetada (PEREIRA, 2015).

Figura 18 – Exemplo de circulação de trens em linha singela com pátio de cruzamento.

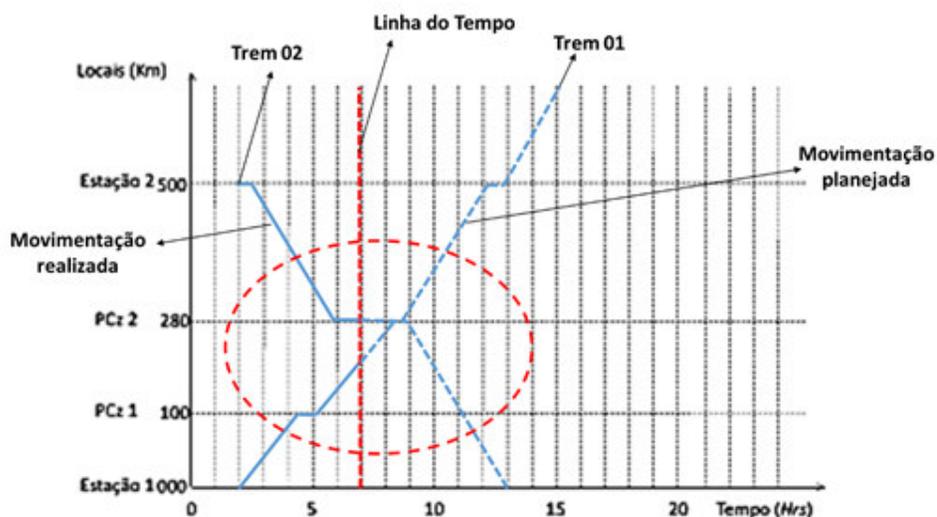


Fonte: (PEREIRA, 2015).

Dessa forma, conforme ilustrado na Figura 19, é possível visualizar que o Trem 01 circula no sentido do PCz 01 para PCz 02, ao passo que o Trem 02 permanece parado no PCz 02 até o completo desvio do Trem 01 no pátio de cruzamento PCz 02. Momento este em que se tem projetada a circulação do Trem 02 no sentido PCz 02 para PCz 01, apontado pela divisão entre o passado (à esquerda da linha do tempo), do futuro (à direita da linha do tempo) (ROSA, 2010).

A Figura 19 apresenta a mesma movimentação da Figura 18, porém sob a óptica do gráfico de planejamento de circulação que é realizado nas salas de controle operacional ferroviária, servindo de direcionamento para tomada de decisão ao controlador de tráfego.

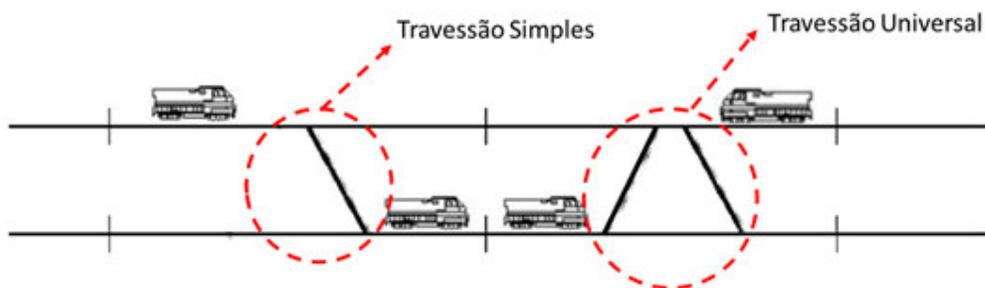
Figura 19 - Planejamento de circulação.



Fonte: Próprio Autor.

Na circulação de trens em linha dupla, uma ferrovia duplicada possui duas sequências de linhas paralelas com a presença de travessões compostos por AMV, de forma a permitir a transposição dos veículos ferroviários de uma linha para a outra, nos dois sentidos de circulação ao mesmo tempo, eliminando a necessidade de parada de um dos trens para a passagem do outro (Figura 20) (PESTANA, 2013).

Figura 20 – Exemplo de circulação ferroviária em linha dupla (adaptado).



Fonte: (PESTANA, 2013).

Vale observar que as ferrovias duplicadas são compostas de travessões do tipo simples ou travessões duplos (também conhecido como travessão universal). O travessão simples é uma solução

de conexão entre duas linhas ferroviárias paralelas, podendo apresentar AMV operados individualmente ou em conjunto, com alinhamento de rota somente na condição favorável dos AMV (NUNES, 2012).

Nestas, o travessão duplo ou travessão universal é a conjugação de dois travessões simples, onde é possível o alinhamento de rotas em todas as direções. Por questões de segurança, a circulação dos veículos ferroviários com rotas para a reta acontecem de forma independente, porém se houver mudança de linha, há o bloqueio de outras rotas conflitantes (NUNES, 2012).

3.5. Regras de manutenção ferroviária

A estratégia de parada para manutenção na ferrovia é responsável por manter as condições operacionais mediante redução da quantidade de avarias e/ou tempos de reparo, segundo princípios da Manutenção Preventiva Sistemática (MPS), Manutenção Preventiva Condicionada (MPC) e a Manutenção Corretiva (MC) (MARTINS, 2017).

A MPS utiliza como filosofia a realização das atividades de inspeção e execução, seguindo ciclos periódicos adequados às características dos equipamentos instalados em campo. Estas necessitam programações estruturadas junto ao centro de controle. Já a MPC atua na intervenção em um determinado equipamento após diagnósticos provenientes de inspeções periódicas aproveitando janelas de atuação em momentos de ociosidade do tráfego ferroviário. Além disso, a MC tem relação com uma falha inesperada, gerando assim a necessidade de intervenção imediata (MARTINS, 2017).

O THP (Trem Hora Parado) é um indicador ferroviário, medido em horas (h), que representa o tempo de espera de um trem por um motivo específico. O THP é utilizado em grande parte das ferrovias como forma de estratificar os principais motivos de parada dos trens, além da duração. Podem ser divididas em paradas programadas ou obrigatórias (cruzamentos com outros trens, paradas para abastecimento, trocas de maquinistas, acoplamento de locomotivas extras para incremento de tração em circuitos de rampa mais íngreme, etc) e paradas não programadas ou não obrigatórias (impacto por trilho quebrado, defeito de sinalização, interferência por falha de rodante, etc) (PEREIRA, 2015).

4. Metodologia

Este trabalho tem sua fundamentação teórica baseada em uma pesquisa exploratória de dados e sua metodologia é fundamentada na realização de um estudo de caso aplicado ao processo de manutenção em uma ferrovia, de característica *Heavy Haul*, situada na região nordeste do Brasil.

Com o objetivo de promover uma avaliação crítica do processo de manutenção ferroviária neste estudo de caso, os instrumentos de pesquisa utilizados foram:

- Levantamento bibliográfico, utilizando como referência diversas fontes de artigos científicos, dissertações e estudos relacionados ao tema de manutenção ferroviária;
- E análise documental, por meio de levantamento de informações detalhadas, na ferrovia em estudo e apreciação da base de dados que representa o comportamento dos indicadores operacionais e performance dos formatos de manutenção.

Para o desenvolvimento do estudo, basicamente foram necessárias 4 etapas de avaliação das informações disponibilizadas pela ferrovia em estudo:

- Esclarecimento das premissas de manutenção do estudo de caso;
- Análise quantitativa dos indicadores de manutenção no período de 2017 - 2019 (36 meses);
- Análise estatística entre as variáveis em estudo, considerando suas particularidades;
- Análise comparativa entre os testes estatísticos das variáveis de manutenção;

A primeira parte visa explorar informações sobre as características e premissas relacionadas ao processo de manutenção ferroviária, apresentando assim natureza qualitativa, através de consulta técnica e aos especialistas sobre o detalhamento das premissas.

A etapa seguinte apresenta análise da base de dados, de natureza quantitativa, com fonte direta dos sistemas informatizados da ferrovia em estudo, como forma de avaliação do comportamento dos principais indicadores operacionais ferroviários.

Adicionalmente foi atribuído o uso de ferramentas estatísticas a fim de entender de forma mais aprofundada o comportamento dos indicadores de performance da ferrovia e a relação entre os formatos de manutenção, enquadrando assim na categoria de pesquisa aplicada, como exercício de um aprendizado, contribuindo para o desenvolvimento de soluções práticas no setor ferroviário e semelhantes.

5. Resultados e Discussões

5.1. Premissas de manutenção na ferrovia em estudo

Como os dados coletados neste trabalho referem-se ao período de janeiro de 2017 a dezembro de 2019, foram observadas variações esperadas no perfil de manutenção ferroviária como fruto de novas metodologias que, muitas vezes, consideravam novas visões gerenciais.

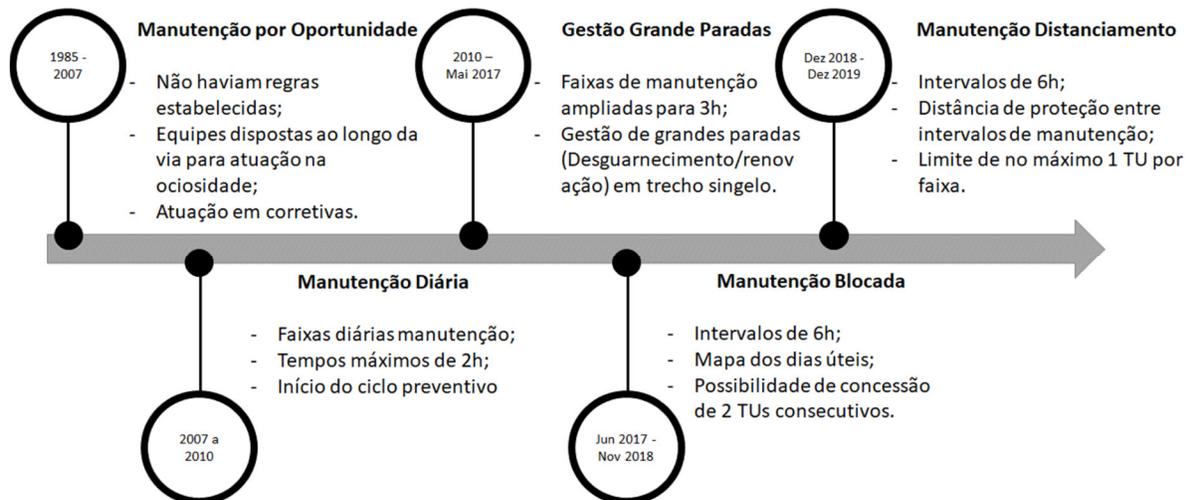
Desta forma, aqui foram considerados três formas de concessão de manutenção (regras de planejamento das faixas de manutenção):

- Entre janeiro e maio de 2017: manutenção básica na qual são adotadas premissas básicas e simplificadas no planejamento da malha ferroviária. Para tanto, o padrão de manutenção básico contemplava paradas diárias, com duração de três horas, em dias úteis, respeitando apenas a quantidade limite de faixas a serem concedidas pela equipe do centro de controle.
- Entre junho de 2017 e novembro de 2018: a ferrovia em estudo passou por um processo de programação de manutenção considerando regras específicas de aglutinação de faixas de trabalho, conhecida como manutenção bloqueada, cujo intuito era eliminar a dispersão de frentes de trabalho e a permanência de intervalos de manutenção mais longos (até seis horas de duração). Nesse modelo era possível estabelecer um mapa de manutenção para cada dia da semana permitindo assim a varredura de todo o trecho da ferrovia em cinco dias.
- Em dezembro de 2018 e dezembro de 2019: as premissas de manutenção ferroviária passaram a ter uma característica diferente, aqui convencionada como manutenção por distanciamento. Nesse modelo as frentes de manutenção tinham distâncias de segurança de forma a permitir pontos de “engargalamento” de forma a permitir um “alívio” de circulação em trechos duplicados da ferrovia.

Importante ressaltar que os dados aqui apresentados foram obtidos numa ferrovia do tipo *Heavy Haul*, de bitola larga, com uma extensão aproximada de 1000 km. E que, durante a coleta de dados, tal ferrovia passou por um processo de duplicação, na qual foram necessárias revisões dos protocolos de manutenção até que esta atingisse um estágio mais maduro de operação. Assim, os dois últimos formatos - *blocada* e *distanciamento* – forma baseados em filosofias de circulação em ferrovias duplicadas, em cuja parada de um segmento de uma determinada linha não impacta na circulação de trens na linha adjacente.

Neste contexto, na Figura 28 é ilustrado uma linha cronológica teórica para a aplicação das rotinas de manutenção na ferrovia em estudo.

Figura 21 – *Timeline* das premissas de manutenção na ferrovia em estudo.



Fonte: Autor.

Vale observar que a ferrovia em estudo passou por um processo de duplicação entre 2012 e 2018, deixando de ser uma unidade singela para ter um perfil praticamente de ferrovia dupla. Todavia, este processo não ocorreu de modo linear devido às questões legais inerentes deste processo.

Neste contexto, o formato básico de manutenção foi empregado até maio de 2017, em paralelo com o avanço das atividades de expansão. Já o formato bloqueado foi apenas instituído entre junho de 2017 e novembro de 2018, sendo este necessário por conta do avanço da duplicação e tentativa de aproveitar o máximo das entregas de capacidade naquele momento. Por fim, a

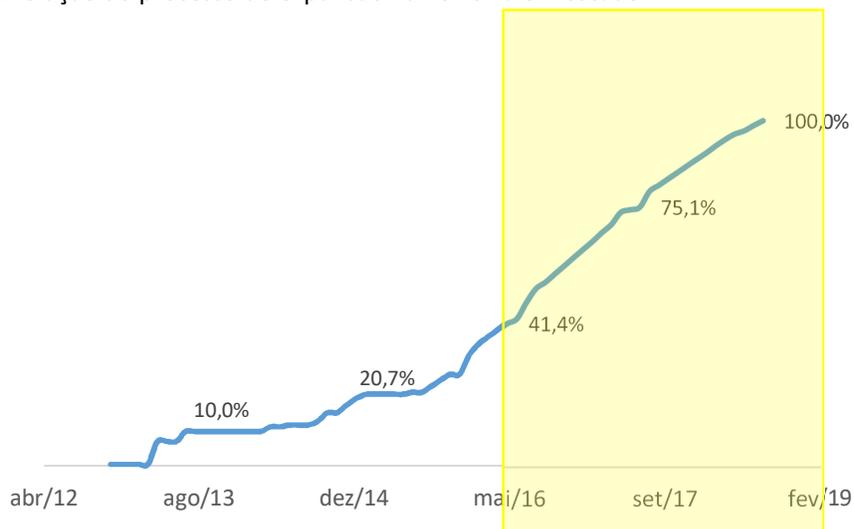
manutenção por distanciamento vem a surgir em dezembro de 2018, momento de revisão das premissas de aproveitamento da capacidade instalada na ferrovia.

Entre 2012 e 2016, o avanço do processo de duplicação da ferrovia foi fortemente impactado por aspectos legais do processo de licenciamento ambiental, aprendizado operacional e contratação de empresas com *know-how* técnico para andamento das obras. A partir de 2017, praticamente 40% das atividades de duplicação ocorreram até a conclusão em 2018, representando assim um ritmo acelerado de frentes de trabalho com o objetivo de compensar o ritmo mais lento do início das atividades (Figura 29).

Em determinadas fases das obras de expansão, os tempos de manutenção conseguiam ser concedidos aproveitando as diretrizes geradas das etapas de ligação dos segmentos duplicados. Essas faixas de entrega de novos segmentos passaram por uma evolução constante, uma vez que as entregas iniciais eram realizadas em faixas de tempos de quatorze horas de duração e nas etapas finais as entregas já aconteciam com janelas de tempo menores (aproximadamente seis horas).

