



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

EDISIO RODRIGUEZ MUNIZ FILHO

**ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO PRESCRITIVA: um estudo aplicado às
Máquinas de Chave da Estrada de Ferro Carajás**

São Luís - MA

2019

EDISIO RODRIGUEZ MUNIZ FILHO

**ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO PRESCRITIVA: um estudo aplicado às
Máquinas de Chave da Estrada de Ferro Carajás**

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.

Orientadora: Prof.^a Dr.^a Darliane Ribeiro
Cunha

São Luís - MA

2019

EDISIO RODRIGUEZ MUNIZ FILHO

**ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO PRESCRITIVA:
UM ESTUDO APLICADO ÀS MÁQUINAS DE
CHAVE DA ESTRADA DE FERRO CARAJÁS**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente da Universidade Federal do Maranhão como parte dos requisitos necessários para obtenção do título de Mestre em Energia e Ambiente.

Aprovada em: / /

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dra. Darliane Ribeiro Cunha
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Prof. Dr. Sérgio Sampaio Cutrim
Universidade Federal do Maranhão – UFMA

Prof. Dr. Newton Narciso Pereira
Universidade Federal Fluminense - UFF

AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus, por ter me proporcionado a oportunidade de realizar este curso e pela saúde e sabedoria que me foram concedidas neste período.

Agradeço à minha família, em especial aos meus pais, Edisio e Carmen, por serem meus exemplos de dedicação, às minhas irmãs, pelos incentivos diários, e aos meus avós.

À minha namorada, por estar ao meu lado e por ter paciência e compreensão durante o desenvolvimento de todas as etapas do curso.

Agradeço à Vale S.A., por ter colaborado com o meu desenvolvimento profissional e aos colegas de trabalho, pelas discussões pertinentes ao estudo e informações compartilhadas.

Agradeço à Universidade Federal do Maranhão, por ter proporcionado através deste Programa, os recursos e estrutura de um curso organizado, sabiamente coordenado pela Professor Doutor Shigeaki Lima.

À toda equipe de professores do Programa, pelos ensinamentos transmitidos, e demais colaboradores da coordenação do curso.

Agradeço, em especial, à minha orientadora, Professora Doutora Darliane Cunha, pela dedicação e inteligência em orientar o desenvolvimento deste estudo, sempre muito atenciosa aos detalhes e disponível na orientação.

Desejo agradecer também aos meus colegas e amigos do Mestrado, pelo bom convívio em dias de aula, amizade e colaboração.

RESUMO

O gerenciamento dos modelos de manutenção, principalmente no setor empresarial, se apresenta como um grande desafio nos dias atuais. Elaborar estratégias de gestão de ativos, que permitam maximizar os resultados requeridos é fator fundamental para o alcance da competitividade e sustentabilidade dos processos. Neste contexto, surge a oportunidade de utilização de novas tecnologias como: ferramentas de *Business Intelligence*, *softwares* de análise estatística, aplicações para construção de modelos preditivos e outros recursos analíticos avançados, em sistemas que envolvem análise de dados e sucessiva tomada de decisão. Este estudo, tem como objetivo elaborar uma análise sobre a transição da estratégia de manutenção das máquinas de chave da Estrada de Ferro Carajás, apresentando o contexto das soluções tecnológicas que foram implantadas e direcionaram o desenvolvimento de um modelo de manutenção prescritiva. O seu desenvolvimento é baseado em pesquisa exploratória de dados e sua metodologia é fundamentada na realização de um estudo de caso aplicado. No conjunto das análises apresentadas, este estudo é categorizado como uma pesquisa aplicada, pois proporciona conhecimentos que podem ser utilizados em soluções práticas de problemas de áreas afins. Com este propósito, foram desenvolvidas soluções na área de confiabilidade e gestão de ativos de eletroeletrônica, que flexibilizaram a migração de uma estratégia de manutenção preventiva - baseada em data calendário, para um modelo prescritivo, fundamentado em critérios condicionais, especificamente para as máquinas de chave do setor estudado. No âmbito de obter o entendimento dos principais problemas destes equipamentos, é apresentada uma análise das suas falhas mais comuns. Como resultados do estudo, são apresentados os benefícios e percepções proporcionados pela aplicação das tecnologias discutidas, com ganhos tangíveis na prevenção de falhas e redução de perdas operacionais, tornando o processo de tomada de decisão mais dinâmico e assertivo.

Palavras-chave: Manutenção; Análise de dados; Prescritiva; Máquina de chave; Eletroeletrônica.

ABSTRACT

Maintenance model management, especially in the business sector, represents a major challenge nowadays. Developing asset management strategies that maximize the results is a key factor in achieving competitiveness and process sustainability. In this context, the opportunity of new technologies use arises such as: Business Intelligence tools, statistical analysis software, predictive model building applications and other advanced analytical resources, in systems that involves data analysis and successive decision making. This study aims to elaborate an analysis on the transition of the maintenance strategy of Carajás Railroad switch machines, presenting the context of the technological solutions that were implemented and leads the development of a prescriptive maintenance model. Its development is based on exploratory data research and its methodology is based on the accomplishment of an applied case study. In the set of analyzes presented, this study is categorized as an applied research, as it provides knowledge that can be used in practical solutions of problems in related areas. To this end, solutions were developed in reliability area and management of electronics equipment, which made it easier to migrate from a preventive maintenance strategy - based on calendar date, to a prescriptive model, based on conditional criteria, specifically for switch machines studied. To improve the understanding of the main problems of these devices, an analysis of their most common failures is presented. As results of the study, the benefits and perceptions provided by the application of the discussed technologies are shown, with tangible gains in the prevention of failures and reduction of operational losses, turning the decision-making process more dynamic and assertive.

Keywords: Maintenance; Data analysis; Reliability; Switch machine; Electroelectronics.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
2. OBJETIVOS	16
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
3.1 LOGÍSTICA DE TRANSPORTE.....	17
3.2 O MODAL FERROVIÁRIO	20
3.2.1 Contexto histórico do modal ferroviário brasileiro	21
3.2.2 Cenário atual do modal ferroviário brasileiro	21
3.3 A ESTRADA DE FERRO CARAJÁS.....	23
3.4 O SETOR DA ELETROELETRÔNICA.....	25
3.4.1 Máquina de Chave	27
3.4.2 Intertravamento de Sinalização	32
3.5 ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO	33
3.5.1 Manutenção baseada em condições.....	35
3.6 UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS NA ANÁLISE DE DADOS.....	36
3.6.1 Business Intelligence	37
3.6.2 Modelos preditivos e o Big Data	38
4. METODOLOGIA.....	40
4.1 APLICAÇÃO DA ESTATÍSTICA.....	41
4.2 A PROPOSTA DE MANUTENÇÃO PRESCRITIVA.....	42
4.3 O ALGORITMO CHAID.....	43
4.4 ÁRVORE DE DECISÃO	45
4.5 INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS AO NOVO MODELO.....	46
4.5.1 Previsibilidade de indicadores	47
4.5.2 Big Data e Data Analytics	47

4.5.3	Sinergia entre equipes	48
4.5.4	Sistema integrado e simulações de cenários	48
4.5.5	Redes neurais	49
4.5.6	Confiabilidade das informações	49
4.5.7	Conectividade e sensoriamento	49
4.5.8	Planejamento condicional	50
5.	RESULTADOS	51
5.1	ESTUDO DE CASO DAS MÁQUINAS DE CHAVE.....	51
5.2	ANÁLISE DAS FALHAS MAIS COMUNS EM MÁQUINAS DE CHAVE.....	55
5.3	PERDAS OPERACIONAIS	56
5.4	SISTEMA <i>ONLINE</i> DE ACOMPANHAMENTO DE EVENTOS	58
5.5	FERRAMENTA PARA CONTAGEM DE COMANDOS E MTBT	59
5.6	MONITORAMENTO DE MÁQUINAS DE CHAVE.....	61
5.7	SISTEMA DE ANÁLISE DE <i>LOG</i>	64
5.8	ALERTAS DE MÁQUINA DE CHAVE	65
5.9	ANÁLISE DOS COMPONENTES COLABORATIVOS.....	67
5.9.1	Análise da dimensão complexidade	68
5.9.2	Análise da dimensão custo	69
5.9.3	Análise da dimensão tempo	70
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	71
6.1	SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS	72
6.2	REPLICAÇÃO DO MODELO PRESCRITVO	72
	REFERÊNCIAS	74

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Infraestrutura existente em operação.....	19
Figura 2 - Série histórica dos investimentos x Modal de Transporte	20
Figura 3 - Matriz do transporte de cargas no Brasil.....	22
Figura 4 - Dados Gerais das Ferrovias do Brasil.....	23
Figura 5 - Sistemas da Eletroeletrônica EFC	25
Figura 6 - Mapa da Sedes da Eletroeletrônica EFC	27
Figura 7 - Aplicação Típica da Máquina M-3.....	28
Figura 8 - AMV em um cruzamento entre linhas	28
Figura 9 - Configuração típica de um TU	29
Figura 10 - Técnico realizando manutenção em Máquina de Chave	30
Figura 11 - Equipe realizando inspeção e manutenção em MCH	31
Figura 12- Passagem de trem (frente) pela região das Máquinas de Chave	31
Figura 13 - Passagem de trem (cauda) pela região das Máquinas de Chave.....	32
Figura 14 - O Ciclo Físico-Digital.....	37
Figura 15 - Níveis de manutenção x confiabilidade.....	38
Figura 16 - Representação dos cenários de transição	41
Figura 17 - Representação do fluxo no SPSS Modeler IBM	43
Figura 18 - Variáveis analisadas no estudo	44
Figura 19 - Análise da importância das variáveis	44
Figura 20 - Exemplo de árvore de decisão.....	45
Figura 21 - Componentes colaborativos envolvidos na transição	46
Figura 22 - Vista aérea da Ferrovia.....	51
Figura 23 - Vista frontal da Ferrovia	52
Figura 24 - Ciclo de ocorrência dos eventos até sua análise	52
Figura 25 - Estrutura do banco de dados	53

Figura 26 - Detalhe do Campo Centro de Trabalho	54
Figura 27 - Quantidade de Falhas mês a mês	54
Figura 28 - Representatividade das Falhas em MCH.....	55
Figura 29 - Causas das falhas de MCH em 2019.....	56
Figura 30 - Distribuição das Perdas Operacionais por ativo	57
Figura 31 - Perdas Operacionais em MCH, mês a mês	57
Figura 32 - Modelo online de acompanhamento de eventos.....	58
Figura 33 - Estrutura embarcada para coleta de dados	62
Figura 34 - Visão geral do Sistema Supervisório	63
Figura 35 - Monitoramento dos locais críticos	63
Figura 36 - Interface da Análise de Logs.....	64
Figura 37 - Arquitetura do Sistema de Alarmes de MCH	66
Figura 38 - Exemplo prático de envio do alerta	67
Figura 39 - Classificação dos componentes colaborativos em função da complexidade no contexto da transição	68
Figura 40 - Classificação dos componentes colaborativos em função do custo no contexto da transição	69
Figura 41 - Classificação dos componentes colaborativos em função do tempo no contexto da transição	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Investimentos por Modal 2009 a 2019	17
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens dos modais de transporte.....	18
Tabela 3 - Ferrovias Históricas.....	21
Tabela 4 - Extensão das linhas principais e ramais, por concessionária	24
Tabela 5 - Homem hora de planos preventivos.....	30
Tabela 6 - Periodicidade dos Planos de MCH.....	33
Tabela 7 - Ganhos com o novo acompanhamento.....	59
Tabela 8 - Quantidade de comandos por TU	60
Tabela 9 - Banco de dados com MTBT por local	60
Tabela 10 - Descrição dos comandos de MCH.....	65
Tabela 11 - Descrição das indicações de MCH.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AMV	Aparelho de Mudança de Via
AMZA	Amazônia Mineração
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ATC	<i>Automatic Train Control</i>
BI	<i>Business Intelligence</i>
CBM	<i>Condition Based Maintenance</i>
CBTU	Companhia Brasileira de Trens Urbanos
CCO	Centro de Controle Operacional
CCM	Centro de Controle da Manutenção
CCP	Controle de Pátio
CDV	Circuito de Via
CHAID	<i>Chi-square Automatic Interaction Detection</i>
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
DD	Detector de Descarrilamento
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes
EFC	Estrada de Ferro Carajás
EFVM	Estrada de Ferro Vitória a Minas
EFPO	Estrada de Ferro Paraná Oeste
ERP	<i>Enterprise Resource Planning</i>
ETC	Estação de Transbordo de Cargas
ETL	<i>Extract Transform Load</i>
FCA	Ferrovia Centro-Atlântica
FNS	Ferrovia Norte-Sul
FTC	Ferrovia Tereza Cristina
FTL	Ferrovia Transnordestina Logística
Hh	Homem hora
IBM	<i>International Business Machines</i>
IoT	<i>Internet of Things</i>
IP4	Instalações Portuárias Públicas de Pequeno Porte

KPI	<i>Key Performance Indicator</i>
MA	Maranhão
MCH	Máquina de Chave
MRS	Malha Regional Sudeste
MTBT	Milhões de Toneladas Brutas Trafegadas
MTPA	Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil
NBR	Norma Brasileira
OEE	<i>Overall Equipment Effectiveness</i>
OM	Ordem de Manutenção
PA	Pará
PCM	Planejamento e Controle da Manutenção
PIB	Produto Interno Bruto
PRO	Procedimento Operacional
RJ	Rio de Janeiro
RFSP	Ramal Ferroviário Sudeste do Pará
RMN	Rumo Malha Norte
RMO	Rumo Malha Oeste
RMP	Rumo Malha Paulista
RMS	Rumo Malha Sul
RNA	Rede Neural Artificial
SAP	Sistemas, Aplicativos e Produtos para Processamento de Dados
SDH	<i>Synchronous Digital Hierarchy</i>
SGF	Sistema de Gestão Ferroviária
SP	São Paulo
TFPM	Terminal Ferroviário de Ponta da Madeira
TFSP	Terminal Ferroviário do Sudeste do Pará
TU	Travessão Universal
TUP	Terminal de Uso Privado
VM	<i>Virtual Machine</i>
YCM	Manutenção Corretiva
YEM	Manutenção Emergencial
YPM	Manutenção Preventiva

1. INTRODUÇÃO

Administrar a gestão de ativos no contexto empresarial apresenta-se como um grande desafio nos tempos atuais. A redução de custos, a minimização de defeitos e falhas, o aumento de produtividade e a melhoria nos indicadores de segurança são alguns dos requisitos fundamentais vinculados à escolha do modelo de manutenção a ser aplicado em determinado processo.

Os ativos estão intimamente relacionados aos seus indicadores de desempenho, Ferreira (2019) destaca que os *KPIs*, *Key Process Indicators*, são utilizados com o objetivo de monitoramento e controle de atividades, podendo estar relacionados à quantificação de processos, bem como à análise de resultados estratégicos de uma empresa.

A análise de indicadores de desempenho assume uma importante função no ambiente empresarial. Esta importância é mencionada por Musskopf (2017), onde a autora reforça que esta atividade deve ser ágil, possuir uma rotina de atualização, ser acessível e de fácil manuseio. Além disso, existem inúmeras possibilidades de análises que devem ser consideradas visando o alcance dos objetivos da companhia no momento da tomada de decisão e a eficiência dos modelos de manutenção deve ser acompanhada sistematicamente.

Basicamente são três as alternativas possíveis para a elaboração do programa de manutenção de um processo: manutenção corretiva, preventiva e a implantação de modelos preditivos. Não necessariamente, o modelo de manutenção é construído com apenas uma destas alternativas e geralmente são incorporados por rotinas de inspeção. Os sistemas de predição, são objeto alvo deste estudo, buscando agregar a estes, uma correspondência com indicadores básicos de produtividade, que possibilitem a interpretação de informações do funcionamento de ativos e, em etapa posterior, utilizar destas informações para reestruturar uma estratégia de manutenção – atualmente preventiva.

Leite (2016) destaca que o monitoramento da condição de um sistema envolve a análise de falhas desse sistema, que em geral consiste de três etapas principais: detecção, diagnóstico e prognóstico. Na detecção é checada a ocorrência de uma falha. No diagnóstico, a natureza desta falha é avaliada de forma mais precisa, procurando informações sobre o tipo de falha e local da ocorrência.

O autor complementa ainda que a etapa de prognóstico, envolve a investigação do tempo de vida útil remanescente de determinado componente ou sistema. A partir dessa avaliação é possível realizar previsões sobre o momento mais adequado para realizar a manutenção. Embora observado este conceito em diversas aplicações, o monitoramento da condição de sistemas críticos ainda é pouco explorado.

Silva (2015a) menciona que a manutenção preditiva, com destaque a de caráter *on-line*, tem sido muito observada nas últimas décadas através do avanço tecnológico de sensores e sistemas coletores, além da minimização dos seus custos nos últimos anos, viabilizando a aplicação de diversas técnicas de monitoramento e identificação de falhas em equipamentos críticos.

É destacado pelo autor que, da mesma forma, há um avanço nas técnicas e metodologias de análise, oriundas dos desenvolvimentos científicos recentes, que permitiram maior abrangência das falhas detectáveis, a redução do tempo necessário para detecção (precocidade) e o avanços no diagnóstico e prognóstico.

A evolução dos instrumentos e desenvolvimento de novos sensores específicos tornou viável o monitoramento de ativos, possibilitando a redução de reparos desnecessários e proporcionando maior assertividade na previsão de falhas catastróficas (HOLANDA, 2016).

Todo equipamento pode apresentar uma classe de defeitos e falhas, que caracteriza respectivamente, a interrupção parcial ou total da função requerida deste. Estudar o ponto ótimo, que visa equilibrar a viabilidade entre os investimentos realizados, com prospecção e modernização; e os custos de manutenção envolvidos, se apresenta atualmente como uma valiosa oportunidade na gestão dos ativos empresariais.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), define em sua norma NBR-5462 - Confiabilidade e Manutenibilidade (1994), que um defeito é qualquer desvio de uma característica de um item em relação aos seus requisitos. Enquanto, a falha é definida como: o término da capacidade de um item desempenhar a função requerida.

O gerenciamento do parque de ativos de um empreendimento necessita constante e permanente avaliação dos parâmetros produtivos requeridos. Os requisitos produtivos, atrelados à gestão da manutenção, devem ser analisados em cada etapa deste gerenciamento, desde a concepção de novos projetos, na opção por

maior custo-benefício, nas fases de operação e manutenção, até a fase de esgotamento do ativo, com o adequado direcionamento para desmobilização.

Durante o período dos anos 1950 e início de 1970, os conceitos e aplicações da manutenção baseada em critérios ganhou espaço em muitas indústrias, tais como automotiva, aeroespacial e militar, apresentando benefícios em eficiência e redução de custos. Atualmente, muitas organizações utilizam dos conceitos e aplicações deste modelo de manutenção, incluindo o Departamento de Defesa dos Estados Unidos e outras grandes empresas, para apoiar na tomada de decisão, possibilitando análises mais profundas de desempenho e estado do sistema e estimativas da vida útil de equipamentos, fato que serve como uma vantagem competitiva (NOMAN, 2018).

Ainda segundo o autor, estas aplicações e vantagens significativas fazem da manutenção baseada em critérios a área de maior potencial para aplicação em processos de produção de muitas empresas – que trabalham com manutenção periódica de ativos. Estas indústrias estão se concentrando nestes conceitos e metodologias de manutenção para otimizar suas estratégias, visando a sustentabilidade e produtividade do sistema.

Passos (2017), menciona que a utilização do *Big Data* e da *Data Science* em processos de inteligência atribui maior valor ao produto, pois sua implantação proporciona ganhos de eficiência relacionados a custo, inovação e produtividade ao sistema.

O autor explica que estes ganhos são obtidos pois, para execução dos seus processos, são envolvidos profissionais mais experientes e com conhecimento ampliado em diversos campos, além de integrar avançadas tecnologias, sistemas e estruturas que permitem a coleta e tratamento das informações necessárias à demanda, transformando-as em inteligência - informação importante para a tomada de decisão.

A aplicação de modelos de manutenção prescritiva em equipamentos do setor ferroviário, em especial, nas máquinas de chave, se apresenta atualmente em estágio inicial – no setor estudado.

Muitas oportunidades de desenvolvimento de estudos nesta área são observadas: desde o emprego de tecnologias para aquisição e monitoramento de dados do processo, implantação de ferramentas computacionais para interpretação da saúde do ativo, integração de informações para otimização dos planos de manutenção e até previsões de falhas.

A ocorrência de eventos prejudica o processo e pode ocasionar perdas significativas ao sistema. Em alguns casos mais graves estes defeitos ou falhas ocasionam a interrupção do tráfego ferroviário, acarretando em perdas financeiras para a empresa. E no atual cenário competitivo dos mercados, buscar alternativas que consigam reduzir as possibilidades de ocorrências na cadeia produtiva, torna-se fundamental.

Neste aspecto, a implementação de sistemas preditivos com este propósito, pode contribuir como ferramenta complementar, minimizando riscos relacionados aos aspectos produtivos vinculados ao processo.

2. OBJETIVOS

Elaborar uma análise sobre a transição da estratégia de manutenção das máquinas de chave da Estrada de Ferro Carajás, apresentando o contexto das soluções tecnológicas implantadas, direcionando o desenvolvimento de um modelo de manutenção prescritiva - baseado em critérios condicionais.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar levantamento de ferramentas tecnológicas aplicáveis e seus possíveis benefícios na transição da estratégia de manutenção;
- Apresentar uma análise do histórico de falhas em máquinas de chave da Estrada de Ferro Carajás;
- Estudar os critérios condicionais que colaboram para otimização da estratégia de manutenção das máquinas de chave;
- Apresentar soluções práticas que foram desenvolvidas, proporcionando as condições básicas para implantação da estratégia prescritiva;
- Avaliar os principais componentes colaboradores para transição da estratégia de manutenção, identificando os principais benefícios obtidos e dificuldades vivenciadas, com base na experiência prática.

Neste estudo será limitado o campo de atuação ao setor eletroeletrônico da ferrovia em questão, com foco ao ativo máquina de chave.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 LOGÍSTICA DE TRANSPORTE

O Ministério dos Transportes, Portos e Aviação Civil – MTPA (2018), destaca que o sistema de transporte brasileiro tem o seu desenvolvimento facilitado pelas estruturas de integração logísticas, que colaboram com a redução dos custos operacionais envolvidos nas movimentações de cargas em território nacional, promovendo melhorias no setor econômico das regiões. Por isso, é necessária uma rede estruturada que induza a integração entre os setores de toda cadeia produtiva, proporcionando ganhos de escala e competitividade dos produtos.

