



Universidade Federal do Paraná
Departamento de Engenharia Mecânica
Programa de Pós-Graduação em
Engenharia de Manutenção 4.0



GLEYSON DA SILVA BENTO

**FERRAMENTA DE SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO PARA
PRIORIZAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE VAGÕES COM BASE EM
WAYSIDES DESENVOLVIDA EM POWER BI**

**CURITIBA
2021**

GLEYSON DA SILVA BENTO

**FERRAMENTA DE SUPORTE À TOMADA DE DECISÃO PARA
PRIORIZAÇÃO DE MANUTENÇÃO DE VAGÕES COM BASE EM
WAYSIDES DESENVOLVIDA EM POWER BI**

Dissertação apresentada como resultado à obtenção do grau de Especialista em Engenharia de Manutenção. Curso de Pós-graduação em Engenharia de Manutenção, Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Deschamps

**CURITIBA
2021**

RESUMO

Um processo de priorização de ativos para retenção e realização de manutenções corretivas de uma empresa de logística é definido por uma planilha de acesso limitado, que depende de atualização manual de várias bases de dados além de apresentar a dependência de uma pessoa especialista da área de Engenharia para realizar todo processamento que leva em média uma semana para obter o resultado. Este trabalho apresenta uma ferramenta de suporte à tomada de decisão da programação de maneira mais ágil, eficiente, eficaz e que elimina a personificação do processo, utilizando de conexões diretamente à um banco de dados da empresa, reduzindo o tempo de intervalo entre atualizações para uma hora, elaborado numa ferramenta de Business Inteligente, proporcionando acesso aos dados numa plataforma online não mais numa planilha da rede ou enviada por e-mail. Os dados antes estáticos (dependentes de uma baixa manual) agora além de possuírem uma atualização automática proporcionam a aplicação de regras para readequação de cenários conforme comportamento da frota de ativos frente às leituras dos dados coletados e processados pelos diversos sensores estrategicamente distribuídos ao longo da malha ferroviária, os Waysides localizados “ao lado da estrada”.

Palavras-chave: Manutenção, Wayside, Preventiva, Corretiva, Estratégia, BI, CRISP-DM, Power BI.

ABSTRACT

A process of prioritizing and retaining corrective maintenance by a logistics company is defined by a limited access worksheet, which depends on manual updating of several databases in addition to presenting the dependence of a specialist person in the Engineering area to perform all processing that takes on average a week to get the result. This paper presents a tool to support decision making programming in a more agile, efficient, effective way and that eliminates the personification of the process, using connections directly to a company database, reducing the interval time between updates to one hour, elaborated in a Business Inteligente tool, providing access to data on an online platform no longer in a spreadsheet on the network or sent by email. Previously static data (dependent on a manual download) now in addition to having an automatic update provides the application of rules for readjustment of scenarios according to the behavior of the fleet of assets in the face of readings of the collected data and processed by the various sensors strategically distributed along the railway network, the Waysides located "next to the road".

Palavras-chave: Maintenance, Wayside, Preventive, Corrective, Strategy, BI, CRISP-DM, Power BI.

LISTA DE TABELAS

TABELA 1. TABELA DE PONTOS POR DEFEIRO E TIPO DE NOTA..... 33

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1. Mundo BANI.....	9
FIGURA 2. Metodologia CRISP-DM	12
FIGURA 3. Estrutura Geral Meta e Macro Fluxo PCM.....	14
FIGURA 4. Áreas de interface do Planejamento.....	15
FIGURA 5. Comparativo macro entre sensores na indústria e ferrovia.....	16
FIGURA 6. Fluxo de comunicação Waysides	17
FIGURA 7. HOT / COLD WHEEL	18
FIGURA 8. HOT BOX.....	18
FIGURA 9. Defeitos em rolamentos devido superaquecimento	19
FIGURA 10. Defeitos identificados pelo Detector de Impacto.....	19
FIGURA 11. Defeitos identificados pelo Sistema de Monitoramento Acústico	20
FIGURA 12. T-BOGI.....	20
FIGURA 13. Defeitos identificados pelo T-BOGI.....	21
FIGURA 14. TRUCK VIEW.....	22
FIGURA 15. Sistema de inspeção visual do truque e seus componentes.....	22
FIGURA 16. Fotos geradas pelo Truck View	23
FIGURA 17. BREAK VIEW	24
FIGURA 18. Funcionamento Break View.....	24
FIGURA 19. Fotos geradas pelo Break View	25
FIGURA 20. Linha do tempo do processo de Programação de Vagões.....	26
FIGURA 21. Ciclo do negócio.....	27
FIGURA 22. Parte da tabela que apresenta dos dados da tela Z369.....	29
FIGURA 23. Parte da tabela que apresenta dados da Tela_859	29
FIGURA 24. Modelo de Dados	30
FIGURA 25. Priorização	32
FIGURA 26. Modelo de probabilidade de falha com Priorização de Confiabilidade	32

FIGURA 27. Campo PONTO CRÍTICO.....	34
FIGURA 28. Código para gera a tabela auxiliar de soma distinta	34
FIGURA 29. Cálculo da Criticidade e Ranking do vagão	35
FIGURA 30. Ranking de criticidade de vagões	35
FIGURA 31. Relação de notas do vagão 0302023HPT	36
FIGURA 32. Exemplo tabela Auxiliar para realizar Soma Distinta de Defeitos para o Vagão 0302023HPT	36
FIGURA 33. Redução do tempo de processamento com a implantação da tabela auxiliar	37
FIGURA 34. Critérios utilizados na Reunião do Planejamento Mensal de Manutenção	38
FIGURA 35. Tratativa de Vagões	40
FIGURA 36. Quantidade de vagões com notas pendentes por trem.....	41
FIGURA 37. Tela principal.....	48

CONTEÚDO

1. INTRODUÇÃO	9
1.1. JUSTIFICATIVA.....	10
1.2. OBJETIVO	11
2. METODOLOGIA CRISP-DM	12
2.1. Entendimento do negócio	12
2.2. Entendimento dos Dados.....	13
2.3. Preparação dos dados	13
2.4. Modelagem	13
2.5. Validação	13
2.6. Implantação	13
3. ESTUDO DE CASO NA RUMO	14
3.1. ENTENDENDO O PAPEL DOS WAYSIDES NO PROCESSO DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO DE VAGÕES.....	14
3.1.1. O QUE SÃO WAYSIDES?	17
3.1.2. HOT / COLD WHEEL	18
3.1.3. HOT BOX	18
3.1.4. DETECTOR DE IMPACTO	19
3.1.5. DETECTOR ACÚSTICO (RAILBAM)	19
3.1.6. T-BOGI	20
3.1.7. TRUCK VIEW	21
3.1.8. BREAK VIEW	23
3.2. ENTENDIMENTO DO PROBLEMA	25
3.2.1. CICLO A: ATÉ 2017	26
3.2.2. CICLO B: DE 2017 ATÉ MAIO/2021	26
3.2.3. CICLO C: INÍCIO EM MAIO/2021	27
3.3. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO.....	27
3.3.1. ENTENDIMENTO DO NEGÓCIO	27
3.3.2. ENTENDIMENTO DOS DADOS	28
3.3.3. PREPARAÇÃO DOS DADOS	30
3.3.4. MODELAGEM	30
3.3.5. VALIDAÇÃO	36
3.3.6. IMPLANTAÇÃO	38
4. CONCLUSÕES	39

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42
5. ANEXO I – CAMPO DEFEITO MONITORADO	43
6. ANEXO II - TELAS DA FERRAMENTA.....	48

1. INTRODUÇÃO

A humanidade começou a lidar com dados desde os tempos antigos, por mais rudimentares que fossem, quando a cultura de compartilhar as informações e histórias deixou de ser apenas verbal e passou a ser escrita, o “armazenamento de dados” para utilização no futuro como forma de consulta e suporte à tomada de decisão deu início à um papel importante, para cada vez mais ser possível o entendimento de como os dados em mãos seriam úteis na garantia de um diferencial competitivo, seja pessoal, empresarial, enquanto Estado ou grupo.

Na década de 90 o *U.S Army War College* passou a utilizar o acrônimo **VUCA** para explicar o mundo pós-Guerra Fria, demonstrando Volatilidade (mudanças rápidas em todos os âmbitos da sociedade), Incerteza (dificuldade de gerar cenários e projeções devido ao cenário instável), Ambiguidade (não há mais respostas exatas, mas justificativas para decisões com base nos dados que permitiram obter um ponto de vista), que ainda hoje tem sido muito utilizado, mas em 2018, o antropólogo Jamais Cascio, apresentou um conceito como evolução do **VUCA**, o Mundo **BANI** ou **FANI** em português: Frágil, Ansioso, Não linear e Incompreensível, que exige, dentre outras, as habilidades de Resolução de Problemas, Visão de Gerenciamento e Aprendizado contínuo (PIMENTA, 2021).

FIGURA 1. Mundo BANI



FONTE: https://marcelo.pimenta.com.br/wp-content/uploads/2021/02/Mundo-BANI_BLOG-DESTAQUE-02-1024x559.png

E este cenário **Incompreensível** tem se tornado cada vez mais real conforme pesquisa recente divulgada pelo IDC¹, onde 46% das empresas estão “confusas digitalmente”; “Outro resultado bastante expressivo está na dificuldade de integração e gestão das informações, onde 60% das empresas estão sendo desafiadas pela qualidade e complexidade dos dados, principalmente no contexto segurança e governança da informação.” (ARBEX, 2020).

Esse grande volume de dados (estruturados ou não) trata-se do *Big Data*, um ambiente capaz de gerar insights e conhecimento necessários para tomada de decisões, alimentado pelas mais diversas fontes, sendo crescente com a indústria 4.0 e a utilização de sensores de monitoramento de condições com os mais variados intervalos de tempo entre as coletas e amplamente difundido em todos os setores de mercado, sendo extremamente útil para uma manutenção cada vez mais voltada à confiabilidade e eficiência.

1.1. JUSTIFICATIVA

Com base na necessidade de se tomar decisões com maior acurácia, menos tempo e menor custo, maximizando disponibilidade de recursos e utilizando de forma mais inteligente a mão de obra de manutenção, foi identificado o processo de Programação de Vagões na Operação Norte da Rumo como caminho crítico para processar o grande volume de dados do sistema de manutenção alimentado pelos diversos equipamentos de manutenção preditiva dispostos no trecho, incluindo também informações das equipes de manutenção que realizam atendimentos pelo trecho. Foi identificado que o tempo necessário para tomada de decisão além de gerar grande esforço e energia por parte do PCM, era personificado (dependendo de um especialista da engenharia para validar ou fazer a indicação) e com alto tempo para processamento, gerando uma frequência de atualização semanal com visão de dados estática, resultando num relatório com informações defasadas.

¹ **International Data Corporation (IDC)** é a principal fornecedora global de inteligência de mercado, serviços de consultoria e eventos para os mercados de tecnologia da informação, telecomunicações e tecnologia de consumo. <https://www.idc.com/>

1.2. OBJETIVO

Com o advento da Indústria 4.0 a utilização de sensores para coleta de dados e monitoramento tornou-se um assunto muito difundido, IOT (internet das coisas), inteligência artificial, e diversas tecnologias possíveis para obtenção de resultados fantásticos, mas em alguns momentos não é possível visualizar como as soluções podem ser empregadas utilizando tudo isto de forma simples, objetiva que traga ganhos ao negócio de forma rápida, escalável e que tenha uma interface que seja de fácil utilização e rápido treinamento dos colaboradores.

