

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO DE JOINVILLE
CURSO DE ENGENHARIA FERROVIÁRIA E METROVIÁRIA

GABRIEL SALOMÃO DIODATO

PROPOSTA DE MODELO DE PROCESSO COM BASE EM BPM PARA ANÁLISE DE
DADOS DE GEOMETRIA DE VIA FERROVIÁRIA

Joinville
2025

GABRIEL SALOMÃO DIODATO

PROPOSTA DE MODELO DE PROCESSO COM BASE EM BPM PARA ANÁLISE DE
DADOS DE GEOMETRIA DE VIA FERROVIÁRIA

Trabalho apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel no Curso de Engenharia Ferroviária e Metroviária, no Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientadora: Dra. Elisete Santos da Silva Zagheni

Joinville
2025

GABRIEL SALOMÃO DIODATO

PROPOSTA DE MODELO DE PROCESSO COM BASE EM BPM PARA ANÁLISE DE
DADOS DE GEOMETRIA DE VIA FERROVIÁRIA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do título de Bacharel no Curso de Engenharia Ferroviária e Metroviária, no Centro Tecnológico de Joinville, da Universidade Federal de Santa Catarina.

Joinville (SC), 18 de Novembro de 2025.

Banca Examinadora:

Dra. Elisete Santos da Silva Zagheni
Orientadora/Presidente
UFSC - Joinville

Dra. Janaina Renata Garcia
Avaliadora
UFSC - Joinville

Eng. João Marcos Hoepers
Avaliador
Nomadlog - São Paulo

Este trabalho é dedicado aos meus pais, minha irmã e meus dois melhores amigos.

AGRADECIMENTOS

A jornada até a conclusão deste trabalho foi longa e repleta de desafios, e seria impossível percorrê-la sem o apoio de pessoas essenciais, a quem dedico minha mais profunda gratidão.

Aos meus pais, Veri e Vicente, meus alicerces. Esta conquista é um reflexo direto do amor, sacrifício e apoio incondicional que sempre me ofereceram em absolutamente tudo. Cada página deste trabalho carrega a força e a inspiração que recebi de vocês. Meu eterno obrigado por acreditarem em mim mais do que eu mesmo.

À minha irmã Giulia, que, como uma verdadeira Worgen Druida, soube lançar Rejuvenation na minha motivação sempre que precisei. Que este parágrafo sirva de inspiração (e pressão saudável) para que eu seja devidamente citado em seu próprio TCC. Não perca a forma agora, estamos na reta final. Por Gilneas e For the Alliance!

Ao meu tio Osvaldo, minha gratidão especial. Em um momento crucial, suas palavras de encorajamento foram fundamentais para que eu não desistisse e continuasse firme no propósito de concluir o curso de Engenharia Ferroviária. Este diploma tem um pouco do seu valioso incentivo.

Aos meus melhores amigos, Guilherme Goes e Lucas Amorim. A jornada acadêmica é mais leve quando compartilhada com amigos verdadeiros. Obrigado por cada conversa, cada momento de descontração e, principalmente, por me ajudarem a me manter no curso nos momentos mais desafiadores. Vocês foram o suporte que garantiu minha permanência e meu ânimo.

A cada um de vocês, meu mais profundo e sincero obrigado. Este trabalho também é seu.

“ Você pode encontrar as coisas que perdeu, mas nunca as que abandonou. ”