Carvalho (2019), ressalta que os modais de transporte apresentam custos diferentes, que variam basicamente em função do tipo de carga transportada e opção de via, destacando que muitas empresas investem em uma estratégia própria de logística de transporte, buscando o modal mais benéfico ao atendimento de suas necessidades.

É notório que nos últimos anos a falta de investimentos compromete o desenvolvimento sustentável do setor ferroviário no Brasil. Os dados explorados na série histórica do período de 2009 a 2019, fornecidos pelo Ministério da Infraestrutura (2019), mostram que os aportes anuais dos últimos 4 anos, no setor ferroviários, não atingiram sequer R\$ 1 bilhão, em contrapartida, o setor rodoviário recebeu neste mesmo período, quase R\$ 7 bilhões por ano.

Tabela 1 - Investimentos por Modal 2009 a 2019

Ano	Modais (valores em R\$ Mil)						
	Total Geral	Setor Aeroviário	Setor Rodoviário	Setor Ferroviário	Setor Aquaviário	Marinha Mercante	Outros Setores
2009	12.526.336	0	7.832.113	998.385	1.328.468	2.339.510	27.860
2010	17.719.185	0	10.975.044	2.544.059	1.515.067	2.579.882	105.133
2011	16.309.380	7.495	10.269.988	1.767.350	1.453.162	2.647.530	163.855
2012	16.549.379	48.084	9.279.619	1.080.864	1.116.436	4.773.729	250.647
2013	18.236.098	2.355.450	8.722.403	2.708.528	286.353	3.773.646	389.718
2014	21.329.422	2.057.658	10.387.932	2.735.100	609.828	4.949.001	589.903
2015	16.818.804	2.100.775	6.624.124	2.177.416	456.313	5.016.410	443.766
2016	14.659.833	2.447.437	6.406.604	975.783	663.656	3.453.900	712.453

2017	14.699.048	3.039.996	7.839.285	613.481	496.011	2.297.624	412.651
2018	13.659.709	1.152.947	7.468.526	649.950	663.503	3.327.089	397.694
2019 (até set)	7.043.311	334.207	4.741.742	407.156	123.919	1.205.075	231.212
Total 2009 a 2019	169.550.505	13.544.049	90.547.380	16.658.072	8.712.716	36.363.396	3.724.892

Fonte: adaptado de Ministério da Infraestrutura, 2019

No contexto industrial, os modais de transporte são resumidamente, modos de transportar cargas entre pontos de distribuição, escoando a produção das empresas até locais mais próximos dos seus clientes. Este transporte de produtos e/ou insumos, gera custos logísticos, impactando diretamente o lucro de uma empresa.

Por isso, é importante avaliar qual modal proporciona o melhor custo benefício no transporte de cada produto. As vantagens e desvantagens de cada modal podem ser avaliadas na tabela a seguir.

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens dos modais de transporte

Modal	Vantagens	Desvantagens
Rodoviário	<ul style="list-style-type: none"> • Ampla disponibilidade de vias, integrando regiões de difícil acesso • Flexibiliza o serviço porta-a-porta • Embarques e partidas mais rápidos <ul style="list-style-type: none"> • Favorece os pequenos lotes • Facilidade de substituir o veículo <ul style="list-style-type: none"> • Maior rapidez nas entregas 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto custo operacional • Baixa capacidade de carga • Gera congestionamento nas vias <ul style="list-style-type: none"> • Desgasta muito rápido a infraestrutura da malha rodoviária
Ferroviário	<ul style="list-style-type: none"> • Permite transportar grandes lotes • Terminais privados próximo às unidades produtoras • Baixos valores de frete, em relação ao volume transportado <ul style="list-style-type: none"> • Baixo consumo energético • Provê estoques em trânsito 	<ul style="list-style-type: none"> • Alto tempo de viagem • É depende da disponibilidade de material rodante • Pouca flexibilidade de rotas <ul style="list-style-type: none"> • Exposição a furtos
Marítimo	<ul style="list-style-type: none"> • Altíssima eficiência energética • Elevada economia da escala para grandes lotes a longa distância • Possibilita economicamente o tráfego internacional de <i>commodities</i> 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado investimento inicial e custo operacional • Necessita de grandes frotas • Pressupõe a existência de portos - e infraestrutura caríssimas <ul style="list-style-type: none"> • Lentidão do serviço • Manuseios propiciam avarias

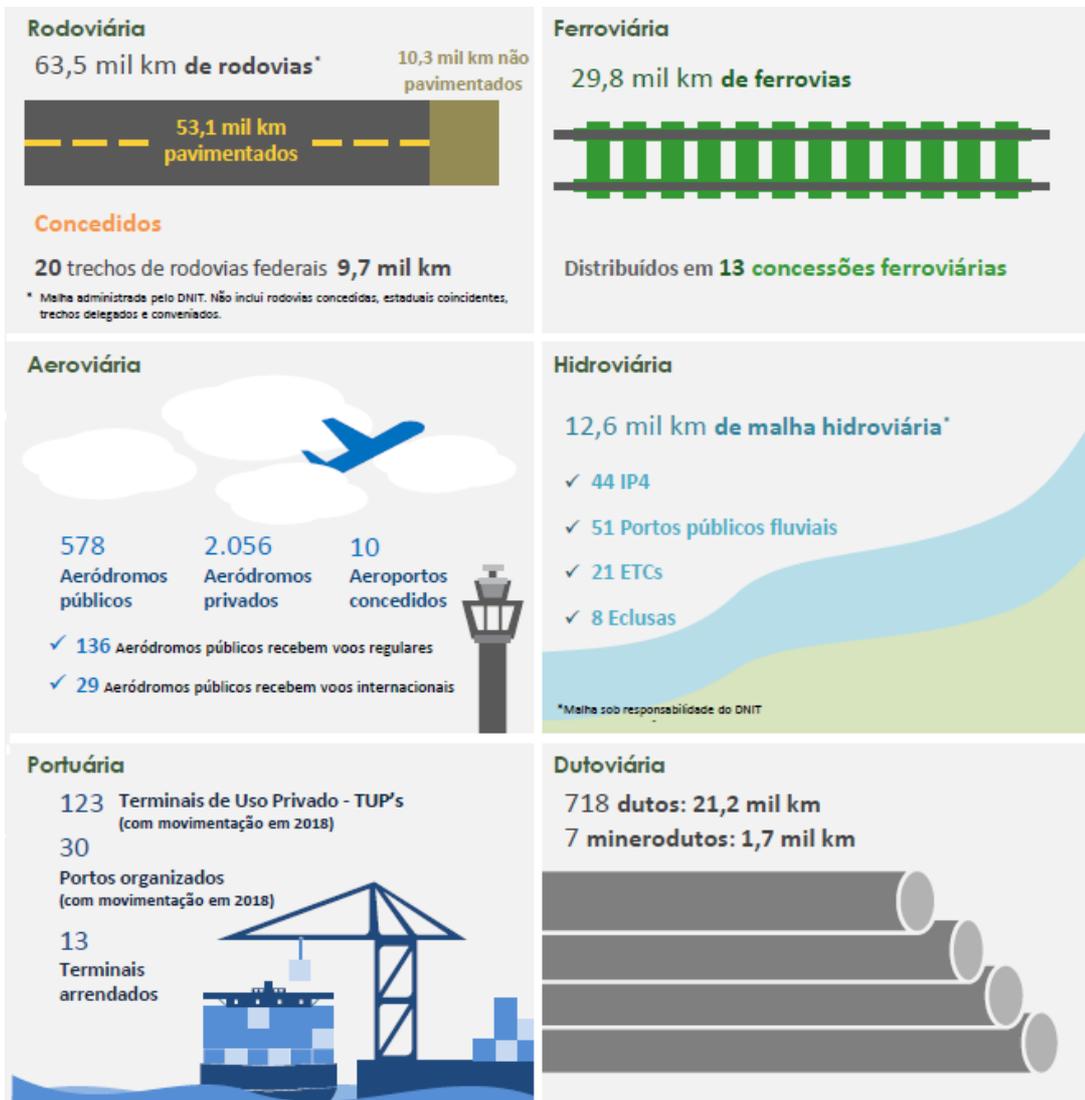
Aéreo

- Rede diversificada de aeroportos em grandes metrópoles
- Velocidade, eficiência e confiabilidade
 - Alto giro de estoque, devido à frequência de voos
 - Reduzido o índice de avarias
- Menor capacidade em peso e volume de cargas
 - Não atende granéis
- Elevados custos de capital e fretes
 - Fortes restrições às cargas perigosas

Fonte: adaptado de Abreu, 2013

Os números de cada setor são expressivos, como apresentado na figura a seguir. Porém, em termos de grandeza territorial, nota-se que o país ainda tem muitas oportunidades de investimento, visando otimizar sua cadeia logística.

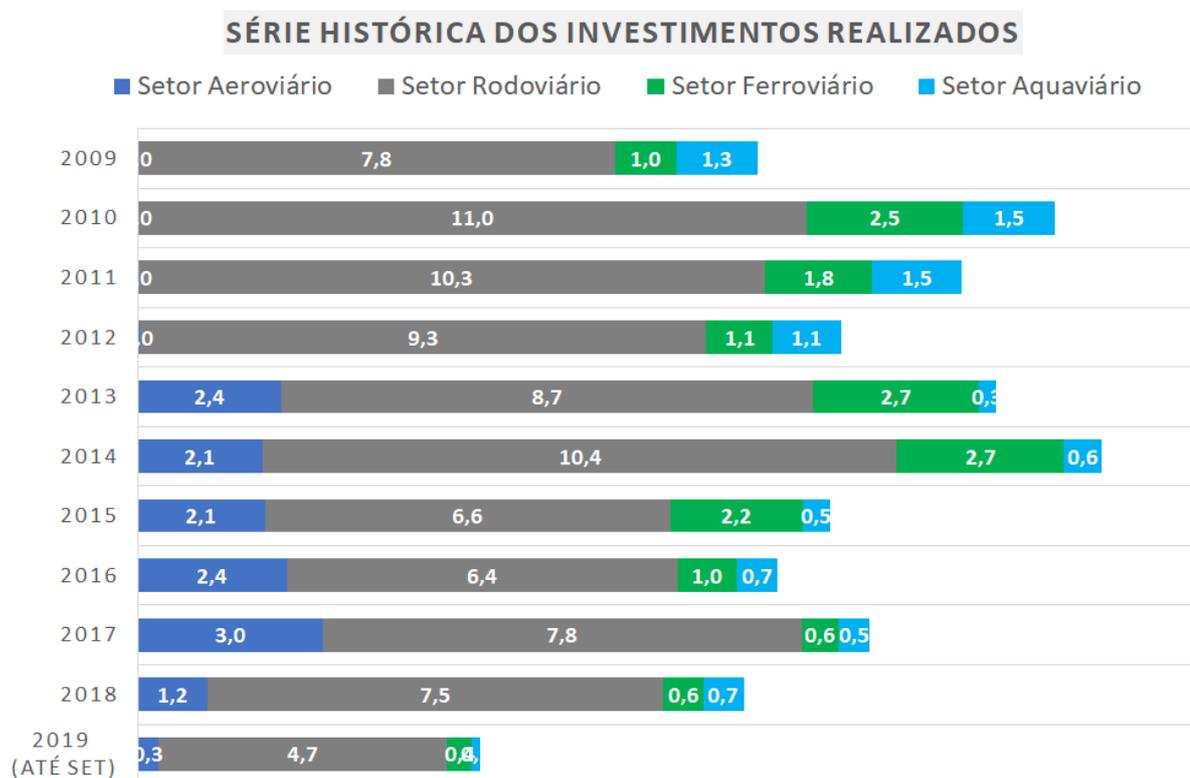
Figura 1 - Infraestrutura existente em operação



Fonte: CNT, 2018

No Brasil, o modal mais conhecido e utilizado é o rodoviário, onde a distribuição acontece através de caminhões e carretas, que trafegam sobre as rodovias brasileiras, outros exemplos são os modais: ferroviários, aquaviários, aéreos e dutoviários.

Figura 2 - Série histórica dos investimentos x Modal de Transporte



Fonte: adaptado de Ministério da Infraestrutura, 2019

A série histórica dos investimentos por modal de transporte, mostra os investimentos que o setor ferroviário vem recebendo e o quanto não tem sido priorizado frente aos outros modelos de transporte, principalmente nos últimos anos.

3.2 O MODAL FERROVIÁRIO

O modal ferroviário envolve o transporte de grandes quantidades de toneladas e, apresenta-se mais eficiente na necessidade por operações de longas distâncias. Enquanto que o modal hidroviário de transporte tem uma tendência a ser o mais demorado, porém, também é recomendado para operações de grande escala (SIQUEIRA, 2018).

3.2.1 Contexto histórico do modal ferroviário brasileiro

A primeira malha ferroviária brasileira, teve sua implantação iniciada por volta dos anos de 1854, no estado do Rio de Janeiro, com a construção da Estrada de Ferro de Mauá. Esta ferrovia integrou duas modalidades de transporte, aquaviário e ferroviário, constituindo o primeiro sistema intermodal no país (DNIT, 2015b).

Poucos anos após, algumas ferrovias começaram a ser inauguradas em outros estados brasileiros, principalmente no eixo Rio-São Paulo e estados do nordeste do país, avançando com o desenvolvimento deste modal.

Tabela 3 - Ferrovias Históricas

Ferrovia	Data de Inauguração
Recife ao São Francisco	08/02/1858
D. Pedro II	29/03/1858
Bahia ao São Francisco	28/06/1860
Santos a Jundiaí	16/02/1867
Companhia Paulista	11/08/1872

Fonte: DNIT, 2015b

No ano de 1858, foi iniciada a construção da Companhia Estrada de Ferro D. Pedro II, no Rio de Janeiro, obra que teve elevada relevância no cenário nacional da engenharia ferroviária, com destaque ao seu percurso que superava a altura de 412 metros da Serra do Mar, e túneis, entre estes, o Túnel Grande que tinha uma extensão de 2.236 metros (MARINHO, 2015).

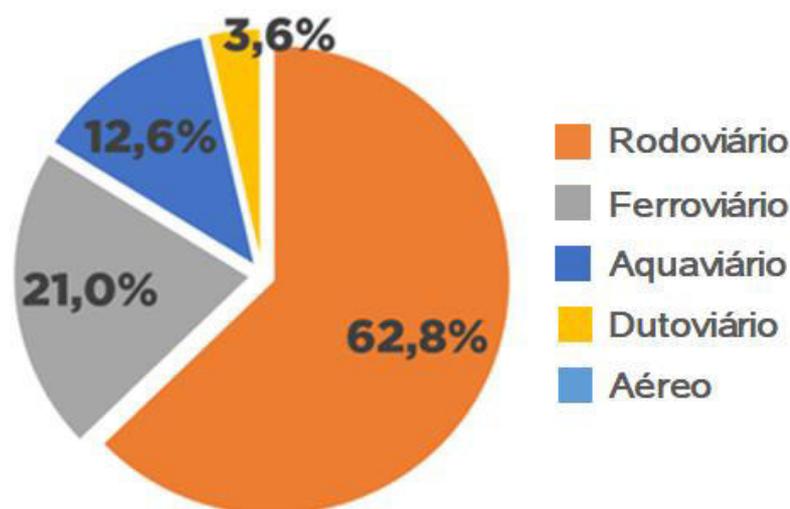
O desenvolvimento das estradas de ferro no Brasil teve como um dos acontecimentos mais relevantes da sua história, a união entre Rio de Janeiro e São Paulo. No dia 8 de julho de 1877, houve a interligação entre os trilhos da Estrada de Ferro São Paulo com a Dom Pedro II, unindo as duas cidades mais importantes do cenário nacional da época (DNIT, 2015b).

3.2.2 Cenário atual do modal ferroviário brasileiro

De acordo com, Sergio *et al* (2018), os autores destacam que em termos de tecnologia e modernização utilizadas nas malhas ferroviárias, frotas de vagões e locomotivas, as ferrovias brasileiras são muito diversificadas. Existindo operadoras altamente modernizadas e ferrovias funcionando com infraestrutura da década de 70.

Na atualidade, pode-se observar que o modal ferroviário do país passou por grandes transformações. O gráfico apresentado no relatório da ILOS (2017), mostra que a representatividade do segmento ferroviário dentre os modais de transporte do cenário brasileiro assume a segunda colocação, com 21% do total.

Figura 3 - Matriz do transporte de cargas no Brasil



Fonte: ILOS, 2017

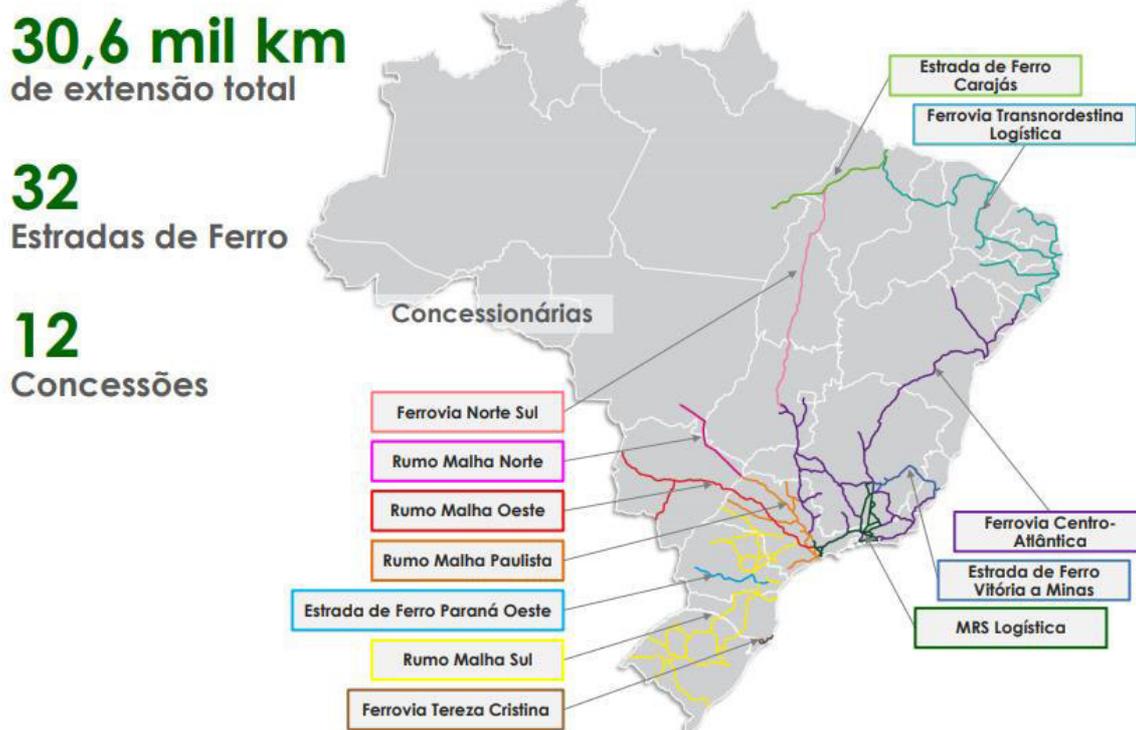
Soares (2018) afirma que o modal ferroviário é o modelo de transporte mais eficiente para a movimentação de cargas com grandes distâncias percorridas e baixo valor agregado, a exemplo das *commodities*, vantagem obtida principalmente em função da capacidade elevada de carregamento.

Rodrigues (2018), destaca que o modal ferroviário oferece vantagem no transporte de cargas, em comparação ao rodoviário, quando assegurado o atendimento aos requisitos mínimos de estrutura e acesso, além de ser muito explorado nos países desenvolvidos - o que estimula e favorece a competitividade destes em relação a outros países.

Cabral (2017), afirma que a busca do mercado, por alcançar excelência na eficiência energética, é crescente. As diferenças nos custos de transporte, resultam que as empresas busquem operar elaborando estudos e empregando ferramentas que objetivam minimizar seus custos.

Atualmente, as principais ferrovias brasileiras, são destacadas no mapa a seguir. São estradas de ferro que transportam cargas e passageiros, e ajudam no desenvolvimento do país, colaborando para a exportação mundial.

Figura 4 - Dados Gerais das Ferrovias do Brasil



Fonte: Ministério da Infraestrutura, 2017

Um ponto relevante a destacar é baixa extensão total de ferrovia, bem como a falta de integração entre estes corredores, fator que dificulta o escoamento de produtos entre as regiões e reduz o aproveitamento do potencial econômico do país.

3.3 A ESTRADA DE FERRO CARAJÁS

No fim da década de 1960, jazidas de minério de ferro foram descobertas no sul do Pará, originando a necessidade de escoamento da produção mineral até áreas de embarque, para exportação. Na época, o modal ferroviário foi a alternativa viável para transportar o minério, através de uma integração entre o complexo minerador de Carajás e portos do estado maranhense. Em 1976, foi outorgado pelo governo brasileiro à empresa Amazônia Mineração - AMZA a concessão para construir e operar a ferrovia que interligaria Ponta da Madeira, em São Luís – MA, à Serra dos Carajás, no Pará (DELGADO, 2012).

O autor destaca ainda que a Estrada de Ferro Carajás (EFC) teve o início de sua implantação em 1982, objetivando escoar a produção de minério de ferro e manganês

do complexo minerador de Carajás, e começou a operar em 1985, quando foi entregue pela Rodominas à Companhia Vale do Rio Doce – CVRD, em fevereiro de 1985.

Atualmente, a EFC, possui cerca de 978 quilômetros de extensão, sendo a 7ª maior ferrovia do país, regulada pela ANTT. Deste total, Leite (2017) descreve que aproximadamente 85,4 km são referentes ao Ramal Ferroviário Sudeste do Para (RFSP), importante projeto realizado nos últimos anos, que possui seis pátios de cruzamento e dois pátios terminais, incluindo a interligação com a linha principal da EFC, além do Terminal Ferroviário do Sudeste do Pará (TFSP).

No Brasil, as atuais operadoras com maior significância em termos de linhas principais e ramais, são: a Rumo Malha Sul (RMS), com 7.223 km e a Ferrovia Centro-Atlântica (FCA), com 7.222 km. Vale destacar a dimensão de outras estradas de ferro no cenário nacional, que pode ser observada na tabela a seguir.