Essa evolução aconteceu em função do processo de amadurecimento das entregas e, conseqüentemente, do menor impacto ao negócio, passando a ser diluído o efeito colateral das obras nas atividades de operação e manutenção ferroviária.

Figura 22 – Evolução do processo de expansão na Ferrovia em estudo.



Fonte: Autor.

Dessa forma, a influência desse processo esteve presente em boa parte do período estudado, sendo um possível fator de interferência nas análises sobre o efeito gerado pelas formatações de manutenção programada.

De todo modo, ao longo de todo este período de expansão, foram respeitadas as características estruturais e operacionais previstas para tal ferrovia, a citar:

- Ferrovia com extensão de aproximadamente 1000 km;
- Trecho singelo com extensão de cerca de 50 km;
- Trecho duplicado com extensão de 850 km
- Total de 100 TU com distância média de 10 km;
- 10 distritos/sedes de manutenção de Via Permanente e Eletroeletrônica;
- Presença de OAE;
- Intercambio com outra ferrovia na região central da estrada de ferro;
- Velocidade média comercial entre 30 a 45 km.h⁻¹;
- Velocidade máxima autorizada 80 km.h⁻¹.

Na Figura 30 é mostrado uma representação esquemática dos processos de transportes ferroviários em estudo.

Figura 23 – Mapa esquemático da ferrovia do tipo *Heavy Haul* em estudo.



Fonte: Autor.

5.1.1 Formatos de manutenção básico e bloqueado

A formatação de manutenção básica surgiu com a necessidade de intervenção ferroviária, em função do aumento das concessões das atividades com caráter corretivo. Esse regime de trabalho esteve presente na ferrovia em estudo até maio de 2017 (Fig. 28) e serviu como referência para a organização das premissas de manutenção que não existiam de forma estruturada no início das operações.

Assim, devido a intervenções gerenciais inesperadas e baixa confiabilidade dos métodos de manutenção então disponíveis, foram sugeridos novos protocolos de manutenção com base em:

- Manutenções em dias úteis;
- Intervalos de manutenção com duração máxima de três horas;
- Definição das prioridades estabelecidas pela área de planejamento da manutenção;
- Limite de concessão de intervalos de manutenção máximo de 46 faixas;
- Máquinas e equipamentos de grande porte utilizavam a mesma regra de programação.

Por outro lado, a manutenção por bloco surge com uma evolução natural do formato de manutenção básico, como objetivo de concentrar uma quantidade menor de frentes de trabalho, porém com melhores condições de tempo para equipes com maior robustez trabalharem de forma mais efetiva. Assim, a manutenção por blocos foi estruturada de modo a integrar as estratégias de manutenção de via permanente, eletroeletrônica, obras de expansão/projetos de capital e a estratégia de operação ferroviária, de forma a reduzir o impacto na circulação dos trens. Não obstante, esta deveria levar em consideração o aumento da capacidade mássica de transporte e desenvolver novas rotinas de trabalho em campo. Como resultado, foram propostos os seguintes pilares operacionais:

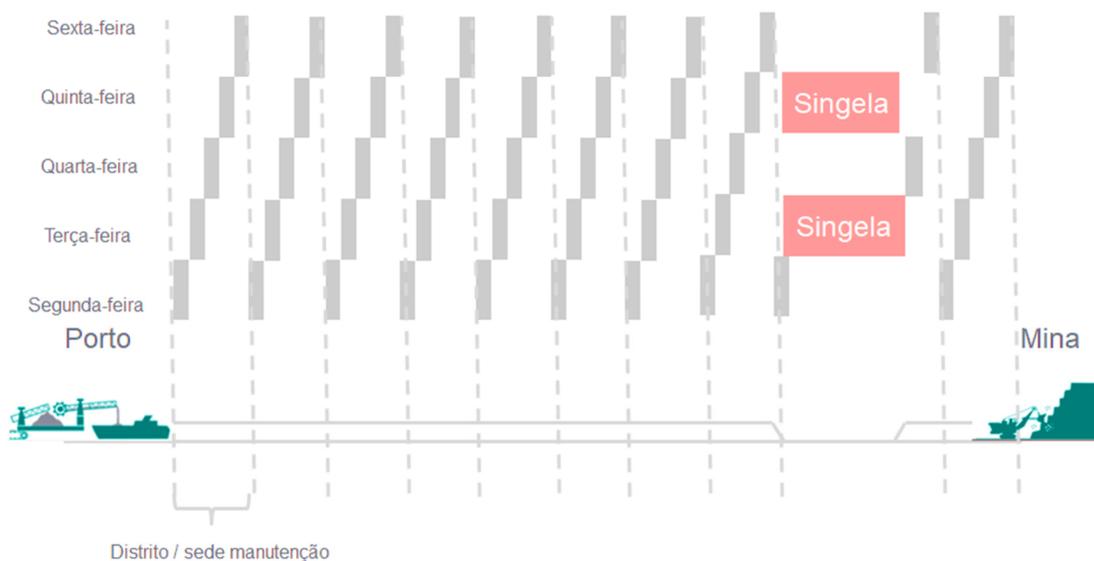
- Tempos de manutenção com duração máxima seis horas;
- Blocos de trabalho com presença de equipes da Via Permanente e Eletroeletrônica;
- Bloco com possibilidade de trabalho em até 2 TU simultâneos;
- Início de atividades noturnas (esmerilhamento de via);
- Regras específicas de proteção à circulação do trem P (passageiros);

- Quantidade limite de intervalos dedicados à equipe de obras;
- Regras de proteção para trecho singelo (dias específicos de parada);
- Trens de serviço com possibilidade de trabalho no turno da tarde, desde que não tenha havido bloco de trabalho durante o período da manhã
- Definição de um mapa de trabalho diário, de forma a facilitar o gerenciamento dos pedidos de manutenção por parte da operação, conforme Fig. 31.

O formato de manutenção por blocos modificou os protocolos de manutenção uma vez que promulgava a entrada em campo de acordo com mapas pré-estabelecidos, tornando assim as interferências mais previsíveis para a operação ferroviária.

Outro ponto importante é que os tempos de manutenção passaram a ter maior duração, permitindo assim frentes mais produtivas e interferências mais efetivas. Nesta, os blocos de manutenção buscavam reduzir para praticamente dez frentes de trabalho por dia e em uma semana era possível efetuar uma varredura em toda a ferrovia; ou seja, havia a possibilidade de passar em todas as segmentações da ferrovia em cinco dias de trabalho.

Figura 24 – Mapa de manutenção por dia da semana – modelo genérico.



Fonte: Autor.

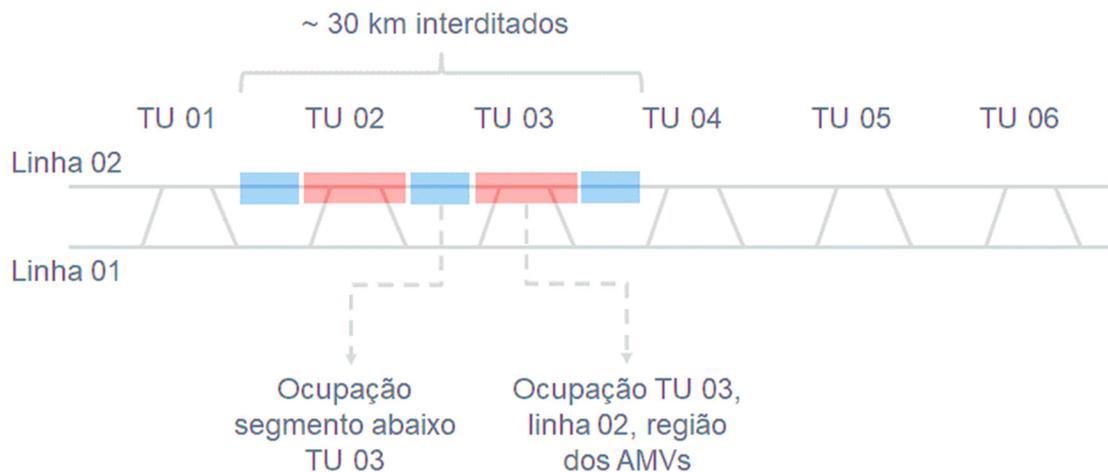
Dessa forma, cada distrito ou sede de manutenção apresentava condições de entradas previsíveis nas frentes de trabalho, podendo inclusive antever a chegada de insumos para atuação direcionada. Para tanto, os blocos consideravam atuação integrada das equipes de via permanente e eletroeletrônica, permitindo assim interação entre áreas de planejamento para permuta dos locais de trabalho, caso fosse necessário. Além disso, a programação dos blocos poderia acontecer em um TU, acima ou abaixo da referência indicada no mapa, sendo assim validada pela equipe de centro de controle.

A distância entre os blocos de manutenção, conforme apresentado na Figura 31, não eram preservadas e podia haver programação de manutenção para atividades de preparação de outras demandas de manutenção. Dessa forma, as regras do modelo por blocos permitiam programações de menor impacto, como: descarga de materiais, ações corretivas programadas e utilização de equipamentos com características de trabalho dinâmico (ultrassom, carro controle, autos de inspeção, etc.).

Esse formato de manutenção foi utilizado na ferrovia a partir de junho/2017 até novembro/2018 e passou por diversas etapas de revisão à medida que o processo das obras de expansão da ferrovia avançava (duplicação). Basicamente, a revisão contemplava a adequação/abrangência do bloco de manutenção nos trechos recém duplicados ou ajustes simples de aplicação, como por exemplo: eliminação de regras de proteção à circulação do *trem P* (sigla para o trem de passageiros) em função do aumento de capacidade de circulação nos trechos novos.

Com a conclusão do processo de aumento de capacidade, a formatação de manutenção por blocos passou a ser questionada em função das frentes de trabalho mais longas na ferrovia por conta da ocupação de até 2 TU, por bloco, gerando assim um efeito colateral de “engargalamento” momentâneo que, como consequência, comprometia a capacidade de transporte projetada para aquele cenário (Fig. 32).

Figura 25 – Ocupação dos TU por um bloco de manutenção.



Fonte: Autor.

Outro fator também questionado após a conclusão da duplicação ferroviária foi a rigidez no processo de programação, uma vez que o mapa forçava a entrada das equipes de manutenção em locais que nem sempre precisavam de intervenção, justamente pelo fato do desgaste não ser homogêneo na ferrovia em operação.

Diante desses fatos, houve uma nova rodada de discussões onde a pauta em questão considerava as regras de manutenção como necessidade de revisão sem comprometer as premissas de engenharia e necessidades de intervenção preventiva na ferrovia.

5.1.2 Formato de manutenção por distanciamento

A formatação de manutenção por distanciamento foi construída com o objetivo de adequar as premissas de manutenção sob a ótica da engenharia (estratégia, frequência, lista de atividades, etc.) com o intuito de eliminar o efeito de impacto na capacidade de transporte; ou seja, unir o atendimento ao plano estratégico de manutenção e a capacidade projetada de transporte para o cenário após duplicação da ferrovia em estudo.

Com essas variáveis envolvidas, o primeiro passo a ser feito foi o levantamento das demandas de manutenção conforme alinhado com a engenharia de manutenção (Tabela 2), além do envolvimento das partes na discussão técnica para construção do novo formato de manutenção.

Tabela 2 – Demanda de manutenção ferroviária.

Atividade	Característica	Frentes de trabalho	Demanda mensal
Trem Esmerilhador	Deslocamento	2	30 dias de 6 horas
Ultrassom	Deslocamento	3	30 dias de 6 horas
Trens de Serviço	Segmentos entre TU	4	10 dias de 6 horas
Correção Geométrica – Linha	Segmentos entre TU	6	20 dias de 6 horas
Subst. de Dormentes	Segmentos entre TU	5	20 dias de 3 horas
Subst. de Trilhos	Segmentos entre TU	6	20 dias de 3 horas
Subst. Componentes de AMV	TU	3	15 dias de 6 horas
Esmerilhamento – AMV	TU	2	15 dias de 6 horas
Desguarnecimento – AMV	TU	1	15 dias de 6 horas
Correção Geométrica – AMV	TU	3	15 dias de 6 horas
Inspeção Detalhada – Pontes	Segmentos entre TU	1	20 dias de 3 horas
Manutenção de Pontes	Segmentos entre TU	1	20 dias de 3 horas
Eletroeletrônica – Linha	Segmentos entre TU	8	20 dias de 3 horas
Manutenção de AMV	TU	11	10 dias de 6 horas
Eletroeletrônica – TU	TU	8	6 dias de 6 horas

Fonte: Autor.

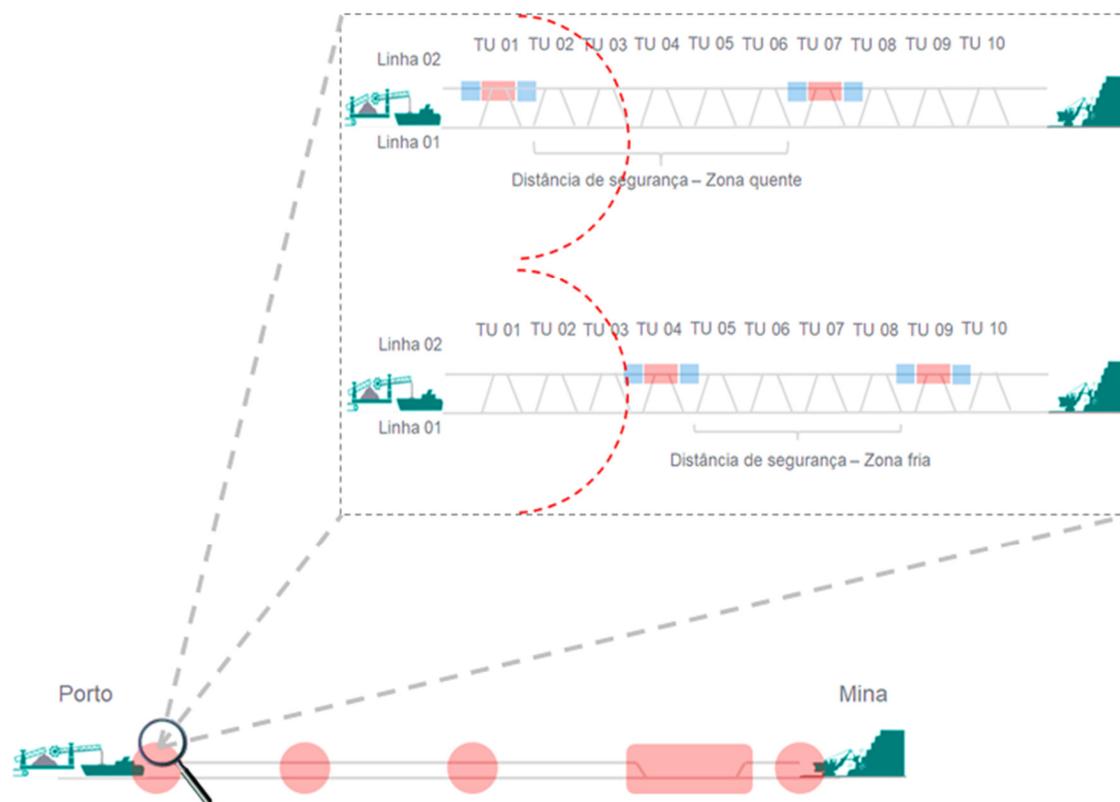
Após definição da demanda de manutenção, foi definida a real necessidade de intervenções diárias com sua duração em horas para um mês de trabalho, de forma a garantir que em um ano de atividades, a estratégia de manutenção seja cumprida. Portanto, conforme ilustrado na Tabela 2,

temos o trem esmerilhador que possui a característica de uma atividade em deslocamento, precisa de duas frentes simultâneas (em locais diferentes), durante um período de 30 dias, utilizando faixas de duração de seis horas para atender a demanda de trabalho exigida pela engenharia de manutenção e o plano de 52 semanas.