J.R.R. Tolkien

RESUMO

A manutenção da via permanente é um pilar insubstituível para a segurança e a eficiência ferroviária, exigindo monitoramento rigoroso da integridade estrutural. Embora a aquisição de dados geométricos tenha atingido alta precisão tecnológica, as etapas subsequentes de análise e tomada de decisão crítica frequentemente carecem de formalização, dependendo excessivamente de conhecimento tácito. Este trabalho preenche essa lacuna ao aplicar o Gerenciamento de Processos de Negócio (BPM) para estruturar, modelar e otimizar o fluxo de análise de defeitos geométricos. Por meio de um estudo de caso aprofundado e de uma entrevista pessoal com especialista técnico, realizou-se o mapeamento detalhado do cenário atual (AS-IS). A análise crítica, fundamentada em framework específico de engenharia de processos, diagnosticou vulnerabilidades na rastreabilidade e na padronização de decisões de segurança. Como resultado principal, desenvolveu-se uma modelagem avançada do processo futuro (TO-BE), introduzindo artefatos inéditos de controle: um Checklist de Verificação digital, uma Matriz de Decisão para padronização de critérios e um Ciclo de Feedback de Manutenção. O modelo proposto não apenas organiza sistematicamente a análise qualitativa, mas eleva o patamar de robustez, auditabilidade e confiabilidade técnica dos processos de engenharia ferroviária.

Palavra-chave: BPM; via permanente; geometria de via.

ABSTRACT

The maintenance of permanent way is an irreplaceable pillar for railway safety and efficiency, requiring rigorous monitoring of structural integrity. Although the acquisition of geometric data has achieved high technological precision, the subsequent stages of analysis and critical decision-making often lack formalization, relying excessively on tacit knowledge. This work addresses this gap by applying Business Process Management (BPM) to structure, model, and optimize the flow of geometric defect analysis. Through an in-depth case study and a personal interview with a technical specialist, a detailed mapping of the current scenario (AS-IS) was carried out. The critical analysis, grounded in a specific process engineering framework, identified vulnerabilities in traceability and standardization of safety-related decisions. As the main outcome, an advanced modeling of the future process (TO-BE) was developed, introducing novel control artifacts: a Digital Verification Checklist, a Decision Matrix for standardizing criteria, and a Maintenance Feedback Cycle. The proposed model not only systematically organizes qualitative analysis but also elevates the level of robustness, auditability, and technical reliability of railway engineering processes.

Keywords: BPM; permanent way; track geometry.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil de uma via permanente e seus componentes.	18
Figura 2 – Perfil de um trilho e suas partes.	19
Figura 3 – Bitola do trilho.	20
Figura 4 – Substituição dos dormentes de madeira na via.	20
Figura 5 – Dormente Monobloco de Concreto.	21
Figura 6 – Perfil da malha ferroviária mostrando superestrutura e infraestrutura.	22
Figura 7 – Traçado da Linha Ferroviária em Planta.	23
Figura 8 – Bitola da Via.	23
Figura 9 – Limites de Bitolas Métrica e Larga.	24
Figura 10 – Alinhamento Longitudinal de Curvas e Tangente.	24
Figura 11 – Medida de Flecha.	25
Figura 12 – Área (em vermelho) onde ocorre os efeitos de desnivelamento.	25
Figura 13 – Desnivelamento Longitudinal da Via.	26
Figura 14 – Desnivelamento Transversal da Via.	26
Figura 15 – Superelevação.	27
Figura 16 – Abertura e Fechamento de Bitola.	28
Figura 17 – Desalinhamento de Via.	29
Figura 18 – Empeno.	30
Figura 19 – Carro Controle da NomadLog Batizado de "Nomadtan".	31
Figura 20 – GRMS do Holland TrackSTAR® Split Axle	32
Figura 21 – Comparativo entre a visão funcional e a visão por processo.	34
Figura 22 – Ciclo de Vida BPM proposto por Dumas <i>et al.</i> (2018).	35
Figura 23 – Etapas de Análise Qualitativa.	37
Figura 24 – Mapa de Processo com Base na Norma ISO 9001:2015.	38
Figura 25 – Exemplo de aplicação AS-IS em processos.	40
Figura 26 – Exemplo de aplicação TO-BE em processos.	40
Figura 27 – Categorias e elementos utilizados pela notação BPMN.	43
Figura 28 – Ciclo de Gerenciamento Azure	44
Figura 29 – Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.	48
Figura 30 – Modelo BPMN do processo de inspeção de geometria de via (AS-IS).	56
Figura 31 – Detalhe da raia "Equipe de Inspeção" no modelo AS-IS.	57
Figura 32 – Detalhe da raia "Sistema / Processo" no modelo AS-IS.	58
Figura 33 – Detalhe das raias "Gestor da Via (Cliente)" e "Equipe de Manutenção".	59
Figura 34 – Estrutura do Framework de Análise Crítica.	61
Figura 35 – Modelo BPMN do processo de inspeção otimizado (TO-BE).	66
Figura 36 – Detalhe da raia "Equipe de Inspeção" no modelo TO-BE.	67