Tabela 4 - Extensão das linhas principais e ramais, por concessionária

Operadoras Reguladas pela ANTT	Total
RMS - Rumo Malha Sul	7.223
FCA – Ferrovia Centro-Atlântica	7.222
FTL S/A - Ferrovia Transnordestina Logística	4.295
RMP - Rumo Malha Paulista	2.055
RMO - Rumo Malha Oeste	1.973
MRS – MRS Logística	1.685
EFC - Estrada de Ferro Carajás	978
EFVM – Estrada de Ferro Vitória a Minas	894
VALEC/Subconcessão: Ferrovia Norte-Sul TRAMO CENTRAL	856
FNS S/A -Ferrovia Norte-Sul TRAMO NORTE (VALEC-Subconcessão)	745
RMN - Rumo Malha Norte	735
EFPO - Estrada de Ferro Paraná Oeste	248
FTC – Ferrovia Tereza Cristina	163
Subtotal	29.074
Demais Operadoras	Total
Supervia/CPTM/Trensurb/METRO-SP RJ – Passageiros	854
Trombetas/Jarí/Amapá – Carga	300
Comp. Bras. de Trens Urbanos – CBTU – Passageiros	206
Corcovado/Campos do Jordão	51
Subtotal	1.411
Total	30.485

Fonte: adaptado de CNT, 2018

O Anuário CNT do Transporte (CNT, 2018), apresenta dados relativos aos principais modais do país. Entre os anos 2013 de 2017, cerca de 1,2 milhões de passageiros foram transportados anualmente através do modal ferroviário. Neste mesmo período, a Estrada de Ferro Carajás, apresentou uma média de 296 trens de passageiros formados por ano.

3.4 O SETOR DA ELETROELETRÔNICA

No contexto ferroviário, o setor da Eletroeletrônica pode ser apresentado como a área que gerencia a manutenção dos ativos eletroeletrônicos, tais como: sinalização ferroviária, equipamentos de telecomunicações e automação, estrutura de transmissão e suprimento de energia, equipamentos embarcados em veículos ferroviários e demais tecnologias aplicadas à gestão ferroviária – todos em interface direta com áreas afins.

Figura 5 - Sistemas da Eletroeletrônica EFC



Fonte: Autor, 2018

O sistema de sinalização é composto por equipamentos que são responsáveis por licenciar e garantir a segurança dos trens ao longo da ferrovia. Geograficamente pode ser classificado como um parque de ativos descentralizado, pois os equipamentos estão distribuídos ao longo de quase 1.000 km de extensão ferroviária.

Estes ativos são baseados em tecnologia *fail-safe*¹, composto por intertravamentos micro processados e utilizam comunicação digital (fibra óptica e rádio digital). Alguns exemplos dos principais equipamentos deste sistema: Máquina de Chave (MCH), Circuito de Via (CDV) e Detector de descarrilamento (DD).

Já o sistema de Energia é composto por equipamentos necessários para gerar e distribuir alimentação elétrica aos demais sistemas ao longo da ferrovia. Baseado em rede elétrica comercial, grupos motores geradores, duplo sistema de banco de baterias e subestações de energia próprias

Os equipamentos embarcados em locomotivas ou veículos de manutenção ferroviária, estão inclusos na área de Bordo, estes ativos têm o objetivo de garantir que o maquinista cumpra suas ordens de licenciamento. Um exemplo importante é o *Automatic Train Control (ATC)*, uma tecnologia embarcada que possui como finalidade controlar de modo automático e seguro a velocidade dos trens. Atua como um velocímetro no interior da locomotiva e apresenta a sinalização da via.

A área de Telecomunicações inclui os equipamentos necessários para garantir a comunicação entre Centro de Controle Operacional (CCO) e os maquinistas (em campo), Centro de Controle da Manutenção (CCM) e equipe de manutenção, bem como a adequada transmissão de dados entre CCO e demais sistemas em campo. Atualmente é composta por um sistema digital, em tecnologia *SDH (Synchronous Digital Hierarchy)* com meio de transmissão em Fibra Óptica, com contingenciamento físico e lógico independente.

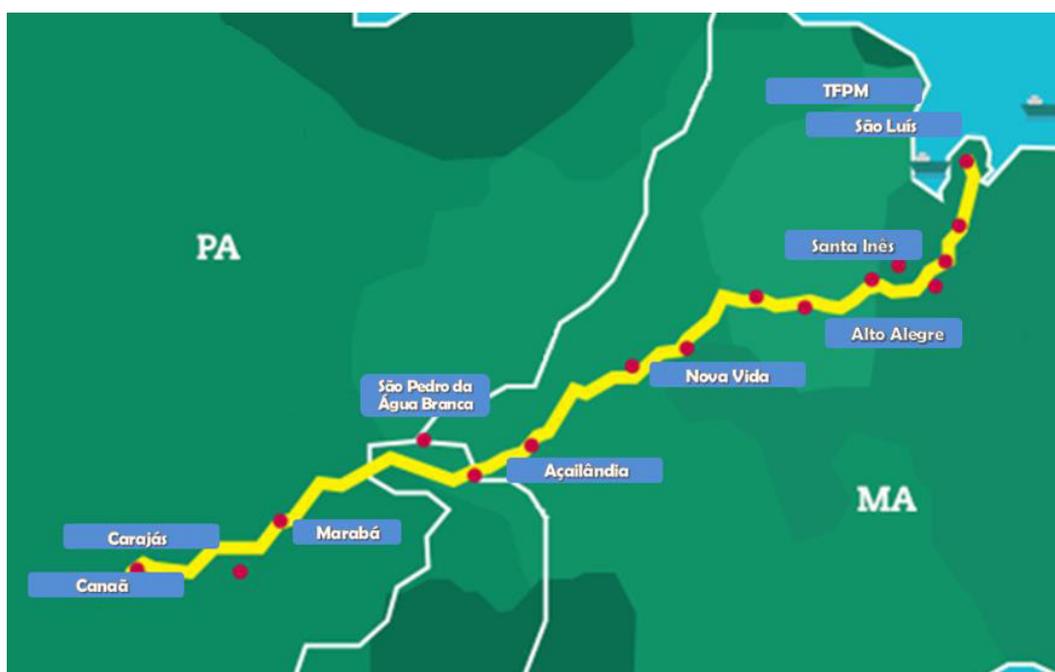
O sistema de Automação é constituído por equipamentos do CCO e Centro de Controle de Pátio (CCP), como servidores, estações de trabalho, *video wall*, *datacenter* e demais automações na ferrovia.

Alguns exemplos: *hot box e hot wheel* que são responsáveis por realizar leitura das caixas de rolamentos e das rodas da composição - detectando preventivamente problemas de temperatura nestes itens, *Wayside* ativo que monitora a passagem dos vagões, coletando dados de espessura de rodeiro para análise preditiva de falhas, e Sistema de Gestão Ferroviária (SGF) – ativo de alta complexidade que faz a interface entre o Centro de Controle e Equipamentos de Bordo (locomotivas e veículos ferroviários).

¹ Em sistemas que exigem altos níveis de segurança, torna-se vital a utilização de equipamentos *fail-safe*, onde quando na ocorrência de um eventual erro, o sistema retorna imediatamente a um modo seguro. São utilizadas redundâncias que priorizam a segurança do sistema em caso de falha, tornando-o seguro.

Eventos envolvendo os ativos de qualquer um destes sistemas, sejam defeitos ou falhas, podem acarretar em impacto operacional. Principalmente por este motivo, a confiabilidade e disponibilidade destes sistemas é de fundamental importância para a segurança no transporte ferroviário e para a produtividade do setor.

Figura 6 - Mapa da Sedes da Eletroeletrônica EFC



Fonte: Autor, 2018

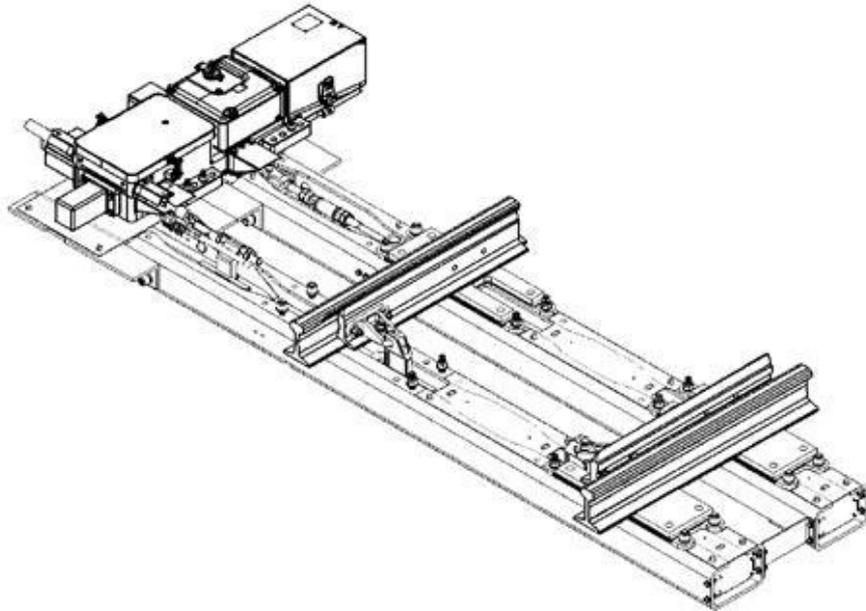
Na Estrada de Ferro Carajás, para melhor estruturação dos recursos - pessoas, materiais e equipamentos, a manutenção eletroeletrônica é setorizada de acordo com a sua extensão geográfica. No modelo atual, a ferrovia é segmentada em 10 Sedes de Manutenção, conforme apresentado.

Em números gerais, estão instaladas cerca de 1.400 máquinas de chave, distribuídas ao longo da extensão da ferrovia. Os terminais são os locais que concentram maior quantidade destes equipamentos, devido necessidade de maior número de manobras.

3.4.1 Máquina de Chave

A Máquina de chave é o equipamento responsável por realizar a movimentação de componentes de um Aparelho de Mudança de Via (AMV), permitindo que o tráfego ferroviário possa alternar entre duas vias distintas. Em um sentido mais amplo, ela constitui um dos componentes do AMV.

Figura 7 - Aplicação Típica da Máquina M-3

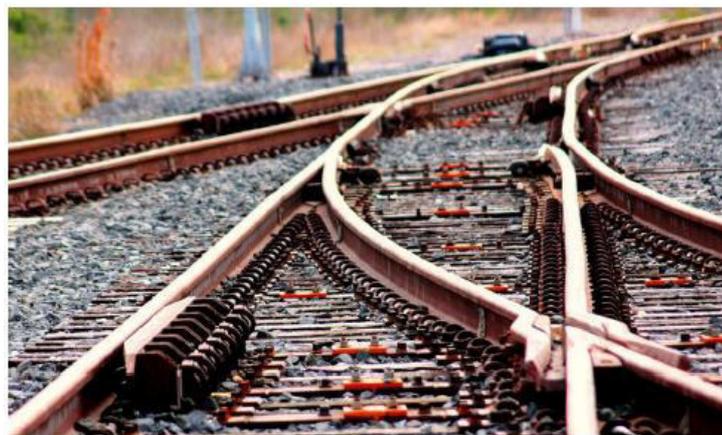


Fonte: Capacitação Logística Norte, 2015

Sobre as máquinas de chave elétricas, o autor menciona ainda que estes equipamentos têm seus movimentos realizados através de motores elétricos, podendo ser configuradas no sentido normal, quando as agulhas ficam direcionadas de modo que o veículo ferroviário mantenha sua posição na via, e reverso, quando as agulhas ficam em posição oposta, realizando a alteração na direção do veículo.

Segundo Soares (2018), os AMVs por serem de fundamental importância na mudança da direção de veículos em uma ferrovia, são bastante utilizados, principalmente em terminais de cargas, e possuem a necessidade de monitoramento constante.

Figura 8 - AMV em um cruzamento entre linhas

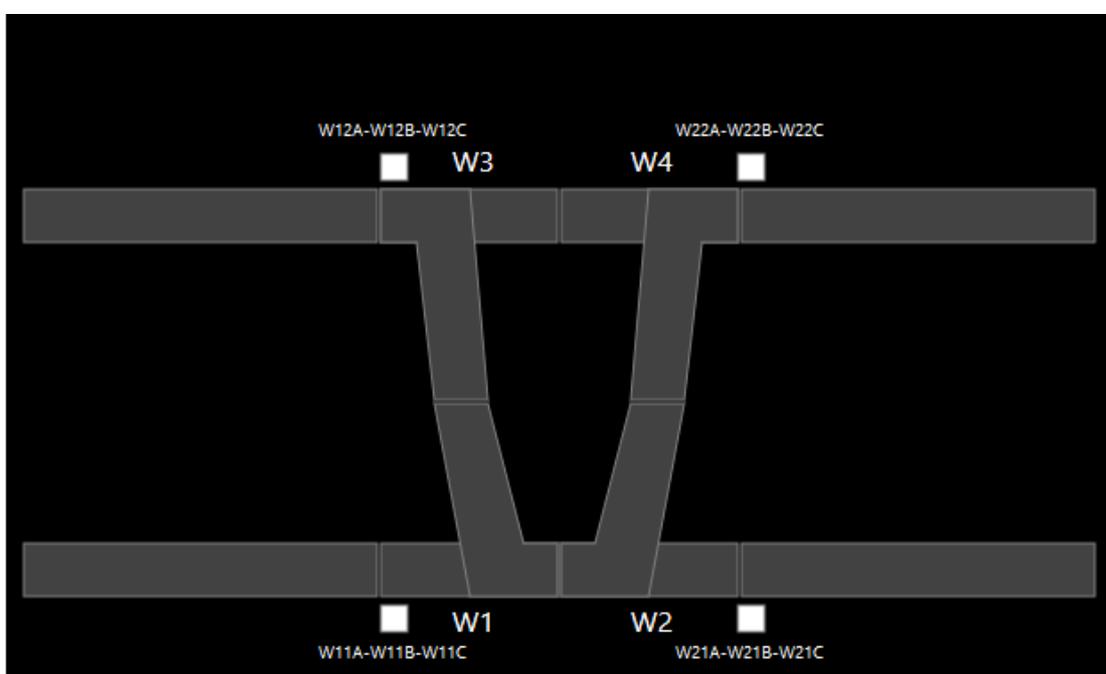


Fonte: Soares, 2018

Segundo o DNIT (2015a), os cabos e eletrodutos instalados à máquina de chave devem possuir resistência e flexibilidade adequadas, para suportar as vibrações causadas pela passagem dos trens e movimentações da via. Sobre a alimentação deste equipamento, a corrente pode ser contínua ou alternada, geralmente com 110 ou 220 V.

A configuração de um TU (travessão universal) típico é formada por 12 MCH's, que possuem informações padronizadas (*tags*) da sua posição na ferrovia. As *tags* possuem nomenclaturas específicas, de acordo com a figura a seguir.

Figura 9 - Configuração típica de um TU



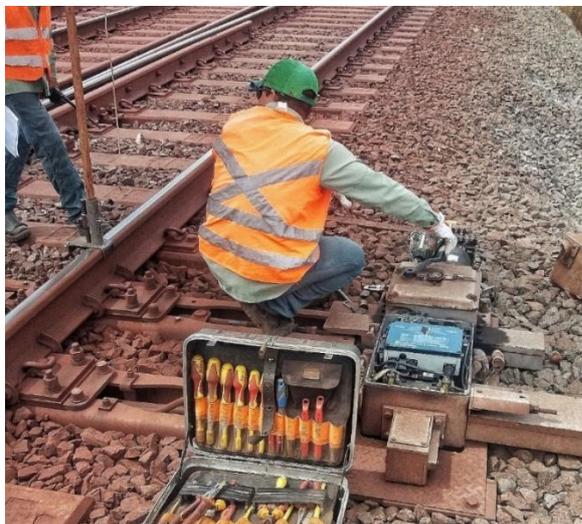
Fonte: Autor, 2019

Sobre os custos de manutenção da via, estes são compostos de duas partes: fixa e variável. A parte fixa, abrange os custos com equipamentos de manutenção de via, componentes de infraestrutura e superestrutura ferroviária, os sistemas de licenciamento de trens e do quadro de pessoal mínimo para que o sistema seja mantido. Enquanto que os custos variáveis, são atrelados a produção realizada pela ferrovia, da extensão da linha e dos custos específicos de produtividade dos equipamentos do sistema (NABAIS, 2015).

A figura a seguir ilustra a execução de uma manutenção preventiva em máquina de chave. O colaborador realiza intervenções no equipamento, de acordo os passos

de um procedimento operacional (PRO), no intuito de restabelecer as condições normais do ativo.

Figura 10 - Técnico realizando manutenção em Máquina de Chave



Fonte: Autor, 2017

Em termos de homem-hora (Hh), o ativo máquina de chave, impacta o equivalente a cerca de 77% do total de horas direcionadas aos equipamentos de sinalização. Uma parcela expressiva, que denota a importância do desenvolvimento de estudos com o foco na sua análise e otimização.

Tabela 5 - Homem hora de planos preventivos

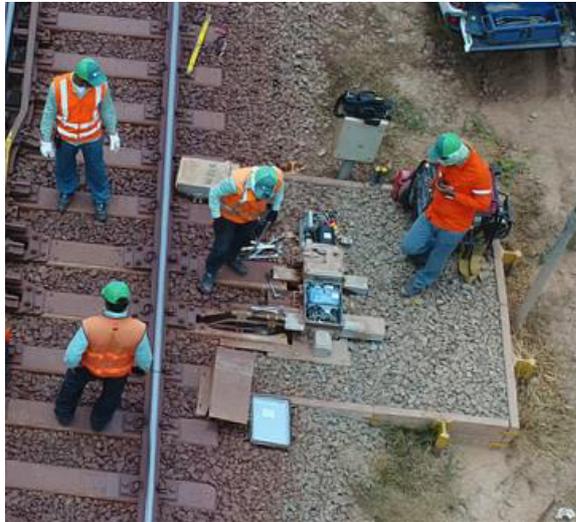
Ativos de Sinalização	Hh	% total
Máquina de Chave - MCH	7.780	77,0%
Circuito de Via – CDV	1.378	13,6%
Detector de Descarrilhamento - DD	844	8,3%
Detector de Ponta de Agulha	74	0,7%
EAK (Contador de Eixos)	24	0,2%
Outros ativos auxiliares	8	0,1%
Total	10.108	-

Fonte: adaptado de Moro, 2017

A figura a seguir ilustra mais um exemplo de equipes atuando em máquina de chave. Nesta existem também a avaliação de especialistas, em casos de eventos

complexos, equipes especializadas participam da análise dos eventos, visando entender a causa raiz do problema.

Figura 11 - Equipe realizando inspeção e manutenção em MCH



Fonte: Autor, 2019

Nunes (2012), descreve que a informação de indicação, é fundamental por questões de segurança. Um veículo que trafega sobre uma chave posicionada incorretamente e indicada de modo equivocado, pode provocar danos a máquina de chave e, em casos extremos, provocar descarrilamentos ou colisões com veículos localizados na linha adjacente.

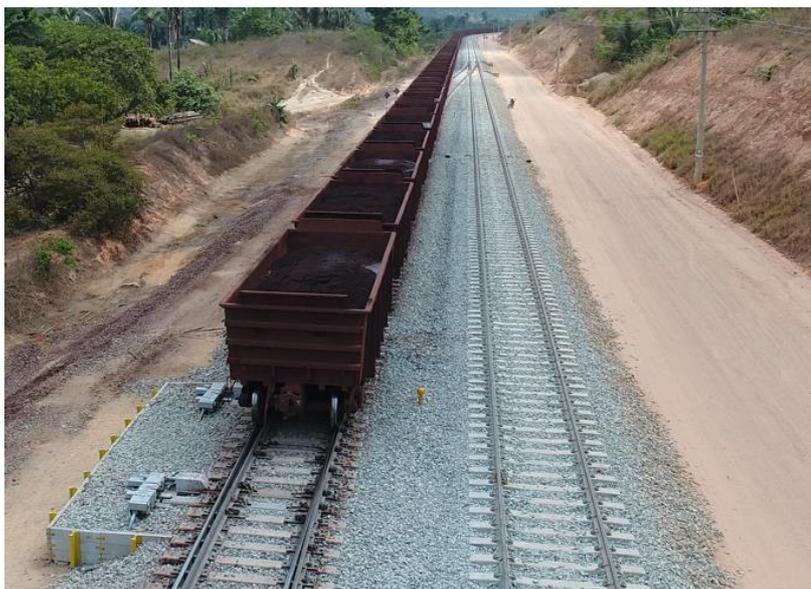
As figuras a seguir apresentam o cenário de trens trafegando sobre regiões com máquinas de chave.

Figura 12- Passagem de trem (frente) pela região das Máquinas de Chave



Fonte: Autor, 2019

Figura 13 - Passagem de trem (cauda) pela região das Máquinas de Chave



Fonte: Autor, 2019

No setor da eletroeletrônica da Estrada de Ferro Carajás, estes ativos são considerados críticos, devido sua importância para a circulação de trens e o impacto que seus eventos podem causar.

3.4.2 Intertravamento de Sinalização

Os intertravamentos de sinalização são equipamentos vitais para o controle e acompanhamento dos ativos eletroeletrônicos da ferrovia. Segundo Bezerra (2018), suas funções requeridas são:

- Executar os comandos e prover as indicações das funções vitais, especificadas pelos ativos controlados;
- Proporcionar o estabelecimento vital de rotas para operação, na circulação dos veículos ferroviários;
- Limitar a atuação dos detectores de descarrilhamento, seguindo diretrizes definidas no documento de abrangência deste ativo.

No cenário estudado, este intertravamento é representado pelo Electrologixs (ou Elixs). Este equipamento é responsável por transmitir e receber as informações de todos os equipamentos eletroeletrônicos da ferrovia e permitir que eles se comuniquem, gerenciando a segurança na circulação dos trens. Os Elixs ficam localizados em pequenas estações ao longo da ferrovia, chamadas de *Housings* ou Remotas.

3.5 ESTRATÉGIA DE MANUTENÇÃO

Leme (2017) afirma que todo sistema produtivo na indústria possui uma grande quantidade de ativos que visam auxiliar na produção de bens, entretanto, no atual cenário globalizado, onde atendimento a prazos acordados e alta qualidade do produto são requisitos fundamentais para manter a competitividade no mercado, o gerenciamento da manutenção possui um papel essencial para garantir a fluidez e a eficiência da produção.

Ainda de acordo com o autor, a manutenção se apresenta como uma alternativa à redução de custos, que podem ser diretos - em função de falhas no maquinário; ou indiretos, gerados por multas em função do descumprimento de prazos, ou ainda, a perda de clientes.