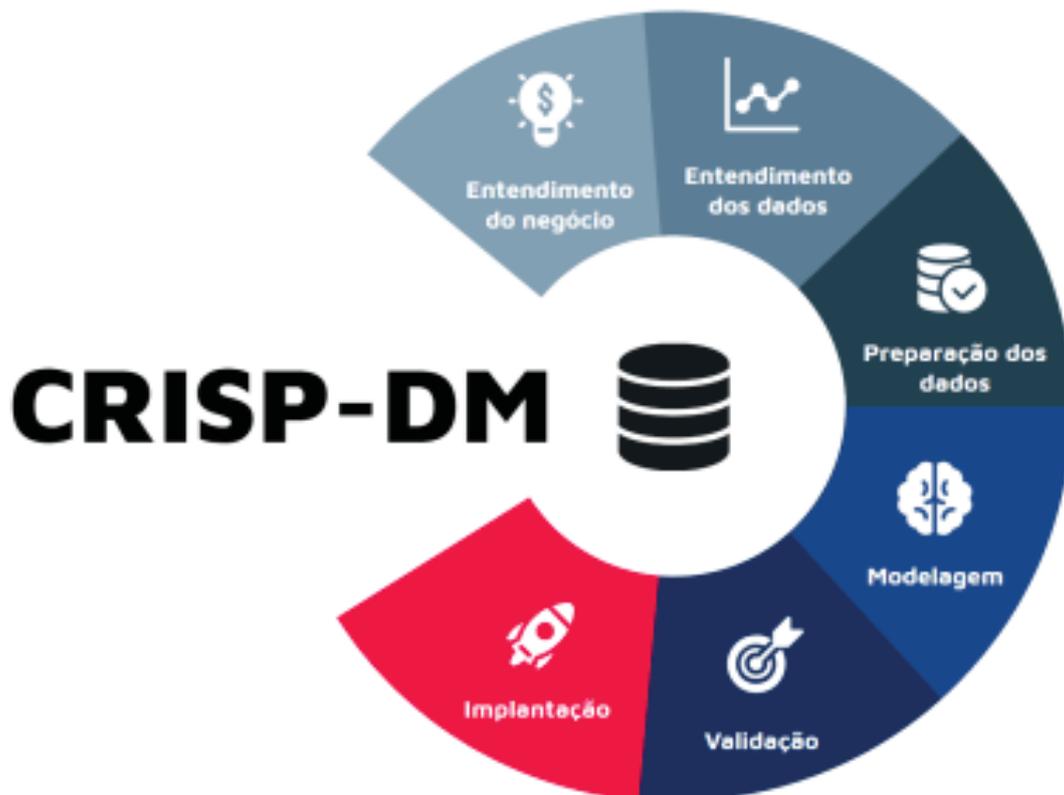
O objetivo deste projeto é a criação de uma ferramenta de suporte à tomada de decisão para equipe de PCM (Planejamento, Programação e Controle da Manutenção) de Vagões na Operação Norte utilizando uma ferramenta de *Business Intelligence* (Power BI Report Server), através da metodologia CRISP-DM que permita atualização quase em tempo real (com intervalo de 1 hora entre atualizações da base), com análise impessoal (qualquer pessoa ao visualizar os dados consegue identificar o ativo mais crítico e que deve ter sua tratativa priorizada), mantendo as premissas técnicas definidas pela engenharia (eliminando decisões arbitrárias ou não baseada em dados) possível de ser utilizada tanto pelos níveis Operacional quanto Tático.

2. METODOLOGIA CRISP-DM

CRISP-DM (Cross-industry Process for Data Mining) é uma metodologia criada há mais de 20 anos devido à necessidade identificada por profissionais de Data Mining para que o processo de Mineração de Dados, processamento e análise dos dados se tornasse mais produtivo e eficiente.

Ela define o ciclo de vida do projeto em seis etapas:

FIGURA 2. Metodologia CRISP-DM



FONTE: <https://i2.wp.com/www.neurotech.com.br/wp-content/uploads/2020/10/crisp-dm.png?resize=500%2C354&ssl=1>

2.1. Entendimento do negócio

É o primeiro passo, onde está concentrada a compreensão dos objetivos e requisitos do projeto a partir de uma perspectiva empresarial. É o momento de pensar: Que decisões precisam ser tomadas? Qual o problema que deve ser resolvido? Que informações são necessárias para embasar as decisões?

2.2. Entendimento dos Dados

Após compreender o objetivo, esta fase demanda a compreensão dos dados necessários e identificação do problema relacionados as bases de dados. Quais dados estão disponíveis? Os dados disponíveis explicam o problema em questão? Como esses dados se comportam?

2.3. Preparação dos dados

Com os dados conhecidos deve-se trabalhar na preparação de dados refere-se a todas as atividades para construção do conjunto de dados final. Eles serão utilizados na (s) ferramenta (s) de modelagem para treinar o modelo. Geralmente, a preparação dos dados segue alguns desses passos: Coleta, limpeza, formatação, mistura e amostragem.

2.4. Modelagem

Várias técnicas de modelagem são selecionadas e aplicadas de forma que os parâmetros sejam calibrados e o modelo seja criado. É comum retornar a fase de preparação dos dados caso alguma mudança na base seja necessária. Qual algoritmo será utilizado para resolver o problema? Quais variáveis podem ser mais relevantes?

2.5. Validação

Após definido método de análise e classificação, deve-se avaliar se ele se adequa aos objetivos do negócio. O resultado do modelo foi satisfatório? Ele consegue discriminar bem o que se está tentando prever? Ele responde às perguntas de negócio? Caso não, faz-se necessário repetir os passos anteriores quantas vezes forem necessárias.

2.6. Implantação

Com o modelo validado, deve-se colocar à prova no dia a dia da empresa com os dados reais e desconhecidos. Ou seja, é o momento para comprovar que o modelo foi bem treinado e consegue distinguir uma população na prática. O modelo ajuda o time de negócios a tomar as melhores decisões? Ele está acertando conforme esperado? (GUIMARÃES, 2016).

3. ESTUDO DE CASO NA RUMO

3.1. ENTENDENDO O PAPEL DOS WAYSIDES NO PROCESSO DE PLANEJAMENTO E CONTROLE DA MANUTENÇÃO DE VAGÕES

O processo de Manutenção de Material Rodante (Locomotivas e Vagões) da Rumo é pautado no Modelo de Excelência em Gestão de Ativos (MEGA), este é composto por três níveis de atuação que relacionados entre si buscam a Melhoria Contínua e a padronização dos processos para alcançar o melhor da manutenção voltada à Confiabilidade dos ativos com maior Disponibilidade e menor Custo.

FIGURA 3. Estrutura Geral Meta e Macro Fluxo PCM



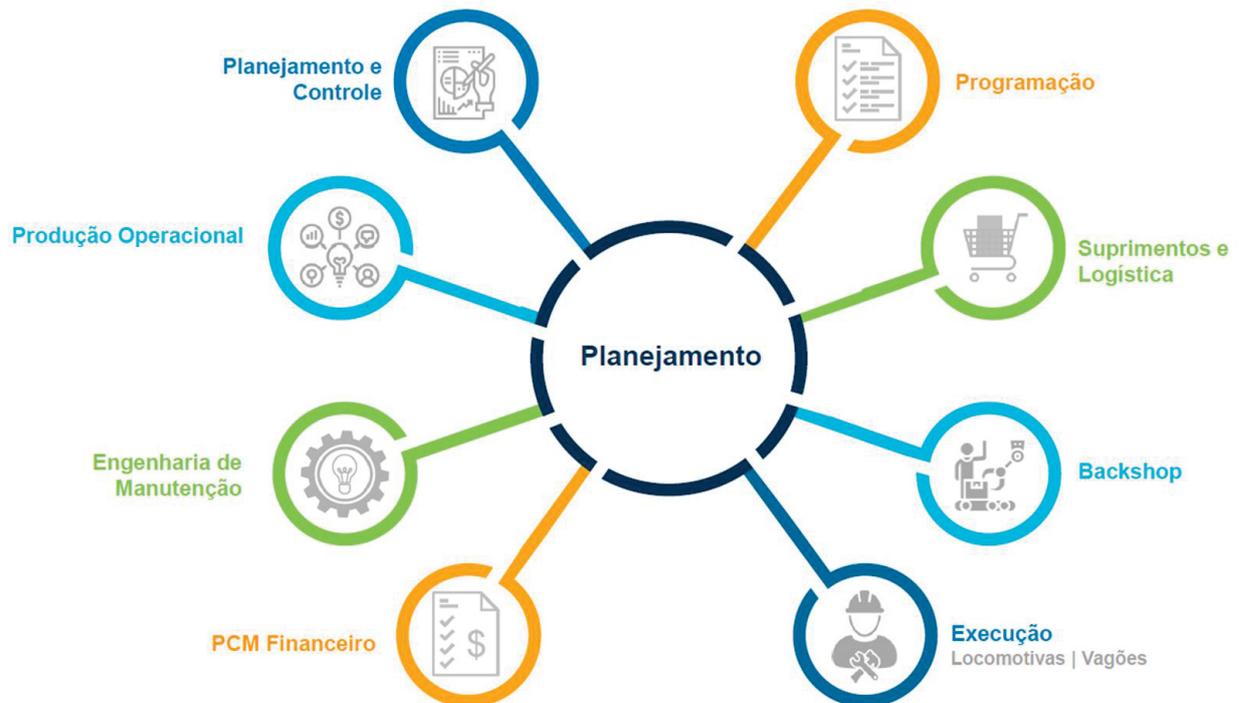
FONTE: O autor (2021)

A relação entre Engenharia e PCM é determinante no processo de otimização dos resultados e aderência aos objetivos financeiros atribuídos à área de manutenção. No Planejamento Estratégico (plurianual) e Orçamento (desdobramento da visão estratégia para o ano) há um trabalho de verificação das taxas de aplicação de materiais, definição do escopo de manutenção e direcionamentos para investimentos que possibilitem aumento de capacidade e melhoria da saúde da frota, porém mesmo

diante deste cenário de visão preventiva, as manutenções corretivas ocorrem como parte natural do processo, tendo em vista o tamanho significativo da frota, isto traz um desafio para a gestão da rotina no dia a dia, onde é imprescindível o cumprimento das agendas preventivas, mas com a entrada de ativos para corretivas não programadas, estas precisam ser tratadas emergencialmente e de modo a trazer o menor impacto possível para a Operação.

Desta forma, quanto mais informações sobre cada ativo, e conseqüentemente, tendo uma visão sistêmica da saúde da frota, melhor serão as decisões e eficaz o gerenciamento de riscos conforme recursos disponíveis e alinhando as áreas de interface (FIGURA 4) para retroalimentarem os modelos de seus processos.