Figura 37 – Detalhe da raia "Sistema / Processo" no modelo TO-BE.	68
Figura 38 – Detalhe das raias "Gestor da Via (Cliente)" e "Equipe de Manutenção" no TO-BE.	68

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Resumo das fases, objetivos e entregas do Ciclo de Vida BPM. . .	36
Quadro 2 – Comparativo entre as principais notações de modelagem de processos.	42
Quadro 3 – Tecnologias emergentes e seu impacto no Gerenciamento de Processos de Negócio.	46
Quadro 4 – Atores e suas Responsabilidades no Processo de Inspeção. . . .	53
Quadro 5 – Proposta conceitual da estrutura de dados dos novos artefatos. . .	65
Quadro 6 – Fragilidades do Processo AS-IS e Soluções no Modelo TO-BE. . .	69

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABPMP	Association of Business Process Management Professionals
AMV	Aparelho de Mudança de Via
AS-IS	Termo em inglês para designar o estado atual de um processo ("como está")
BPM	Business Process Management (Gerenciamento de Processos de Negócio)
BPMN	Business Process Model and Notation (Modelo e Notação de Processos de Negócio)
BPMS	Business Process Management System (Sistema de Gerenciamento de Processos de Negócio)
CBOK	Common Body of Knowledge (Corpo Comum de Conhecimento)
CCO	Centro de Controle Operacional
CFM	Ciclo de Feedback da Manutenção
CV	Checklist de Verificação
EPC	Event-driven Process Chain
FCA	Ferrovias Centro-Atlântica
GPS	Global Positioning System
GRMS	Gage Restraint Measurement System
IA	Inteligência Artificial
ISO	International Organization for Standardization
KPIs	Key Performance Indicators (Indicadores-Chave de Desempenho)
MRS	MRS Logística
NBR	Norma Brasileira
PN	Passagem em Nível

RAC	Relatório de Análise Crítica
SAP	Sistemas, Aplicações e Produtos em Processamento
TI	Tecnologia da Informação
TO-BE	Termo em inglês para designar o estado futuro ou otimizado de um processo ("como será")
TR	Trilho (Utilizado na designação de perfis)

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1	OBJETIVOS	17
1.1.1	Objetivo geral	17
1.1.2	Objetivos Específicos	17
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1	VIA PERMANENTE FERROVIÁRIA	18
2.1.1	Componentes da Via Permanente	18
2.1.1.1	<u>Trilhos</u>	19
2.1.1.2	<u>Dormentes</u>	19
2.1.1.3	<u>Lastro e Sublastro</u>	21
2.1.2	Fundamentos da Geometria de Via	22
2.1.2.1	<u>Bitola</u>	23
2.1.2.2	<u>Alinhamento</u>	24
2.1.2.3	<u>Nivelamento</u>	25
2.1.2.4	<u>Superelevação</u>	27
2.1.3	Defeitos Geométricos da Via	27
2.1.3.1	<u>Variação de Bitola</u>	28
2.1.3.2	<u>Desalinhamento</u>	29
2.1.3.3	<u>Desnivelamento</u>	29
2.1.3.4	<u>Empeno ou Torção</u>	30
2.1.4	Inspeção e Diagnóstico de Defeitos Geométricos da Via	31
2.1.4.1	<u>Tecnologias de Inspeção Automatizada</u>	31
2.1.4.2	<u>O Processo de Inspeção e a Geração de Dados</u>	32
2.1.4.3	<u>Relatório de Exceções ao Diagnóstico</u>	33
2.2	GERENCIAMENTO DE PROCESSOS DE NEGÓCIO (BPM)	34
2.2.1	O Ciclo de Vida do BPM	35
2.2.1.1	<u>A Importância da Análise Qualitativa de Processos</u>	36
2.2.1.2	<u>Identificação de Processos</u>	38
2.2.1.3	<u>Modelagem do Processo Atual (AS-IS)</u>	38
2.2.1.4	<u>Análise de Processos</u>	39
2.2.1.5	<u>Redesenho do Processo (TO-BE)</u>	40
2.2.1.6	<u>Implementação do Processo</u>	41
2.2.1.7	<u>Monitoramento e Controle</u>	41
2.2.2	Modelagem de Processos e a Notação BPMN	42
2.2.2.1	<u>Principais Elementos da Notação BPMN</u>	42
2.2.3	Tecnologias de Virtualização em BPM	44