Atualmente, o plano de manutenção das máquinas de chave, da Estrada de Ferro Carajás, é baseado em um mapa de 52 semanas. Esta é uma prática bastante utilizada em empresas de diversos segmentos - o ano calendário é dividido em semanas e neste mapeamento, são inseridos os planos de manutenção dos ativos, de modo distribuído, permitindo organização na cobertura anual de todos os ativos.

Tabela 6 - Periodicidade dos Planos de MCH

Região	Período	Tipo de Plano	Modelo de Máquina
• TFPM	26 semanas	Inspeção	MCH CTS-2
	26 semanas	Man. Preventiva Geral	MCH CTS-2
	13 semanas	Man. Preventiva Elétrica	MCH M3-E
	52 semanas	Man. Preventiva Mecânica	MCH M3-E
	13 semanas	Inspeção	MCH Ecostar
	52 semanas	Man, Preventiva Geral	MCH Ecostar
• Linha tronco da EFC • RFSP	26 semanas	Inspeção	MCH M3 e JEA-73
	26 semanas	Man. Preventiva Geral	MCH M3 e JEA-73
	13 semanas	Man. Preventiva Elétrica	MCH M3-E
	52 semanas	Man. Preventiva Mecânica	MCH M3-E
	26 semanas	Inspeção	MCH CTS-2
	26 semanas	Man. Preventiva Geral	MCH CTS-2

Fonte: adaptado de Leite, 2017

Devido dinâmica do tráfego ferroviário, as máquinas de chave devem ser ajustadas periodicamente em janelas de manutenção, sejam elas corretivas ou preventivas, de forma a garantir o seu funcionamento para as operações de trens. No entanto, muitas destas análises ainda são realizadas apenas quando ocorre o problema no equipamento. Por essa razão, surge a oportunidade em monitorar e analisar de modo automatizado este ativo, para que sua manutenção seja realizada no momento mais adequado.

Almeida (2018) destaca que na manutenção corretiva o sistema espera pela falha da máquina ou equipamento, antes que haja a tomada quaisquer ações de manutenção, ou seja, este modelo é uma técnica de gerência reativa. Este fator torna o método mais caro em comparação aos outros modelos de manutenção.

Neste modelo de planejamento, é configurada a periodicidade das intervenções nos equipamentos, atribuindo para cada ativo um intervalo entre suas respectivas manutenções. São avaliadas informações pré-definidas das características da vida útil dos componentes ou tempo de configuração de determinado parâmetro e assim estabelecidas em quantas semanas aquele equipamento será mantido.

A execução do plano, portanto, não atrela parâmetros de monitoramento *online* e independe, por exemplo, do nível de desgaste (de severo a baixo) dos seus componentes. Na programação atual, duas máquinas de configurações iguais, em locais distintos, podem ter realizado 50 a 80% mais movimentações uma que a outra e são avaliadas com o mesmo peso dentro do plano.

Deste modo, é observado que existe oportunidade para otimização deste modelo atual de manutenção. Visto que, o mesmo não incorpora parâmetros preditivos, nem estabelece valores limite para maximizar os resultados.

Böhm (2017) afirma que com a finalidade de reduzir os efeitos negativos, identificar as causas cedo o suficiente possibilita o planejamento e execução das atividades de manutenção preventiva de modo eficaz.

Também será possível elaborar um estudo mais amplo, correlacionando os valores de corrente elétrica deste equipamento, de maneira a monitorar, possíveis tendências de falha, e realizar intervenções antes de ocasionar falha e interrupção de funcionamento do mesmo.

Bukhsh (2019) afirma que um modelo de previsão de falhas exige dispositivos de monitoramento adicionais que devem ser instalados nos equipamentos, algo que requer investimento e não é prático em termos de infraestrutura. Portanto, é

fundamental explorar as possibilidades de melhorar o planejamento dos sistemas de manutenção.

No estudo de otimização de planejamento integrado de tráfego ferroviário, apresentado em Lidén *et al* (2017), os autores ressaltam que a manutenção ferroviária consome grandes orçamentos, tem sua organização complexa e apresenta vários desafios de planejamento. Especificamente, a coordenação de tarefas de manutenção e tráfego de trens é um dos seus principais desafios, uma vez que essas atividades são mutuamente exclusivas.

Destacam ainda que este conflito de planejamento se torna crucial em linhas com alta densidade de tráfego, com operação 24 horas por dia, especialmente quando as demandas de circulação e necessidades de manutenção aumentam, caso de muitos países europeus. Deste modo, grandes benefícios podem ser obtidos se o planejamento for melhorado.

Xiao *et al* (2016), resalta que a manutenção preventiva pode ser efetiva para a manutenção de máquinas em um alto nível de confiabilidade. No entanto, quando a implementação de atividades de manutenção programada gera qualquer indisponibilidade de máquina, isto pode interferir na indisponibilidade de todo o sistema de produção. Portanto, minimizar as indisponibilidades de máquinas para manter o sistema com elevada confiabilidade é vital para a produção funcionar sem problemas.

3.5.1 Manutenção baseada em condições

Em um estudo sobre o suporte à decisão na manutenção baseada em condições (CBM), Jamshidi *et al* (2018), os autores destacam que este modelo de manutenção permite estimar as reais condições de saúde dos ativos, de modo que sua degradação pode ser controlada.

Lee *et al* (2006) resalta que um regime de manutenção baseado em condição (CBM), é desenvolvido considerando o acompanhamento das informações de degradação do ativo, comparando-as a referências de parâmetros técnicos, de forma a analisar a sua evolução. O objetivo é anteceder as falhas, minimizando o tempo de inatividade do sistema, através do equilíbrio entre o risco de falha e o retorno financeiro.

Este benefício ajuda a manter o gestor continuamente informado da saúde do equipamento, permitindo uma operação efetiva, reduzindo os custos de manutenção, eliminando operações desnecessárias e concentrando as manutenções para os locais críticos, sendo mais assertivo no planejamento.

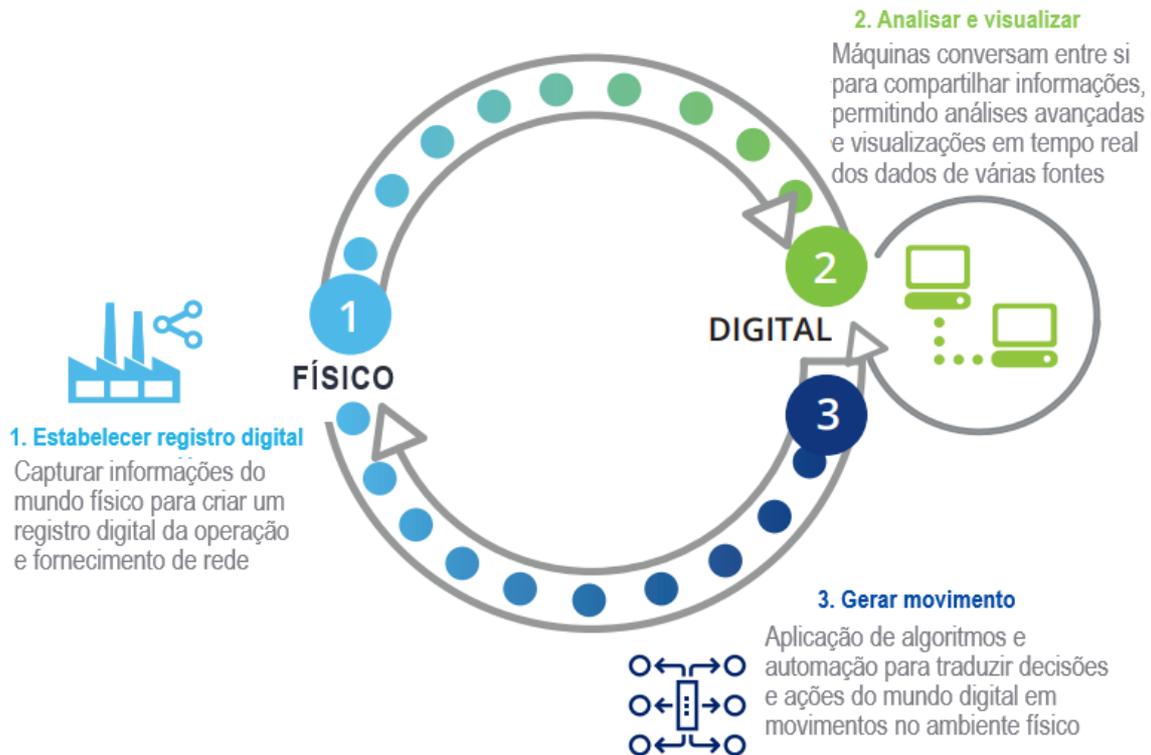
3.6 UTILIZAÇÃO DE TECNOLOGIAS NA ANÁLISE DE DADOS

A elaboração de modelos preditivos é um exemplo de utilização de tecnologias na análise de dados. Um ponto importante, ressaltado por Valério (2014), destaca que as modelagens preditivas buscam proporcionar previsibilidade ao sistema, realizando previsões e permitindo antecipar resultados, que podem ser utilizados na gestão econômica da empresa. Com isto, o investimento em ferramentas deste tipo, oferece uma vantagem competitiva, fundamental ao negócio.

A integração de informações de diversas fontes e locais distintos impulsiona o ato físico da manutenção estruturada através de uma cadeia contínua. Coleman *et al* (2017), explica que este ciclo inicia com a coleta de informações do ambiente físico para um processo de digitalização (físico para digital).

Em sequência, a parte digital-digital do processo se concentra no compartilhamento e análise de dados, visando criar *insights* significativos. Finalmente, o ciclo é fechado com uma transformação digital-física desses *insights* em ações do ambiente real. Este processo é descrito visualmente na figura a seguir.

Figura 14 - O Ciclo Físico-Digital



Fonte: traduzido e adaptado de Coleman *et al*, 2017

Musskopf (2017), ressalta que a análise de indicadores de desempenho tem a necessidade de ser ágil, estar estruturada com uma rotina de atualização, ser de fácil manuseio e acessível. A autora destaca também, que existem inúmeras alternativas de análises que podem ser utilizadas nos processos de tomada de decisão.

3.6.1 *Business Intelligence*

As oportunidades associadas a análise de dados, em diversas organizações têm influenciado no crescente interesse em *business intelligence*, que compreende por um conceito geralmente ligado a tecnologias, técnicas métodos e aplicações para interpretação e avaliação de dados críticos, que proporcionam as empresas um melhor entendimento dos seus processos e mercado associado, facilitando os processos decisórios em tempo hábil (CHEN *et al*, 2012).

O termo *Business intelligence* (BI) é abrangente, incluindo arquiteturas, banco de dados, ferramentas, metodologias e aplicações. A sua aplicação visa principalmente: permitir o acesso dinâmico aos dados – podendo inclusive ser em tempo real, permitir a utilização analítica destes dados e oferecer aos gestores e

analistas de negócios a capacidade de realizar análises mais integradas (TURBAN, 2009).

Em seu trabalho sobre os impactos do BI na qualidade da tomada de decisão, Wieder *et al* (2015), é destacado pelos autores, que o BI tem por objetivo principal fornecer uma alta qualidade da informação dos dados, que será utilizada no processo decisório. Esta tarefa é desenvolvida através de dois estágios, uma etapa inicial de identificação dos dados, coleta, armazenamento e manutenção e o segundo estágio de recuperação, processamento e disponibilização dos dados, direcionada para a equipe tomar decisões.

3.6.2 Modelos preditivos e o *Big Data*

Na proposta apresentada por Victorino *et al* (2017), os autores afirmam que a análise preditiva vai além da mera descrição das características dos dados e das relações entre as variáveis, uma vez que faz uso dos dados do passado para prever o futuro. Em tal análise, primeiro são identificadas as associações entre as variáveis e, em seguida, faz-se a previsão da probabilidade da ocorrência de um fenômeno, levando-se em conta as relações identificadas.



Fonte: traduzido e adaptado de Coleman *et al*, 2017

Neste contexto, Passos (2017) afirma que o *Big Data* é constituído por diversas tecnologias e algoritmos que são integrados a grandes bancos de dados, com o

objetivo de realizar captura, análise, processamento e compartilhamento das informações, de forma correta, conforme exigências solicitadas.

Em um trabalho de modelação preditiva, aplicado ao setor de aviação, Valério (2014) destaca que o SPSS Modeler – da IBM – é uma ferramenta de *data mining* e outras tarefas analíticas, utilizada com o objetivo de desenvolver previsões, auxiliando os usuários ou empresas na tomada de decisão, através da criação de modelos preditivos baseados em variadas opções de algoritmo. Oferecendo sugestões automatizadas sobre os modelos ideais a serem utilizados, dependendo do cenário requerido.

Rodrigues e Dias (2017) exploram a ideia de que a visualização de dados aborda uma nova caracterização da explosão informacional através da era do *Big Data*. Inicialmente, a preocupação da Ciência da Informação era o modo de coletar, organizar, armazenar e recuperar as informações, na atualização do fenômeno enquanto problema de pesquisa; e decorre agora em como transformar os dados em visualização, de maneira a desenvolver uma nova interpretação e significado de dimensão social, informacional e comunicacional.

Em estudo sobre o tema - aplicado no setor agrícola, Trevisan (2017) considera essa uma técnica simples, por não requisitar de parâmetros de configuração, apresentando um nível satisfatório de assertividade. Porém, a avaliação detalhada dos dados a serem utilizados é uma fase que consolida a garantia de resultados positivos através mineração de dados.

Com o propósito de destacar os contributos do *Big Data* e *Data Science*, em Passos (2017), a autora reforça que é importante perceber que, independente da definição realizada, as atividades ligadas à inteligência objetivam à produção de conhecimento baseado em dados selecionados, avaliados, interpretados e, ao término, apresentados de modo útil para o processo decisório.

Suportado pelo entendimento das grandes mudanças que o *Big Data* ocasionou e vem apresentado, no trabalho em Oliveira (2017), o autor reforça a sugestão para os dias atuais, de avaliar o perfil e as habilidades dos profissionais da informação diante das demandas desse fenômeno e da sociedade.

4. METODOLOGIA

Alinhado ao atingimento dos objetivos propostos, este trabalho tem sua fundamentação teórica baseada em pesquisa exploratória de dados e sua metodologia é fundamentada na realização de um estudo de caso, aplicado ao processo de manutenção eletroeletrônica de uma empresa mineradora, da Estrada de Ferro Carajás, apresentando os resultados na prática do contexto empresarial.

Os instrumentos de pesquisa utilizados foram: levantamento bibliográfico, com análises de fontes diversas como artigos científicos, livros relacionados ao tema, teses e dissertações de estudos ferroviários. E análise documental, através da pesquisa detalhada e avaliação de eventos dos bancos de dados internos da empresa, que possuem informações consolidadas sobre o comportamento das máquinas de chave do setor estudado.

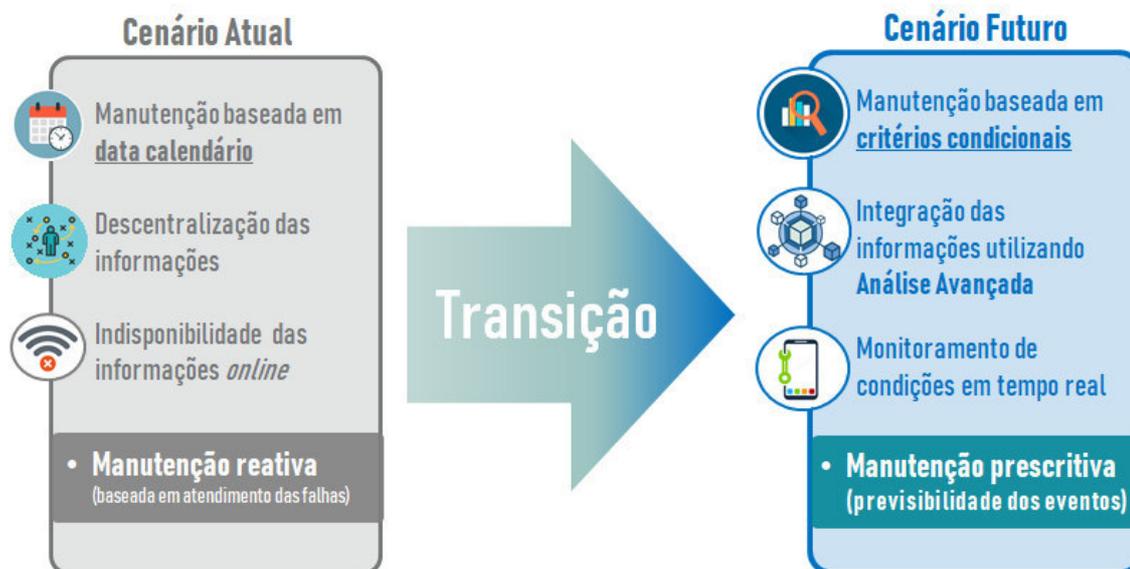
Os dados analisados nas etapas de pesquisa deste estudo são, em sua maioria, caracterizados como de natureza quantitativa, com fonte direta através da investigação de bancos de dados com informações do desempenho das máquinas de chaves estudadas, visando sua sistematização e sucessiva análise. De modo adicional, também foram utilizados dados de natureza qualitativa, através da análise de especialistas de área, que complementam as informações dos eventos com dados técnicos sobre as ocorrências.

No contexto dos resultados discutidos e apresentados, este trabalho é categorizado como uma pesquisa-ação, pois visa proporcionar novos conhecimentos para que sejam utilizados em soluções práticas de problemas relacionados ao setor ferroviário, ou outros aplicáveis.

O estudo contextualiza também a experiência vivenciada no cenário de transição, do modelo de manutenção base calendário, para o modelo prescritivo. Apresentando iniciativas que foram desenvolvidas no decorrer da estruturação da nova estratégia citada, implantada na matriz de manutenção das máquinas de chave - do setor eletroeletrônico da Estrada de Ferro Carajás.

Na representação que segue, observa-se os principais aspectos que devem ser alterados para a configuração futura de modelo proposto neste trabalho. Importante ressaltar, que existe um período intermediário para atualização dos regimes atual e futuro, classificado como período de transição.

Figura 16 - Representação dos cenários de transição



Fonte: Autor, 2019

Para realizar a mudança de modo mais seguro, não foram feitas alterações drásticas no modelo atual, realizando modificações de maneira gradativa e observando os impactos causados nos ativos e recursos. Com isto, foram desenvolvidos cenários, onde a cada semestre haverá um aumento gradativo do percentual de manutenção condicional.

Estima-se também que o entendimento de detalhes específicos dos ativos, atrelado à elaboração de uma base de dados integrada proporcione melhor quantificação dos impactos gerados pelo equipamento.

4.1 APLICAÇÃO DA ESTATÍSTICA

Para a etapa de metodologia deste estudo, foram utilizados conceitos básicos da Estatística, com o propósito de obter melhor entendimento dos cenários estudados, bem como, de parametrizar e realizar inferências estatísticas com os resultados obtidos, visando oferecer ganhos ao processo analisado.

Por Bussab (2009), tem-se o entendimento que: a inferência estatística é um dos ramos da Estatística. Se constitui da parte da metodologia da Ciência que visa: a coleta, redução, análise e consecutiva modelagem dos dados, onde então, é realizada a inferência para uma população onde foram obtidos os dados (a amostra). No

processo de modelagem dos dados, um importante aspecto é a elaboração de previsões, que podem ser utilizadas na tomada de decisão.

Portanto, analisar as variáveis e estabelecer suas possíveis associações, observando o grau de dependência entre estas, é um direcionador importante para os resultados do estudo.

Segundo Bussab (2009), a construção de uma distribuição conjunta, contendo duas variáveis qualitativas, tem como um dos principais objetivos, entender e detalhar a associação entre elas, ou seja, é esperado compreender o grau de dependência entre as variáveis, permitindo realizar uma melhor previsão do resultado de uma delas quando seja conhecido o comportamento da outra.

A análise comparativa deste estudo pôde ser realizada avaliando os principais KPIs (*Key Performance Indicators*) que mensuram o desempenho das máquinas de chave do setor.

4.2 A PROPOSTA DE MANUTENÇÃO PRESCRITIVA

Sobre a análise prescritiva, no trabalho realizado por Victorino *et al* (2017), os autores exemplificam este modelo é tal como a receita de um médico, onde a análise sugere a realização de uma ação. O projeto experimental tenta responder às perguntas sobre o motivo de um determinado acontecimento, através de experimentos, e a otimização investiga o ajuste ideal de determinada variável em relação às outras.

Neste trabalho a prescrição teve por objetivo determinar o melhor momento de intervir nas máquinas de chave, de modo a diminuir a possibilidade de um novo evento neste ativo. Assim, foram estudadas as principais variáveis que poderiam ser acompanhadas, realizando o seu monitoramento, avaliando o seu histórico e investigando as suas consecutivas conexões e relacionamentos, para estabelecer o melhor modelo de atuação.

Através da utilização do IBM SPSS® Modeler foi iniciada a elaboração da análise dos dados históricos de eventos com máquinas de chave, observando principalmente a contribuição dos principais parâmetros que influenciam na ocorrência de novos eventos.

Silva (2015b) destaca que, para a tarefa da classificação, algumas técnicas podem ser utilizadas, como: Redes Neurais Artificiais, Árvores de Decisão, Redes

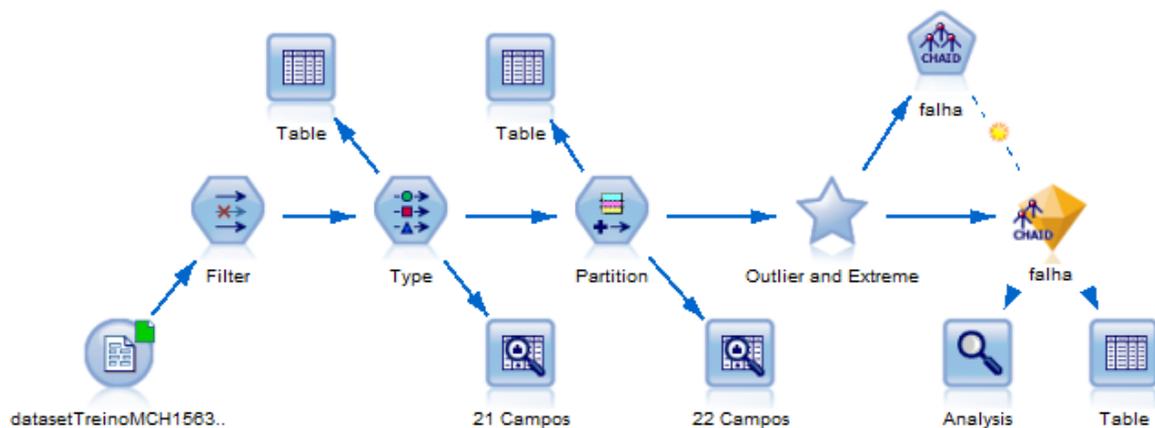
Bayesianas, dentre outras opções. Estas técnicas têm por objetivo desenvolver funções, que são modelos, capazes de realizar generalização, o que significa que através da leitura dos dados de entrada estes modelos conseguem estabelecer previsões de eventos ainda não ocorridos.