Outro fator importante para a construção desse modelo foi a definição de regiões quentes e frias da ferrovia, com o objetivo de permitir de forma estruturada, intervenções de manutenção em regiões com maior fluxo de circulação de trens. Dessa forma, TU localizados próximos aos terminais de carregamento e descarga, região de troca de maquinistas, pontos singelos e suas proximidades, zona do intercambio e abastecimento foram considerados locais que precisavam de regras de distanciamento maior de forma a gerar menor impacto à circulação.

De maneira geral, as regras de distanciamento consideram que em zona fria, um bloco de manutenção possa entrar em um determinado ponto, porém o próximo bloco deve obrigatoriamente manter uma distância de pelo menos quatro TU. Em zonas classificadas como quente, a regra de distanciamento é mais rígida e só é permitido uma próxima frente de intervenção com uma distância de no mínimo cinco TU, entre blocos (Fig. 33).

Figura 26 – Classificação e distanciamento em zonas quentes e frias.

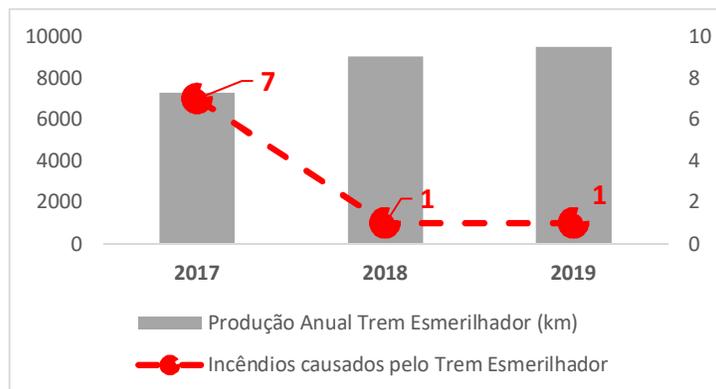


Fonte: Autor.

Na formatação de manutenção por distanciamento, alguns protocolos de manutenção passaram a ser executados no turno da tarde ou noite, em função da característica dinâmica da intervenção, como por exemplo: inspeções por US (ultrassom) e esmerilhamento de via (trem esmerilhador). Essas medidas passaram a reduzir a concentração das frentes de manutenção em um mesmo turno de trabalho, evitando assim a saturação da malha em função da presença dos trens e das frentes de manutenção. Tal processo promoveu uma maior atuação preventiva no combate aos incêndios provocados pelas fagulhas do esmerilhamento, reduzindo de forma efetiva impacto ambiental causados por esse processo, além do aumento de produtividade do equipamento por conta da redução dos conflitos de programação (Fig. 34).

Vale observar que as atividades de esmerilhamento, realizadas pelo trem esmerilhador, têm o objetivo de tornar a superfície de rolamento no boleto dos trilhos cada vez mais planos e evitar a propagação de defeitos superficiais no trilho, evitando assim problemas mais graves tais como: quebra de trilho e acidentes ferroviários.

Figura 27 – Relação entre a produção do Trem Esmerilhador e os Impactos por Incêndio.



Fonte: Autor.

Com a mudança das premissas de manutenção na ferrovia em estudo, houve um aumento da responsabilidade para a área de planejamento, em função da necessidade da definição das intervenções de manutenção; ou seja, o mapa que gerava a condição de varredura de toda a extensão da ferrovia em cinco dias não tinha mais validade.

Esse modelo do mapa tinha gerado um efeito colateral negativo, levantado pela equipe de execução de manutenção, onde em várias circunstâncias havia programação em locais da ferrovia de forma desnecessária; ou seja, a locais com maior taxa de desgaste tinham a mesma forma de atuação quando comparados aos locais recém duplicados ou renovados/desguarnecidos. Dessa forma, a formatação de manutenção por distanciamento está vigente na ferrovia em estudo desde dezembro/2018.

Assim, com base nos argumentos supracitados, na Figura 35 são comparadas as regras estabelecidas entre formatações de manutenção ferroviária. Percebe-se que a manutenção básica tem melhor aplicação para ferrovias tipicamente singelas (com presença de pátios de cruzamento) ao passo que as manutenções por blocos e por distanciamento são melhor aplicáveis em ferrovias duplicadas.

Além disso, a manutenção por blocos trouxe um incremento de concessão de intervalos para as equipes de execução, inclusive fortalecendo a concessão de tempo no horário noturno, reduzindo assim o impacto das próprias programações de manutenção em relação as faixas de tempo para equipamentos com característica dinâmica de manutenção (ritmo de trabalho em circulação).

Figura 28 – Resumo comparativo entre formatos de manutenção ferroviária avaliados.

	Formato de Manutenção Básico	Formato de Manutenção por Blocos	Formato de Manutenção por Distanciamento
AMV / TU	Faixas diárias com duração máxima 3h	2 TUs em sequência por distrito	Faixas diárias com duração máxima 3h
Trecho Singelo	Faixas diárias com duração máxima 3h	2 Faixas de 3h (QUA/QUI)	Faixas diárias com duração máxima 3h
Corretivas Programadas	Sem regra definida	Programadas entre Blocos de 2 TUs	Sem regra definida
Ultrassom	Faixas diárias com duração máxima 3h	Programação em conjunto com Blocos de 2 TUs	Faixas diárias com duração máxima 3h
Esmeriladora AMV	Sem regra definida	Programação em conjunto com Blocos de 2 TUs - Diurno	Sem regra definida
Esmeriladora Linha	Faixas diárias com duração máxima 3h	Programação Noturna	Faixas diárias com duração máxima 3h
Eletroeletrônica	Faixas diárias com duração máxima 3h	Programação em conjunto com Blocos de 2 TUs	Faixas diárias com duração máxima 3h
OAE	Faixas diárias com duração máxima 3h	Programação em conjunto com Blocos de 2 TUs	Faixas diárias com duração máxima 3h
Substituição de dormentes	Faixas diárias com duração máxima 3h	Programação em conjunto com Blocos de 2 TUs	Faixas diárias com duração máxima 3h

Fonte: Autor.

Portanto, com o melhor esclarecimento quanto as regras de programação de manutenção, alguns indicadores foram levados em consideração para que seja explorado de forma mais minuciosa no desenvolvimento deste estudo.

5.2. Análise quantitativa dos indicadores de manutenção

Na avaliação quantitativa dos modelos implementados na Ferrovia em estudo, alguns indicadores foram levados em consideração com o intuito de melhor compreender o efeito gerado na utilização prática dessas regras e premissas de manutenção, a citar:

- Tempo de manutenção por formato (horas);

- Falhas de Via Permanente e Eletroeletrônica (quantidade);
- Estratificação por classe de falha (evolução durante o período de estudo);
- THP (trem hora parado);
- KMEP (km médio entre paradas);
- Eficiência energética (litros/KTKB).

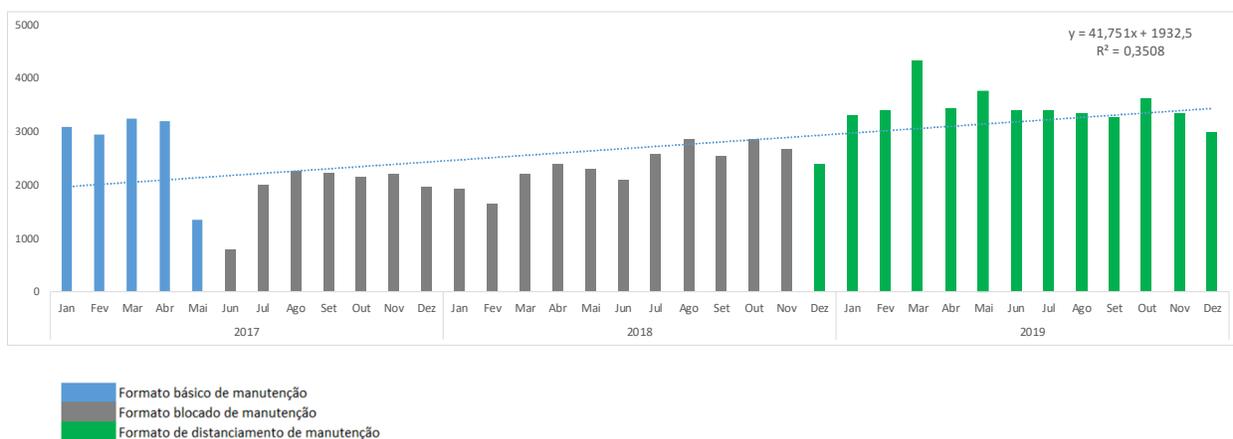
5.2.1. Tempos de Manutenção por modelo

As alterações na formatação de manutenção aconteceram de acordo com a exigência de cada momento que a ferrovia em estudo passou durante o período de janeiro/2017 a dezembro/2019. Ambas as áreas (via permanente e eletroeletrônica) tiveram mais exposição aos tempos de manutenção na ferrovia em função do modelo apresentado, como forma de garantir minimamente as condições de cumprimento da estratégia de manutenção traçada pelo departamento de engenharia ferroviária.

Durante o período de análise, os três formatos de manutenção apresentam regras específicas de concessão de tempo e não foram utilizados com a mesma duração. Dessa forma, na Figura 36 é apresentada a identificação de cada formato de manutenção na ferrovia, considerando o período de duração de cada formato e a quantidade de horas concedidas para intervenção de manutenção.

A formatação que inicialmente era utilizada, passou a ficar obsoleta e não atender as demandas de manutenção em função da transformação da ferrovia, que por sua vez deixou de ser tipicamente singela para uma estruturação de ferrovia duplicada, forçando assim a mudança para o formato de manutenção por blocos, a partir de junho/2017 como o mês experimental.

Figura 29 – Manutenção concedida em horas.

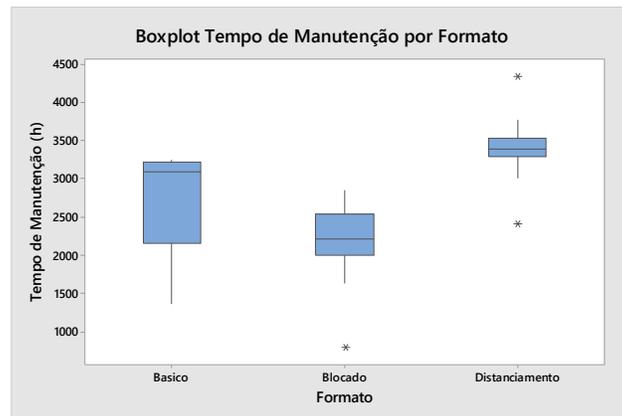


Fonte: Autor.

A mudança no patamar de tempo concedido entre a formatação básica e a blocada de manutenção se deu pela diferença das regras de trabalho. O modelo básico contemplava concessão de 46 frentes de trabalho por três horas para cada dia útil, já o formato bloqueado aumentou a quantidade de tempo por frente de serviço, porém houve redução na quantidade de frentes de trabalho.

Com a abertura da distribuição dos tempos de manutenção para cada formato de manutenção, observa-se uma variação na média dos tempos concedidos, além da redução da dispersão com a implementação de cada formato. Entre os formatos básico e bloqueado, houve redução da média e mediana dos tempos de trabalho. Todavia, o modelo bloqueado promoveu a redução de dispersão significativa, quando comparado ao formato básico (Fig. 37), representando assim maior qualidade na entrega dos tempos de manutenção para faixas de trabalho de seis horas, podendo afirmar que as faixas concedidas sofriam menos variações de duração que as praticadas no formato básico (faixas com duração de três horas).

Figura 30 – *Boxplot* dos tempos totais de manutenção por modelo de gestão.



Fonte: Autor.

Como mostrado, a transição entre o formato bloqueado e a formatação por distanciamento promoveu uma redução na dispersão ainda mais intensa (menos 9,4%), além do benefício do aumento das médias (aumento de 54%) e medianas (incremento de 52,9%) dos tempos de trabalho executados pela equipe de campo.

Vale pontuar que em 2019 - período de manutenção por distanciamento – houve a presença de um *outlier*, sendo este representado pela performance de concessão de tempos de manutenção (mar/2019) ultrapassando as 4300 horas. Esse desempenho de entrega de tempo de manutenção, acima da média praticada, tem relação com um cenário de baixa performance dos pontos de carregamento, que conseqüentemente abriu espaço para maior aproveitamento de tempos de manutenção em campo. Essas variações permitem atendimento às demandas reprimidas de manutenção que não estavam sendo tratadas no modelo padrão, como por exemplo o processo de Desguarnecimento e Renovação do trecho singelo.

Já o *outlier* referente ao formato de manutenção bloqueado tem relação direta com a condição de transição de formato de manutenção; ou seja, é resultado do efeito colateral de mudança de regras e aprendizado operacional que foi reestabelecido rapidamente nos meses seguintes de aplicação dessa formatação.

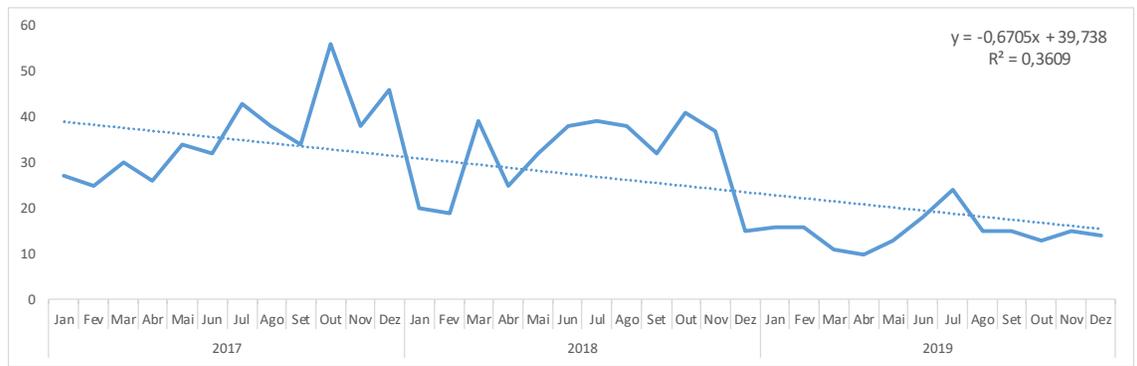
Essas variações de formato de manutenção permitiram rediscutir regras claras de trabalho, premissas de concessão de tempo e trouxe mais embasamento técnico onde foi possível estabelecer uma relação direta entre a estratégia de manutenção e as práticas de programação de manutenção

na rotina diária. Isso permitiu um avanço nas práticas de manutenção na ferrovia, de forma a atender o plano preventivo de manutenção.

5.2.2. Comportamento das falhas VP e Eletroeletrônica

Com esse investimento nos tempos de manutenção ferroviária, entre 2017 e 2019, as ações das equipes de Via Permanente e Eletroeletrônica foram intensificadas na execução dos planos de manutenção e gerenciamento da carteira de atividades necessárias para evoluir na redução de falhas. A Figura 38 apresenta o comportamento das falhas de via permanente a cada mês, apresentando uma tendência de redução, especialmente em 2019 com um resultado mais consistente.