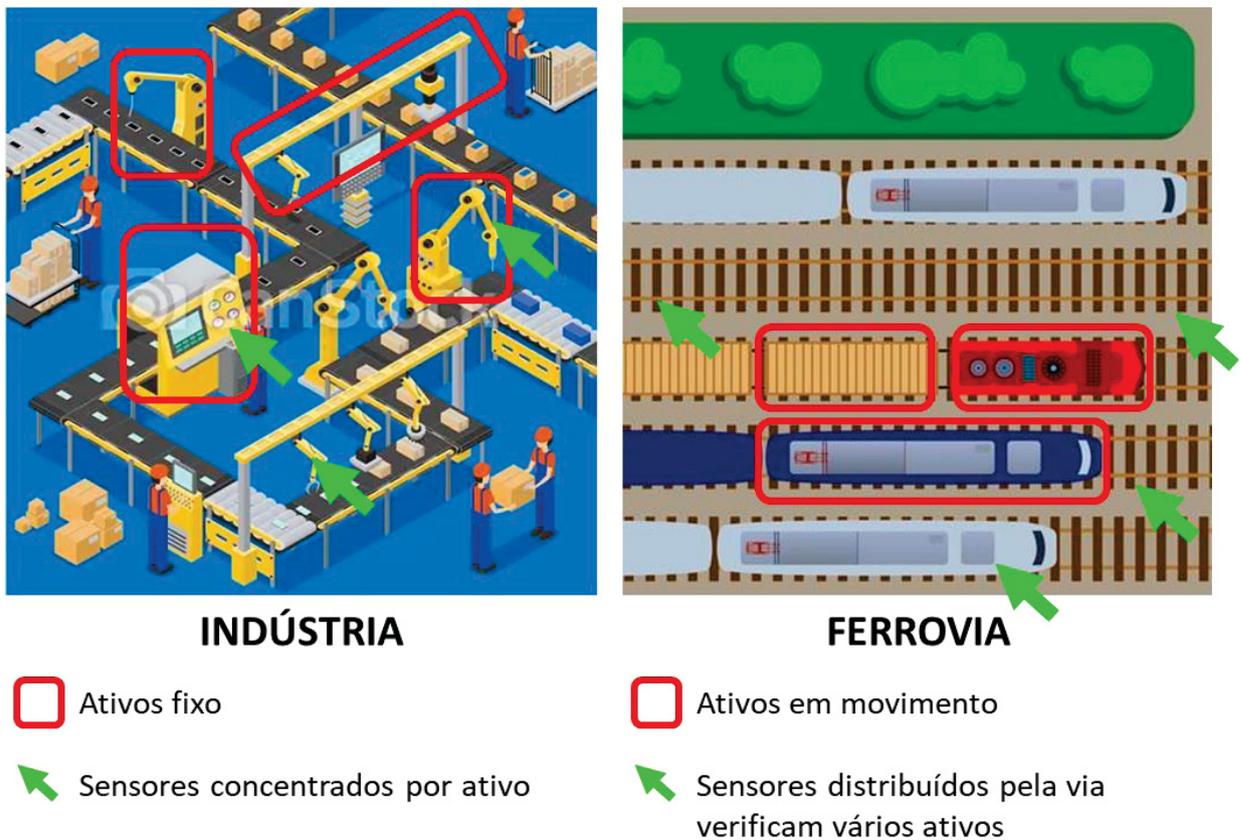
FIGURA 4. Áreas de interface do Planejamento



FONTE: O autor (2021)

Para uma melhor compreensão de como estes sensores contribuem para o processo de manutenção, segue um paralelo entre a indústria e a ferrovia ou outro modal de manutenção de ativos rodantes:

FIGURA 5. Comparativo macro entre sensores na indústria e ferrovia



FONTE: O autor (2021)

Atualmente a Rumo possui 47 grandes sensores distribuídos em sua malha ferroviária:

Bitola Larga

- (1) Cold Wheel (2009)
- (28) Hot Box (2008/2020)
- (3) Hot Wheel (2019)
- (1) Detector Impacto (2015)
- (1) Detector Acústico (2019)
- (1) T. -BOGI (2020)
- (1) Truck View (2021)
- (1) Break View (2021)

Bitola Métrica

- (1) Cold Wheel (2016)
- (7) Hot Box (2015/2021)
- (1) Detector Impacto (2021)
- (1) T. -BOGI (2020)

3.1.1. O QUE SÃO WAYSIDES?

Equipamentos de monitoramentos de sistemas em ativos ferroviários, especialmente vagões. Os equipamentos de monitoramento podem ser divididos em reativos ou preditivos.

Sistemas Reativos detectam falhas já presentes no veículo. Estes normalmente não podem ser utilizados em cálculos de tendência, porém ajudam a proteger os sistemas de danos mais severos.

Sistemas Preditivos detectam o avanço de falhas no sistema. Estes equipamentos podem ser utilizados em cálculos de tendência de forma a manter o ativo antes que a falha ocorra.

Os sensores realizam a aquisição e processamento dos dados localmente, os quais são posteriormente transferidos para o Banco de Dados Central do sistema.

FIGURA 6. Fluxo de comunicação Waysides



FONTE: O autor (2021)

3.1.2. HOT / COLD WHEEL

O Hot Wheel ou Cold Wheel é um sistema preditivo de monitoramento da temperatura da roda ferroviária, indicando a saúde do sistema de frenagem.

FIGURA 7. HOT / COLD WHEEL



FONTE: O autor (2021)

3.1.3. HOT BOX

O Hot Box é um sistema preditivo de monitoramento que identifica o aumento da temperatura do rolamento do rodeiro ocasionado por excesso, falta ou lubrificação imprópria, carga anormal ou atrito excessivo do sistema de vedação.

FIGURA 8. HOT BOX



FONTE: O autor (2021)

FIGURA 9. Defeitos em rolamentos devido superaquecimento



FONTE: O autor (2021)

3.1.4. DETECTOR DE IMPACTO

É um sistema especialista de manutenção preditiva que detecta eventos repetitivos nas rodas, tais como calos e defeitos superficiais o que evita danos nos trilhos e na infraestrutura da via, garantindo redução dos custos de manutenção e operação segura dos equipamentos rodantes.

FIGURA 10. Defeitos identificados pelo Detector de Impacto



FONTE: O autor (2021)

3.1.5. DETECTOR ACÚSTICO (RAILBAM)

O Sistema de Monitoramento Acústico de Rolamentos detecta e classifica rolamentos com problemas, fornecendo relatórios e avisos prévios de potenciais falhas.

O sistema extrai dos ruídos extrínsecos as “assinaturas” das falhas nos rolamentos, permitindo a identificação do defeito e sua classificação de severidade.

FIGURA 11. Defeitos identificados pelo Sistema de Monitoramento Acústico



FONTE: O autor (2021)

3.1.6. T-BOGI

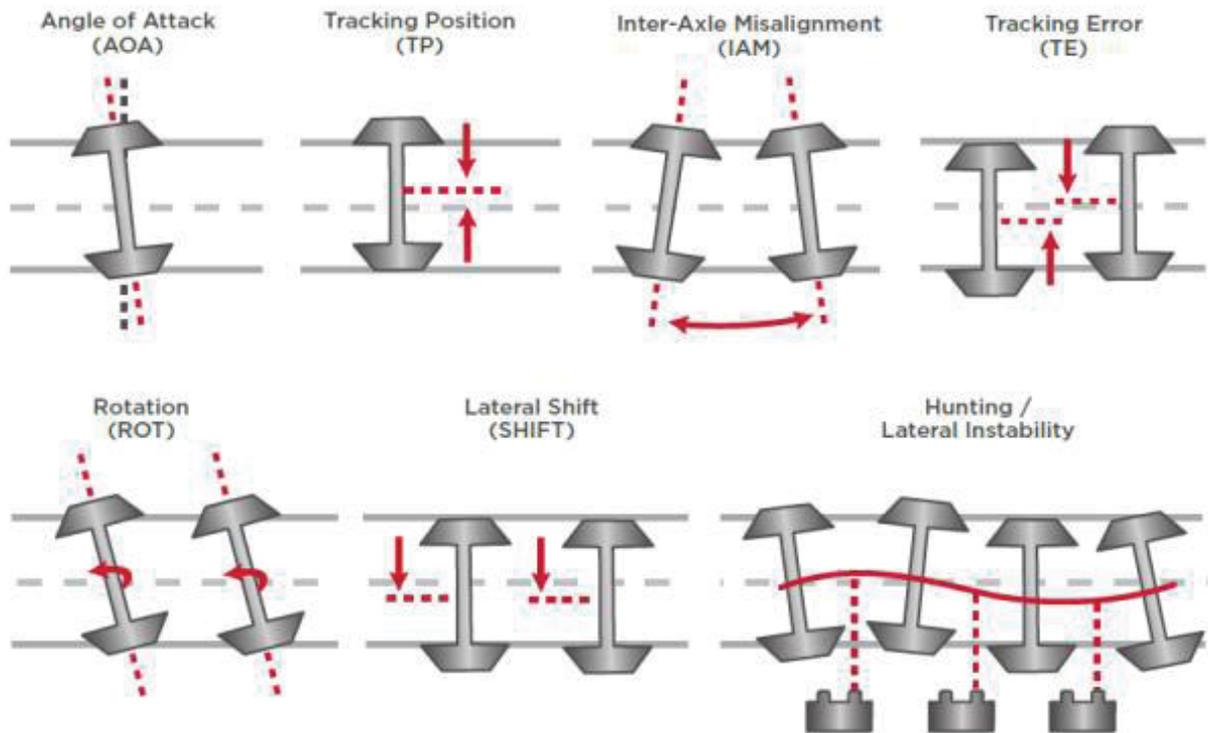
É um sistema especialista de manutenção preditiva que utiliza lasers, câmeras e sensores de rodas responsáveis por medir o ângulo de ataque e a posição dos rodeiros com relação à via, sendo capaz de detectar falhas como deslocamento ou rotação do rodeiro.

FIGURA 12. T-BOGI



FONTE: O autor (2021)

FIGURA 13. Defeitos identificados pelo T-BOGI



FONTE: O autor (2021)

3.1.7. TRUCK VIEW

O sistema Truck View usa imagens de alta velocidade e alta definição para fornecer imagens de alta resolução de cada vagão para inspeção e medição. Cada vagão é visto de pelo menos de dois ângulos, superior e inferior, para fornecer uma avaliação completa e confiável das condições. O Truck View inspeciona muitos recursos do vagão, incluindo fixadores, condição da estrutura lateral, rolamentos e componentes relacionados, cunhas de fricção, molas entre outros.

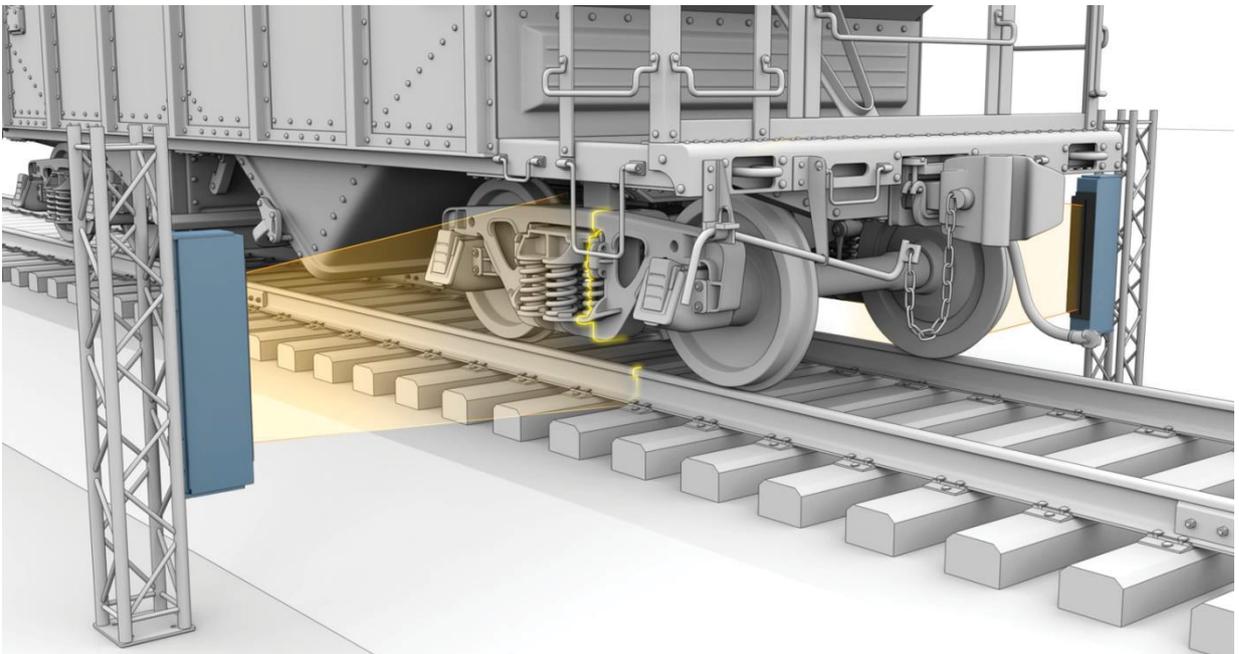
O sistema Truck View detecta falhas e pode identificar indicadores que podem levar a incidentes de segurança. Automatizar inspeções com Truck View ajuda a mitigar incidentes e melhora a segurança.