3	METODOLOGIA	47
3.1	CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	47
3.2	OBJETO DE ESTUDO	47
3.3	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	48
3.3.1	Mapeamento do Processo Atual (AS-IS)	48
3.3.2	Análise Crítica do Processo	49
3.3.3	Proposição do Modelo Otimizado (TO-BE)	49
3.4	FERRAMENTAS UTILIZADAS	50
4	APRESENTAÇÃO DE DADOS E MAPEAMENTO DO PROCESSO (AS-IS)	51
4.1	O ESTUDO DE CASO: A EMPRESA E O PROCESSO-ALVO	51
4.2	CONTEXTUALIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE INSPEÇÃO	52
4.3	ATORES E RESPONSABILIDADES	52
4.4	MAPEAMENTO DAS ETAPAS DO PROCESSO AS-IS	54
4.4.1	Planejamento e Preparação da Missão	54
4.4.2	Execução da Inspeção em Campo	54
4.4.3	Tratamento, Disponibilização e Análise dos Dados	55
4.5	O MODELO BPMN DO PROCESSO AS-IS	56
4.5.1	Raia da Equipe de Inspeção	57
4.5.2	Raia do Sistema / Processo	58
4.5.3	Raias dos Stakeholders (Cliente)	59
5	ANÁLISE DO PROCESSO E PROPOSIÇÃO DO MODELO OTIMIZADO (TO-BE)	60
5.1	FRAMEWORK DE ANÁLISE ADAPTADO	60
5.2	ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO AS-IS	61
5.2.1	Análise de Handoffs	61
5.2.2	Análise de Padrão e Redundância	62
5.2.3	Análise de Feedback e Validação	63
5.2.4	Análise de Envolvimento Humano e Padronização	63
5.3	PROPOSIÇÃO DO MODELO DE PROCESSO OTIMIZADO (TO-BE)	63
5.3.1	Melhorias Propostas	64
5.3.1.1	<u>Concepção Estrutural dos Artefatos e Variáveis</u>	64
5.3.2	O Modelo BPMN do Processo TO-BE	66
5.3.3	Raia da Equipe de Inspeção do Modelo TO-BE	66
5.3.4	Raia do Sistema / Processo do Modelo TO-BE	67
5.3.5	Raias dos Stakeholders (Cliente) do Modelo TO-BE	67
5.4	LEGITIMAÇÃO DA PROPOSTA DE MELHORIA	69
6	CONCLUSÃO	71
	REFERÊNCIAS	73

APÊNDICE A – ROTEIRO DA ENTREVISTA COM ESPECIALISTA	77
APÊNDICE B – CÓDIGO DO FLUXOGRAMA AS-IS EM MERMAID	80
APÊNDICE C – CÓDIGO DO FLUXOGRAMA TO-BE EM MERMAID	81
APÊNDICE D – FLUXOGRAMA DO AS-IS E TO-BE EM BIZAGI .	82
APÊNDICE E – ROTEIRO E RESULTADOS DA LEGITIMAÇÃO . .	86