4.3 O ALGORITMO CHAID

No trabalho analítico sobre qualidade do sucesso escolar, em Barroso e Rita (2017), as autoras explicam que o algoritmo CHAID começa o seu processamento pela criação e análise da tabela de contingência entre as variáveis de *input* e a variável dependente, analisando a conexão entre as diferentes variáveis independentes e a variável dependente, posteriormente é realizado um teste estatístico – teste *chi-square* – determinando a independência entre as variáveis. Ressalta ainda que este algoritmo define, de modo automático, um máximo de três níveis de profundidade.

A aplicação deste nó de modelagem foi realizada para uma base de dados com 27 mil linhas de informações, detalhando as atividades do funcionamento das máquinas de chave da EFC. A estrutura da modelagem é representada em sequência.

Figura 17 - Representação do fluxo no SPSS Modeler IBM



Fonte: Extraído do SPSS Modeler IBM, adaptado do Autor, 2019

Os dados foram categorizados em 21 variáveis, sendo 20 representando informações de comandos e dados estatísticos das atividades de funcionamento dos ativos e uma delas, a variável resposta - que representa a condição de falha do ativo. A seguir, é apresentada a listagem completa de todas as variáveis do estudo.

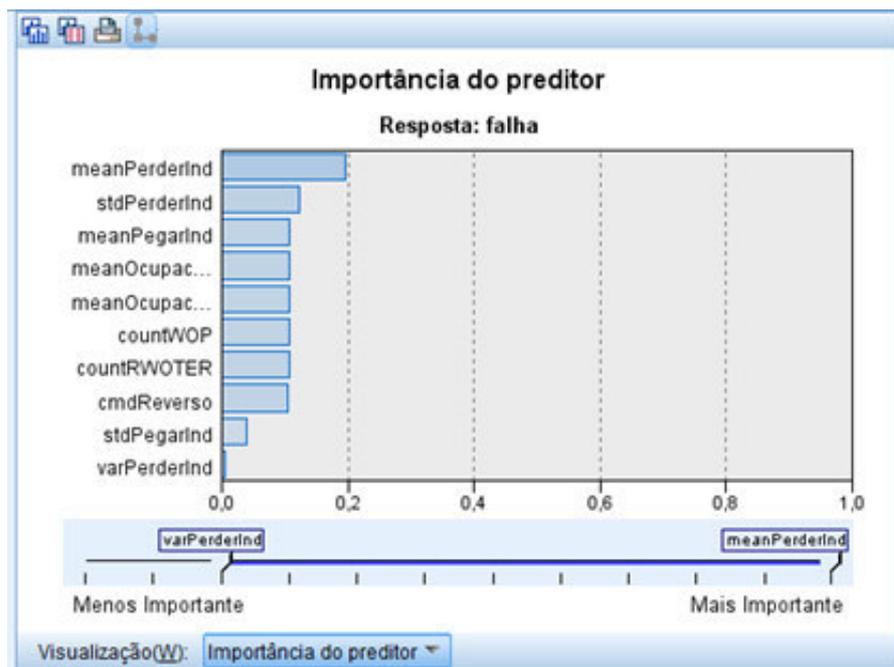
Figura 18 - Variáveis analisadas no estudo

Campo	Medição	Valores	Papel
cmdNomal	Contínuo	[0,154]	Entrada
cmdReverso	Contínuo	[0,154]	Entrada
countNWOTER	Contínuo	[0,78]	Entrada
countOcupacaoW01T	Contínuo	[1,319]	Entrada
countOcupacaoW02T	Contínuo	[1,433]	Entrada
countRWOTER	Contínuo	[0,62]	Entrada
countWOP	Contínuo	[0,86]	Entrada
falha	Flag	1/0	Resposta
meanOcupacaoW01T	Contínuo	[48,079328...]	Entrada
meanOcupacaoW02T	Contínuo	[13,065383...]	Entrada
meanPegarInd	Contínuo	[3,3,4,25]	Entrada
meanPerderInd	Contínuo	[1,83333333...]	Entrada
numLOCALK	Contínuo	[0,6]	Entrada
qtdFalhaPeriodo	Contínuo	[0,259]	Entrada
stdPegarInd	Contínuo	[0,0,0,78173...]	Entrada
stdPerderInd	Contínuo	[0,0,0,57735...]	Entrada
sumIndicacaoReverso	Contínuo	[0,241581]	Entrada
sumOcupacaoW01T	Contínuo	[48,84481]	Entrada
sumOcupacaoW02T	Contínuo	[22,73162]	Entrada
varPegarInd	Contínuo	[0,0,0,61111...]	Entrada
varPerderInd	Contínuo	[0,0,0,33333...]	Entrada

Fonte: Extraído do SPSS Modeler IBM, adaptado do Autor, 2019

Após análise das variáveis e tratamento das informações, foi aplicado o algoritmo CHAID para analisar a dependência das variáveis citadas e obtido o seguinte resultado.

Figura 19 - Análise da importância das variáveis



Fonte: Extraído do SPSS Modeler IBM, adaptado do Autor, 2019

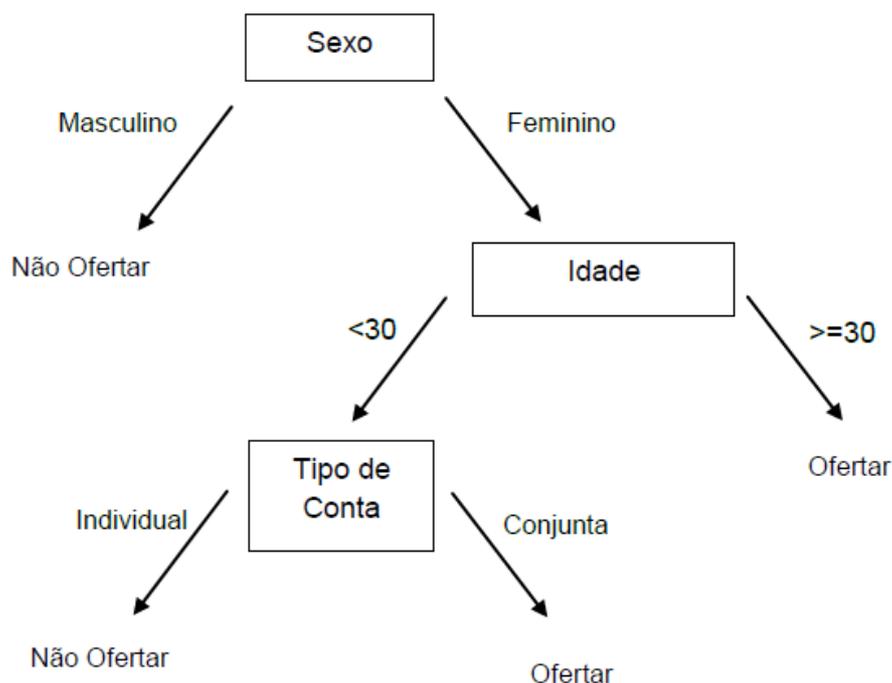
Através da análise da aplicação desta modelagem, é apresentado que a variável “média de perdas de indicação” foi a que representou maior impacto, na variável resposta “falhas”, indicando que este deve ser o principal indicador a ser monitorado.

4.4 ÁRVORE DE DECISÃO

Lima (2017) menciona que as árvores de decisão desenvolvem modelos de classificação ou de regressão em formato estrutural de árvore, transformam um conjunto de dados em sucessivos subconjuntos menores, com a finalidade de transformar um grande problema em problemas menores, tornando mais fácil a tomada de decisão.

Um exemplo de estrutura básica de árvore de decisão é ilustrado na figura a seguir. Neste fluxo, é apresentada a oferta de crédito condicionada a 3 critérios, o sexo, idade e tipo de conta, de um determinado usuário.

Figura 20 - Exemplo de árvore de decisão



Fonte: Adorno *et al*, 2011

Deste modo, a elaboração de uma árvore de decisão permite uma análise mais apurada das parcelas de contribuição de cada parâmetro para o resultado, bem como, de um melhor entendimento das possibilidades de alterações destes parâmetros para o desenho do melhor cenário de manutenção requisitado.

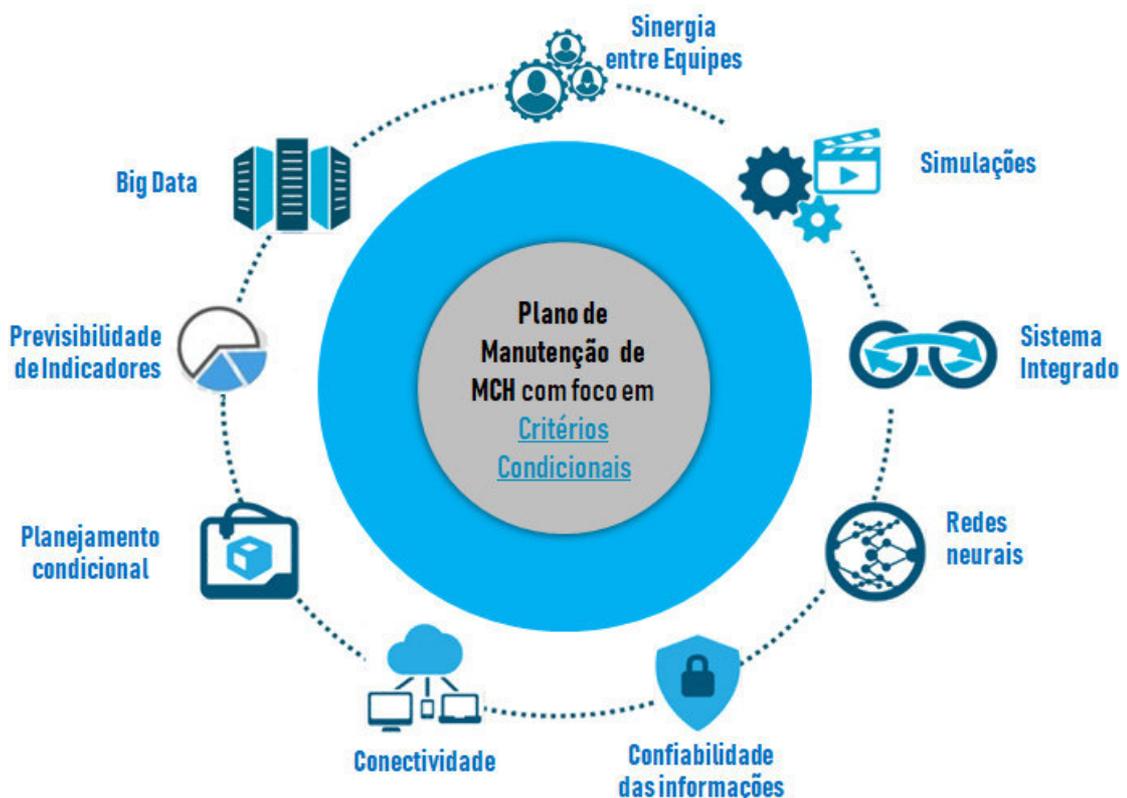
4.5 INTEGRAÇÃO DE TECNOLOGIAS AO NOVO MODELO

Uma proposta factível foi incorporar à estratégia de manutenção o uso de critérios adicionais que permitem monitorar a “saúde” do equipamento - refletido através de um índice. Adicionando fatores complementares é possível determinar a probabilidade futura de ocorrência de defeito, dentro de um horizonte temporal. Este índice será subsídio importante para reestruturar a estratégia do plano de manutenção deste equipamento.

Esta visão contínua em saúde presente e futuro das máquinas e seus componentes, permite a mudança para a manutenção com base em prognósticos inteligentes, onde as ações de manutenção são sincronizadas com o funcionamento global do sistema, bem como com os recursos necessários de manutenção e peças de reposição. (LEE *et al*, 2006)

As tecnologias e recursos são temáticas que foram agrupadas em componentes colaborativos envolvidos no desenvolvimento da mudança do Plano de Manutenção de Máquinas de Chave - focado em critérios condicionais são diversas, na figura é possível observar estes componentes.

Figura 21 - Componentes colaborativos envolvidos na transição



Fonte: Autor, 2019

Todos estes recursos foram explorados, em relativos níveis de maturidade, no processo de transição para o modelo de manutenção prescritivo das máquinas de chave. No intuito de apresentar os ganhos que cada um deles pôde proporcionar no desenvolvimento, estes são detalhados a seguir e foram mensurados nas dimensões de complexidade, custo e tempo no *caput* de resultados.

4.5.1 Previsibilidade de indicadores

Um fator essencial à análise e tratamento de falhas é a previsibilidade. Sendo mais previsível ao surgimento de novos eventos é possível antecipar o seu tratamento e reduzir os seus impactos. Para a criação do novo modelo de manutenção condicional, foram desenvolvidos estudos para um entendimento ampliado do comportamento funcional das máquinas de chave

Lee *et al* (2006) ressalta que quando as máquinas inteligentes estão sendo monitoradas e seus dados são modelados e continuamente analisados com sistemas embarcados, é possível ir além da prevenção de falhas para a elaboração de prognósticos inteligentes.

Complementando ainda que um prognóstico inteligente é uma abordagem sistemática, que pode continuamente monitorar a degradação, ou estado de saúde e prever o comportamento temporal de indicadores do ativo, visando prevenir a ocorrência de eventos indesejados, bem como identificar com precisão quais componentes de uma máquina tendem a falhar.

4.5.2 Big Data e Data Analytics

Em um cenário desafiador, frente a velocidade, volume e variedade de informações – os conceitos do *Big Data* e *Data Analytics* surgiram como principais alternativas ao tratamento dos dados. Com a utilização básica destes, foi possível desenvolver aplicações capazes de possibilitar *insights*, ajudando na melhor compreensão de problemas avançados, de modo muito mais rápido (VICTORINO *et al*, 2017).

A integração de todos os bancos de dados permite alcançar estudos mais aprofundados e complexos dos dados, facilitando as análises por parte dos especialistas e proporcionando ações mais assertivas aos gestores.

4.5.3 Sinergia entre equipes

A elaboração do novo modelo de manutenção, necessita maior aproximação entre as equipes envolvidas. O melhor entendimento dos indicadores específicos de cada área, em geral, é compreendido de forma mais apurada pelas pessoas que já estão vivenciando os impactos destas informações no cotidiano, sendo então, a experiência um fator relevante no seu entendimento.

Neste estudo, por se tratar da necessidade de integrar dados de diferentes áreas, foi importante criar uma sincronia entre pessoas de cada um dos setores. Por isso, participaram colaboradores de supervisões de confiabilidade, planejamento e controle de manutenção e execução.

Esta sincronização de ações de manutenção e informações pode permitir a solicitação de serviços e demanda por peças de reposição de forma autônoma, produzindo operação do sistema com tempo de inatividade quase zero, através de um modelo proativo, com custos de manutenção mais efetivos, sendo menos intrusivo durante o funcionamento do ativo (LEE *et al*, 2006).

4.5.4 Sistema integrado e simulações de cenários

Dados de diversas áreas podem ser integrados, de modo a formar um grande banco de dados, cruzando informações e obtendo resultados ainda mais consistentes.

Em Liu *et al* (2018), os autores apresentam um estudo de otimização conjunta do planejamento de manutenção preditiva e programação da produção, destacando que o desenvolvimento de um sistema integrado, proporciona os benefícios da integração das duas atividades em um processo de tomada de decisão unificado, incorporando *insights*, prognósticos e informações mais precisas de disponibilidade dos recursos disponíveis, obtendo assim: decisões ótimas de agendamento de produção e de manutenção.

Com os dados integrados é possível realizar simulações que flexibilizam alterações mais precisas para o curto, médio e longo prazo. É ressaltado ainda que cada estado do sistema irá servir de base para otimização futura de um alvo diferente.

Através da elaboração de simulações também podem ser criados os cenários de distribuição de materiais sobressalentes, ofertando maior dinamismo ao planejamento de recursos, para que seja otimizada também a cadeia de suprimentos.

4.5.5 Redes neurais

Segundo Adorno *et al* (2011), a Rede Neural Artificial (RNA) é uma técnica recente da área estatística, ela vem sendo aplicada no reconhecimento de padrões, predição de eventos e na classificação de informações. Esta aplicação tem despertado o interesse em pesquisadores de diversos segmentos.

A criação de um banco de dados robusto e integrado permite o avanço na aplicação inicial de redes neurais aos processos, para aplicação em *machine learning*² por exemplo.

4.5.6 Confiabilidade das informações

As informações contidas no banco de dados passam a ser verificadas sistematicamente em rotinas computadorizadas, bem como por mais pessoas. Sendo assim, a consequente análise de um volume maior e compartilhado de dados genéricos e específicos, contribui na prevenção de ocorrências. Então, a estruturação de um acompanhamento visa melhorar o gerenciamento dos defeitos e falhas, possibilitando decisões mais precisas e rápidas de curto e longo prazo.

Outro benefício que pode ser listado é a redução de possíveis erros de apontamento das de variáveis quantitativas e qualitativas.

4.5.7 Conectividade e sensoriamento

A evolução em poder de processamento aliado à redução de custos com *hardware*, viabilizou a possibilidade de conectar qualquer coisa à Internet. Alguns aspectos estão proporcionando ao momento atual, uma grande oportunidade para a IoT (*Internet of Things*), como: conexão de banda larga está cada dia mais ampla e disponível, mais dispositivos tecnológicos estão sendo desenvolvidos, sensores ainda mais modernos e o preço destas tecnologias continua decrescente. (SILVA, 2018).

Em consequência do monitoramento constante dos indicadores de processo das atividades da máquina de chave, é ampliada a possibilidade de conexão destes dados com outras aplicações, observando que as informações ficam disponíveis (em

² *Machine learning* é um campo de estudo, que possibilita fornecer, através de métodos analíticos de dados, o aprendizado de máquinas, permitindo o processo de automatização de análises, através de generalizações de eventos.

ambiente controlado) de modo a flexibilizar a sua análise por especialistas ou sistemas computadorizados.

4.5.8 Planejamento condicional

Estabelecer uma manutenção condicional se passa pelo desenvolvimento de um planejamento mais complexo, baseado em critérios técnicos que irão definir o momento ótimo da intervenção, buscando somente intervir o ativo na condição mais próxima e necessária antes da possibilidade real da falha acontecer, significando que os recursos (mão de obra, demanda de tempo da ferrovia parada, materiais e outros) sejam utilizados de uma maneira otimizada, fazendo a manutenção quando realmente existir a necessidade.

Wieder *et al* (2015) menciona que a qualidade dos dados está ligada a qualidade da representação dos fatos mais significativos. A diferença entre a qualidade dos dados e da informação é observada no contexto do *Business Intelligence*, que tem como objetivo fornecer alta qualidade da informação, a ser utilizada na tomada de decisão.

Os autores afirmam ainda que esta tarefa é realizada através de duas etapas. Um estágio inicial de identificação, coleta, armazenamento e manutenção dos dados e uma segunda etapa de recuperar, processar e tornar disponível os dados de modo para que seja útil ao processo decisório.

5. RESULTADOS

Neste estudo foi realizado o levantamento de ferramentas tecnológicas aplicáveis e seus benefícios na transição da estratégia de manutenção preventiva para um modelo condicional. É apresentado também uma análise do histórico de falhas em máquinas de chave da Estrada de Ferro Carajás.

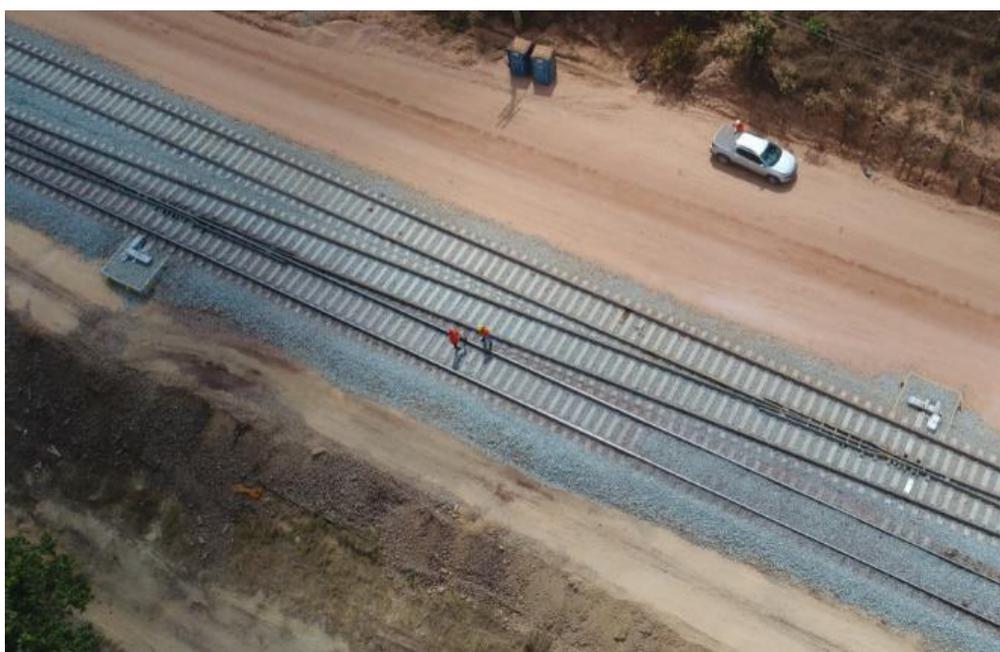
Foram estudadas as variáveis que mais influenciam no funcionamento das máquinas de chave. E no decorrer deste capítulo são apresentadas as principais soluções práticas desenvolvidas que colaboraram para otimização da estratégia de manutenção destes ativos, proporcionando as condições básicas para implantação da estratégia prescritiva.