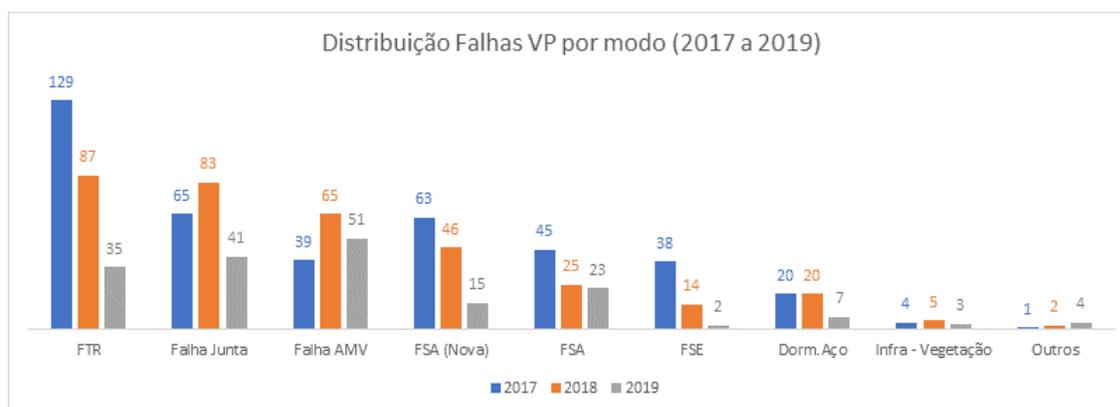
Figura 31 – Comportamento de falhas VP (2017 - 2019).



Fonte: Autor.

Observa-se que após a categorização dos eventos, cerca de 99% dos eventos são de natureza superestrutura e 80% das falhas estão relacionadas à fratura de trilho (FTR), falha de junta e AMV, fratura em solda aluminotérmica (FSA e FSA nova) e fratura em solda elétrica (FSE) (Fig. 39).

Figura 32 – Distribuição falhas VP por modo.



Fonte: Autor.

Fazendo uma abertura dos números de falha de via permanente, basicamente os problemas de falha estão relacionados ao AMV, juntas e fraturas de trilho ou solda. Houve uma separação entre as fraturas em soldas aluminotérmicas e soldas elétricas (realizadas no estaleiro central), além de uma segregação das fraturas em solda aluminotérmica nova, das demais fraturas.

Essa divisão entre fratura em solda aluminotérmica nova (FSA Nova) foi realizada como forma de medir a performance de execução da equipe de campo, uma vez que se percebeu um aparecimento desacerbado de fraturas prematuras e com a atuação do time de confiabilidade. Para tanto, um estudo mais aprofundado foi realizado, representado assim pela redução efetiva dos casos entre 2017 e 2019 (Fig. 38).

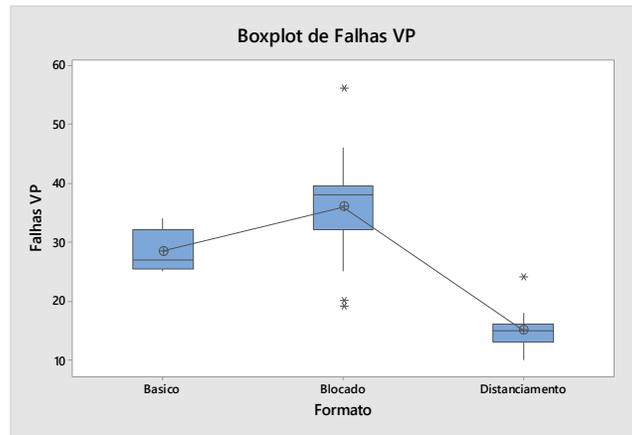
De maneira geral, as fraturas apresentaram uma redução estruturada com o avanço do período estudado, porém falhas relacionadas à junta e AMV tiveram oscilação no comportamento, apesar da retração em 2019. Essa oscilação mais intensa nos resultados de via permanente pode ter relação com a estratégia de manutenção definida pelo departamento de engenharia, uma vez que apenas os conjuntos de AMV passam por manutenção seguindo a premissa de intervenção com frequência definida (data-calendário). Os demais ativos de via permanente são trocados de acordo com a condição em campo e apresentam uma expectativa de vida útil estabelecida pelo departamento de engenharia ferroviária.

Com a análise do comportamento de falhas sob a ótica do formato de manutenção, observa-se um comportamento diferente para cada formatação, inclusive com oscilação das médias praticadas (Figura 40). O *outlier* apontado no formato por distanciamento teve relação com uma maior concentração de fratura em soldas aluminotérmicas (FSA), juntas metálicas e juntas isolantes,

justificando assim ação de análise aprofundada por parte da equipe de confiabilidade no processo de análise de falhas.

Os *outliers* apontados no formato de manutenção por blocos estão relacionados com a mudança de estratégia de atuação, onde o ciclo de trabalho para o carro ultrassom e sua calibração foram refinados, gerando assim um resultado bem acima da média histórica para identificação de fraturas em um mês específico.

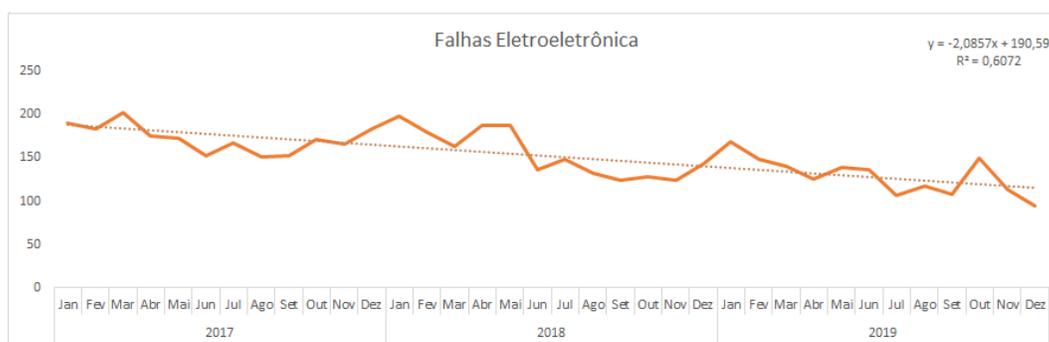
Figura 33 – *Boxplot* Falhas VP por formato de manutenção.



Fonte: Autor.

Para a eletroeletrônica, o comportamento de falhas apresenta uma curva mais controlada de redução de falhas (Fig. 41), uma vez que a maior parte dos ativos segue a estratégia de manutenção com base na premissa data-calendário; ou seja, os planos de intervenção preventiva apresentam frequência bem definida pelo departamento de engenharia ferroviária.

Figura 34 – Distribuição falhas da Eletroeletrônica (2017 a 2019).



Fonte: Autor.

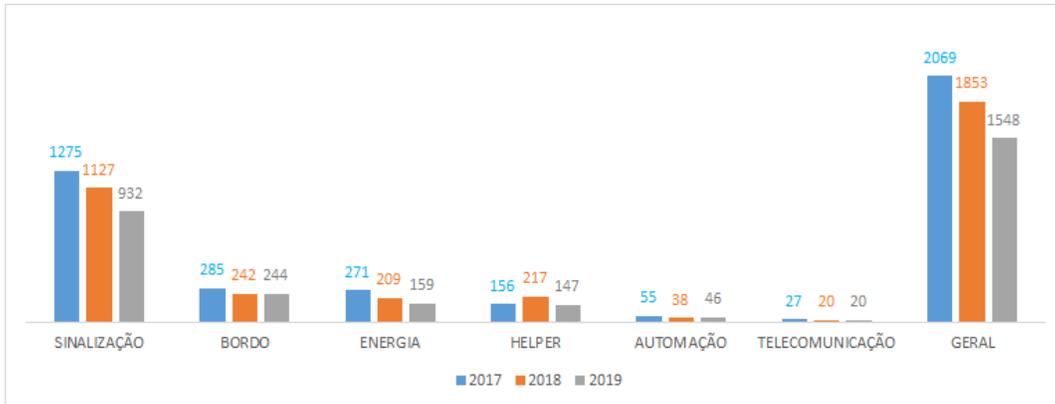
É importante observar que a Eletroeletrônica possui uma peculiaridade em relação ao estudo dos tempos de manutenção, pois parte dos ativos tem característica de manutenção centralizada em oficinas, tais como ativos de bordo dos veículos ferroviários (locomotivas, máquinas de via, autos de linha, etc.). Além disso, há uma categorização chamada *Helper* que é representada pelos equipamentos utilizados pelas locomotivas que executam o processo de incremento de tração em trechos de rampa, cuja tração original do trem não é capaz de vencer esse obstáculo.

Por outro lado, os equipamentos de automação e telecomunicações de maneira geral passam por manutenção preventiva aproveitando a sombra dos tempos dedicados para a manutenção no sistema de sinalização e em algumas ocasiões não há a necessidade de paralisação do tráfego, em função de sistemas de contingência e diagnóstico remoto.

Dessa forma, as falhas de manutenção relacionadas a Bordo, *Helper*, Telecomunicações, Automação e Energia praticamente não apresentam relação com os tempos de intervenção programados e a base de informações referente aos tempos concedidos considera apenas os tempos de manutenção preventiva ou corretiva programada com interdição de uma das linhas de circulação ferroviária, tendo relação direta com as intervenções de sinalização.

A Figura 42 apresenta a estratificação das falhas do setor de Eletroeletrônica por sistema e por ano. Neste é possível verificar que as falhas de sinalização representam o maior volume do total de falhas da eletroeletrônica ($\approx 61\%$), uma vez que tem a característica de maior exposição às intempéries e submetidos aos esforços de trabalho sempre que um trem circula sobre os ativos desse sistema (CDV e MCH).

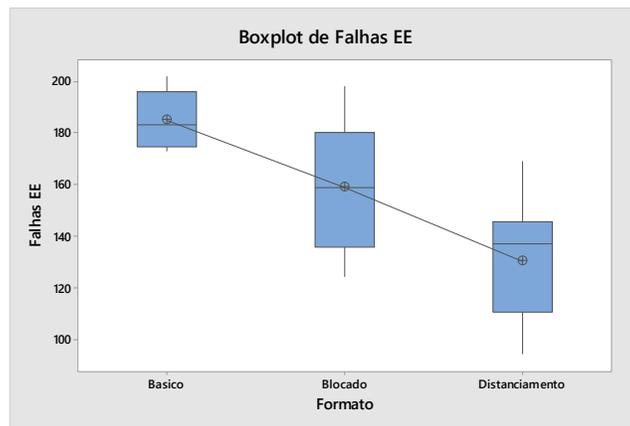
Figura 35 – Estratificação das falhas da Eletroeletrônica por sistema (2017 a 2019).



Fonte: Autor.

As falhas do sistema de Energia estão relacionadas à rede da concessionária, impactos na partida dos GMG e/ou redução repentina da vida útil das baterias que alimentam os equipamentos de processamento da rede de gestão ferroviária, podendo ter intervenções fora do gabarito ferroviário.

Figura 36 – *Boxplot* das falhas da Eletroeletrônica por formato de manutenção.



Fonte: Autor.

Considerando a abertura do comportamento de falhas sob a ótica do formato de manutenção, para a Eletroeletrônica, observa-se redução constante da média das falhas, porém com perceptível impacto na variação entre quartis, especialmente na formatação por blocos (Fig. 43).

De maneira geral, analisando a variável quantidade de tempo concedido de forma isolada, percebe-se uma evolução expressiva, especialmente para a formatação por distanciamento, porém é importante compreender que a medida que há um avanço no tempo concedido para a manutenção pode haver em consequência disso, redução da capacidade produtiva da ferrovia em questão, trazendo equivocadamente a sensação de ter melhorado as condições de manutenção sem medir o impacto ao negócio.

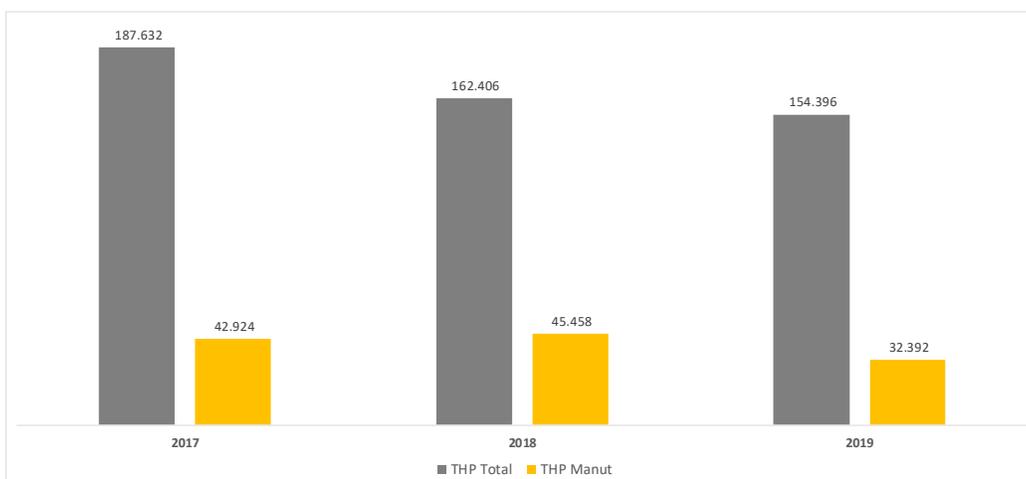
5.2.3. Análise quantitativa do THP (trem hora parado)

O THP (trem hora parado) tem uma representatividade importante na análise de impacto gerado nos trens que circulam em uma ferrovia. Basicamente quando um trem efetua uma parada não programada, os sistemas informatizados solicitam a apropriação do motivo da parada, sendo possível assim estratificar e atuar no efeito causador das paradas indesejadas.

Dessa forma, sempre acontece parada nos trens por manutenção programada, o sistema registra a apropriação dessa parada para esse motivo. Portanto, a avaliação desse tópico traz uma abertura do THP motivo Manutenção Programada, representando assim o quanto o processo de manutenção gera de impacto, em horas, na parada dos trens da ferrovia.

A distribuição anual do THP Total mostra comportamento com tendência de redução no período estudado (Fig. 44), tendo relação direta com o aumento da capacidade produtiva, em função do avanço das obras de duplicação da ferrovia. Dessa forma, a análise mais adequada deve considerar a relação entre o THP Manutenção e o THP Total, trazendo assim a identificação proporcional do THP Manutenção. Essa proporção teve oscilação entre 2017 e 2019, tendo como resultado 22,9%, 27,99% e 20,9% respectivamente.

Figura 37 – Distribuição do THP Total e THP Manutenção por ano (2017 a 2019).



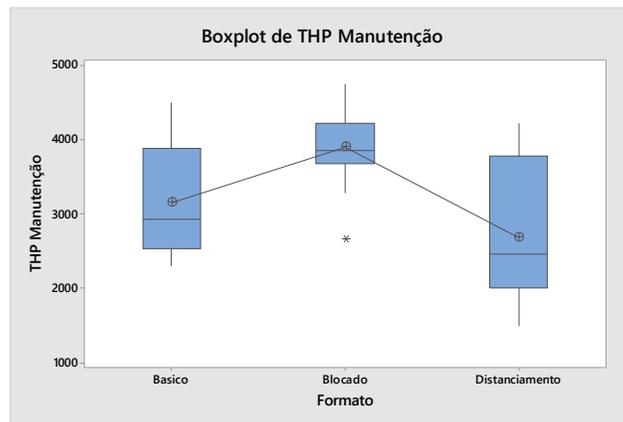
Fonte: Autor.