FIGURA 14. TRUCK VIEW



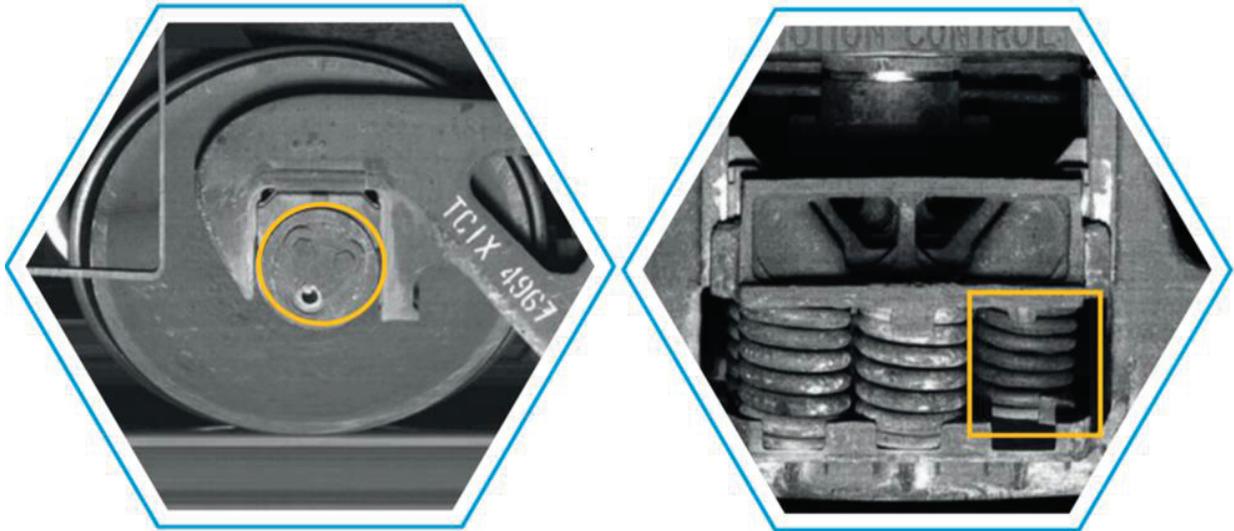
FONTE: <https://rail.trimble.com/truckview/>

FIGURA 15. Sistema de inspeção visual do truque e seus componentes



FONTE: <https://rail.trimble.com/truckview/>

FIGURA 16. Fotos geradas pelo Truck View



FONTE: <https://rail.trimble.com/wp-content/uploads/Datasheet-Trimble-TruckView-English-US.pdf>

3.1.8. BREAK VIEW

O sistema BrakeView-Shoe utiliza imagens digitais de alta velocidade junto com fontes de iluminação para inspeção automatizada de sapata de freio. Várias imagens de cada sapata de freio são capturadas de diferentes ângulos para gerar uma avaliação completa da sapata.

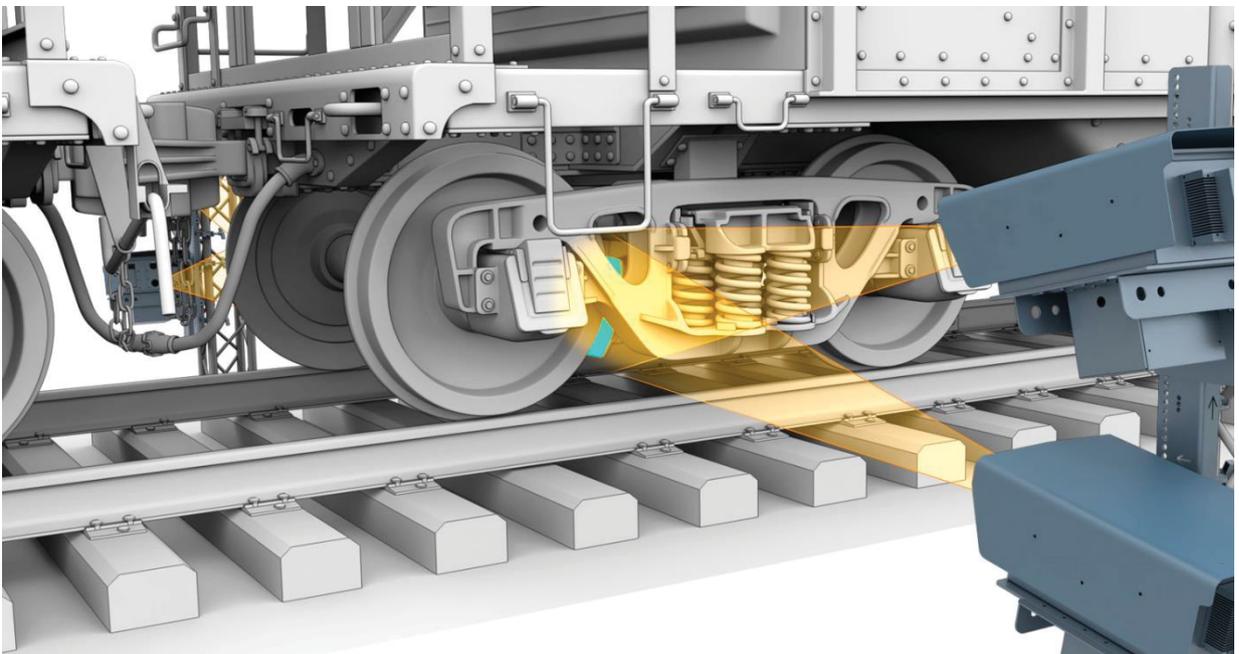
As informações geradas pelo BrakeView-Shoe permitem que os processos de manutenção sejam otimizados. Sapatas gastas e defeitos de instalação podem ser identificados e mantidos mais cedo, reduzindo incidentes caros. As práticas de manutenção preditiva orientadas por dados podem ser usadas para maximizar os ciclos de vida dos componentes e reduzir os custos de manutenção.

FIGURA 17. BREAK VIEW



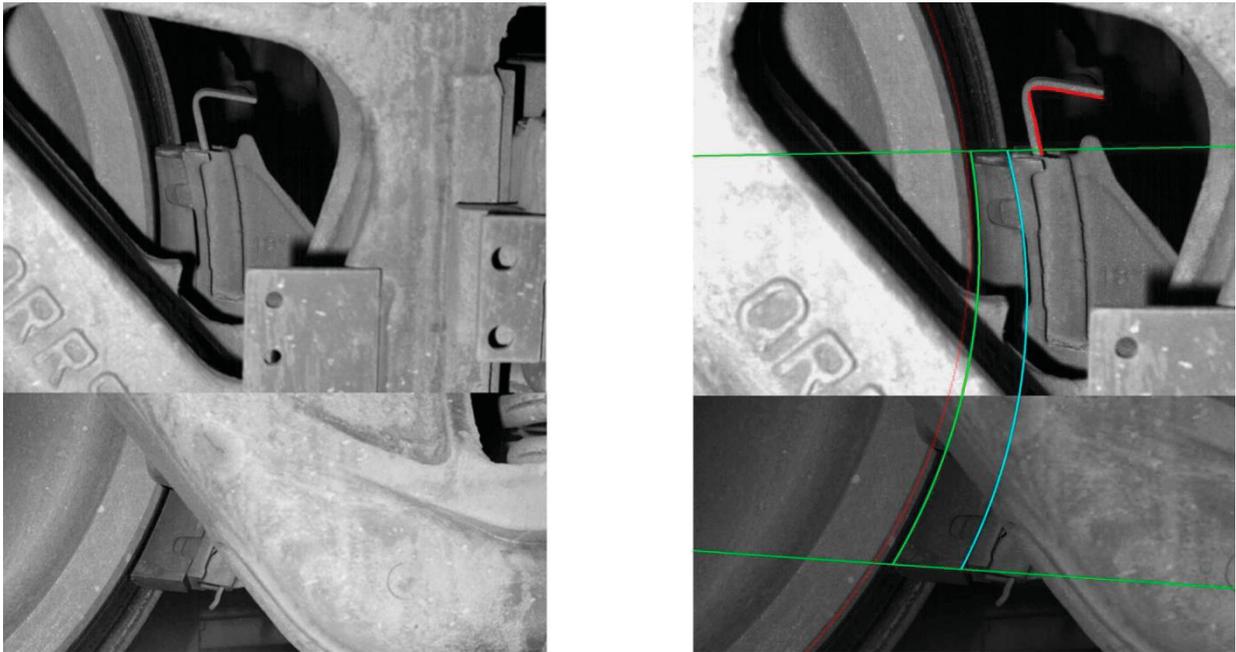
FONTE: <https://rail.trimble.com/brakeview-shoe/>

FIGURA 18. Funcionamento Break View



FONTE: <https://rail.trimble.com/brakeview-shoe/>

FIGURA 19. Fotos geradas pelo Break View



FONTE: <https://rail.trimble.com/brakeview-shoe/>

3.2. ENTENDIMENTO DO PROBLEMA

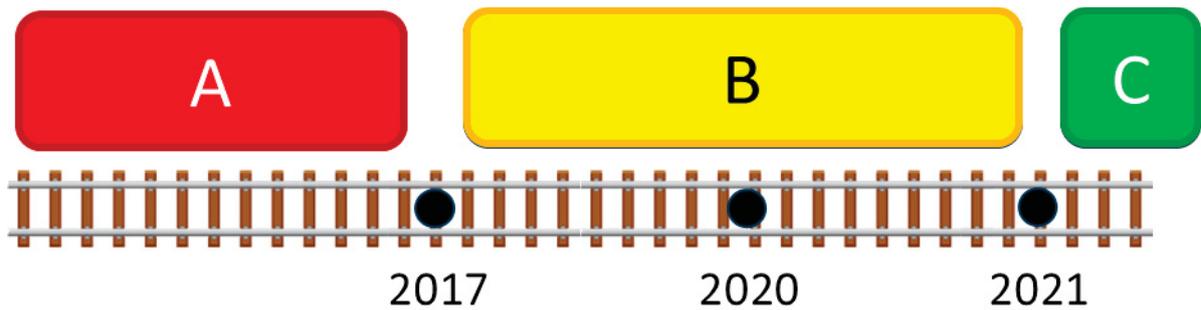
Para a manutenção é muito positivo ter sensores que permitem capturar tantos parâmetros distintos, pois apresenta uma visão clara da saúde da frota de ativos e possibilita um determinado nível de previsibilidade e planejamento dos recursos necessários para definição de escopos de manutenção preventiva, intervenções corretivas planejadas ou direcionamento de ativos mais críticos para realização de manutenção preventiva no lugar de realizar uma corretiva de alto custo.

Porém, os recursos são limitados: financeiro, mão de obra, capacidade física de postos de manutenção, disponibilidade contratada alinhada com a Operação, dentre outros, e saber qual o ativo deve ser priorizado é fundamental para uma boa atuação da manutenção desde o planejamento, passando pela programação e execução.

No caso objeto deste estudo, durante o entendimento do processo foi identificada oportunidade no processo de Programação de Manutenção de Vagões na Operação Norte da Rumo.