5.1 ESTUDO DE CASO DAS MÁQUINAS DE CHAVE

Para a realização do estudo de caso das máquinas de chave, proposta neste estudo, foi analisado o conjunto de informações disponíveis de eventos de todas as máquinas de chave da Estrada de Ferro Carajás, disponíveis em bancos de dados internos da empresa.

As figuras a seguir apresentam respectivamente: uma imagem aérea e frontal, de um trecho da EFC.

Figura 22 - Vista aérea da Ferrovia



Fonte: Autor, 2017

Os dados da ocorrência de um evento da Manutenção Eletroeletrônica, seja um defeito ou falha de algum equipamento de responsabilidade deste setor, são registrados em ambiente informatizado. Estas informações são primariamente para caracterizar a ocorrência, através de uma descrição detalhada, identificar o equipamento, pelos dados de localização do mesmo e outras informações relevantes, como data e hora do início e fim da avaria.

O cadastro de cada ocorrência é realizado por colaboradores, que utilizam de um sistema informatizado, o SAP³, para efetuar a entrada de dados. O consolidado destas informações é disponibilizado através da extração de relatórios do sistema e estruturadas conforme figura a seguir.

Figura 25 - Estrutura do banco de dados

Início avaria	Hora início avaria	Descrição	Centro trab.respon	Sala	Ordem	Fim da avaria	Hora do fim avaria	Duração da para	Campo de ordenação
01/06/2018	00:08:00	M017 LOCO 738 KM746 PENALIZOU PELO ATC	ECEE30	DEF_OUT	201802083534	01/06/2018	00:10:00	0,03	ATC-ECJLOC0738
01/06/2018	03:59:00	TUKM287 AMV03 S/CORRESPONDEN PIREVESO	ECEE45	DEF_EE1	201802086974	01/06/2018	16:30:00	12,52	MCH_ECJZW21AK287
01/06/2018	02:18:00	TU149 CIRCUITO W02T OCUPOU P/ INSTANTES	ECEE45	FAL_EE1	201802087126		00:00:00	0,00	INT_ECJABRTUK149
01/06/2018	00:11:00	LOC-862 H257 ATC N ATUALIZA COTA DE VIA	ECEE30	DEF_EE1	201802096284		00:00:00	0,00	ATC-ECJLOC0862
01/06/2018	07:36:00	TU742 W02T FICOU OCUPADO APÓS CIRCUL A44	ECEE65	DEF_OUT	201802088197	01/06/2018	09:59:00	2,38	INT_ECJABRTUK742
01/06/2018	07:10:00	TU KM201 1D1T OCUPADO APÓS M416	ECEE45	DEF_OUT	201802088303	06/06/2018	00:00:00	112,83	INT_ECJABRTUK236
01/06/2018	08:27:00	TU157 CONVERSOR 120/48 NAO ASSUME CARGA	ECEE45	DEF_EE1	201802090680	01/06/2018	22:15:00	13,80	UCE_ECJABRTUK157
01/06/2018	10:15:00	TU381 AMV01 COM UMA DAS TAMPAS ABERTAS	ECEE50	DEF_OUT	201802090900		00:00:00	0,00	MCH_ECJZW11AK381
01/06/2018	11:17:00	TU KM170 AMV1 SEM CORRESP P/ REVERSO	ECEE45	FAL_EE1	201802091811	01/06/2018	13:34:00	2,28	MCH_ECJZW11AK170
01/06/2018	11:44:00	KM216 AMV01/MCH1 PERDEU CORRESPOND.	ECEE45	DEF_EE1	201802092520	06/06/2018	00:00:00	108,27	MCH_ECJZW11AK216
01/06/2018	11:53:00	TU KM193 AMV02 PERDE CORRESPONDENCIA	ECEE45	DEF_EE1	201802092430	06/06/2018	12:51:00	120,97	MCH_ECJZW12AK193
01/06/2018	13:00:00	TU130 AMV01 SEM CORRESP. PARA REVERSO	ECEE35	FAL_EE1	201802093566	01/06/2018	21:36:00	8,60	MCH_ECJZW11AK130
01/06/2018	13:39:00	AS223 VELOCIDADE VARIANDO PENALIZANDO	ECEE30	FAL_EE1	201802093711	01/06/2018	15:31:00	1,87	ATC-ECJEMVAS223
01/06/2018	14:03:00	TU518 AMV04 SEM CORRESPONDÊNCIA RETA	ECEE55	FAL_EE1	201802094316	01/06/2018	15:09:00	1,10	MCH_ECJZW22CK518
01/06/2018	16:26:00	TU525 CVD 2E1T /1E1T OCUPADOS	ECEE55	DEF_VND	201802095796	01/06/2018	17:05:00	0,65	INT_ECJABRTUK525
01/06/2018	16:03:00	TU013 FALHA DE ELIX DURANTE PROG. ENERGI	ECEE35	DEF_EE1	201802095917	01/06/2018	16:10:00	0,12	ABR_ECJARMCVK017
01/06/2018	19:02:00	TU KM 482 C952(8257) OSCILA VDIAM/VD	ECEE30	DEF_OUT	201802096470		00:00:00	0,00	BOR-ENSLC8257
01/06/2018	21:53:00	HB km342 L01 hot wheel	ECEE50	DEF_OUT	201802126328		00:00:00	0,00	HBW_ECJABRK342
02/06/2018	02:04:00	TE02 KM 38 L2 OCUPOU APOS DESVIO R81	ECEE35	FAL_EE1	201802100218	02/06/2018	15:40:00	13,60	INT_ECJABRTUK045
02/06/2018	02:17:00	KM755 V980(L-389) PENALIZOU COM PERMISSI	ECEE30	FAL_EE1	201802100761	04/06/2018	19:30:00	65,22	ATC-ECJLOC0389
02/06/2018	03:36:00	TU646 M408(L-101) OSCILOU SINAL AMV/MAM	ECEE60	DEF_EE1	201802100767	02/06/2018	05:58:00	2,37	INT_ECJABRTUK646
02/06/2018	04:48:00	TFPM LOCO 850 PENALIZOU ROTA 3B X7 3A	ECEE30	DEF_EMT	201802100914	02/06/2018	04:50:00	0,03	ATC-ECJLOC0850
02/06/2018	07:33:00	RFSP KM72-800 M032 OSCILOU VDV/M NÃO PEN	ECEE80	DEF_EE1	201802101140	02/06/2018	10:19:00	2,77	SWL_ECJARMTEK073
02/06/2018	07:40:00	KM810 FALHA DE CONTAGEM DE TRANSDUTOR	ECEE75	DEF_EE1	201802101141	04/06/2018	00:00:00	40,33	HBW_ECJABRK809
02/06/2018	09:05:00	L8257 C952 L2 NÃO LEU TERRITO KM1+600	ECEE30	DEF_OUT	201802101244	02/06/2018	09:15:00	0,17	BOR-ENSLC8257
02/06/2018	13:30:00	TU130 AMV02 SEM CORRESP PARA RETA	ECEE35	DEF_OUT	201802102340	02/06/2018	16:43:00	3,22	MCH_ECJZW21CK130
02/06/2018	13:40:00	LOCO 409 LINHA 173 FALHA DE TACOMETRO	ECEE30	DEF_OUT	201802102341	02/06/2018	13:50:00	0,17	ATC-ECJLOC0409
02/06/2018	14:28:00	HB km 273 FALHA ENERGIA AC	ECEE45	DEF_EE1	201802102438	05/07/2018	00:00:00	777,53	HBW_ECJABRK273
02/06/2018	14:44:00	KM512 (TE08)-ALARMOU COM TREM	ECEE55	DEF_OUT	201802102520	02/06/2018	22:05:00	7,35	TRE_ECJPA8M3MK512
02/06/2018	15:17:00	TU253 -FALHA VENTILAÇÃO INTERMITENTE PEN	ECEE45	DEF_EE1	201802102641		00:00:00	0,00	ABR_ECJABRTUK253
02/06/2018	15:50:00	KM 512 (TE01) EM FALHA PARA LINHA 01	ECEE55	FAL_EE1	201802102701	02/06/2018	23:45:00	7,92	INT_ECJAMTEK512

Fonte: Adaptado de relatório extraído do SAP, pelo Autor, 2019

Os parâmetros de *input* destas informações são padronizados. Por exemplo, os dados relativos ao centro de trabalho responsável correspondem a uma sede de manutenção. As ocorrências dos eventos são registradas através de um código, composto por 4 letras e 2 números, conforme apresentado a seguir.

³ O SAP é um sistema informatizado de gestão empresarial ERP (*Enterprise Resource Planning*), capaz de concentrar dados de diversos setores de uma empresa e integrar informações em uma plataforma robusta de gerenciamento.

Figura 26 - Detalhe do Campo Centro de Trabalho

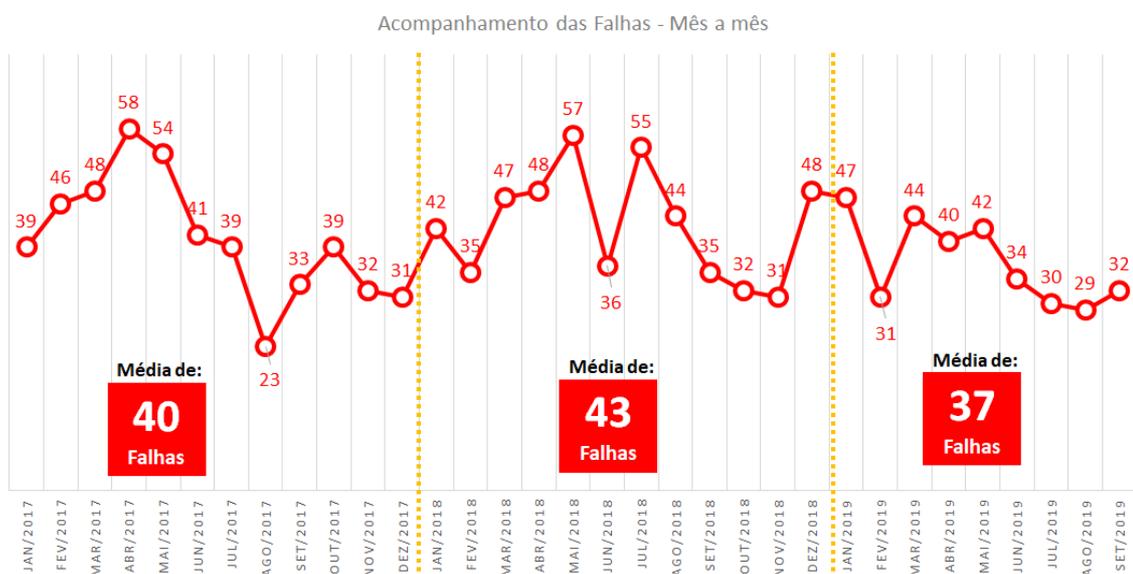
Centrotrab. responsável	Sigla	Sede
ECEE15	MCCO	Manutenção do CCO
ECEE30	BORDO	Equipamento de Bordo
ECEE33	TFFM	Terminal Ferroviário de Ponta da Madeira
ECEE35	SLS	Sede de Manutenção de São Luís
ECEE45	SIS	Sede de Manutenção de Santa Inês
ECEE47	AAL	Sede de Manutenção de Alto Alegre
ECEE50	NVA	Sede de Manutenção de Nova Vida
ECEE55	ACD	Sede de Manutenção de Açailândia
ECEE60	SPAB	Sede de Manutenção de São Pedro da Água Branca
ECEE65	MBA	Sede de Manutenção de Marabá
ECEE75	CJS	Sede de Manutenção de Carajás
ECEE80	RFSP	Sede de Man. de Ramal Ferroviário Sudeste do Pará

Fonte: Adaptado de relatório extraído do SAP, pelo Autor, 2019

No caso exemplificado, o centro de trabalho responsável é uma variável qualitativa nominal, onde cada código é correspondente à uma Equipe de Trabalho (Sede de Manutenção) da Gerência, fazendo correspondência a uma determinada extensão ou trecho da ferrovia.

Para o desenvolvimento do estudo de caso, foram coletados dados históricos dos eventos de máquinas de chave, e no total, foram encontrados 13.205 eventos no período estudado, janeiro de 2017 até setembro de 2019.

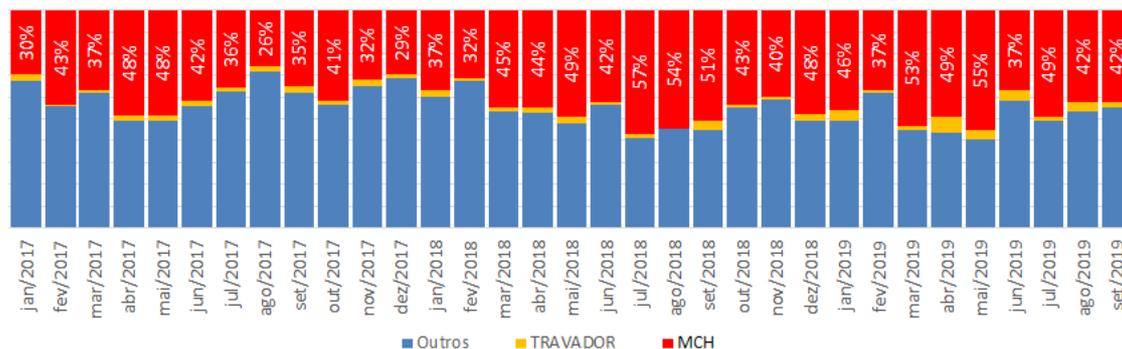
Figura 27 - Quantidade de Falhas mês a mês



Fonte: Autor, 2019

Através da análise histórica, pode ser avaliado o desempenho anual de falhas em máquinas de chave do agrupamento EFC, o ponto relevante é a alta variabilidade dos resultados. Um indicativo que o processo não está estabilizado, alternando bons e maus resultados em meses consecutivos, o que pode ser avaliado como oportunidades de análise e sucessivo tratamento.

Figura 28 - Representatividade das Falhas em MCH



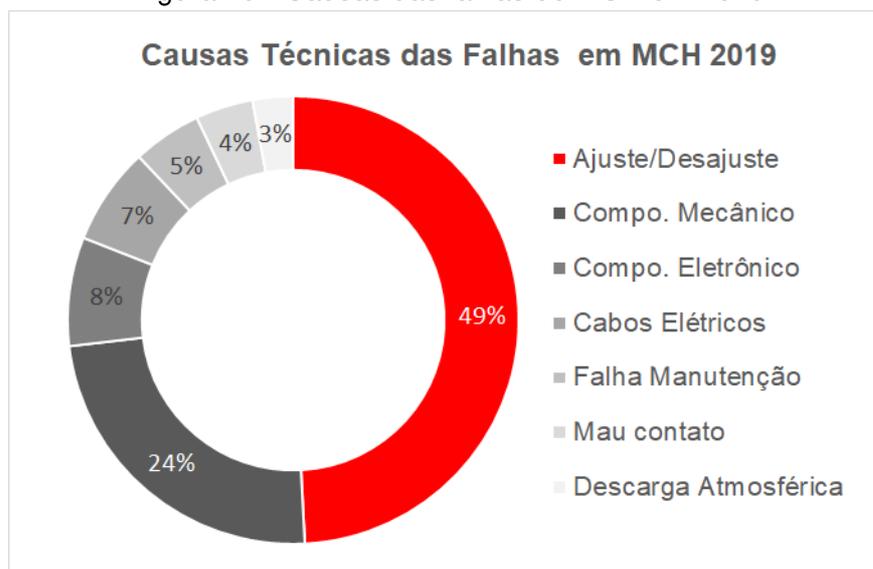
Fonte: Autor, 2019

Outro ponto a destacar é a parcela significativa que as falhas em máquinas de chave representa do total de falhas em ativos de Sinalização, destacando a relevância do tema. Considerando o período de janeiro de 2017 até setembro de 2019, em média, 42% dos eventos deste sistema foram neste ativo

5.2 ANÁLISE DAS FALHAS MAIS COMUNS EM MÁQUINAS DE CHAVE

Dentre todos os possíveis modos de falhas e defeitos que podem ocorrer em uma máquina de chave, os principais são: falta de lubrificação, mau funcionamento de componentes e problemas relacionados aos ajustes (AGUIAR *et al*, 2018).

Figura 29 - Causas das falhas de MCH em 2019



Fonte: Autor, 2019

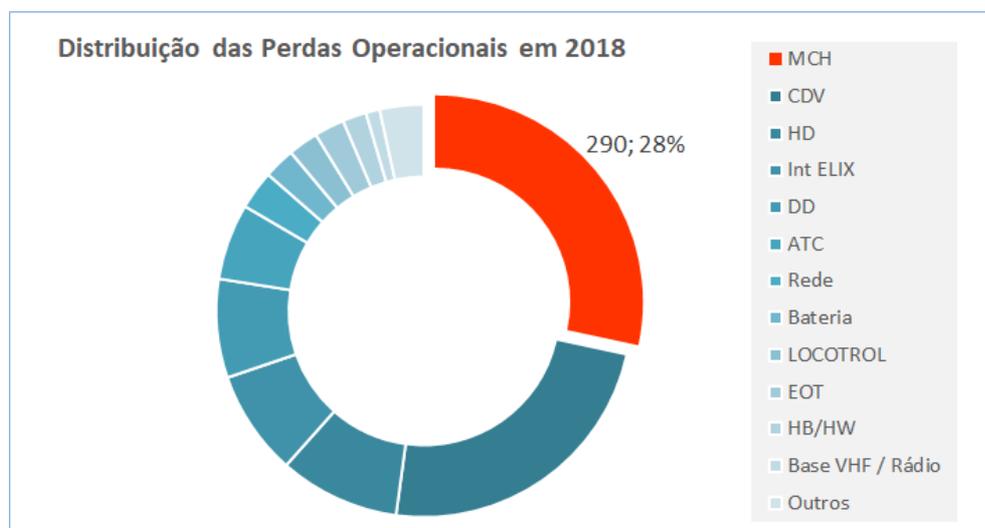
No período estudado, o modo de falha de maior representatividade foi relacionado a Ajuste/desajuste das máquinas de chave, correspondendo a praticamente metade dos eventos. Desta parcela, aproximadamente 40% esteve relacionada a barra desajustada. Este problema acontece geralmente devido alteração, por folga ou travamento, causando um erro na configuração normal das medidas de posicionamento dos componentes do equipamento e sua consecutiva perda de operacionalidade.

5.3 PERDAS OPERACIONAIS

Um dos aspectos mais importantes, que justifica o investimento em iniciativas que proporcionem a redução de falhas de Máquina de chave é o consequente impacto em redução de perdas operacionais.

Através do levantamento de dados, foram coletadas e apuradas todas as Perdas Operacionais, causadas devido eventos em ativos da Eletroeletrônica, no período de janeiro a dezembro de 2018. Deste total, a maior parcela, cerca de 28%, aconteceu devido impactos em Máquinas de chave.

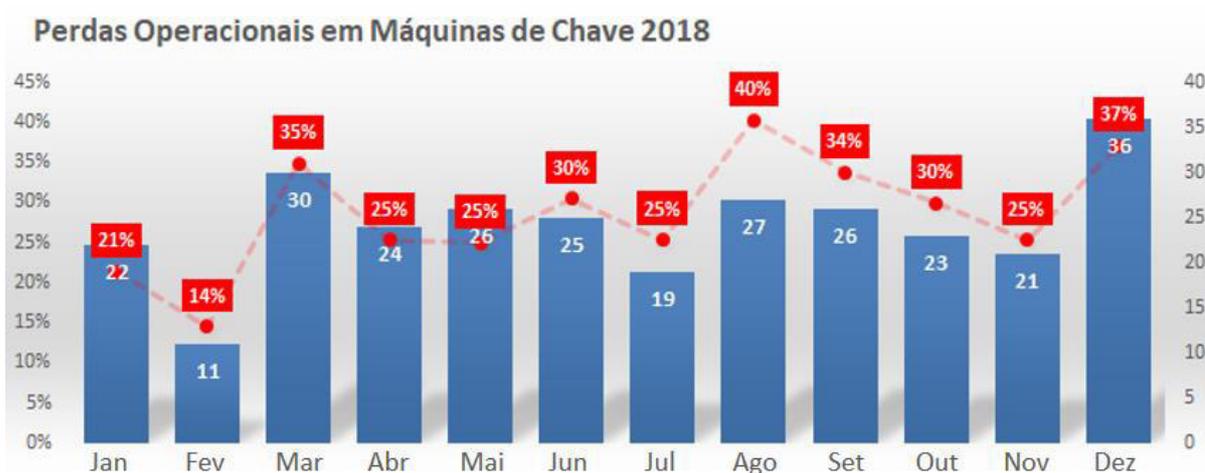
Figura 30 - Distribuição das Perdas Operacionais por ativo



Fonte: Autor, 2019

Avaliando as quantidades absolutas mensais de perdas operacionais, expressas em cor azul, foi observado o comportamento médio aproximado de 24 eventos por mês, com frequência mínima de 11 e máxima de 36. Em vermelho é refletida a parcela dos eventos de máquinas de chave, em relação ao total de eventos dentre todos os ativos da Gerência de Eletroeletrônica.

Figura 31 - Perdas Operacionais em MCH, mês a mês



Fonte: Autor, 2019

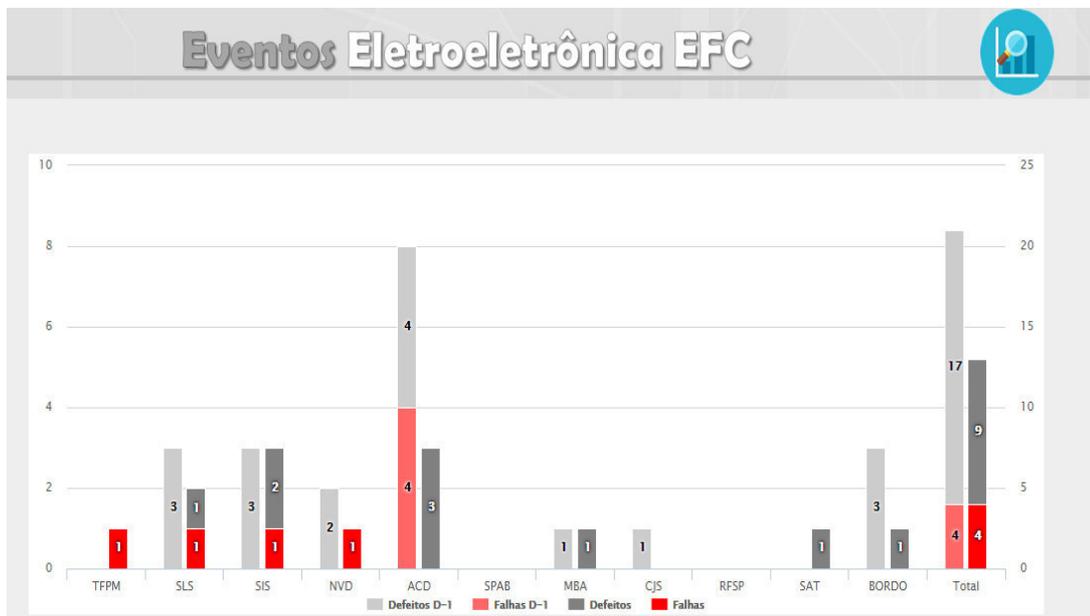
Além disso, a parcela de perdas operacionais neste ativo se apresentou expressiva diante dos ativos da eletroeletrônica, representando em média quase 30% dos eventos da Gerência de Eletroeletrônica, o que expressa a importância deste equipamento em relação aos outros.