Em 2018, ano em que o formato de manutenção bloqueado predominou, houve uma relação THP Manutenção / THP Total mais elevada, podendo trazer o entendimento que o modelo em questão apresentou mais impacto ao negócio. Esse entendimento traz relação com o modelo adotado que pode ter gerado a saturação da quantidade de faixas de manutenção com paradas mais longas (2 TUs) associadas a pedidos de paradas extras para atuação em frentes de corretiva programada, uma vez que as premissas não estabeleciam regras de proteção ao tráfego entre frentes de serviço.

Sob a ótica do formato de manutenção é possível perceber que, comparado ao formato bloqueado e básico, a formatação por distanciamento apresenta valores menores de média (cerca de 31% - 15%, respectivamente) e mediana (aproximadamente 36% - 16% respectivamente), porém a dispersão bem mais elevada, quando fazemos a mesma comparação entre formatações (cerca de 85% - 9,5% a mais, respectivamente) (Fig. 45).

Esse efeito de menor dispersão na formatação da manutenção por blocos pode ter relação com o efeito de aceleração das obras de expansão, uma vez que as frentes para duplicação da ferrovia podem ter gerado sombra e, conseqüentemente, oportunidades de trabalho para as equipes de manutenção reduzindo assim seu impacto, caso que será avaliado no tópico de análise estatística das variáveis.

Figura 38 – *Boxplot* do THP Manutenção por modelo (2017 a 2019).



Fonte: Autor.

Deve ser ainda observado que além do THP como uma medida de avaliação do impacto, existem outros indicadores operacionais que podem trazer uma visão do efeito da manutenção na circulação dos trens, de forma que possa complementar a análise do fenômeno.

5.2.4. Análise quantitativa do KMEP (Quilômetro Médio Entre Paradas)

O indicador conhecido como KMEP (quilômetro médio entre paradas) foi levado em consideração em função da capacidade de expressar a fluidez da circulação dos trens em uma ferrovia; ou seja, mede a distância que os trens estão circulando em média (km) em relação a todas as paradas sofridas pelo trem.

O KMEP relacionado o formato básico de manutenção demonstra menor resultado médio em função do impacto causado pelo modelo associado a limitação da capacidade de transporte (momento em que tinha cerca de 45% singela), representando assim excessivas paradas nos trens no momento da manutenção na ferrovia. Já com a formatação de manutenção bloqueada, percebe-se um aumento do KMEP, especialmente no período em que há a finalização das obras de expansão ferroviária, caracterizando assim o incremento da máxima capacidade de transporte em função da nova configuração da ferrovia (duplicação). Esse aumento nos últimos 4 meses do ano tem relação direta com a ausência da interferência das obras e ganho da capacidade.

No formato de manutenção por distanciamento, os valores praticados de KMEP foram ainda maiores em função da distribuição das frentes de manutenção, mantendo assim distanciamento seguro para garantia da circulação ferroviária, com menores interferências de parada dos trens no momento da manutenção.

Figura 39 – Distribuição do KMEP ao longo dos meses (2017 a 2019).



Fonte: Autor.

Outro fator importante a ser observado é que o processo de duplicação da ferrovia finalizou em julho de 2018 (Fig. 46), porém o desempenho do KMEP continuou crescente apesar não haver mais ganho de capacidade.

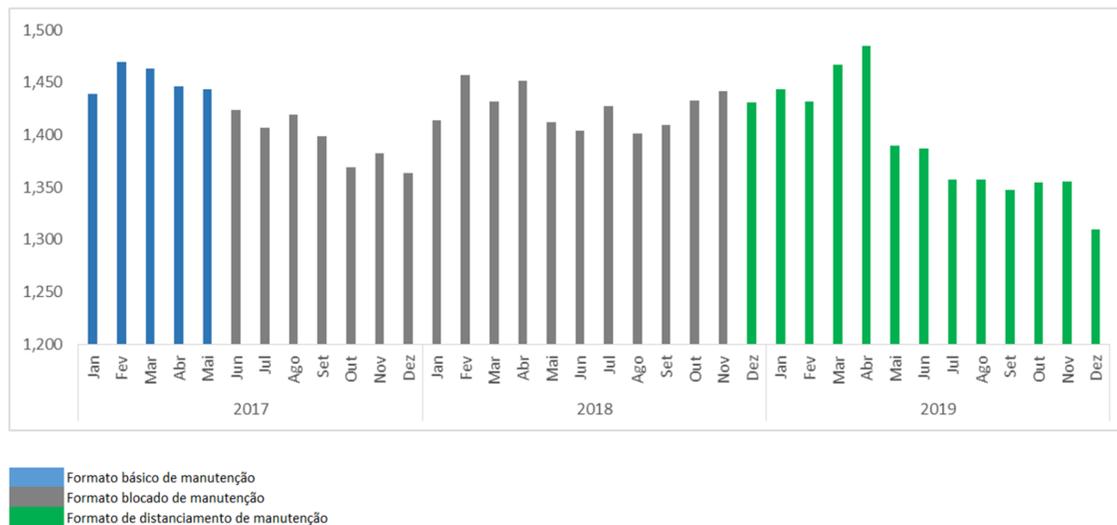
5.2.5. Análise quantitativa do Consumo Específico (Eficiência Energética)

O indicador de Eficiência Energética ou consumo específico é representado pela razão entre a quantidade de litros consumidos pela quantidade de toneladas úteis transportadas em 1000 km. Portanto, se um trem sofrer em sua circulação paradas sequenciadas por motivação da manutenção, certamente o indicador de consumo irá piorar. O ideal para a manutenção é dar intervenção na ferrovia gerando o mínimo de impacto e conseqüentemente menos paradas nos trens.

Na Figura 47 é mostrado o comportamento do consumo específico ao longo dos meses em função do formato de manutenção vigente no período. Apesar de haver uma tendência de melhoria

no indicador que representa a eficiência energética da ferrovia, é possível identificar oscilações durante o período de vigência de cada formatação de manutenção.

Figura 40 – Distribuição do Consumo Específico ao longo do período estudado.

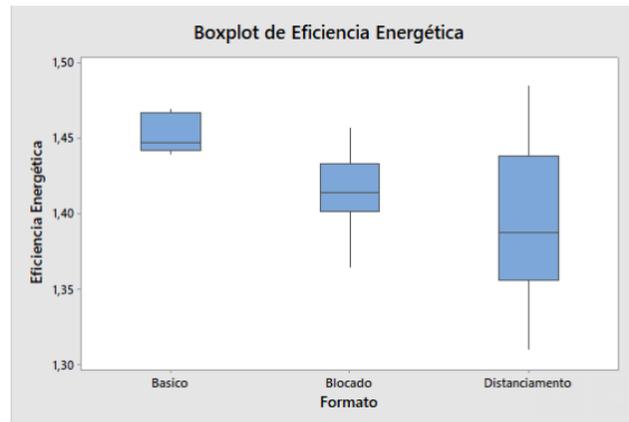


Fonte: Autor.

Quando a análise considera a visão do formato de manutenção, é possível identificar que houve retração para a média (2,66% - 1,41%) e mediana (2,31% - 1,83%), quando comparamos a formatação por blocos com a básica e formatação por distanciamento com o formato por blocos, respectivamente (Fig. 48). Em contrapartida, houve um crescimento significativo do desvio padrão, em especial no formato por distanciamento, caracterizando perda no controle de estabilidade desse processo, apesar da redução da média praticada.

Essas oscilações são caracterizadas por elementos relacionados com outras variáveis, tais como: perdas operacionais de outras naturezas, performance dos terminais de carregamento e descarregamento, tipo do diesel utilizado (legislação de utilização do percentual do biodiesel para cada ano) revisões do procedimento de condução dos trens e implementação de tecnologias que permitem melhor gerenciamento do consumo (sistemas automatizados de desligamento e partida das locomotivas remotas, uso de sistemas de redução de atrito no contato roda-trilho, sistemas de condução semiautônomo, etc.).

Figura 41 – *Boxplot* da Eficiência Energética por formato de manutenção.



Fonte: Autor.

Portanto, como existem inúmeras variáveis envolvidas no processo que podem interferir no resultado do consumo específico, deve-se buscar aprofundar em um estudo a parte, de forma a quantificar a influência dessas variáveis no resultado de eficiência energética.

5.3. Análise Estatística das Variáveis em estudo

Para melhor entendimento sobre o efeito da formatação da manutenção, foi utilizando um teste estatístico que permite a análise da relação de variáveis discretas e contínuas. Nesse caso, as variáveis discretas são representadas pela formatação da manutenção: básico, blocos e distanciamento, e as variáveis contínuas são: quantidade de falhas Via Permanente (VP) e Eletroeletrônica (EE), quantidade de THP motivo Manutenção, valores de KMEP (Quilômetro Médio Entre Paradas) e performance do consumo específico (Eficiência Energética).

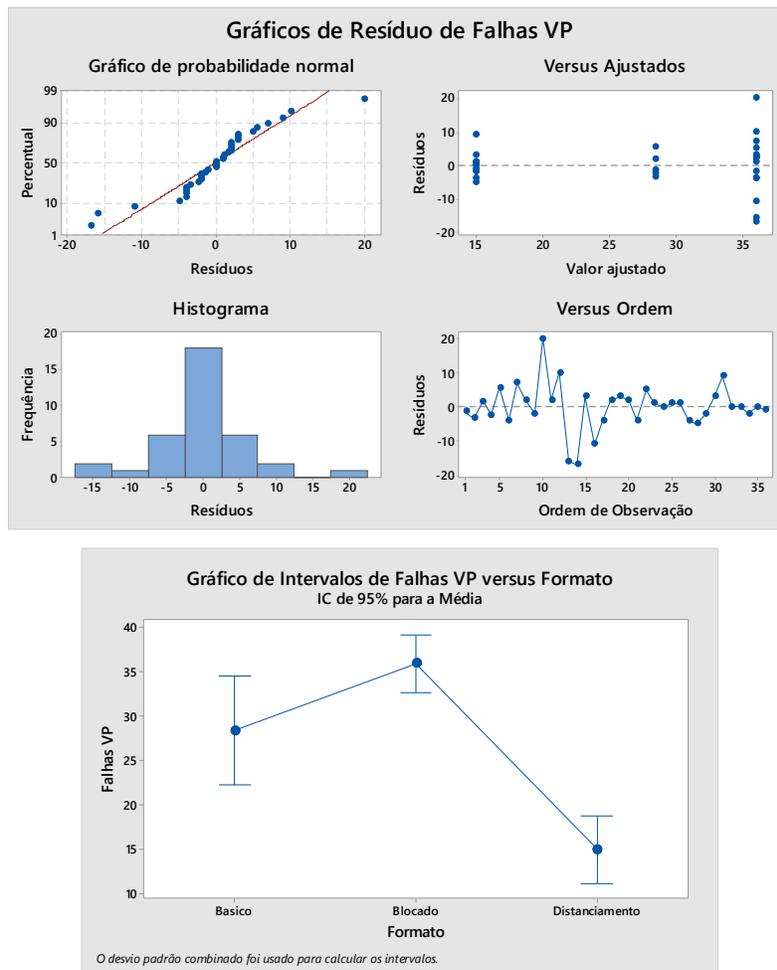
Outra análise importante é que de forma complementar incrementou-se uma análise com o objetivo de isolar o efeito da duplicação da ferrovia, cenário que permaneceu durante boa parte do período estudado, tendo influência nos resultados por conta do aumento de capacidade.

Dessa forma, consideramos o teste estatístico ANOVA (Análise de Variância) considerando as variáveis do tópico anterior com o objetivo de identificar se existe diferença entre as médias

praticadas dos indicadores para cada formatação de manutenção. Além disso, será necessário utilizar o teste *Tukey* nos casos em que houver confirmação dessas diferenças estatísticas como forma de identificar os detalhes de cada formato.

Utilizando a metodologia de aplicação do teste de análise de variância (ANOVA), foram consideradas as medidas dos 36 meses de medição das falhas de Via Permanente de acordo com cada formato de manutenção. Os gráficos da Figura 49 apresentam o comportamento das falhas VP.

Figura 42 – Gráfico de Resíduos e Intervalos de Falhas VP versus Formato.



Fonte: Autor.

O detalhamento do teste considera a geração de duas 2 hipóteses a serem testadas. A primeira hipótese (H_0) considera que todas as médias de falha da VP são iguais, independente do

formato de manutenção. A hipótese alternativa (H_1) leva em consideração que pelo menos uma das médias praticada entre os formatos de manutenção é diferente (Figura 50).

Figura 43 – Detalhamento ANOVA para Falhas de Via Permanente (VP) versus Formato.

Método

Hipótese Nula Todas as médias são iguais
 Hipótese Alternativa Pelo menos uma média é diferente
 Nível de Significância $\alpha = 0,05$

Assumiu-se igualdade de variâncias para a análise.

Informação dos fatores

Fator	Níveis	Valores
Formato	3	Básico; Blocado; Distanciamento

Análise de Variância

Fonte	DF	Adj SS	Adj MS	Valor F	Valor-P
Formato	2	3318	1658,93	35,97	0,000
Erro	33	1522	46,13		
Total	35	4840			

Sumário do Modelo

S	R2	R2(adj)	R2(pred)
6,79158	68,55%	66,64%	64,10%

Médias

Formato	N	Média	DesvPad	IC 95%
Basico	5	28,40	3,650	(22,22; 34,58)
Blocado	18	35,94	8,830	(32,69; 39,20)
Distanciamento	13	15,000	3,440	(11,168; 18,832)

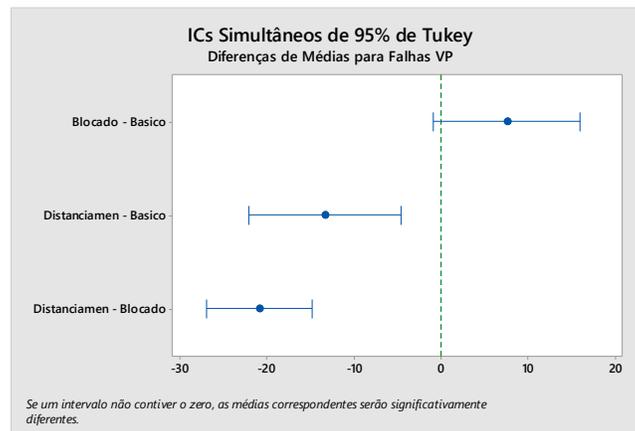
DesvPad Combinado = 6,79158

Fonte: Autor.

Com o resultado do Valor-P menor que 0,05, a hipótese H_0 é rejeitada e, conseqüentemente, a hipótese H_1 é considerada, indicando assim que há efetivamente diferença entre as médias praticadas por formato de manutenção com comprovação estatística. Portanto é necessário realizar o teste *Tukey* como forma de identificar essa diferença entre as médias e sua intensidade (Fig. 51).

O Teste *Tukey* revela que a média praticada entre as formatações básica e por blocos apresentam o mesmo agrupamento e que a formatação por distanciamento apresentou uma média de falhas de VP menor e estatisticamente diferentes, considerando um intervalo de confiança de 95%.

Figura 44 – Detalhamento teste *Tukey* para Falhas de Via Permanente (VP) versus Formato.