Este passou por dois ciclos antes da implementação da solução apresentada neste trabalho:

FIGURA 20. Linha do tempo do processo de Programação de Vagões



3.2.1. CICLO A: ATÉ 2017

Neste período, o processo de Programação de Vagões na Operação Norte contava com:

- Tabela de Excel com os dados históricos do vagão, alimentada manualmente com informações extraídas do Sistema Informatizado de Manutenção (SAP);
- O critério de retenção era baseado em períodos fixos de tempo a partir da data da última manutenção preventiva dos vagões, e para corretivas conforme inspeção e retenção pontual;

3.2.2. CICLO B: DE 2017 ATÉ MAIO/2021

- As áreas de Engenharia de Manutenção de Vagões e do PCM foram estruturadas;
- Foi desenvolvido um simulador em Excel para auxiliar na priorização de ativos para retenção e manutenção corretiva, porém ainda com alimentação manual, necessitando da análise de um especialista da Engenharia sempre que novos dados eram inseridos;
- Em Dezembro/2020 foram mapeados 1.500 vagões segmentados em quatro lotes de criticidade, com Planejamento e Programação de Manutenção atuando com base nesta lista;
- O grande ponto de atenção desta estratégia consistia no tempo de atualização das informações: para cada atualização da lista, o intervalo de tempo era de uma semana para atualizar as bases de dados com a priorização dos ativos, e quando esta ficava pronta já se encontrava desatualizada pois mais informações haviam chegado além de algum ativo já ter sido tratado;

3.2.3. CICLO C: INÍCIO EM MAIO/2021

Em maio/2021 com a reestruturação das áreas foi possível trabalhar na proposta de melhoria de alguns processos, sendo iniciado o projeto objeto deste estudo apresentado a seguir.

3.3. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO

3.3.1. ENTENDIMENTO DO NEGÓCIO

O Ciclo do Negócio (FIGURA 21) consiste basicamente no ativos circulando, transportando produtos do “ponto A ao ponto B” através da Via, estes ao passarem pelos Waysides ou pelos times de revestimento e inspeção tem as informações de situação lidas e as informações são inseridas no sistema de manutenção, a ferramenta consulta essas informações, classifica e realiza a priorização por criticidade do ativo, que alimenta o time de programação para realizar a negociação para retenção do ativo nos postos de manutenção definidos onde os mesmos serão tratados e liberados para circularem novamente.

FIGURA 21. Ciclo do negócio



FONTE: O autor (2021)

Realizando entrevistas com times de Programação de Vagões, Engenharia e utilizando os conceitos da Metodologia CRISP-DM foi realizado o processo de Entendimento do Negócio:

- Identificado que a principal Oficina de Manutenção de Vagões da Operação Norte está localizada em Rio Claro – SP;
- Há um Acordo de Nível de Serviço a ser observado entre Manutenção e Operação para retirada de vagões dos trens para que não tenha impacto na circulação;
- Além dos sensores de monitoramento (Waysides) outras fontes de solicitação de retenção de vagões podem ser: projetos de confiabilidade, segurança ou inspeções no trecho;
- Identificados quais falhas estavam representando maior impacto com a parada de trens por longo tempo e o risco de acidentes ferroviários;
- O ponto crítico do processo consistia no fato do PCM Programação saber qual ativo deveria ser retido para tratativa, respeitando as premissas previamente definidas pela Engenharia, em tempo hábil para realizar a negociação de desanexar e manobrar os vagões para manutenção sem necessariamente ter que envolver ou submeter um pedido de consulta à Engenharia;

3.3.2. ENTENDIMENTO DOS DADOS

Com o processo definido, foi realizado o mapeamento dos dados necessários e suas fontes, a Rumo possui um recurso que permite acesso a tabelas de base de dados dos sistemas, o que viabiliza a utilização uma grande quantidade de dados e com recurso de atualização automática.

Sistema SAP Tela Z369 (Tela de Notas Manutenção): Para realização dos serviços de intervenção nos vagões devem ser abertas notas, registros de ordens de serviço que descrevem qual é a atividade a ser realizada quando o ativo for retido. O conjunto de notas compõe a “Carteira de Serviços” de um ativo e utilizando estas informações é possível entender a demanda de intervenções.

FIGURA 22. Parte da tabela que apresenta dos dados da tela Z369

Tempo (d)	Vagao_num	NIVEL_IMPACTO	Local_patio	TREM	Recomenda	Lotacao	Peso	TREM (grupos)	BITOLA	OS	PosicaoTrem	PrevChegada_ZRX	Qtd Vg Trem	Origem	Destino	SB_ATUAL
46	8400024		ZXW	I25	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809323	91	12/11/2021 03:47:53	91	ZPT	TRO	ZWUZDC (ZSQZWX*)
46	8442967		TMI	I14	SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Em trem	L	1809052	62	12/11/2021 16:17:02	62	TRO	PSN	K12TAP (ZUC*)
46	0337005		PSN		SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Fora de trem	L		0		0			
46	0337773		ZSK	O55	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809161	85		85	PSN	ZXE	ZFR
46	8442495		ZRL	I56	SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Em trem	L	1808201	43		43			
46	8403333		TSF	N02	SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Em trem	L	1809315	10		10			
46	0336840		ZCK	I19	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809276	118	11/11/2021 20:40:30	118	ZPT	TRO	ZKEZGA (ZTO*)
46	0338052		ZVK	I17	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809275	51	11/11/2021 19:38:55	51	ZPT	TRO	248ZQB
46	8405115		TMO	I20	SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Em trem	L	1809058	110	13/11/2021 04:07:03	110	TRO	PSN	177TID (ZVU*)
46	8443157		TRO		SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Fora de trem	L		0		0			
46	8441731		PSS	Y62	SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Em trem	L	1809320	83	12/11/2021 15:42:19	83	PSS	PSN	PITPUD
46	8403503		ZUE	I09	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809081	17		17	ZPT	TRO	ZSF
46	8401250		PCZ		SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Fora de trem	L		0		0			
46	0335517		ZCK	I19	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809276	82	11/11/2021 20:40:30	82	ZPT	TRO	ZKEZGA (ZTO*)
46	0335754		TRO		SEM RECOMEND	VAZIO	0	Fora de trem	L		0		0			
46	0336661		ZTO	X85	SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Em trem	L	1809115	51		51	PCZ	TRO	ZZR
46	8403899		PSG		SEM RECOMEND	VAZIO	0	Fora de trem	L		0		0			
46	8443891		ZTG		SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Fora de trem	L		0		0			
46	0334961		ZAR	I03	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1808862	36		36	ZPT	TRO	699710
46	8406391		ZRU		SEM RECOMEND	VAZIO	0	Fora de trem	L		0		0			
46	8401136		ZAR	I03	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1808862	122		122	ZPT	TRO	699710
46	0337137		ZTO	X85	SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Em trem	L	1809115	4		4	PCZ	TRO	ZZR
46	8442461		ZCK	I19	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809276	97	11/11/2021 20:40:30	97	ZPT	TRO	ZKEZGA (ZTO*)
46	8405077		ZTO	X85	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809115	100		100	PCZ	TRO	ZZR
46	8401772		ZSK	O55	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809161	51		51	PSN	ZXE	ZFR
46	0336190		PSN		SEM RECOMEND	VAZIO	0	Fora de trem	L		0		0			
46	0337552		PSG		SEM RECOMEND	VAZIO	0	Fora de trem	L		0		0			

FONTE: O autor (2021)

Sistema TRANSLOGIC Tela_859 (Visão Operacional): Permitindo informação de localização do ativo, lotação (vazio ou carregado), se está em algum trem, se sim qual prefixo, posição no trem, localização atual, dentre outras informações.

FIGURA 23. Parte da tabela que apresenta dados da Tela_859

Tempo (d)	Vagao_num	NIVEL_IMPACTO	Local_patio	TREM	Recomenda	Lotacao	Peso	TREM (grupos)	BITOLA	OS	PosicaoTrem	PrevChegada_ZRX	Qtd Vg Trem	Origem	Destino	SB_ATUAL
46	8400024		ZXW	I25	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809323	91	12/11/2021 03:47:53	91	ZPT	TRO	ZWUZDC (ZSQZWX*)
46	8442967		TMI	I14	SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Em trem	L	1809052	62	12/11/2021 16:17:02	62	TRO	PSN	K12TAP (ZUC*)
46	0337005		PSN		SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Fora de trem	L		0		0			
46	0337773		ZSK	O55	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809161	85		85	PSN	ZXE	ZFR
46	8442495		ZRL	I56	SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Em trem	L	1808201	43		43			
46	8403333		TSF	N02	SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Em trem	L	1809315	10		10			
46	0336840		ZCK	I19	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809276	118	11/11/2021 20:40:30	118	ZPT	TRO	ZKEZGA (ZTO*)
46	0338052		ZVK	I17	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809275	51	11/11/2021 19:38:55	51	ZPT	TRO	248ZQB
46	8405115		TMO	I20	SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Em trem	L	1809058	110	13/11/2021 04:07:03	110	TRO	PSN	177TID (ZVU*)
46	8443157		TRO		SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Fora de trem	L		0		0			
46	8441731		PSS	Y62	SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Em trem	L	1809320	83	12/11/2021 15:42:19	83	PSS	PSN	PITPUD
46	8403503		ZUE	I09	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809081	17		17	ZPT	TRO	ZSF
46	8401250		PCZ		SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Fora de trem	L		0		0			
46	0335517		ZCK	I19	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809276	82	11/11/2021 20:40:30	82	ZPT	TRO	ZKEZGA (ZTO*)
46	0335754		TRO		SEM RECOMEND	VAZIO	0	Fora de trem	L		0		0			
46	0336661		ZTO	X85	SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Em trem	L	1809115	51		51	PCZ	TRO	ZZR
46	8403899		PSG		SEM RECOMEND	VAZIO	0	Fora de trem	L		0		0			
46	8443891		ZTG		SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Fora de trem	L		0		0			
46	0334961		ZAR	I03	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1808862	36		36	ZPT	TRO	699710
46	8406391		ZRU		SEM RECOMEND	VAZIO	0	Fora de trem	L		0		0			
46	8401136		ZAR	I03	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1808862	122		122	ZPT	TRO	699710
46	0337137		ZTO	X85	SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Em trem	L	1809115	4		4	PCZ	TRO	ZZR
46	8442461		ZCK	I19	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809276	97	11/11/2021 20:40:30	97	ZPT	TRO	ZKEZGA (ZTO*)
46	8405077		ZTO	X85	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809115	100		100	PCZ	TRO	ZZR
46	8401772		ZSK	O55	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809161	51		51	PSN	ZXE	ZFR
46	0336190		PSN		SEM RECOMEND	VAZIO	0	Fora de trem	L		0		0			
46	0337552		PSG		SEM RECOMEND	VAZIO	0	Fora de trem	L		0		0			
46	0337269		ZEV	X50	SEM RECOMEND	CARREGADO	0	Em trem	L	1809147	41		41			
46	8402888		ZVK	I17	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809275	28	11/11/2021 19:38:55	28	ZPT	TRO	248ZQB
46	0335959		ZOI	X05	SEM RECOMEND	VAZIO	0	Em trem	L	1809145	20		20	PSN	TRO	ZOI246

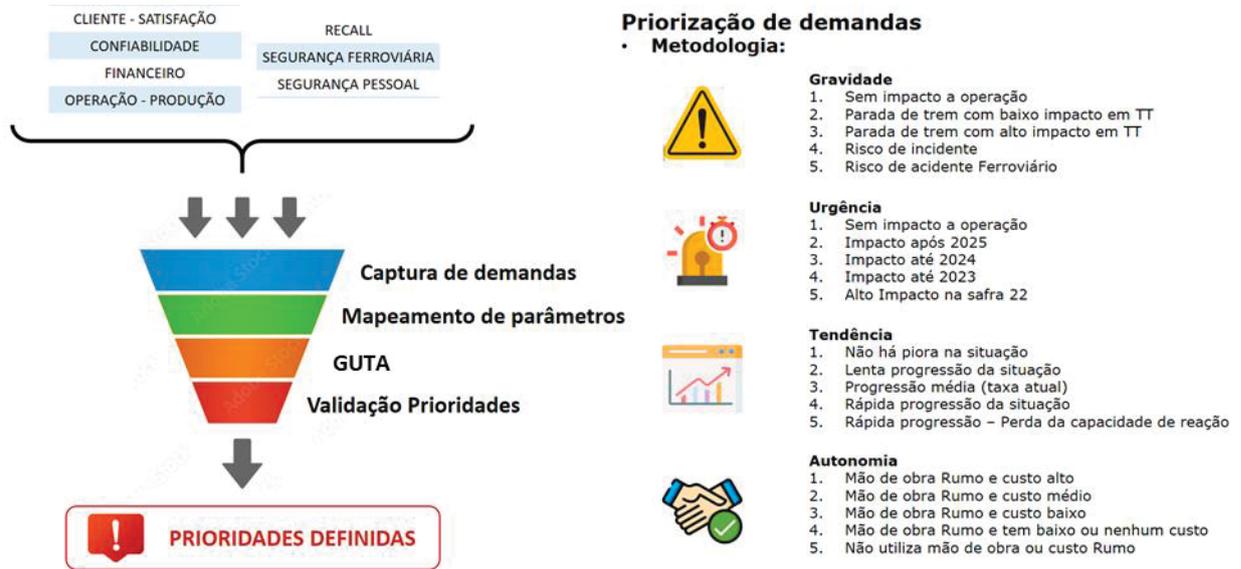
FONTE: O autor (20221)

Conforme o projeto teve seu avanço, outras necessidades foram identificadas e estas tabelas e toda configuração e construção deste projeto permitiram estabelecer uma base sólida para construir outras soluções utilizando estes dados. Até novembro de 2021, o modelo de dados já contava com 35 tabelas que relacionadas entre si dispunham de um ecossistema de análise possibilitando visualizações de dados e acesso à informações atualizadas automaticamente de forma ágil, prática e simples.