5.4 SISTEMA *ONLINE* DE ACOMPANHAMENTO DE EVENTOS

Um primeiro passo no entendimento da importância do acompanhamento mais preciso das informações foi a elaboração de um sistema *online* para acompanhamento dos eventos da Eletroeletrônica. Antes, estas informações eram recebidas apenas por correio de outra área (através do Centro de Controle da Manutenção, CCM) - um correio por turno. A consulta às informações mais atualizadas dos eventos só podia ser realizada acessando o SAP, sistema que nem todos possuem licença e não se apresentava de modo simplificado e estruturado.

Em parceria entre os empregados próprios das Supervisões do PCM e Confiabilidade, foi formada uma equipe multidisciplinar composta por programadores e um engenheiro (o autor deste estudo). Esta equipe desenvolveu um ambiente para acompanhamento dos eventos da Eletroeletrônica da Estrada de Ferro Carajás. Permitindo que todos pudessem ter as informações mais atualizadas dos eventos - pois as mesmas ficavam disponibilizadas direto do SAP e possibilitando inclusive conferir se as informações repassadas ao CCM estavam devidamente registradas no Sistema.

Figura 32 - Modelo *online* de acompanhamento de eventos



Fonte: Aplicações da Vale, adaptado pelo Autor, 2018

O novo modelo de acompanhamento, apresentado, possibilitou alguns ganhos ao processo, listados na tabela a seguir.

Tabela 7 - Ganhos com o novo acompanhamento

Ganhos	Antes	Depois
• Dinamismo no acompanhamento dos eventos e agilidade no recebimento das informações	3x ao dia	<i>Online</i>
• Informações mais atualizadas dos eventos	Dependia de ter chave ao SAP e realizar consulta	Disponível <i>online</i> (informação é extraída direto do SAP)
• Melhor aproveitamento do Hh (da área fornecedora) para tarefas que agregam mais valor aos processos	Necessidade de tempo para gerar relatório/correio	Tempo disponível para realização de tarefas que agilizam o atendimento a eventos
• Possibilidade de consulta do histórico de forma rápida	Buscava nos correios históricos (quando tinha)	Consulta rápida através do sistema
• Rapidez no tratamento e detalhamento dos desvios (por parte dos analistas/especialistas);	Apenas quando era recebido o <i>e-mail</i> do turno posterior	Alerta através de <i>pop-up</i> , quando surge novo evento
• Redução de erros (defeitos) nos informes de eventos	Atividade era feita de forma manual	Atividade automatizada

Fonte: Autor, 2019

O sistema trouxe ganhos importantes para o acompanhamento das informações. Detalhes que antes eram analisados apenas no dia posterior, passaram a incorporar as análises diárias e serem discutidos de maneira praticamente *on-line*.

O desenvolvimento de iniciativas como esta, atrelado a criação de *dashboards* possibilita também, ao profissional, o aperfeiçoamento do seu conhecimento em ferramentas de *Business Intelligence*. Esta é uma habilidade importante aos que atuam em processos que de análise de dados, pois potencializa a competência analítica e em consequência, contribui na elaboração de ações cotidianas.

5.5 FERRAMENTA PARA CONTAGEM DE COMANDOS E MTBT

Através da evolução do volume de dados e melhor entendimento destes, a mesma equipe multidisciplinar, incorporada por um programador, desenvolveu um sistema que permitiu registrar a quantidade de comandos executados em cada TU, possibilitando correlacionar estas informações com o número de eventos. E através desta análise, foi possível compreender o comportamento das máquinas de chave em relação a quantidade de movimentos executados, estimando seu funcionamento.

Tabela 8 - Quantidade de comandos por TU

Local	Data Inicial	Data Final	Comandos para Normal	Comandos para Reverso	Total de Comandos
TU000	01/09/2019	01/10/2019	769	769	1538
TU007	01/09/2019	01/10/2019	978	984	1962
TU013	01/09/2019	01/10/2019	610	612	1222
TU021	01/09/2019	01/10/2019	929	925	1854
TU029	01/09/2019	01/10/2019	1293	1288	2581
TU035	01/09/2019	01/10/2019	1472	1476	2948
TU045	01/09/2019	01/10/2019	1517	1514	3031
TU053	01/09/2019	01/10/2019	699	697	1396
TU064	01/09/2019	01/10/2019	649	649	1298
TU076	01/09/2019	01/10/2019	397	409	806
TU085	01/09/2019	01/10/2019	332	340	672
TU094	01/09/2019	01/10/2019	416	416	832
TU113	01/09/2019	01/10/2019	509	509	1018
TU121	01/09/2019	01/10/2019	457	459	916

Fonte: Relatórios extraídos de aplicações da Vale, adaptados pelo Autor, 2019

Outro importante parâmetro que foi avaliado para incremento nas discussões de falhas em máquinas de chave, foi o MTBT (Milhões de Toneladas Brutas Trafegadas), que expressa a quantidade de material trafegado em determinado ponto ou região, em milhões de toneladas.

O cálculo do MTBT por AMV foi obtido através do desenvolvimento de uma lógica que contabiliza diariamente, a quantidade de trens que circulam em um determinado trecho da ferrovia e cruza com as informações de peso médio.

Então, através desta lógica, um algoritmo faz a extração destas informações e consolida em um banco de dados, apresentando as informações do quanto foi trafegado por dia em cada AMV da Ferrovia. A figura a seguir ilustra a estrutura do banco de dados que armazena as informações deste indicador. Fato relevante é a alta quantidade de informações.

Tabela 9 - Banco de dados com MTBT por local

ID	Local de instalação (TU)	AMV	Data	Tipo	MTBT Normal	MTBT Reverso
211396	390	Amv1	26/07/2019	1	0,103	0,041
211397	390	Amv2	26/07/2019	1	0,103	0,047
211398	390	Amv3	26/07/2019	1	0,727	0,041
211399	390	Amv4	26/07/2019	1	0,722	0,047

211400	396	Amv1	26/07/2019	1	0,108	0,042
211401	396	Amv2	26/07/2019	1	0,108	0,000
211402	396	Amv3	26/07/2019	1	0,722	0,042
211403	396	Amv4	26/07/2019	1	0,763	0,000
211404	409	Amv1	26/07/2019	1	0,101	0,000
211405	409	Amv2	26/07/2019	1	0,101	0,000
211406	409	Amv3	26/07/2019	1	0,762	0,000
211407	409	Amv4	26/07/2019	1	0,762	0,000
211408	419	Amv1	26/07/2019	1	0,108	0,000
211409	419	Amv2	26/07/2019	1	0,108	0,000
211410	419	Amv3	26/07/2019	1	0,721	0,000
211411	419	Amv4	26/07/2019	1	0,721	0,000
211412	431	Amv1	26/07/2019	1	0,115	0,000
211413	431	Amv2	26/07/2019	1	0,115	0,049
211414	431	Amv3	26/07/2019	1	0,680	0,000
211415	431	Amv4	26/07/2019	1	0,631	0,049

Fonte: Relatórios extraídos de aplicações da Vale, adaptados pelo Autor, 2019

É um parâmetro utilizado com mais frequência em análises da área de Via Permanente, devido maior relação entre o desgaste de seus ativos e o volume trafegado através do mesmo.

No estudo apresentado por Sgavioli *et al* (2015), os autores apresentam a variação na degradação de materiais do lastro ferroviário em função do valor de MTBT. Desta forma, o ciclo de manutenção do desguarnecimento de via pode ser condicionado ao valor deste parâmetro. Uma estratégia observada no estudo realizado por Pires *et al* (2017), apresenta uma abordagem mais ampla, no contexto do ciclo de vida e análise financeira de um ativo ferroviário.

As variáveis analisadas na discussão e definição dos modelos de manutenção atuais não possuía um modo padronizado que parametrizasse, por exemplo, a quantidade de movimentações ou comandos executados e os valores de MTBT por AMV, como critério de criticidade para o planejamento do momento ideal da manutenção.

5.6 MONITORAMENTO DE MÁQUINAS DE CHAVE

Algumas alternativas complementares às iniciativas desenvolvidas, citadas neste estudo, foram integradas às soluções apresentadas. Uma delas foi a implantação de um sistema de telemetria ainda mais completo de monitoramento da

Máquina de Chave, transmitindo informações em tempo real dos parâmetros de funcionamento do ativo, tornando as análises ainda mais aprofundadas.

A figura ilustra uma estrutura embarcada em máquina de chave, para coleta de dados. Com a aplicação do monitoramento neste ativo, foi possível obter informações da corrente de funcionamento *online*, permitindo assim o desenvolvimento de novas aplicações, descritas a seguir.

Figura 33 - Estrutura embarcada para coleta de dados

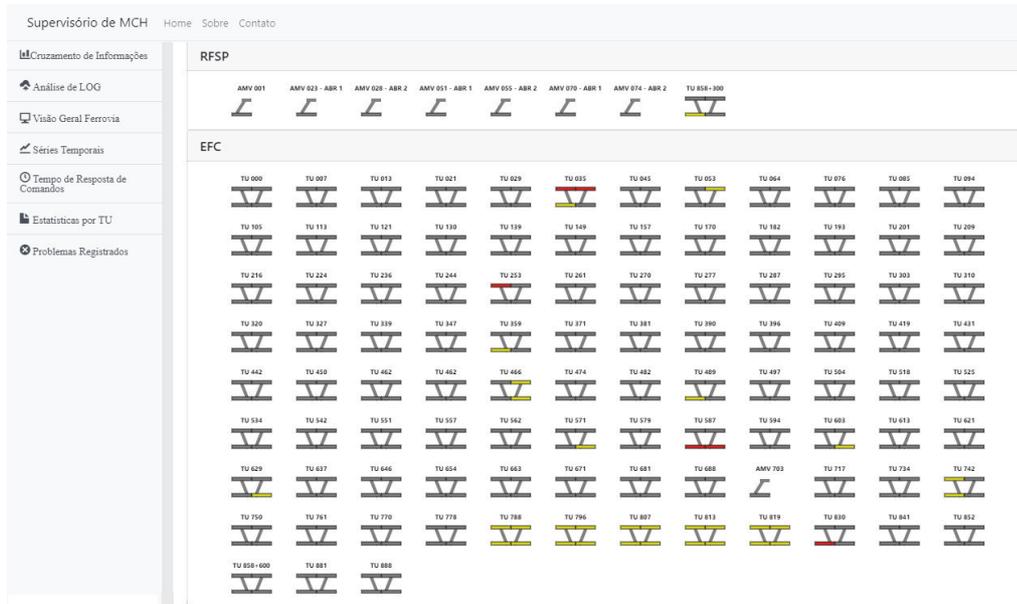


Fonte: Autor, 2019

Com estas informações, foi possível consultar a distribuição de alarmes por dia, fazendo inclusive uma avaliação do histórico de qualquer período, desde o início da implantação.

Nas representações a seguir, a Figura 34, ilustra todas as regiões sinalizadas, cobertas pelo monitoramento das máquinas de chave da ferrovia, os locais em amarelo apresentam um ponto de atenção relevante para intervenção, enquanto os vermelhos, são locais mapeados com necessidade de manutenção crítica, ou seja, caso haja o envio de uma equipe de manutenção e tratamento a tempo, aquela falha pode ser evitada.

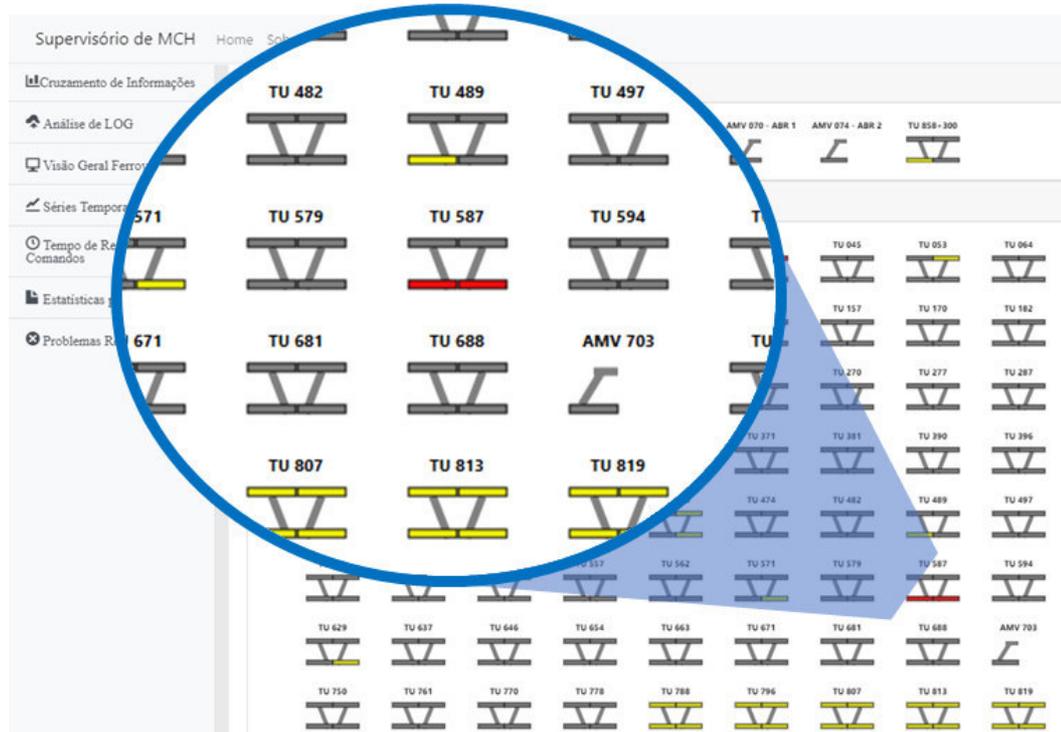
Figura 34 - Visão geral do Sistema Supervisório



Fonte: Imagem extraída de aplicações da Vale, adaptada pelo Autor, 2019

A Figura 35, destaca como são vistas as sinalizações detalhadas dos locais com eventos ativos. Estes alertas indicam quais pontos devem ser priorizados para programação da manutenção.

Figura 35 - Monitoramento dos locais críticos



Fonte: Imagem extraída de aplicações da Vale, adaptada pelo Autor, 2019

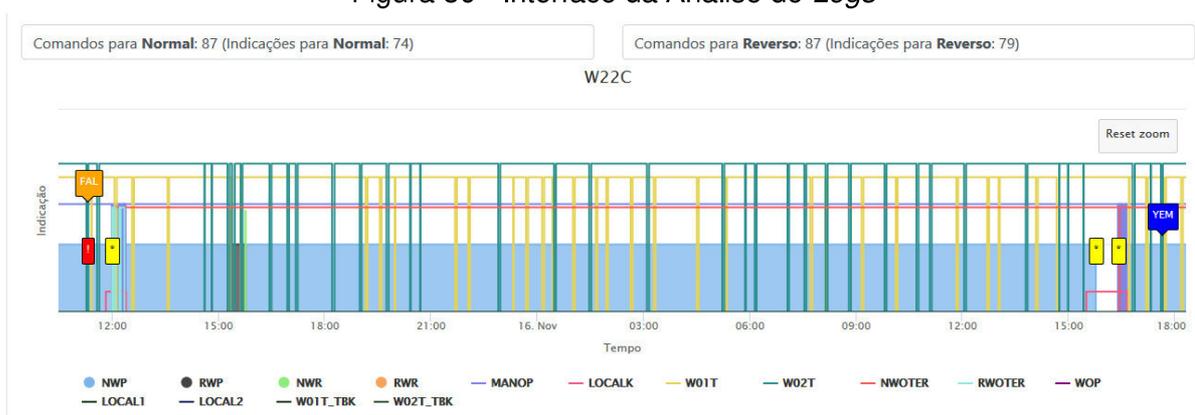
Uma etapa importante na rotina de aquisição dos dados foi a avaliação e definição das variáveis de maior influência no resultado do processo. No monitoramento, a periodicidade de obtenção destes dados deve ser direcionada então para as variáveis críticas, colaborando para um resultado mais refinado. Neste estudo, conforme apresentado na metodologia, a variável de maior representatividade no resultado foi a “média de perdas de indicação”.

5.7 SISTEMA DE ANÁLISE DE LOG

No SAP ficam registradas as informações de planejamento e controle das manutenções das máquinas de chave. Estes dados são relativos às ordens de manutenção executadas em cada equipamento e apresentam uma referência do tipo de intervenção, sendo estes: manutenções preventivas (YPM), corretivas (YCM) e corretivas emergenciais (YEM).

Além das informações relativas as manutenções, no SAP também ficam os registros de defeitos e falhas dos ativos. Estas informações são uteis quando cruzadas com os dados de campo das máquinas de chave, pois permitem uma comparação do campo com a descrição que foi registrada para o evento.

Figura 36 - Interface da Análise de Logs



Fonte: Imagem extraída de aplicações da Vale, adaptada pelo Autor, 2019

As informações relativas as manutenções das máquinas de chave são de fundamental importância. Considera-se que o ativo fica operacional após uma intervenção e essa informação relacionada aos dados de campo permitem uma

visualização do comportamento e das características técnicas de cada máquina, antes e depois de cada intervenção.

O desenvolvimento do sistema de análise de *log* possibilitou também a avaliação de arquivos com informações fora do banco de dados do projeto, ou seja, arquivos antigos ou mais atuais do que os últimos recebidos pela última carga do sistema. Permitindo não somente a avaliação *online*, como também que o usuário importasse um arquivo de *log* para realizar o seu estudo.

5.8 ALERTAS DE MÁQUINA DE CHAVE

As informações de comando e indicação de máquina de chave são recebidas pelo sistema, e através da sua interpretação classificadas por prioridades. As tabelas a seguir descrevem todos os comandos e indicações possíveis da comunicação entre o ativo e as remotas.

Tabela 10 - Descrição dos comandos de MCH

Comando	Descrição
W11AB_NWR	Comando para normal das máquinas W11A e W11B
W11AB_RWR	Comando para reverso das máquinas W11A e W11B
W12AB_NWR	Comando para normal das máquinas W12A e W12B
W12AB_RWR	Comando para reverso das máquinas W12A e W12B
W11C_NWR	Comando para normal da máquina W11C
W11C_RWR	Comando para reverso da máquina W11C
W12C_NWR	Comando para normal da máquina W12C
W12C_RWR	Comando para reverso da máquina W12C
W21AB_NWR	Comando para normal das máquinas W21A e W21B
W21AB_RWR	Comando para reverso das máquinas W21A e W21B
W22AB_NWR	Comando para normal das máquinas W22A e W22B
W22AB_RWR	Comando para reverso das máquinas W22A e W22B
W21C_NWR	Comando para normal da máquina W21C
W21C_RWR	Comando para reverso da máquina W21C
W22C_NWR	Comando para normal da máquina W22C
W22C_RWR	Comando para reverso da máquina W22C

Fonte: Relatórios extraídos de aplicações da Vale, adaptados pelo Autor, 2019

Tabela 11 - Descrição das indicações de MCH

Indicação	Descrição
W11AB_NWP	Indicação para normal das máquinas W11A e W11B.
W11AB_RWP	Indicação para reverso das máquinas W11A e W11B.
W12AB_NWP	Indicação para normal das máquinas W12A e W12B.

W12AB_RWP	Indicação para reverso das máquinas W12A e W12B.
W11C_NWP	Indicação para normal da máquina W11C.
W11C_RWP	Indicação para reverso da máquina W11C.
W12C_NWP	Indicação para normal da máquina W12C.
W12C_RWP	Indicação para reverso da máquina W12C.
W21AB_NWP	Indicação para normal das máquinas W21A e W21B.
W21AB_RWP	Indicação para reverso das máquinas W21A e W21B.
W22AB_NWP	Indicação para normal das máquinas W22A e W22B.
W22AB_RWP	Indicação para reverso das máquinas W22A e W22B.
W21C_NWP	Indicação para normal da máquina W21C.
W21C_RWP	Indicação para reverso da máquina W21C.
W22C_NWP	Indicação para normal da máquina W22C.
W22C_RWP	Indicação para reverso da máquina W22C.

Fonte: Relatórios extraídos de aplicações da Vale, adaptados pelo Autor, 2019

A partir do momento que foram compreendidas as variáveis críticas analisadas e o comportamento previsto das máquinas de chave, foram elaboradas as regras para disparar os alertas das máquinas de chave. A figura a seguir ilustra, de modo resumido, a arquitetura do sistema de alertas de máquina de chave.

Figura 37 - Arquitetura do Sistema de Alarmes de MCH



Fonte: Autor, 2019

Estas informações são priorizadas, conforme regras de criticidade e enviados, por *e-mail*, para as pessoas envolvidas, com a finalidade de que haja o tratamento antes da falha no ativo. A imagem a seguir representa um exemplo de mensagem enviada, nela consta as informações básicas sobre o alarme, para que o usuário consiga compreender qual foi o problema naquela máquina.

Figura 38 - Exemplo prático de envio do alerta

Maquina de Chave: W21C			
Quantidade de Problemas:		5	
Data:	27/09/2019 06:41:13	Causa Provável: Indicação para Reverso Caiu sem comando Com Passagem de Trem	Prioridade: P0
Data:	27/09/2019 06:45:54	Causa Provável: Comando para Normal sem Indicação Correspondente Sem Passagem de Trem	Prioridade: P1
Data:	27/09/2019 06:45:59	Causa Provável: Alarme de NWOTER	Prioridade: P1
Data:	27/09/2019 06:46:16	Causa Provável: Comando para Reverso sem Indicação Correspondente Sem Passagem de Trem	Prioridade: P1
Data:	27/09/2019 06:46:21	Causa Provável: Alarme de RWOTER	Prioridade: P1

Fonte: Autor, 2019

Então, de maneira estruturada, o Centro de Controle da Manutenção (CCM), realiza a abertura das Ordens de Manutenção, para que as Equipes realizem o atendimento ao evento, evitando um impacto maior ao sistema.