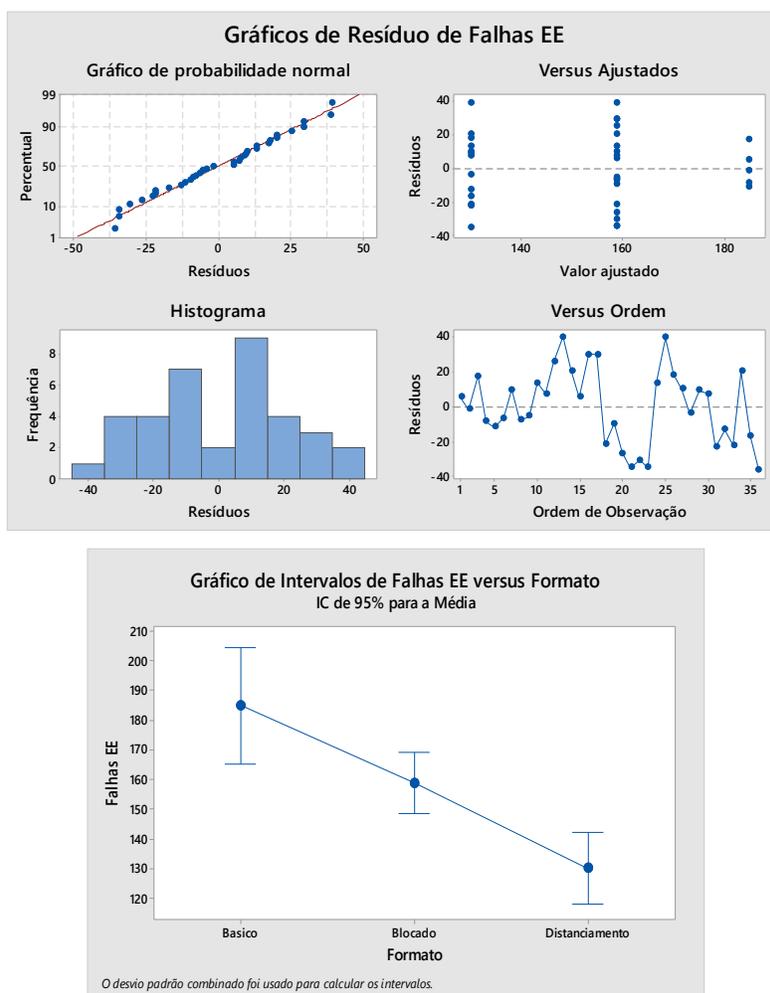


Fonte: Autor.

Dessa forma pode-se afirmar que a média das falhas praticadas pelo formato por distanciamento, quando comparado aos formatos básico e por blocos são significativamente diferentes, apresentando assim um agrupamento separado (Fig. 51). Por outro lado, os valores apresentados pelo formato básico e bloqueados não são significativamente diferentes entre si.

Diferente do resultado apresentado nas falhas VP, as falhas da Eletroeletrônica apresentam redução em cada formatação aplicada na ferrovia (Figura 52). Ampliando a análise de forma similar para a relação entre as falhas da Eletroeletrônica com o formato de manutenção observa-se um Valor-P menor que 0,05, rejeitando assim a hipótese H_0 . Portanto, isso representa uma diferença significativa entre as médias praticadas para cada tipo de manutenção praticada (Figura 53).

Figura 45 – Gráfico de Resíduos e Intervalos de Falhas EE versus Formato.



Fonte: Autor.

Apesar da redução na média praticada nas formatações de manutenção blocada (14% menor) e por distanciamento (29,6% menor), quando comparados ao formato básico, houve perda no desvio padrão considerável, podendo implicar na perda do controle da variação das falhas na Eletroeletrônica (Fig. 53). Além disso, o teste *Tukey* aponta que o formato de manutenção por distanciamento é categorizado de forma diferente quando comparado ao formato básico e por blocos (Fig. 54).

Outro fator importante é que as falhas de alguns sistemas da Eletroeletrônica não têm relação com o tempo concedido para intervenção de manutenção, pois o processo de manutenção não necessita ocupar a linha de tráfego.

Essa particularidade do processo de manutenção da Eletroeletrônica, associado ao efeito da duplicação da ferrovia (renovação e entrada de novos equipamentos de sinalização) implica na necessidade de verificar se de fato a relação do comportamento das falhas do sistema Sinalização apresenta um comportamento diferentes entre formatações de manutenção desconsiderando o possível efeito das obras de expansão.

Importante avaliar considerando esses aspectos, pois algumas falhas ocorridas com característica de sinalização estiveram associadas à falha crônica de implantação e garantia de funcionamento do processo de comissionamento dos novos ativos, o que pode ter alterado o comportamento das falhas da Eletroeletrônica, fator este avaliado no tópico 5.3.7.

Figura 46 – Detalhamento ANOVA para Falhas de Eletroeletrônica (EE) versus Formato.

Método

Hipótese nula Todas as médias são iguais
Hipótese alternativa No mínimo uma média é diferente
Nível de significância $\alpha = 0,05$

Assumiu-se igualdade de variâncias para a análise

Informações dos Fatores

Fator	Níveis	Valores
Formato	3	Básico; Blocado; Distanciamento

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Formato	2	12441	6220,3	13,34	0,000
Erro	33	15393	466,5		
Total	35	27834			

Sumário do Modelo

S	R2	R2(aj)	R2(pred)
21,5978	44,70%	41,34%	36,11%

Médias

Formato	N	Média	DesvPad	IC de 95%
Basico	5	184,80	11,65	(165,15; 204,45)
Blocado	18	158,72	23,54	(148,37; 169,08)
Distanciamento	13	130,08	21,27	(117,89; 142,26)

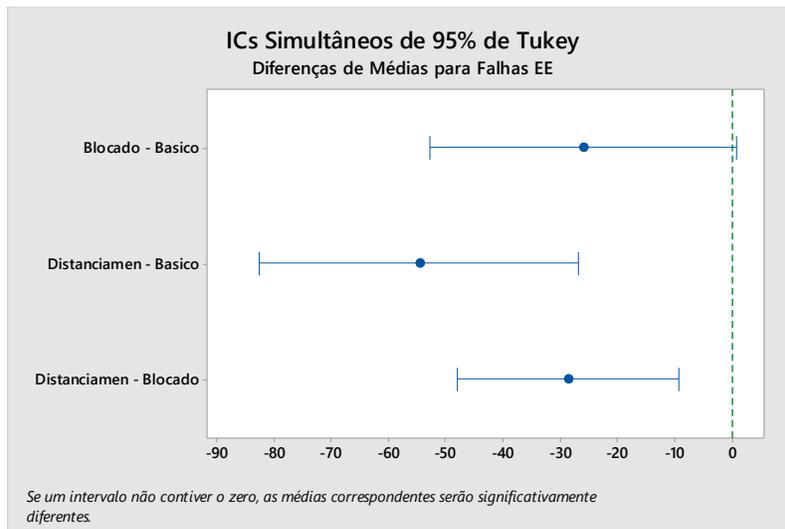
DesvPad Combinado = 21,5978

Fonte: Autor.

O resultado de categorização da média de falha praticada no formato de manutenção por distanciamento apresenta relação com a percepção das equipes de campo, em função dos dias mais dedicados para os tempos de intervenção preventiva, trazendo assim melhores condições de trabalho.

Nos demais formatos, a equipe da Eletroeletrônica competia por tempo para intervenções de manutenção, não havendo dedicação.

Figura 47 – Detalhamento teste *Tukey* para Falhas EE *versus* Formato.



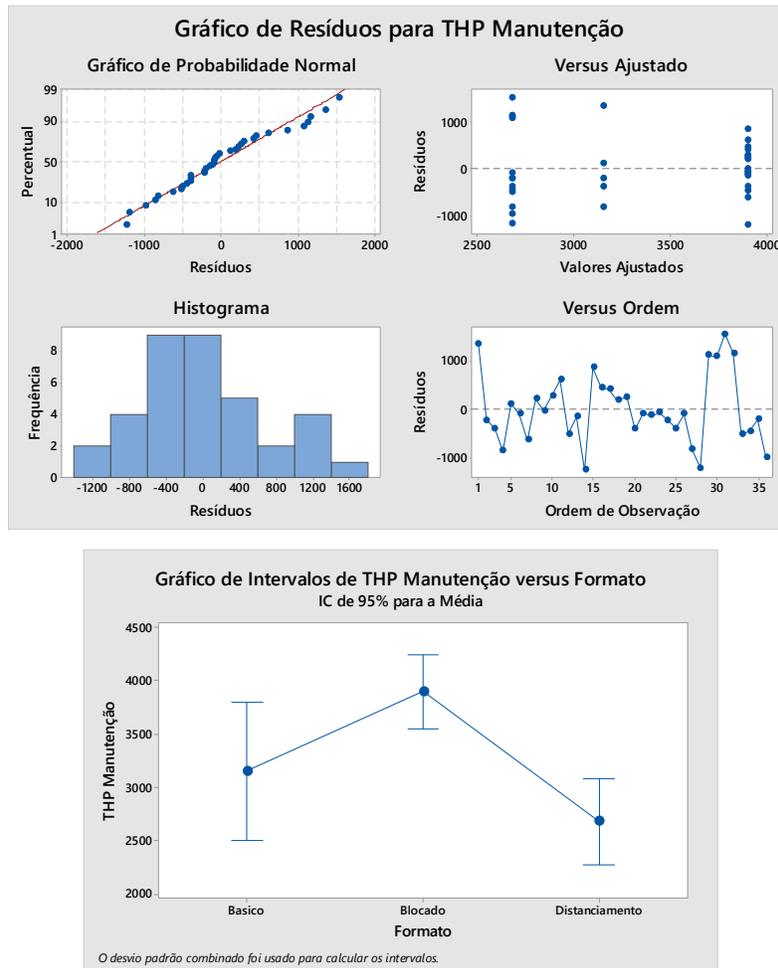
Fonte: Autor.

Outro fator de particularidade para o processo de intervenção de manutenção na Eletroeletrônica é a entrada do monitoramento preditivo das MCH e Telemetria para os CDV indicando por meio de alarmes com níveis de urgência, alertas de intervenção antes do sistema entrar em falha.

Esse processo traz benefícios importantes para a redução das falhas, identificação da medida de tratamento prévia - “remédio” certo para o problema identificado - iniciando assim uma mudança na estratégia de trabalho, onde a prioridade será “tratar menos com menos”; ou seja, solicitações de janelas de trabalho apenas para atuar no que for necessário, utilizando níveis de controle bem estabelecidos, reduzindo assim impactos como o THP Manutenção.

Com a análise de variância envolvendo o THP Manutenção e o formato de manutenção, observa-se tendência de comportamento normal para os dados referente ao THP Manutenção, conforme indicação no gráfico de Probabilidade Normal e Histograma da Figura 55.

Figura 48 – Gráfico de Resíduos e Intervalos de THP Manutenção versus Formato.



Fonte: Autor.

O teste ANOVA nesse contexto irá identificar se cada modelo, com base nos dados levantados, apresenta impacto ao negócio diferente. Nesse caso, quanto menor o THP Manutenção, melhor será a formatação de manutenção.

Quando se avalia o THP Manutenção em relação ao THP Total, observa-se também uma oscilação, especialmente no formato de manutenção bloqueado (avaliação relatada no tópico de análise quantitativa do THP Manutenção), o que leva a crer que essa formatação não apresenta um bom resultado para o negócio, mesmo tendo apresentado menor valor de dispersão entre formatos (Figura 56).

Observando o Valor-P apresentado na Figura 56, é possível identificar que há diferença significativa entre as médias praticadas para cada formato de manutenção, necessitando assim da realização do teste *Tukey* para identificar quais diferenças existem.

O teste *Tukey* apresentou um resultado peculiar, onde é possível observar basicamente 2 categorias entre formatos, porém a formatação básica permeou pelas duas categorias. Dessa forma, o entendimento sobre o resultado é que o formato básico de manutenção não apresenta diferença estatística significativa quando comparada aos dois formatos de manutenção (Figura 57). Em contrapartida, o formato por distanciamento apresentou a menor média de THP Manutenção e diferença significativa entre as médias quando comparado à manutenção bloqueada.

Figura 49 – Detalhamento ANOVA para THP Manutenção *versus* Formato.

```

Método

Hipótese nula          Todas as médias são iguais
Hipótese alternativa   No mínimo uma média é diferente
Nível de significância α = 0,05

Assumiu-se igualdade de variâncias para a análise

Informações dos Fatores

Fator   Níveis  Valores
Formato      3  Básico; Blocado; Distanciamento

Análise de Variância

Fonte  GL  SQ (Aj.)  QM (Aj.)  Valor F  Valor-P
Formato  2  11409669  5704835  11,21  0,000
Erro    33  16800897  509118
Total   35  28210566

Sumário do Modelo

          S      R2  R2(aj)  R2(pred)
713,525  40,44%  36,84%  27,06%

Médias

Formato      N  Média  DesvPad  IC de 95%
Básico        5  3153   831  (2504; 3802)
Blocado       18  3898   491  (3555; 4240)
Distanciamento 13  2681   910  (2278; 3084)

DesvPad Combinado = 713,525

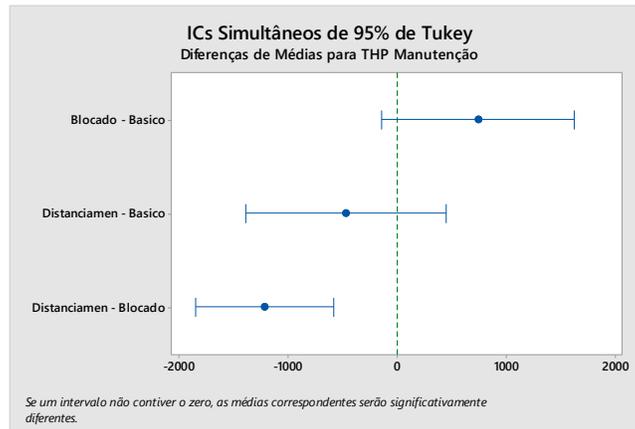
```

Fonte: Autor.

Um fato importante a ser debatido é o efeito do processo de duplicação da ferrovia no comportamento do THP Manutenção. Algumas intervenções de manutenção aconteceram em função

da sombra gerada das atividades de duplicação, como por exemplo: ligação de segmentos duplicados, atividades de retirada de AMV e substituição dos TU, Renovações de linha, etc.

Figura 50 – Detalhamento teste *Tukey* para THP Manutenção *versus* Formato.



Fonte: Autor.

Diante dos fatos, para se ter uma confirmação se a manutenção por distanciamento de fato apresenta menor impacto ao negócio, deve-se buscar uma alternativa de isolar a variável duplicação da ferrovia e verificar se os dados não apresentam vícios provenientes desse processo de expansão.