- **CLIENTE – SATISFAÇÃO:** Defeitos informados por refugos de vagões devido problemas de carga/descarga no vagão ou ainda por problemas de indenizações (quando há vazamento de produto durante o percurso);
- **CONFIABILIDADE:** Avaliação dos índices apontados pelo Waysides e times de revestimento, planos especiais para melhoria de confiabilidade e gatilhos de intervenção conforme quilometragem rodada desde a última manutenção preventiva conforme FIGURA 26; Os dados da saúde da frota permitiram também a aplicação da Distribuição de Weibull na análise de possibilidade de risco para problemas relacionados à Rodeiros e/ou Truques, alimentando o Planejamento Estratégico até 2025, visando confiabilidade e aderência aos objetivos financeiros definidos;
- **FINANCEIRO:** Vagões que pelo escopo corretivo demandariam um alto custo e quantidade de materiais, sendo necessária avaliação de conversão da manutenção de corretiva para preventiva e alinhamento com time de atendimento de Materiais para minimizar tempo de retenção do ativo;
- **OPERAÇÃO – PRODUÇÃO:** Vagões classificados para atender possível plano de estacionamento de ativos conforme variação da demanda de produção;
- **RECALL:** Vagões que precisam passar por algum recall por problema identificado junto ao fabricante;
- **SEGURANÇA FERROVIÁRIA:** Para atender planos de ação definidos após análise de ocorrências ferroviárias;
- **SEGURANÇA PESSOAL:** Para atender planos de ação definidos após análise de incidentes, quase acidentes, acidentes com/sem afastamento e acidente fatal;

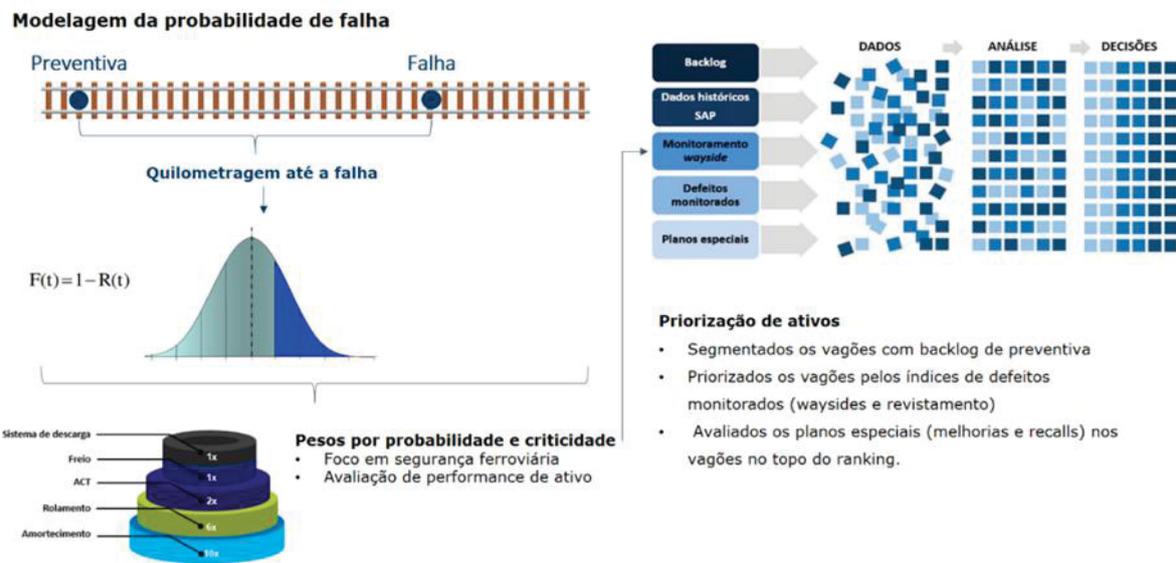
Todos estes itens foram analisados numa Matriz GUTA (Gravidade, Urgência, Tendência e Autonomia) para que de acordo com esta avaliação fossem definidos os pesos de cada classificação e desta forma a priorização de tratativa por ativo.

FIGURA 25. Priorização



FONTE: O autor (2021)

FIGURA 26. Modelo de probabilidade de falha com Priorização de Confiabilidade



FONTE: O autor (2021)

1) PADRONIZAÇÃO: Para definir os pesos de criticidade de um ativo, foi criado um campo denominado **DEFEITO MONITORADO** conforme apresentado no ANEXO I – CAMPO DEFEITO MONITORADO. Assim

conforme avaliação do texto proveniente das notas registradas no SAP, foi possível definir uma regra de padronização das informações.

2) PESOS: Com os defeitos padronizados foram atribuídos pesos conforme tipo de nota e ordem de criticidade dos defeitos para garantir uma priorização de retenção e tratativa dos ativos conforme TABELA 1.

Quanto maior a pontuação, mais crítico é aquela nota e este vagão sobre no ranking de prioridades de tratamento.

TABELA 1. TABELA DE PONTOS POR DEFEIRO E TIPO DE NOTA

DEFEITOS	M1	M2
DETECTOR ACÚSTICO	4	10
DETECTOR DE IMPACTO	5	10
HOT-BOX	0	10
TBOGI	3	10
DDV	4	4
LONGARINA	4	4
AMORTECIMENTO	3	3
INDENIZAÇÃO	2	3
RODEIRO	3	3
FREIO	0	2
PAD	2	2
RODA FRIA	2	2
ACOPLAMENTO	1	1
CAIXA	1	1
SISTEMA DE DESCARGA	1	1
HOT-WHEEL	0	0
OPERAÇÃO	0	0
RECALL	0	0

FONTE: O autor (2021)

3) PONTUAÇÃO POR NOTA: Para cada nota foi avaliado o defeito a que se refere e consultado o peso definido na tabela, contendo um acréscimo de 50% na pontuação caso seja uma M2 com flag e pontos extras para notas de **WAYSIDE DETECTOR DE IMPACTO** conforme criticidade do texto informado na nota. No sistema SAP notas M1 indicam defeitos que não impedem que o ativo realize suas funções primárias, notas M2 são defeitos que precisam de tratativa com nível maior do que notas M1 e quanto ao “flag” é um indicativo que aquela nota registra uma falha pois o defeito informado gerou a parada do trem por tempo igual ou superior à 20 minutos gerando impacto nos indicadores de confiabilidade e produção, por esta razão notas com flag recebem 50% a mais na pontuação conforme FIGURA 27, para priorizar a retenção do ativo para tratativa e processo de Análise de Falhas.

Esta figura também demonstra peso diferenciado para o sensor de Detector de Impacto conforme níveis de impacto registrados pelo mesmo.

FIGURA 27. Campo PONTO CRÍTICO

```

1 PONTO_CRITICO =
2 IF( z369[TP NOTA] = "M1",
3     LOOKUPVALUE(Tabela_Pesos[M1],Tabela_Pesos[DEFEITOS],z369[DEFEITO MONITORADO]),
4
5     IF( z369[TP NOTA] = "M2" && z369[Flag] = "X", (
6
7         IF(z369[DEFEITO MONITORADO] = "DETECTOR DE IMPACTO" && z369[NIVEL_IMPACTO] = "SEVERO",
8             (LOOKUPVALUE(Tabela_Pesos[M2],Tabela_Pesos[DEFEITOS],z369[DEFEITO MONITORADO]) + 5 ) * 1.5,
9
10            IF(z369[DEFEITO MONITORADO] = "DETECTOR DE IMPACTO" && z369[NIVEL_IMPACTO] = "ALTO",
11                (LOOKUPVALUE(Tabela_Pesos[M2],Tabela_Pesos[DEFEITOS],z369[DEFEITO MONITORADO]) + 2 ) * 1.5,
12
13                IF(z369[DEFEITO MONITORADO] = "DETECTOR DE IMPACTO" && z369[NIVEL_IMPACTO] = "MÉDIO",
14                    (LOOKUPVALUE(Tabela_Pesos[M2],Tabela_Pesos[DEFEITOS],z369[DEFEITO MONITORADO]) + 1 ) * 1.5,
15
16                    IF(z369[DEFEITO MONITORADO] = "DETECTOR DE IMPACTO" && z369[NIVEL_IMPACTO] = "BAIXO",
17                        LOOKUPVALUE(Tabela_Pesos[M2],Tabela_Pesos[DEFEITOS],z369[DEFEITO MONITORADO]) * 1.5))))),
18
19     LOOKUPVALUE(Tabela_Pesos[M2],Tabela_Pesos[DEFEITOS],z369[DEFEITO MONITORADO])
20 ))

```

FONTE: O autor (2021)

4) TABELA AUXILIAR DE SOMA DISTINTA: O maior desafio desta classificação foi não permitir que o volume de notas repetidas interferisse na pontuação geral do ativo, fazendo com que várias notas de menor peso viessem a destacar um determinado ativo frente a outro defeito mais crítico. Para isso foi criada uma tabela virtual que agrupa os defeitos por vagão e considera a pontuação da maior nota por defeito independentemente da quantidade de notas daquele defeito conforme FIGURA 28.

FIGURA 28. Código para gera a tabela auxiliar de soma distinta

```

1 tabResumoPts =
2 VAR StNt = SELECTEDVALUE(z369[STATUS NOTA])
3 VAR DM = SELECTEDVALUE(z369[DEFEITO MONITORADO])
4 RETURN
5     SUMMARIZECOLUMNS(z369[VAGAO], z369[DEFEITO MONITORADO], z369[STATUS NOTA]
6         , "Pts Criticidade"
7         , CALCULATE(
8             MAX(z369[PONTO_CRITICO])
9             , FILTER(z369, z369[STATUS NOTA] <> "ENCERRADA")
10        )
11    )

```

FONTE: O autor (2021)

5) CRITICIDADE E RANKING: O valor da criticidade do ativo então é obtido através do somatório dos pontos de defeitos do ativo (conforme tabela auxiliar) e acrescentado um número de pequeno valor considerando o somatório do tempo de dias desde que as notas foram abertas e que ainda permanecem sem estarem encerradas para garantir uma diferença na posição do ranking conforme FIGURA 29 e FIGURA 30.