5.9 ANÁLISE DOS COMPONENTES COLABORATIVOS

Visando captar as experiências vivenciadas no desenvolvimento de cada frente envolvida na transição da estratégia de manutenção, foram realizadas matrizes que

avaliam, na percepção do autor, cada componente colaborativo em termos de: complexidade, custo e tempo. São identificados os principais benefícios obtidos e dificuldades em uma breve análise comparativa.

5.9.1 Análise da dimensão complexidade

Para a análise da complexidade na transição da estratégia de manutenção apresentadas neste estudo, o quesito foi avaliado mensurando as dificuldades para se desenvolver o componente colaborativo.

Figura 39 - Classificação dos componentes colaborativos em função da complexidade no contexto da transição

Dimensão: Complexidade Componente colaborativo	Grau				
	1 - Muito baixo	2 - Baixo	3 - Médio	4 - Alto	5 - Muito alto
Previsibilidade de indicadores	█	█	█	█	
Big Data e Data Analytics	█	█	█		
Sinergia entre equipes	█				
Simulações de cenários	█	█			
Sistema integrado	█	█			
Redes neurais	█	█			
Confiabilidade das informações	█	█	█		
Conectividade e sensoriamento	█	█	█		
Planejamento condicional	█	█	█	█	

Fonte: Autor, 2019

Neste sentido, a iniciativa mais simples foi a sinergia entre equipes, por não depender do conhecimento técnico em aplicações ou ferramentas. Enquanto que a previsibilidade de indicadores e o planejamento condicional foram os componentes mais complexos, pois demandam uma série de requisitos e requerem maturidade em múltiplas áreas de conhecimento, necessitando capacitação dos envolvidos.

5.9.2 Análise da dimensão custo

Na transição para uma estratégia de manutenção prescritiva em máquinas de chave, bem como na execução de qualquer projeto, o custo é um fator essencial. Esta matriz avalia, com base na experiência vivenciada pelo autor, o grau de investimento necessário para o desenvolvimento de cada um componente colaborativo.

Figura 40 - Classificação dos componentes colaborativos em função do custo no contexto da transição

Dimensão: Custo (Financeiro) Componente colaborativo	Grau				
	1 - Muito baixo	2 - Baixo	3 - Médio	4 - Alto	5 - Muito alto
Previsibilidade de indicadores	█	█	█	█	
Big Data e Data Analytics	█	█	█		
Sinergia entre equipes	█				
Simulações de cenários	█	█	█		
Sistema integrado	█	█	█	█	
Redes neurais	█	█	█		
Confiabilidade das informações	█	█			
Conectividade e sensoriamento	█	█	█	█	
Planejamento condicional	█	█	█		

Fonte: Autor, 2019

O custo para o desenvolvimento de um sistema integrado é relativamente alto, porém em muitas situações não necessita do investimento inicial devido a existência de alguma aplicação simples ou utilização de um sistema ERP já existente, como foi o caso das iniciativas deste estudo.

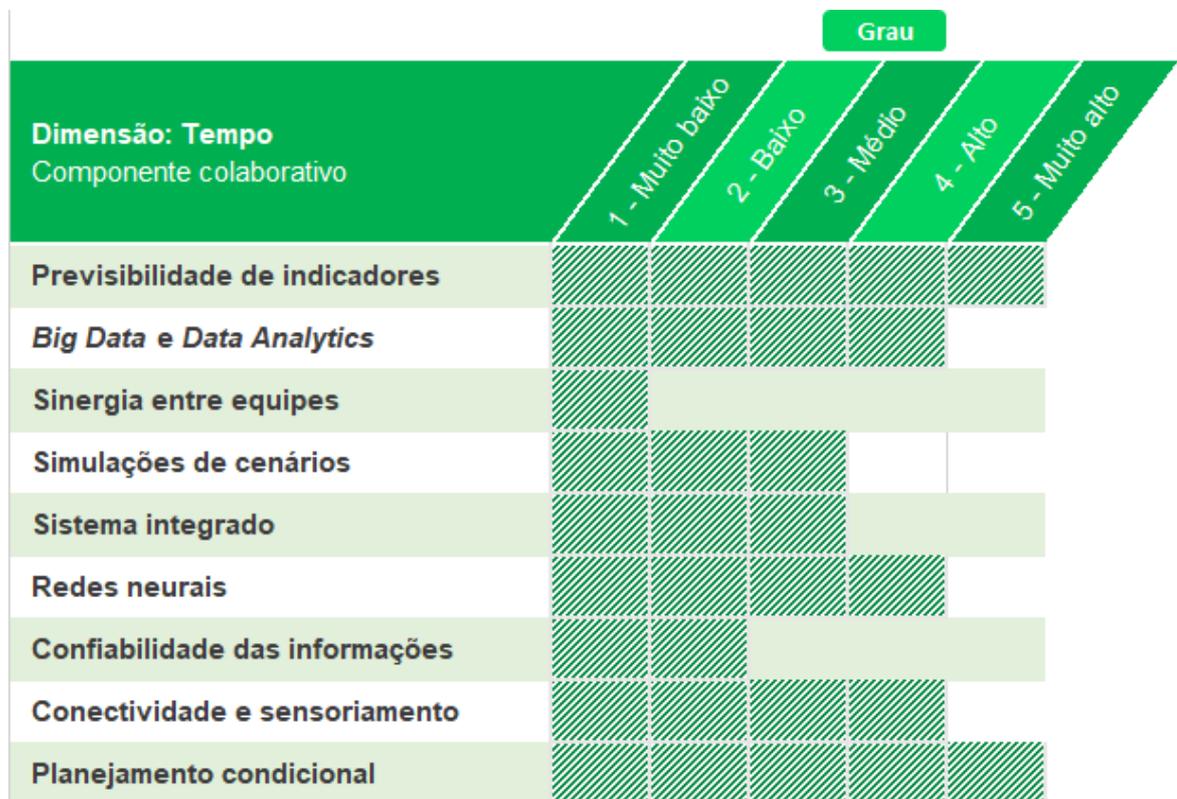
Para a aplicação de uma estratégia de manutenção prescritiva existem alternativas de baixo custo que podem ser desenvolvidas internamente, não necessitando o investimento de altas quantias e sem a aplicação de *softwares* avançados. Nestes casos, se faz necessário um bom nível de entendimento do

processo em questão, avaliando as principais variáveis do estudo, para aplicar os conceitos da gestão prescritiva ao funcionamento do ativo a ser trabalhado.

5.9.3 Análise da dimensão tempo

Outro critério importante para avaliação foi o tempo. Em termos de prazo, foi avaliado, o período necessário para desenvolver cada componente colaborativo. O grau mais baixo (1) indica que o componente necessita pouco tempo para ser desenvolvido, enquanto que o mais alto (5), requer um prazo maior.

Figura 41 - Classificação dos componentes colaborativos em função do tempo no contexto da transição



Fonte: Autor, 2019

A elaboração de um planejamento condicional e a previsibilidade de indicadores apresentaram-se como as etapas que mais demandam tempo, no caso deste estudo, cerca de 18 meses, por conta da dependência de realizar o desenvolvimento de outras frentes antes das suas elaborações, por este motivo também apresentaram alta complexidade.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com o desenvolvimento deste estudo, foram apresentadas soluções práticas no contexto da transição da estratégia de manutenção - das máquinas de chave. Apresentando os benefícios alcançados e comprovando a aplicabilidade para o setor eletroeletrônico da Estrada de Ferro Carajás.

É esperado que a transição irá proporcionar maior previsibilidade ao sistema, evitando perdas operacionais ao processo e reduzindo as resultantes prejudiciais produzidas por estes, prevenindo, em consequência, os riscos com novos eventos.

Um ponto relevante, que ressalta a importância em concluir a transição da estratégia de manutenção das máquinas de chave, é o alto número de novos ativos implantados com o fim das obras de expansão, em menos de 5 anos o parque de ativos triplicou, o que justifica a necessidade de otimização dos recursos utilizados nestas atividades.

Como risco de não iniciar o desenvolvimento desta iniciativa foram mapeados dois aspectos importantes: no cenário externo, perda de competitividade no comparativo global de ferrovias de companhias concorrentes e no cenário interno, elevado volume de informações sem integração com o planejamento da manutenção.

Sobre as ferramentas de *Business Intelligence*, à medida que foram desenvolvidos novos painéis, notou-se que recursos mais avançados começavam a ser incrementados na inteligência das informações. Com isto, o estudo necessitava ser ainda mais aprofundado, para o aprendizado de novas técnicas.

Muitas ferramentas da Ciência da Computação, utilizadas neste estudo, oferecem uma gama de oportunidades de integrações das informações e ainda deixam um amplo espaço aberto de aplicação das linguagens de programação para o ambiente da ETL, onde muitos algoritmos podem ser aplicados para análises preditivas de informações.

A realização do estudo possibilitou o aperfeiçoamento das habilidades analíticas, e a execução através da metodologia apresentada proporcionou o alcance de resultados sustentáveis, que são ampliados a todos os envolvidos.

Um aspecto muito importante para a competitividade das empresas é a rapidez e a eficiência nas decisões estratégicas, fatores estes que estão diretamente ligados à implantação de uma estratégia de manutenção condicional. Além disso, o processo

de manutenção passa a ser mais produtivo e a empresa viabiliza todos os benefícios descritos, incluindo os ganhos financeiros.

6.1 SUGESTÕES PARA NOVAS PESQUISAS

Fazer uso da telemetria para dados ainda mais detalhados, incluindo novos parâmetros e critérios na fase de análise da obtenção e interpretação dos dados, tais como: influência de temperatura; umidade do ambiente; vibração, entre outros aspectos.

Processamento automático para indicação de tendência ao longo prazo e desenvolvimento de outras aplicações para aquisição e avaliação automáticas, gerando novos alarmes, a partir de critérios adicionais de decisão, adquiridos a partir do aprendizado dos modelos anteriores.

6.2 REPLICAÇÃO DO MODELO PRESCRITIVO

Existe uma alternativa de utilizar da metodologia deste estudo para aplicação na gestão da manutenção de outros equipamentos da área da Eletroeletrônica. Se tratando de manutenção preditiva e prescritiva, as ferramentas apresentadas neste estudo são válidas também para o gerenciamento de ativos em quaisquer outros setores da indústria, de modo geral. Para isto, devem ser realizadas adequações centralizadas nas condições de falhas do ativo a ser tratado.

Avaliando esta expansão e escalabilidade, um item importante para o desenvolvimento de estudos similares, a ser levado em consideração, é o investimento em infraestrutura de rede, o alto volume de informações geradas pelos sistemas sensoriais integrados acarreta na necessidade de possuir estrutura de armazenamento e processamento das informações.

Um aspecto fundamental no desenvolvimento de soluções deste gênero é o apoio técnico de profissionais experientes e da execução, é recomendável que desde a concepção destas iniciativas, esteja sempre envolvido um representante da base, caso possível, um líder de equipe – deste modo será menor a resistência frente às mudanças.

Outro quesito importante é o investimento em capacitação dos profissionais para conhecimento em ferramentas de *Business Intelligence* e *Advanced Analytics*. Estas

potencializam habilidades valiosas para profissionais que atuam em qualquer processo que envolva banco de dados, pois exploram a competência analítica e como consequência a assertividade na proposição de ações executivas na rotina profissional.

REFERÊNCIAS

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), NBR 5462: Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994.

ABREU, B. R., Avaliação do Impacto do Envelhecimento de Frota na Eficiência Energética de uma Empresa do Setor Ferroviário, Dissertação de Mestrado - Sistemas de Gestão da Universidade Federal Fluminense. Niterói, RJ, 2013.

ADORNO, C. F.; BUENO, J. F. Modelos de propensão: oferta de crédito pessoal. Universidade Nove de Julho - UNINOVE. São Paulo, 2011.

AGUIAR, E. P. A.; AMARAL, R. P.F., VELLASCOM M. M.B.R., RIBEIRO, M. V., *An enhanced singleton type-2 fuzzy logic system for fault classification in a railroad switch machine*, *Electric Power Systems Research*, volume 158, p. 195-206, 2018.

ALMEIDA, M.T. "Manutenção Preditiva: Confiabilidade e Qualidade", 2014. [Online] Disponível em: <https://mtaev.com.br/wp-content/uploads/2018/02/mnt1.pdf> [Acesso 22 Jul 2019].

BARROSO, L; RITA, M. Qualidade do Sucesso Escolar: Turmas do Distrito de Évora em análise e discussão pelo Algoritmo de CHAID e de CRT ou CART. *Educação: Temas e Problemas*, n. 17, p. 21-41, 2017.

BEZERRA, F. V. Documento Técnico 19871 - Critérios de Falhas de Eletroeletrônica da EFC. Rev 1. Desenvolvimento e Serviços Técnicos Ferroviários. Vale S.A., 2018.

BÖHM, T. *Remaining Useful Life Prediction for Railway Switch Engines Using Artificial Neural Networks and Support Vector Machines*. *International Journal of Prognostics and Health Management*. 2017.

BUKSHSH, Z. A.; SAEED, A.; STIPANOVIC, I.; DOREE, A. G., *Predictive maintenance using tree-based classification techniques: A case of railway switches*, *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, volume 101, p. 35-54, 2019.

BUSSAB, W. O.; MORETTIN, P. A.; Estatística básica. Saraiva, 6ª Ed., São Paulo. 2009.

CABRAL, E. W. S. A eficiência energética do consumo de combustível de uma ferrovia *heavy haul*. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo. 2017.

CAPACITAÇÃO LOGÍSTICA NORTE, Ref. DF-MA-293K-J-00014-E-00001. Projeto Executivo, Telecomunicações e Sinalização, Manual da Máquina de Chave M3, Vale S.A, 2015.

CARVALHO, D. N. O papel das ferrovias no crescimento econômico do Brasil. 2019. 40 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Ciências Econômicas) -

Departamento de Ciências Econômicas, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2019.

CHEN, H.; CHIANG, R. H. L.; STOREY, V. C. *Business intelligence and analytics: From big data to big impact*. *MIS quarterly*, v. 36, n. 4, 2012.

COLEMAN, Chris, *et al. Making maintenance smarter: Predictive maintenance and the digital supply network*. Deloitte University Press. 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE - CNT. Anuário CNT do Transporte : estatísticas consolidadas 2018, Brasília: CNT, 2018. 229p.

DELGADO, B. G. Análise da deformabilidade de um solo tropical do oeste do Maranhão como material de sublastro na Estrada de Ferro Carajás. Dissertação de mestrado. Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2012.

DNIT, Departamento Nacional de Infra-Estrutura. 18 PIM de AMV Aparelhos de Manobra. 2015a. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/download/consultas-publicas/ferroviario/pim/>>. Acessado em: 02 Jul 2019.

DNIT, Departamento Nacional de Infra-Estrutura. A primeira ferrovia do Brasil - Histórico. 2015b. Disponível em: <<https://189.9.128.64/ferrovias/historico/>>. Acessado em: 03 Jul 2019.

FERREIRA, J. K. V. Identificação e análise dos fatores críticos de sucesso em um projeto de construção de uma ferrovia: O caso da LGV SEA Tours –Bordeaux – França. João Pessoa, 2017.

HOLANDA, S. M. S. Aplicação da manutenção preditiva por análise de vibrações em equipamentos de trens urbanos com plano de manutenção proposto. 2016. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2016.

ILOS, 2017. Instituto de Logística e *Supply Chain*. Transporte de cargas e a encruzilhada do Brasil para o futuro. Disponível em: <<https://www.ilos.com.br/web/tag/matriz-de-transportes/>>. Acessado em: 10 Jul 2019.

JAMSHIDI, A.; HAJIZADEH, S.; SU, Z.; NAEIMI, M.; NÚÑEZ, A.; DOLLEVOET, R.; SCHUTTER, B.; LI, Z.; *A decision support approach for condition-based maintenance of rails based on big data analysis, Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, volume 95, p. 185-206, 2018.

LEE, J.; NI, J.; DJURDJANOVIC, D.; QIU, H.; LIAO, H.; *Intelligent prognostics tools and e-maintenance, Computers in Industry*, volume 57, p. 476-489, 2006.

LEITE, V. C. M. N. Estatística de Ordem Superior e Cicloestacionariedade no Diagnóstico Preditivo de Máquinas Elétricas. 2016. 139 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016.

LEITE, R. Documento Técnico 19799. Engenharia Ferroviária, Inovação e desenvolvimento ferroviário. Vale S.A., 2017.

LEME, M. O. Metodologia de manutenção preditiva para motores elétricos baseada em monitoramento de variáveis físicas e análise multicritério. 2017. 185 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2017.

LIDÉN, T.; JOBORN, M.; *An optimization model for integrated planning of railway traffic and network maintenance, Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, volume 74, p. 327-347, 2017.

LIMA, J. F. Modelo *Fuzzy* para avaliação de imóveis utilizando árvore de decisão. Dissertação de Mestrado, Engenharia de Processos. Universidade Federal do Pará, Belém, 2017

LIU, Q.; DONG, Ming; CHEN, F.F., *Single-machine-based joint optimization of predictive maintenance planning and production scheduling, Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, volume 51, p 238-247, 2018.

MARINHO, P. E. M. M. Companhia Estrada de Ferro D. Pedro II: a grande escola prática da nascente Engenharia Civil no Brasil oitocentista. *Topoi*, Rio de Janeiro, v. 16, n. 30, p. 203-233, 2015.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, Síntese - Setor Ferroviário, 2017. Disponível em: <http://infraestrutura.gov.br/images/BIT_TESTE/Mapas/Infra_Ferro.pdf>. Acessado em: 10-08-2019.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA, Série histórica - Investimentos/Inversões financeiras, 2019. Disponível em: < http://infraestrutura.gov.br/images/SITE_-_Investimento_e_Invers%c3%a3o_-_Fechado.pdf>. Acessado em: 10-08-2019.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL – MTPA
Corredores Logísticos Estratégicos: Complexo de Minério de Ferro. Brasília, 2018.

MORO, J. Z. Documento Técnico 19676 - Estratégia de manutenção 2018-2022: Eletroeletrônica EFC. Engenharia Ferroviária. Vale S.A., 2017.

MUSSKOPF, G. W. Análise das ferramentas de *business intelligence* utilizadas por empresas brasileiras. 2017.

NABAIS, R. J. S. Manual básico de engenharia ferroviária. Oficina de Textos, 2015.

NOMAN, M. A.; NASR, E. S. A.; AL-SHAYEA, A., KAID, H.; *Overview of predictive condition based maintenance research using bibliometric indicators, Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 2018.

NUNES, C. Utilização de métodos de análise de falhas em um sistema de sinalização ferroviária. Monografia de Especialização. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro. RJ, 92p, 2012.

OLIVEIRA, L. C. F. O *Big Data* na produção científica da Ciência da Informação (Dissertação de Mestrado) Universidade Federal de Minas Gerais 2017.

PASSOS, D. S. *Big Data, Data Science* e seus contributos para o avanço no uso da *Open Source Intelligence*. *Sistemas & Gestão*, v. 11, n. 4, p. 392-396, 2017.

PIRES, J. *et al.* Degradação do lastro ferroviário—principais aspectos e estudos de caso. *Transportes*, 25.3: 62-74. 2017.

RODRIGUES, A. A.; DIAS, G. A. Estudos sobre visualização de dados científicos no contexto da *Data Science* e do *Big Data*. *Pesquisa Brasileira em Ciência da Informação e Biblioteconomia*, v. 12, n. 1, 2017.

RODRIGUES, K. P. Análise de modelos de gestão da eficiência energética no transporte ferroviário *Heavy Haul*. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Energia e Ambiente/CCET) - Universidade Federal do Maranhão, São Luís. 2018.

SERGIO, A. P. *et al.* Diesel – o grande vilão: uma análise técnico-operacional do consumo de diesel dos veículos de sistemas rodoviários e ferroviários. 97 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Gestão do Negócio) - Fundação Dom Cabral; Instituto de Transporte e Logística, Curitiba, 2018.

SGAVIOLI, F. *et al.* Análise do custo do ciclo de vida do lastro ferroviário na estrada de ferro Vitória Minas. *Transportes*, 23.4: 5-12, 2015.

SILVA, D. A. G. Indústria 4.0 com foco nos sistemas *cyber* físicos. 2018. 57 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Eletrônica) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2018.

SILVA, J. G. B. Modelagem e Tratamento dos Sinais da Assinatura Elétrica de Máquinas para Melhoria do Diagnóstico de Falhas. 2015. 168 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2015a.

SILVA, M. M. Uma abordagem multiobjetiva para construção automática de algoritmos de indução de árvores de decisão. Dissertação de Mestrado. Instituto de Ciência e Tecnologia – UNIFESP. 2015b.

SIQUEIRA, E. R. *et al.* Análise do desempenho financeiro nos segmentos de transporte brasileiro. *Revista Eletrônica do Alto Vale do Itajaí*, v. 7, n. 11, p. 54-69, 2018.

SOARES, N. Técnicas de Aprendizado de Máquina Não Supervisionado para Prevenção de Falhas em Máquinas de Chave. 2018. 68 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Computacional) – Universidade Federal de Juiz de Fora, 2018.

TREVISAN, G. M. M. O uso da mineração de dados na descoberta de conhecimento em empresa do setor agrícola. Universidade de Araraquara Mestrado Profissional em Engenharia de Produção. 2017.

TURBAN, E. *et al. Business intelligence: um enfoque gerencial para a inteligência do negócio*. Bookman Editora, 2009.

VALÉRIO, R. M. Projecto de *data mining* e modelação preditiva na TAP Portugal: relatório de estágio. 2014. Tese de Doutorado. Instituto Superior de Economia e Gestão.

VICTORINO, M. C. *et al.* Uma proposta de ecossistema de *big data* para a análise de dados abertos governamentais concetados. *Informação & Sociedade*, v. 27, n. 1, 2017.

WIEDER, B.; OSSIMITZ, M. *The impact of Business Intelligence on the quality of decision making—a mediation model*. *Procedia Computer Science*, v. 64, p. 1163-1171, 2015.

XIAO, L.; SONG, S.; CHEN, X.; COIT, D. W. C.; *Joint optimization of production scheduling and machine group preventive maintenance*, *Reliability Engineering & System Safety*, volume 146, p 68-78, 2016.