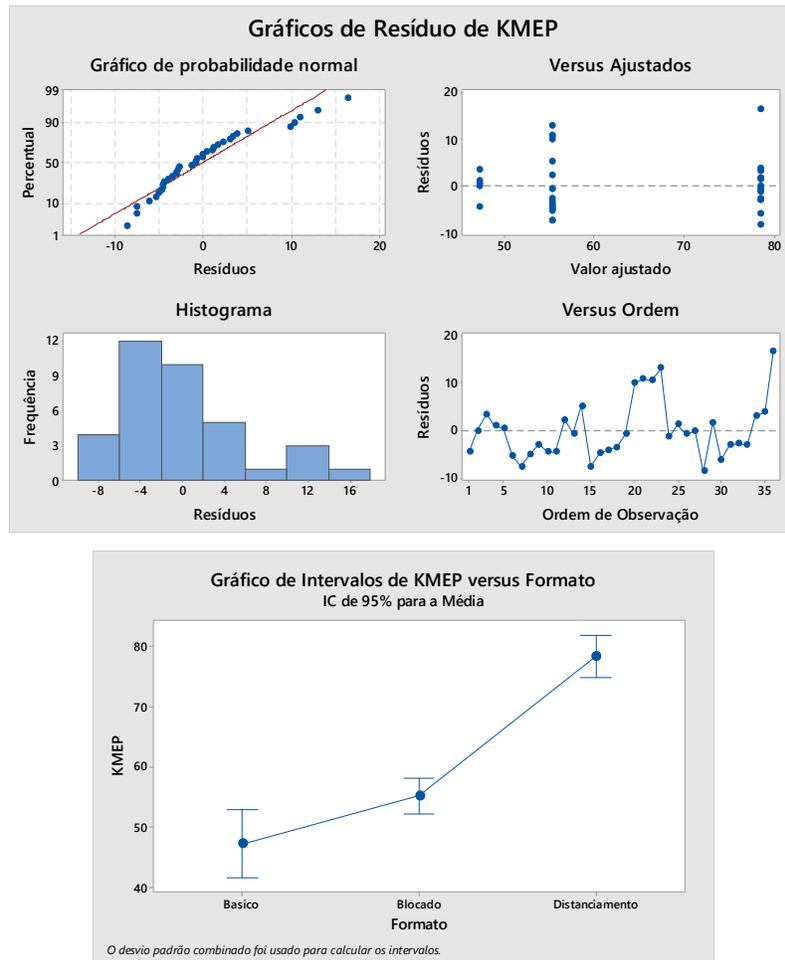
O indicador KMEP também apresenta relação com a formatação da manutenção na ferrovia, uma vez que quanto maior a intensidade nas intervenções programadas, como consequência o impacto na parada nos trens em viagem, reduzindo assim a distância média percorrida entre paradas. Portanto, esse indicador apresenta o comportamento em que a medida que o número aumenta, o índice que representa a fluidez no tráfego apresenta boa performance. Logo, o comportamento do KMEP desde o início apresentou avanço significativo, quando observado apenas a variável isolada.

Com a aplicação do teste ANOVA, observa-se que a manutenção por distanciamento apresenta um resultado de KMEP bem acima da média praticada no período em que os outros formatos estão vigentes (Fig. 58), mesmo considerando o limite inferior do intervalo de confiança de 95%.

Quando comparado os intervalos de confiança da manutenção bloqueada e básica, existe uma dúvida em função da sobre posição do limite superior da manutenção básica com o limite inferior da

manutenção blocada, sendo necessário avaliar o Valor-P e a aplicação do teste *Tukey* para identificação dessas possíveis diferenças entre as médias.

Figura 51 – Gráfico de Resíduos e Intervalos para KMEP versus Formato.



Fonte: Autor.

Após a confirmação do resultado do Valor-P abaixo de 0,05 (Fig. 59), é possível ratificar a análise prévia feita com a interpretação da Fig. 58, porém o detalhamento do comportamento das médias de KMEP praticadas para cada formatação só é possível ser feito após análise do teste *Tukey*.

Já a Fig. 60 apresenta um resultado diferente dos demais apresentados nos tópicos anteriores na qual a linha de tendência na intercepta as linhas de comparação entre formatos de manutenção, representando assim diferença significativa entre as médias do KMEP praticadas em cada formato de

manutenção vigente. Isso caracterizou uma segregação em 3 grupos distintos, conforme detalhe apontado na análise de agrupamento das médias das amostras do teste *Tukey* (Fig. 60).

A manutenção por distanciamento apresentou melhor resultado quando comparado aos demais formatos, representando assim incremento de cerca de 42% no KMEP realizado em relação à manutenção bloqueada e 66% a mais que a manutenção básica.

Esse comportamento crescente do KMEP apontado nesses 36 meses de estudo pode ter influência também do processo de expansão ferroviária, uma vez que a cada entrega de segmentos duplicados na ferrovia, a capacidade do sistema era redimensionada.

Figura 52 – Detalhamento ANOVA para KMEP *versus* Formato.

Método

Hipótese Nula Todas as médias são iguais
Hipótese Alternativa No mínimo uma média é diferente
Nível de Significância $\alpha = 0,05$

Assumiu-se igualdade de variâncias para a análise.

Informações dos Fatores

Fator	Níveis	Valores
Formato	3	Basico; Blocado; Distanciamento

Análise da Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Formato	2	5405	2702,29	70,48	0,000
Erro	33	1265	38,34		
Total	35	6670			

Sumário do Modelo

S	R2	R2(aj.)	R2(aj.)
6,19220	81,03%	79,88%	78,17%

Médias

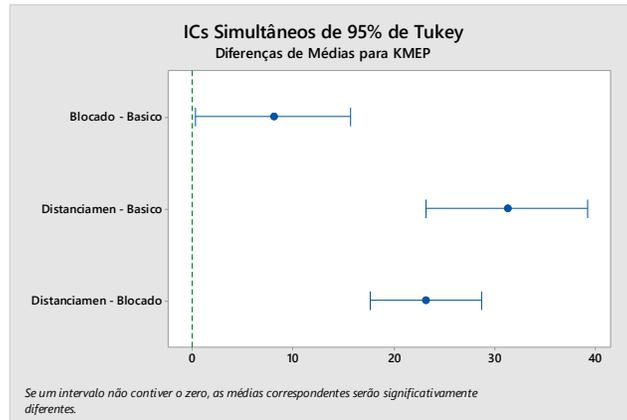
Formato	N	Média	DesvPad	95% CI
Basico	5	47,25	2,88	(41,62; 52,89)
Blocado	18	55,28	6,83	(52,31; 58,25)
Distanciamento	13	78,44	6,05	(74,95; 81,93)

DesvPad Combinado = 6,19220

Fonte: Autor.

De acordo com os resultados obtidos, a presença desse efeito gerado pela expansão ferroviária, não é possível afirmar que o KMEP aumentou por conta da entrada do formato de manutenção.

Figura 53 – Detalhamento teste *Tukey* para KMEP versus Formato.



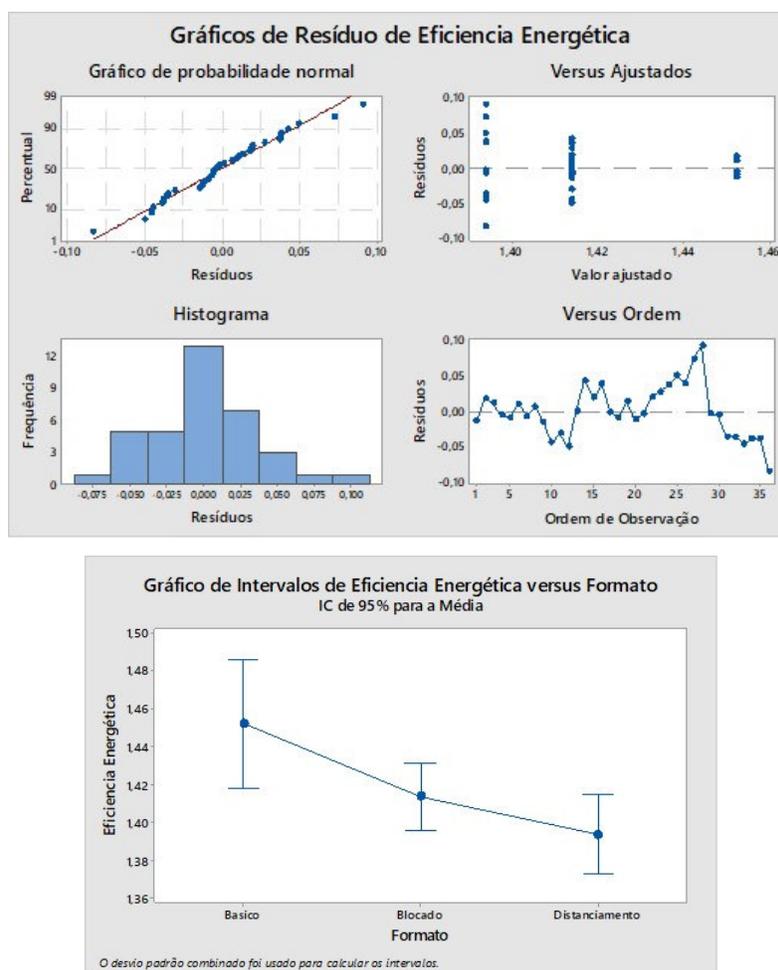
Fonte: Autor.

No entanto, é possível identificar que a manutenção bloqueada passou por um período de vigência em que o processo de duplicação ferroviário esteve presente e após a conclusão das obras de expansão ainda permaneceu sendo utilizado esse formato. Já a formatação por distanciamento esteve em operação após o fim das obras de expansão.

Com esse cenário, o formato básico passa a não ter validade na tentativa de identificar o efeito da manutenção com o isolamento do efeito do ganho de capacidade em função das obras. Esse racional deve ser considerado para os demais indicadores para que se possa ratificar as constatações realizadas pelos testes estatísticos aqui aplicados.

De forma similar, os testes estatísticos foram aplicados considerando o indicador de consumo específico, que nesse caso, quanto menor o número, melhor e mais eficiente energeticamente está a ferrovia.

Figura 54 – Gráfico de Resíduos e Intervalos para Eficiência Energética versus Formato.



Fonte: Autor.

Portanto, fazendo uma análise prévia do gráfico de intervalos da eficiência energética, considerando IC de 95% é possível identificar uma queda acentuada na média, considerando a ordem cronológica de aplicação de cada formato de manutenção.

O histograma do gráfico de resíduos indica que o comportamento dos dados segue uma distribuição normal, constatação indicada também por conta da aproximação dos pontos em relação a reta inclinada no gráfico de probabilidade normal (Fig. 61).

O Valor-P menor que 0,05 (0,018) confirma a presença de médias estatisticamente diferentes entre formatos de manutenção (Fig. 62). Portanto, se faz necessário aplicar o teste *Tukey* para identificar como se dá essa diferença e seu grau de aplicação.

Figura 55 – Detalhamento ANOVA para eficiência energética.

Método

Hipótese nula Todas as médias são iguais
 Hipótese alternativa No mínimo uma média é diferente
 Nível de significância $\alpha = 0,05$

Assumiu-se igualdade de variâncias para a análise

Informações dos Fatores

Fator Níveis Valores
 Formato 3 Básico; Blocado; Distanciamento

Análise de Variância

Fonte	GL	SQ (Aj.)	QM (Aj.)	Valor F	Valor-P
Formato	2	0,01250	0,006251	4,53	0,018
Erro	33	0,04551	0,001379		
Total	35	0,05801			

Sumário do Modelo

S	R2	R2(aj)	R2(pred)
0,0371370	21,55%	16,79%	8,45%

Médias

Formato	N	Média	DesvPad	IC de 95%
Básico	5	1,45240	0,01336	(1,41861; 1,48619)
Blocado	18	1,41380	0,02547	(1,39600; 1,43161)
Distanciamento	13	1,3939	0,0530	(1,3729; 1,4148)

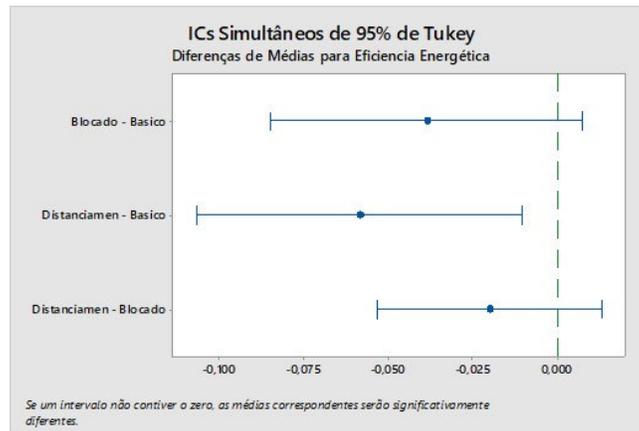
DesvPad Combinado = 0,0371370

Fonte: Autor.

O gráfico de intervalos de confiança apresentando na Fig. 63 mostra que o valor nulo intercepta a variância dos dados de duas linhas de comparação entre formatações de manutenção, indicando assim que apenas há diferença significativa entre as médias da eficiência energética dos formatos básico e por distanciamento.

Dessa forma, não é possível afirmar que a manutenção por distanciamento apresenta melhor resultado que a manutenção bloqueada em função da sobreposição desses intervalos de confiança. Não obstante, é possível identificar na classificação do agrupamento que o formato de manutenção bloqueado está permeando pelo grupo A e B (Fig. 63).

Figura 56 – Detalhamento teste *Tukey* para Eficiência Energética *versus* Formato.



Fonte: Autor.

O indicador de eficiência energética também sofre influência direta do processo de expansão ferroviária e, portanto, se faz necessário averiguar por meio de outras ferramentas estatísticas se, após isolar esse fator de interferência, se o comportamento do indicador é diferente para cada formato de manutenção, tópico que será abordado no próximo tópico.

5.4. Teste *T* para os indicadores sem o efeito das obras de expansão

Como praticamente todos os indicadores de verificação sofreram influência do processo de expansão ferroviária, fez-se necessário buscar uma forma isolar tal parâmetro. Diante dos dados analisados, observa-se que, nesses 36 meses de estudo, apenas os formatos de manutenção bloqueado e por distanciamento apresentam informações sem influência da duplicação (a partir de jul/2018).

Logo, com essas considerações, só é possível comparar resultados entre dois formatos de manutenção. Com isso, o teste estatístico ANOVA não é adequado, sendo necessário utilizar o teste *T* para esse processo de avaliação.

Neste contexto, foram considerados para todos os testes aplicados, o período de julho a novembro/2018 para o formato de manutenção bloqueado e dezembro/2018 e julho a novembro/2019 para o formato de manutenção por distanciamento. Assim, além de isolar o efeito da duplicação,

tentou-se buscar uniformizar meses provenientes do mesmo semestre do ano a fim de evitar possíveis efeitos de sazonalidade de produção.

Portanto, será considerado nesse tópico o comparativo utilizando o teste T para:

- Falha VP em função do formato de manutenção (sem efeito expansão);
- Falha eletroeletrônica em função do formato de manutenção (sem efeito expansão);
- THP de manutenção em função do formato de manutenção (sem efeito expansão);
- KMEP em função do formato de manutenção (sem efeito expansão);
- Eficiência energética em função do formato de manutenção (sem efeito expansão).

Portanto, após a aplicação do teste T para verificar se existe diferença significativa entre as médias dos formatos de manutenção bloqueado e por distanciamento para falhas de via permanente, o detalhamento abaixo indica que, mesmo isolando as variáveis relacionadas ao processo de duplicação da ferrovia, o Valor-P é menor que 0,05 (Figura 64).

Figura 57 – Teste T para Falhas VP em função do formato de manutenção.

Teste T para Duas Amostras e IC: Falhas VP; Formato

Teste T para 2 amostras para Falhas VP

Formato	N	Média	DesvPad	EP Média
Blocado	5	37,40	3,36	1,5
Distanciamento	7	15,86	3,67	1,4

Diferença = μ (Blocado) - μ (Distanciamento)
Estimativa para a diferença: 21,54
IC de 95% para a diferença: (16,92; 26,17)
Teste T de diferença = 0 (versus ≠): Valor-T= 10,53 Valor-P = 0,000 GL = 9

Fonte: Autor.

Dessa forma, é possível afirmar que o formato de manutenção por distanciamento apresentou médias menores e significativamente diferentes dos valores praticados no período em que o formato de manutenção bloqueada esteve presente, já com o processo de duplicação finalizado.

Diante das avaliações estatísticas apresentadas nos tópicos anteriores, observou-se que muitas variáveis foram consideradas na análise do efeito da manutenção em uma ferrovia. Após a aplicação dos testes ANOVA e Teste *t-Student* para verificar a diferença de performance entre formatos de manutenção.

Com a avaliação mais minuciosa das variáveis, foi necessário buscar um meio de isolamento do efeito das obras de expansão que intensificaram basicamente nos 36 meses utilizados nesse estudo. Em função disso, alguns meses de 2018 e 2019 foram selecionados com o objetivo de eliminar a influência do ganho de capacidade a cada entrega de segmento duplicado na ferrovia.