FIGURA 29. Cálculo da Criticidade e Ranking do vagão

```

1 Criticidade =
2 VAR vag = SELECTEDVALUE(z369[VAGAO])
3 VAR st = SELECTEDVALUE(z369[STATUS NOTA])
4
5 RETURN
6
7     CALCULATE(SUM(tabResumoPts[Pts Criticidade]),
8     FILTER(tabResumoPts, tabResumoPts[VAGAO] = VAG)
9     )
10 +
11 CALCULATE(
12     DIVIDE(SUM(z369[Tempo (d)]),1000000,0),
13     FILTER(z369, z369[STATUS NOTA] <> "ENCERRADA"))

```

FONTE: O autor (2021)

FIGURA 30. Ranking de criticidade de vagões



FONTE: O autor (2021)

Para exemplificar os passos para se chegar ao valor da criticidade, considere o vagão: **0302023HPT**

A FIGURA 31 apresenta a Carteira de Manutenção deste vagão com 6 notas PENDENTES e que ele encontra-se Disponível, ou seja, é necessário verificar qual a criticidade do mesmo e sua localização no ranking de vagões a serem tratados para que seja feita uma tomada de decisão.

FIGURA 31. Relação de notas do vagão 0302023HPT

Trem	Local	Vagão	STATUS_DESC	Modelo	NOTA	STATUS NOTA	Qtd Vag	Qtd Notas	PONTO CRITICO	Criticidade	DEFEITO MONITORADO	TP NOTA	Flag	DATA ABERTURA	DATA ENCERRA.	Tempo (d)	TEXTO + TEXTO AVARIA
148	ZRL	0302023HPT	Disponível	GRANELEIROS	22753882	PENDENTE	1	1		7,0	CCT	M1		18/12/20		330	PLANO VEDAÇÃO SECA PLANO VEDAÇÃO SI
148	ZRL	0302023HPT	Disponível	GRANELEIROS	23036847	PENDENTE	1	1	0,0	7,0	FREIO	M1		31/10/21		13	KM 0252+995 TREM X83 FREIO ISOLADO SI
148	ZRL	0302023HPT	Disponível	GRANELEIROS	22916440	PENDENTE	1	1	3,0	7,0	RODEIRO	M1		11/06/21		155	RODEIRO 3 DIR. FRISO 19MM RODEIRO
148	ZRL	0302023HPT	Disponível	GRANELEIROS	22937911	PENDENTE	1	1	1,0	7,0	SISTEMA DE DESCARGA	M1		05/07/21		131	SEM PARAFUSO DO FLANGE SISTEMA DE DE
148	ZRL	0302023HPT	Disponível	GRANELEIROS	22657156	PENDENTE	1	1	3,0	7,0	TBOGI	M1		10/09/20		429	T-BOGI - TRUQUE CAB B- DESALINHADO T-BOGI
148	ZRL	0302023HPT	Disponível	GRANELEIROS	22688930	PENDENTE	1	1	3,0	7,0	TBOGI	M1		19/10/20		390	T-BOGI - TRUQUE CAB B- DESALINHADO T-BOGI
Total							1	6	10,0	7,0						1.448	

FONTE: O autor (2021)

De acordo com as regras apresentadas nos parágrafos anteriores, a FIGURA 32 mostra que mesmo o vagão possuindo duas notas de TBOGI, apenas uma vez este critério é considerado para compor a nota de criticidade do ativo que totaliza **7 pontos**. Mesmo tendo uma nota de FREIO, por ela ser M1 não há peso atribuído à ela, conforme FIGURA 32. **Erro! Fonte de referência não encontrada..**

FIGURA 32. Exemplo tabela Auxiliar para realizar Soma Distinta de Defeitos para o Vagão 0302023HPT

VAGAO	DEFEITO MONITORADO	STATUS NOTA	Pts Criticidade
0302023HPT	RODEIRO	PENDENTE	3
0302023HPT	TBOGI	PENDENTE	3
0302023HPT	SISTEMA DE DESCARGA	PENDENTE	1
0302023HPT	FREIO	PENDENTE	0

FONTE: O autor (2021)

3.3.5. VALIDAÇÃO

Foram realizados diversos testes e correções durante três meses, sendo solicitadas algumas correções:

- **Mudança na fórmula de cálculo da tabela de soma distinta:** A primeira fase considerava apenas notas M1 no processo de cálculo da criticidade, realizando a fórmula de outro modo e quando as notas M2 foram inseridas o modelo perdeu performance. Com a implantação da tabela auxiliar FIGURA 28, o tempo de processamento teve uma eficiência de 97,6%.

FIGURA 33. Redução do tempo de processamento com a implantação da tabela auxiliar

The screenshot shows a performance table with two columns: 'Nome' (Name) and 'Duração (ms)' (Duration in ms). A green arrow points from the 'Criticidade por ativo' row in the left pane to the same row in the right pane, highlighting the reduction in duration from 158534 ms to 3852 ms.

Nome	Duração (ms)
Gravação iniciada (10/09/2021 14:06:28)	-
Uma segmentação foi alterada	-
Criticidade por ativo	158534
Tabela	158048
ChicletSlicer 1.6.3	6914
Segmentação de Dados	7147
Segmentação de Dados	7376
Segmentação de Dados	1456
Segmentação de Dados	1455
Segmentação de Dados	1454
Segmentação de Dados	1453
Segmentação de Dados	1452
Segmentação de Dados	1450
Segmentação de Dados	1449
Segmentação de Dados	1448
Segmentação de Dados	1448
Segmentação de Dados	1448
Segmentação de Dados	1447
Segmentação de Dados	1446
Segmentação de Dados	1445

Segmentação de Dados	490
Segmentação de Dados	495
Segmentação de Dados	495
Segmentação de Dados	494
Segmentação de Dados	494
Segmentação de Dados	493
Segmentação de Dados	493
Segmentação de Dados	492
Segmentação de Dados	491
Segmentação de Dados	491
Nível Impacto	2645
Segmentação de Dados	489
Data encerramento da nota	3249
Data abertura da nota	3689
Status Disponibilidade	2813
Qtd Vag Retidos por Local	3575
Qtd Vag Pendentes por Trem [Prefixo e OS]	3441
Vagões disponíveis com notas em Processamento	3128
Criticidade por ativo	3852
Níveis Impacto Rodas	3353

FONTE: O autor (2021)

- **Inclusão de novos critérios de classificação:** Foram criadas classificações para visualizar critérios como FREIO MANUAL e INDENIZAÇÃO que estavam agrupados em OPERAÇÃO na primeira fase;
- **Inserido critério de peso diferenciado para notas M2 com flag:** todas as notas possuíam apenas a referência apresentada na tabela de pesos;
- **Histórico como fator de desempate:** Para que ativos com mesma pontuação de criticidade pudessem ser diferenciados, foram considerados o somatório de dias dividido por 1.000.000 das notas abertas (pendentes) como peso para alterar a posição no ranking de criticidade (FIGURA 30) e não afetar na pontuação final de maneira significativa;

- **Revisão da tabela de pontos:** nos primeiros dias de teste foram verificados pontos de melhoria na distribuição dos pesos conforme os eventos de falhas ocorreram, isto serviu para retroalimentar o modelo e processar uma tabela de pesos calibrada à situação real;
- **Inclusão de 50% de peso para notas M2 com flag;**
- **Inclusão de pesos por níveis de criticidade do WAYSIDE de DETECTOR DE IMPACTO;**

3.3.6. IMPLANTAÇÃO

Após testes e ajustes, o modelo passou a ser ferramenta utilizada por toda Manutenção: PCM Planejamento, Controle, Programação, Engenharia, Equipes de Execução de Oficinas, Equipes de Execução de Trecho, inclusive eliminando necessidade de elaboração de apresentações em Power Point para algumas reuniões, pois com os dados atualizados de 1h em 1h, as informações já estavam disponíveis para os times realizarem os alinhamentos de forma mais rápida e confiável.

FIGURA 34. Critérios utilizados na Reunião do Planejamento Mensal de Manutenção



FONTE: O autor (2021)

4. CONCLUSÕES

“A partir de uma análise de entendimento do papel da eficiência operacional, baseado nos conceitos de confiabilidade e disponibilidade de ativos”, (MODESTO, NEGOSEK, CUPPARO, FREITAS, & PACHECO, 2019) apresentaram como recomendações:

- Realizar análises de falhas e predição de eventos baseado em tecnologias associadas a inteligência artificial, machine learning e mineração de dados;
- Realizar análises de outros problemas de manutenção com oportunidades e gargalos em relação a solução;

O mundo 4.0 na ferrovia voltado à área de Vagões permitiu a alocação de grandes sensores denominados Waysides ao longo da linha de circulação, que ao gerar uma grande massa de dados criaram um ambiente que se fez necessário a utilização de uma metodologia de mineração de dados onde também foi possível realizar análises de outros problemas ao criar uma padronização dos problemas de manutenção reportados, possibilitando essa busca pela eficiência operacional, além destes ganhos, os Waysides permitiram alguns resultados expressivos desde a instalação do primeiro:

- ✓ Usinagem de rodeiros obrigatória/preventiva unificada nas Operações Norte e Sul com bases nos parâmetros de leitura e mapeamento da frota;
- ✓ Backlog (tempo entre manutenções preventivas) baseado em quilometragem gerando eficiência financeira e de disponibilidade operacional;
- ✓ Até 2019 a troca de rolamento de rodeiros de vagão era realizada de 4 em 4 anos e hoje a troca obrigatória é 6 em 6 anos;
- ✓ Redução de acidentes Causa Rolamento;
- ✓ Redução de paradas por motivo de rolamento no trecho de 96% de 2017 até 2021;
- ✓ Eficácia na escolha de vagões para tratativa:

FIGURA 35. Tratativa de Vagões



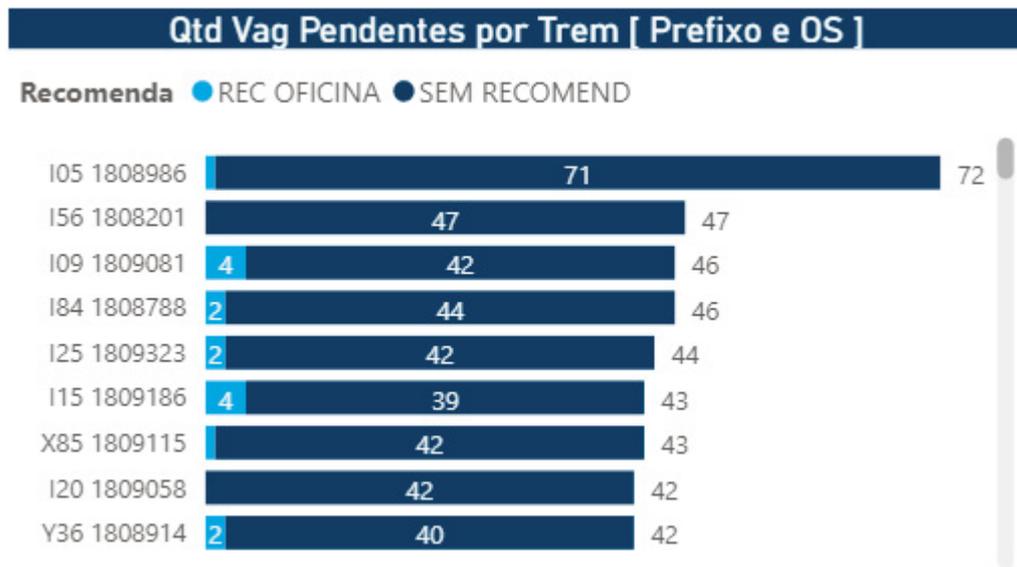
FONTE: O autor (2021)

Para DETECTOR DE IMPACTO, por exemplo, em outubro de 2020 foram tratadas 72 notas em 65 vagões retidos, em outubro de 2021 foram tratadas 86 notas para 55 vagões retidos, uma redução de 15% de ativos retidos e um aumento de 19% de notas tratadas.

Depois que a ferramenta entrou em operação foram identificados junto aos usuários os seguintes benefícios:

- ✓ Atualização em tempo real e automática: o tempo que era despendido por técnicos, analistas e especialistas passou de ser empregado em baixar bases de dados e atualizar planilhas para executar consultas rápidas, correlacionando dados que antes não estavam disponíveis e permitindo mais tempo na análise e avaliação de cenários;
- ✓ Melhora na classificação de criticidade do ativo com base nos defeitos reportados devido reposicionamento dinâmico do ranking (abertura e encerramento de notas);
- ✓ Maior acurácia nas tomadas de decisão pelo time de Programação;
- ✓ Visualização de trens críticos devido quantidade e criticidade dos vagões que estão compondo o mesmo: a FIGURA 36 apresenta os prefixos dos trens que estão circulando na malha em tempo real e o número da OS (Ordem de Serviço) que identifica cada prefixo, desta forma é possível verificar qual trem necessita de maior atenção para direcionamento das equipes de atendimento, além de quantidade de vagões que já estão ou não RECOMENDADOS para retenção na oficina para tratativa;

FIGURA 36. Quantidade de vagões com notas pendentes por trem



FONTE: O autor (2021)

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARBEX, M. (27 de Maio de 2020). *O volume de dados como grande ameaça*. Acesso em 26 de Agosto de 2021, disponível em Proxima: <https://www.proxima.com.br/home/proxima/how-to/2020/05/27/o-volume-de-dados-como-grande-ameaca.html>
- GUIMARÃES, L. (08 de Junho de 2016). *Você sabe o que é metodologia CRISP DM? Descubra aqui*. Fonte: knowsolutions: <https://www.knowsolution.com.br/voce-sabe-o-que-e-metodologia-crisp-dm-descubra-aqui/>
- MODESTO, A. L., NEGOSEK, E., CUPPARO, H., FREITAS, J. A., & PACHECO, J. (2019). *Eficiência operacional: um modelo aplicado a Rumo-ferrovias Malha Sul*. ITL. Florianópolis: FUNDAÇÃO DOM CABRAL. Fonte: <http://repositorio.itl.org.br/jspui/handle/123456789/388>
- PIMENTA, M. (17 de Fevereiro de 2021). *O que é Mundo BANI e quais competências você precisa conhecer?* Acesso em 26 de Agosto de 2021, disponível em Marcelo Pimenta: <https://marcelo.pimenta.com.br/o-que-e-mundo-bani-e-quais-competencias-voce-precisa-conhecer/>

5. ANEXO I – CAMPO DEFEITO MONITORADO

DEFEITO MONITORADO =

-- FÓRMULA PARA CLASSIFICAÇÃO DAS NOTAS CONFORME DEFEITOS MONITORADOS

IF(ISBLANK(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA]) || z369[TEXTO + TEXTO AVARIA] = "..","EM BRANCO",

IF(AND(z369[TP NOTA] = "M4", CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "PARADA 2021")),"ENTRESSAFRA 21",

-- REVISTAMENTO DOUBLE STACK E TANQUES

IF(AND(z369[TP NOTA] = "M1",
 CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "REVISTAMENTO PASSAGEM INSPEÇÃO RODEIRO")
 || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "REVIS. PASSAGEM INSP. RODEIRO BATENDO")
)
 ,"INSP. RODAS DOUBLE STACK E TANQUES",

-- # 1 INDENIZAÇÃO

IF(CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "INDENIZA"),"INDENIZAÇÃO",

-- # 2 PREVENTIVA

IF((CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "REVISÃO RA")
 || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "REVISÃO R1")
 || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "PREVENTIVA - PROGRAMADA")
 || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "PREVENTIVA LOTE")
 || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "MANUTENÇÃO PREVENTIVA")
 || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "OBRIGATORIO PREVENTIVA")
),
 "PREVENTIVA",

-- # 3 LONGARINA TRINCADA

IF(CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "LONGARINA TRINCADA")
 ,"LONGARINA TRINCADA",

-- # 4 BANDAGEM CRÍTICA

IF((CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "BANDAGEM CRÍTICA")
 || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "ABAIXO 25"))
 ,"BANDAGEM CRÍTICA",

-- # 5 RECALL

IF(CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"RECALL"), "RECALL",

-- # 6 RETENÇÃO INDEVIDA

IF(z369[Cod Falha] = "VRIL"
 ,"RET. INDEVIDA",

-- # 7 ULTRASSOM

IF(z369[Cod Falha] = "VGUS"
 ,"ULTRASSOM",

-- # 8 TAG

IF(AND(z369[Cod Falha] = "CAIO"

```

        ,CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "TAG"))
    , "TAG",

-- # 9 APONTE
IF(z369[Cod Falha] = "VGAM"
    , "APONTE",

-- # 10 CAMPEÃO DE FALHAS
IF((z369[Cod Falha] = "VCAP" || z369[Cod Falha] = "CATR")
    , "CAMPEÃO DE FALHAS",

IF(CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "ACIDENT"), "ACIDENTE",

IF((z369[TP NOTA] = "M1" || z369[TP NOTA] = "M2" || z369[TP NOTA] = "M3"),

-- # 11 TBOGI
IF((CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "T-BOGI") || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO
AVARIA], "BOGIE")), "TBOGI",

-- # 12 AMORTECIMENTO
IF(AND(z369[Cod Falha] = "VGI",
    (CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "MOLA")
        || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "CUNHA")
        || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "AMPARA BALANÇO")
    )), "AMORTECIMENTO",

-- # 13 TRUQUE
IF(CONTAINSSTRING(z369[Cod Falha], "VGI"), "TRUQUE",

-- # 14 CCT
IF(AND((z369[Cod Falha] = "REVI"
        || z369[Cod Falha] = "VGHO"
        || z369[Cod Falha] = "VGEI"
        || z369[Cod Falha] = BLANK())
    ),
    ( CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "ENGATE")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "ABRAÇADEIRA")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "ACT")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "CCT")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "CRUZETA")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "ESPELHO")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "TRAVA DUAL")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "MANDIBULA")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "MADIBULA")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA], "SEM TELHA")
    )
    ), "CCT",

IF(CONTAINSSTRING(z369[Cod Falha], "VGJ"), "CCT",

-- # 15 RODA FRIA
IF((z369[Cod Falha] = "VGFH"

```

```

    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"RODA FRIA"))
    , "RODA FRIA",

-- # 16 RECALL
IF(AND(z369[Cod Falha] = "VGC", CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"RECALL")),
"RECALL",

-- # 17 DETECTOR DE IMPACTO
IF((CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"ATLAS")
|| CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"IMPACTO DE RODAS")
|| CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"IMPACTO SEVERO")
),
"DETECTOR DE IMPACTO",

-- # 18 DETECTOR ACÚSTICO
IF(
    (CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"ACUSTICO")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"ACÚSTICO"))--
),
"DETECTOR ACÚSTICO",

-- # 19 HOTBOX
IF(AND(z369[CATEGORIA] = "HDB", CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"TENDENCIA")),
"HOT-BOX",

-- # 20 RODEIRO
IF(AND((    CONTAINSSTRING(z369[Cod Falha], "REVI")
    || CONTAINSSTRING(z369[Cod Falha], "RG")
    || CONTAINSSTRING(z369[Cod Falha], "VGH")
    || CONTAINSSTRING(z369[Cod Falha], "REIO")
    || CONTAINSSTRING(z369[Cod Falha], "VGFH")
    ),
    (CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"RODEIRO")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"RODEIROS")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"RODA")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"CASCA")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"INSP. VISUAL DE ACABAMENTO
SUPERFICIAL REALIZAR INSPEÇÃO VISUAL NOS EIXOS")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"BANDAGEM")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"FRISO")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"ABAIXO 25")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"CRÍTICA")
    )), "RODEIRO",

-- REVISTAMENTO

-- # 21 ACOPLAMENTO
IF(AND(z369[Cod Falha] = "REVI", (CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO
AVARIA],"ACOPLAMENTO")
|| CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"ACOP")

```

```

|| CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"ACOMP") ))
, "ACOPLAMENTO",

-- # 22 AMORTECIMENTO
IF(AND(z369[Cod Falha] = "REVI",
      (CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"AMORTECIMENTO")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"AMORT")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"MOLA")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"CUNHA")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"AMP BALANCO")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"AMPARA BALANCO")
      )), "AMORTECIMENTO",

-- # 23 DDV
IF(AND((z369[Cod Falha] = "REVI" || z369[Cod Falha] = "VGDV"),
CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"DDV")), "DDV",

-- # 24 FREIO MANUAL
IF(AND(OR(z369[Cod Falha] = "REVI",CONTAINSSTRING(z369[Cod Falha],"VGF")),
      (CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"FREIO MANUAL")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"CORRENTE DO MANUAL")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"CORRENTE MANUAL")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"F. MANUAL")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"QUADRANTE")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"VOLANTE")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"CORRENTE")
      )), "FREIO MANUAL",

-- # 25 FREIO
IF(AND((z369[Cod Falha] = "REVI" || CONTAINSSTRING(z369[Cod Falha],"VGF")),
      (CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"FREIO")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"GRADUA")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"TIMO")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"TRIAN")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"VÁLVULA")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"VALVULA")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"ABDX")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"DB")
      )), "FREIO",

-- # 26 LONGARINA
IF(AND(z369[Cod Falha] = "REVI",
      (CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"LONGARINA")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"LONG")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"LOGARINA")
      )), "LONGARINA",

-- OPERAÇÃO
IF(AND(z369[Cod Falha] = "REVI",
      (CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"OPERAÇÃO")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"OPERACAO")
      || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"HASTE DE MANOBRA")

```

```

    )), "OPERAÇÃO",

--# 27 PAD
IF(
    AND(( CONTAINSSTRING(Z369[Cod Falha],"REVI")
        || CONTAINSSTRING(Z369[Cod Falha],"VGF")
        || CONTAINSSTRING(Z369[Cod Falha],"VGI")
    ),
    (CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"PAD") || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO +
TEXTO AVARIA],"PADS")
    )), "PAD",

-- # 28 SISTEMA DE DESCARGA
IF(AND((z369[Cod Falha] = "REVI"
    || z369[Cod Falha] = BLANK()
    || CONTAINSSTRING(z369[Cod Falha],"VGC")
    || z369[Cod Falha] = "VGM"
    || z369[Cod Falha] = "VGCT"
    || z369[Cod Falha] = "VGFP"
    || z369[Cod Falha] = "VGOV"
    || z369[Cod Falha] = "VGFF"
    ),
    (CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"SISTEMA DE DESCARGA")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"DESCARGA")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"BICA")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"TREMONHA")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"VAZAMENTO DE PRODUTO")
    )), "SISTEMA DE DESCARGA",

-- #29 CAIXA
IF(AND(z369[Cod Falha] = "REVI",
    ( CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"CAIXA")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"CX")
    || CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO AVARIA],"ESCOT")
    )), "CAIXA",

IF(CONTAINSSTRING(z369[Cod Falha], "VGC"),"CCT",

-- # 30 (25)FREIO
IF(AND(z369[CATEGORIA] = "RODEIRO", CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO
AVARIA],"AQUECIDO")), "FREIO",
IF(CONTAINSSTRING(z369[Cod Falha], "VGF"),"FREIO",
IF(AND(z369[CATEGORIA] = "SISTEMA DE FREIO", CONTAINSSTRING(z369[TEXTO + TEXTO
AVARIA],"FREIO")), "FREIO",

BLANK())))))))

```

6. ANEXO II - TELAS DA FERRAMENTA

FIGURA 37. Tela principal



FONTE: O autor (2021)