Com isso, o quadro resumo foi consolidado com o objetivo de apresentar de forma sucinta a performance de cada formatação de manutenção (Fig. 70).

Figura 58 – Matriz resumo das análises estatísticas para os formatos de manutenção.

Formato	Falha VP	Falha Eletroeletrônica	THP Manutenção	KMEP	Eficiência Energética	Soma matriz
Básico	3	1	3	1	1	9
Blocado	1	3	1	3	3	11
Distanciamento	5	5	5	5	5	25
Blocado s/ efeito Obras	3	0	3	3	3	12
Distanciamento s/ efeito Obras	5	0	5	5	5	20

Referência

1 - Pior resultado

3 - Resultado intermediário

5 - Melhor resultado

0 - Resultado inadequado

Fonte: Autor.

Com isso, a matriz resumo foi consolidada com o objetivo de apresentar de forma sucinta a performance de cada formatação de manutenção (Fig. 70). Foram considerados resultados reprovados os testes que estavam relacionados ao processo da manutenção eletroeletrônica tanto para a formatação bloqueada, quanto para a manutenção por distanciamento em função do teste *t-Student* ter apresentado um Valor-P maior que 0,05.

No entanto, observa-se que a formatação básica teve resultado inferior em função do não atendimento aos requisitos necessários para atingimento da estratégia de manutenção, além da performance apresentada para os indicadores de falha da eletroeletrônica, KMEP e eficiência energética.

O formato bloqueado não teve um bom desempenho quando se trata de uma avaliação envolvendo os indicadores de falha de via permanente e THP de manutenção, ou seja, apresentou resultados piores para a performance de falhas da VP e gerou mais impacto ao negócio com as regras definidas de programação de manutenção.

Em contrapartida, o formato de manutenção por distanciamento demonstrou melhor performance em todos os indicadores operacionais, considerando o efeito gerado pelas obras de expansão ferroviária.

Com as análises apontadas neste estudo, o formato de manutenção por distanciamento também demonstrou melhor desempenho nas análises de comparação do comportamento das médias entre formatos para os indicadores de falha VP, THP de manutenção, KMEP e eficiência energética.

As avaliações de campo apontam uma aprovação do formato de manutenção por distanciamento em função da dedicação dos dias da eletroeletrônica para a realização das intervenções em campo. Nos demais dias, a equipe de campo aproveita o momento para suportar atividades de VP, tais como: Troca de meia chave, substituição de jacaré, troca de componentes em situações que necessitam de ajuste da equipe, etc.

Por outro lado, o formato de manutenção bloqueada teve sua importância no processo de transição entre uma ferrovia que basicamente era singela e atualmente tem caráter de uma ferrovia completamente duplicada.

Já o formato básico representou uma formatação de um movimento que até então não era consolidado no meio ferroviário e teve seu efeito de ajuste de um modelo inicial, com regras

simplificadas, que com o passar dos anos não teve capacidade de atendimento das premissas da engenharia de manutenção, sendo assim necessário redesenhar as regras de intervenção programada.

Dessa forma, foram submetidos 10 testes envolvendo cenários de diferentes avaliações associados à presença do efeito da duplicação da ferrovia. Portanto, é possível ratificar que o formato de manutenção por distanciamento apresentou desempenho superior para praticamente todos os demais indicadores de produção (9/10 exames), representando assim uma performance acima da média praticada bem superior.

Além disso, o formato de manutenção por distanciamento teve efeito positivo, algo que também foi percebido pelas equipes de campo, especialmente para as equipes da Eletroeletrônica em função da dedicação dos dias específicos para o time da Eletro.

Essa avaliação tem se tornado importante até mesmo para eliminar alguns paradigmas criados no ambiente operacional, tais como: relação entre as falhas da Eletroeletrônica com a formatação, relação direta com o comportamento das falhas de sinalização com as premissas de programação.

6. Conclusões

O tema relacionado à manutenção ferroviária traz diferentes visões e percepções sobre qual é o melhor formato a ser implantado. De maneira geral, o formato de manutenção não é definido de forma genérica para todas as ferrovias e depende da estratégia de manutenção definida pelo departamento de engenharia e pelas diretrizes da companhia.

Os modelos explorados nesse trabalho foram definidos com a presença de profissionais que utilizaram o conhecimento empírico para definir premissas de trabalho, associados às experiências de implantação de formatações de manutenção em outra ferrovia, trazendo assim aprendizados proveniente de experimentos anteriores.

Estruturar premissas de trabalho para a equipe de manutenção com o objetivo de reduzir o impacto ao negócio deve ser um exercício contínuo e cada vez mais utilizar ferramentas que extrapolem a capacidade de interagir variáveis que fazem parte da rotina operacional.

Essa busca pela relação harmoniosa entre manutenção e operação; ou seja, garantir a saúde dos ativos, sem prejudicar a capacidade do sistema, será a chave para operação sustentável do processo de logística ferroviária, garantindo assim a perenidade do negócio.

Diante dos elementos desse estudo, foi possível conhecer o comportamento das falhas de via permanente e os problemas mais comuns enfrentados em uma ferrovia com carga pesada, além da análise da distribuição das falhas da Eletroeletrônica com a abertura de seus sistemas (automação, sinalização, telecomunicações, energia, bordo e *helper*).

O processo de expansão ferroviária trouxe influência no comportamento e acomodação dos formatos de manutenção, sendo inclusive um fator determinante para a mudança de premissas, quando a ferrovia passou a ter uma característica mais forte de linha dupla.

A relação do formato de manutenção com indicadores operacionais foi importante para determinar o grau de assertividade na implementação do formato de manutenção por distanciamento, além da construção dessas premissas levarem em consideração elementos que suportam o cumprimento da estratégia de manutenção e conseqüentemente, o atendimento ao plano de manutenção preventiva.

Algumas ações tomadas no decorrer desse período ajudaram a eliminar a concentração de frentes de trabalho em um momento específico do dia, quebrando assim crenças em que a

manutenção só deveria trabalhar pelo horário da manhã limitando assim a produtividade dessas equipes.

As alterações na formatação de manutenção foram essenciais para cada momento em que a ferrovia em estudo passou durante esses últimos 3 anos, tanto pela metamorfose sofrida, em função das obras de expansão, como na preparação das equipes de manutenção para manter a nova estrutura sem deixar *backlog*, garantindo assim ativos saudáveis e com planos de manutenção aderentes.

De maneira geral, os principais indicadores ferroviários foram levados em consideração na análise dos formatos de manutenção, sendo possível inclusive concluir que a manutenção por distanciamento permitiu efeito positivo no KMEP, eficiência energética e THP de manutenção.

Foi possível identificar que o formato por distanciamento teve embasamento técnico na construção das premissas, partindo da demanda de campo e da estratégia de manutenção e, na prática, apresentou os melhores resultados.

O uso de ferramentas estatísticas permitiu assim validações importantes para o formato da manutenção por distanciamento, além de um aprendizado sobre o comportamento das falhas da Eletroeletrônica, especialmente quanto ao entendimento equivocado que somente as falhas de sinalização estavam associadas aos tempos de intervenção programada na ferrovia.

Além disso, mesmo testes estatísticos isolados podem apresentar resultados que implicam em análises equivocadas, se não houver conhecimento quanto aos detalhes da rotina operacional, como o caso da validação do teste ANOVA para a diferença significativa das médias dos três formatos de manutenção sem desconsiderar o efeito da duplicação ferroviária.

Dessa forma, o presente estudo trouxe um aprofundamento da relação dessas variáveis, de forma a isolar o efeito proveniente do aumento de capacidade e comparar os formatos de manutenção bloqueada e por distanciamento utilizando outro teste estatístico (*teste t-Student*).

Como recomendação para estudos futuros, com o intuito de desenvolvimento do conhecimento e aplicação das melhores práticas para a aplicação de premissas de manutenção ferroviária, segue cardápio de sugestões:

- Aplicação de métodos de otimização operacional das premissas de manutenção;
- Utilização de *big data* e *advanced analytics* na análise da performance de manutenção;
- Estudo sobre aumento de produtividade das equipes de manutenção;

- Definição da melhor estratégia de manutenção ferroviária;
- Aprofundamento do comportamento das falhas da Eletroeletrônica;
- Propostas de novas estratégias de manutenção que reduzem a entrada das equipes para intervenções programadas;
- Desenvolvimento de simuladores para avaliação das formações de manutenção considerando os principais indicadores operacionais ferroviários.

7. Referências bibliográficas

Vale. <https://www.antf.org.br/agenda/eventos-da-antf/iv-encontro-de-ferrovias-antf/> (acesso em 15/09/19 as 11:33) - *Renovação Mecanizada de Linha na EFC – VALE – 2013.*

ALMEIDA, A. DE Q. H.; DIAS, F. S. A IMPORTÂNCIA DO ESMERILHAMENTO NA MANUTENÇÃO DE VIAS FÉRREAS. . Niterói - RJ: [s.n.], 2019.

ANTF. Ferrovias de Carga e o Futuro do Brasil - Proposta da ANTF para o novo governo 2019 - 2022. Direito. Brasília - DF: [s.n.], 2018.

ARAUJO, D. R. DE; SANTOS, M. A. F. DOS; NASCIMENTO, P. H. S. DO. OTIMIZAÇÃO DO CICLO OPERACIONAL DE TRANSPORTE DOS VAGÕES DE MINÉRIO DA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS – VALE. . Belém - PA: [s.n.], 2018.

CAETANO, V. F. R. Análise multicritério aplicada na reabilitação de infraestruturas ferroviárias. 2018. 159 f. Universidade Nova de Lisboa, 2018.

CAZELLI, M.; INVESTIMENTOS. UTILIZANDO ENGENHARIA E ANÁLISE DO VALOR. 2008. 251 f. INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA CURSO, 2008.

CÉZAR, J. UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL – UNIJUI
JÚLIO CÉZAR OLIVEIRA. 2018.

COIMBRA, M. D. V. MODOS DE FALHA DOS COMPONENTES DE VIA PERMANENTE FERROVIÁRIA E SEUS EFEITOS NO MEIO AMBIENTE. 2008.

DNIT. ISF-215: Projeto de Superestrutura da Via Permanente – Aparelhos de Mudança de Via (AMV). 2015.

DNIT. PIM-011 - PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO DE MATERIAL RETENSOR PARA VIA FÉRREA. 2016a, Brasília, Distrito Federal: [s.n.], 2016. p. 21.

DNIT. PIM-013 - PROCEDIMENTO DE INSPEÇÃO DE MATERIAL GRAMPO TIPO PANDROL PARA FIXAÇÃO ELÁSTICA. 2016b, Brasília, Distrito Federal: [s.n.], 2016. p. 21.

KLINCEVICIUS, M. G. Y. Estudo de propriedades, de tensões e do comportamento mecânico de lastros ferroviários. 2011. 12–39 f. 2011.

LORENZ, G. ESTUDO DAS MANUTENÇÕES E DESGASTES DECORRENTES DO. 2018. 76 f. UNIVERSIDADE REGIONAL DO NOROESTE DO ESTADO DO RIO GRANDE DO SUL - UNIJUÍ, 2018.

MÂCEDO, F. B. Estudo do desgaste de trilhos ferroviários. p. 37, 2009.

MAROTTA, R. D. FERROVIÁRIA E OTIMIZAÇÃO NA ALOCAÇÃO DE RECURSOS. . Juiz de Fora - MG: [s.n.], 2016.

MARTINS, S. F. G. Gestão e Controlo de Circulação de Tráfegos Rodoviário e Ferroviário. 2017. 112 f. INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA, 2017.

NETO, C. B. MANUAL DIDÁTICO DE FERROVIAS. Curitiba - PR: [s.n.], 2019.

NUNES, C. UTILIZAÇÃO DE MÉTODOS DE ANÁLISE DE FALHAS EM UM SISTEMA DE SINALIZAÇÃO FERROVIÁRIA. . Rio de Janeiro - RJ: [s.n.], 2012.

Ó, F. R. R. DO. Sinalização e Controle de Tráfego - Pós Graduação em Engenharia Ferroviária. Sinalização e Controle de Tráfego. IFMA / Val ed. São Luís - MA: [s.n.], 2008. p. 276.

OLIVEIRA, D. R. ESTUDO SOBRE A INFLUÊNCIA DE DESGASTES ONDULATÓRIOS DE TRILHOS NO COMPORTAMENTO DINÂMICO DE VAGÕES FERROVIÁRIOS TIPO GÔNDOLA. 2016. 2016.

PEDRONI, P. G. ANÁLISE DE FALHAS DAS FRATURAS DE TRILHOS: O CASO DA FERROVIA DO AÇO. 2008. 92 f. INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA, 2008.

PEREIRA, E. P. MODELO MATEMÁTICO PARA PLANEJAMENTO DA CIRCULAÇÃO DE TRENS EM UMA FERROVIA DE LINHA SINGELA. 2015. 82 f. Universidade Federal do Espírito Santo, 2015.

PESTANA, R. P. AVALIAÇÃO DO IMPACTO DO TAMANHO DOS TRENS E DO COMPRIMENTO DAS SEÇÕES DE BLOQUEIO NA. 2013. 139 f. UNIVERSIDADE FEDERAL DO ESPÍRITO SANTO, 2013.

PIRES, F. P. INTRODUÇÃO DA TECNOLOGIA LASERAIL NA MANUTENÇÃO DA VIA PERMANENTE: UM ESTUDO DE CASO NO METRÔ RIO. 2007. 145 f. CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA, 2007.

ROSA, R. de A. NOTAS DE AULA: OPERAÇÃO FERROVIÁRIA. Curso de pós-graduação em engenharia ferroviária, Faculdade Brasileira - UNIVIX. Vitória - ES, 2010.

RUSSO, L. E. A. CONTRIBUIÇÃO AO PROCESSO DE AVALIAÇÃO TÉCNICA E SELEÇÃO DOS COMPONENTES DA GRADE FERROVIÁRIA PARA A IMPLANTAÇÃO EM FERROVIAS DE TRANSPORTE DE CARGA. 2012. 86 f. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2012.

SCHNEIDER, E. L. ANÁLISE DA VIDA REMANESCENTE DE TRILHOS COM DEFEITOS TRANSVERSAIS

DESGASTADOS EM SERVIÇO. 2005. 98 f. UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL, 2005.

SEMPREBONE, P. S. Desgastes em trilhos ferroviários – Um estudo teórico. 2005. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS FACULDADE, 2005.

SILVA, W. M. DA. IMPACTOS DA DEFICIÊNCIA DO SISTEMA DE DRENAGEM EM VIAS FÉRREAS. v. d, n. 2015, p. 1792–1800, 2017.

SILVA, M. A. T. A. S. ANÁLISE DAS TENSÕES NO PATIM DO TRILHO NA VIA FÉRREA CARREGADA. 2016. 123 f. UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS, 2016.

SOUZA, LUCAS TADEU ALBINO DE NUNES, NILSON TADEU RAMO PORTO, MARCELO FRANCO PORTO BATISTA, F. C. DORMENTES DE PLÁSTICO RECICLADO – VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA DA APLICAÇÃO NA VIA PERMANENTE – LINHA 1 DO METRÔ BH. n. 1, p. 10, 2015.

SUCENA, M. P. SUBSÍDIOS PARA A ALOCAÇÃO DE RECURSOS FINANCEIROS EM SISTEMAS DE TRANSPORTES URBANOS SOBRE TRILHOS BASEADO EM CRITÉRIOS TÉCNICOS. 2002. 166 f. INSTITUTO MILITAR DE ENGENHARIA MARCELO, 2002.