1 INTRODUÇÃO

A segurança e a eficiência na operação de infraestruturas complexas constituem pilares fundamentais da engenharia moderna. No setor ferroviário, essa premissa se traduz na necessidade de manutenção rigorosa da via permanente, uma vez que falhas estruturais figuram entre as principais causas de acidentes graves, incluindo descarrilamentos com perdas significativas (Summit Mobilidade, 2020). Neste contexto, a análise de defeitos geométricos e variações de bitola, problemas de nivelamento e desalinhamentos, tornou-se prática essencial para o monitoramento contínuo da integridade estrutural, sendo atualmente suportada por tecnologias de alta precisão, como "carros controle" (Hoepers, 2024).

Embora existam estudos aprofundados sobre os resultados da análise de defeitos geométricos, como o de Hoepers (2024), nota-se que o processo para se chegar a tais resultados, especialmente as etapas de tratamento, filtragem e interpretação qualitativa dos dados, envolvem decisões complexas que, em situações de exceção, dependem significativamente do conhecimento tácito dos especialistas. Essa lacuna metodológica representa um risco à replicabilidade, um dos alicerces do trabalho científico, e dificulta a otimização contínua do fluxo de trabalho.

O Gerenciamento de Processos de Negócio (BPM) emerge como uma disciplina gerencial focada em otimizar a execução do trabalho, garantindo resultados consistentes e identificando oportunidades de melhoria (Association of Business Process Management Professionals, 2013). Seus princípios de modelagem e análise demonstram aplicabilidade direta a processos técnico-científicos, nos quais a ausência de padronização pode introduzir variabilidades que comprometem a qualidade e a confiabilidade das análises (Santos, 2019).

A aplicação de metodologias BPM surge, portanto, como uma solução promissora para endereçar essa falta de padronização. Embora trabalhos recentes demonstrem a eficácia da modelagem de processos em diversos setores da engenharia (Lottermann, 2021), persiste uma lacuna na literatura sobre a aplicação formal de BPM na análise de dados qualitativos de manutenção ferroviária.

Este trabalho propõe preencher essa lacuna por meio da aplicação de uma metodologia BPM adaptada para estruturar a análise de dados de geometria ferroviária, configurando-se como um estudo de caso qualitativo (Prodanov; Freitas, 2013). O processo de análise detalhado por Hoepers (2024), e cujas etapas foram aprofundadas por meio de entrevista conforme apresentada no Apêndice A, é mapeado e modelado utilizando-se a notação BPMN no estado atual (AS-IS). Em seguida, aplicando-se um framework de análise e melhoria fundamentado em Lottermann (2021), é proposto um modelo otimizado (TO-BE) que servirá como um guia padronizado, robusto e replicável

para futuras análises.

1.1 OBJETIVOS

Para resolver a problemática da falta de padronização em processos de análise de dados de engenharia ferroviária, estabelecem-se os seguintes objetivos.

1.1.1 Objetivo geral

Propor um modelo de processo otimizado (TO-BE) para a análise de dados de defeitos de geometria de via ferroviária, fundamentado na metodologia de Gerenciamento de Processos de Negócio (BPM).

1.1.2 Objetivos Específicos

- Realizar a aquisição de conhecimento técnico aprofundado sobre o fluxo de trabalho de análise de dados, por meio de levantamento bibliográfico e de entrevista pessoal direta com especialista do setor;
- Mapear o processo atual (AS-IS) de inspeção e diagnóstico, documentando formalmente as etapas, atores, ferramentas e regras de negócio identificadas;
- Diagnosticar as fragilidades sistêmicas e operacionais do processo mapeado, utilizando um framework analítico de BPM adaptado para o contexto de engenharia;
- Modelar a arquitetura do processo futuro (TO-BE), desenvolvendo e integrando novos artefatos de controle e padronização para a otimização das análises;
- Validar a pertinência e a viabilidade técnica do modelo proposto junto ao especialista da área, consolidando a aplicabilidade da solução.

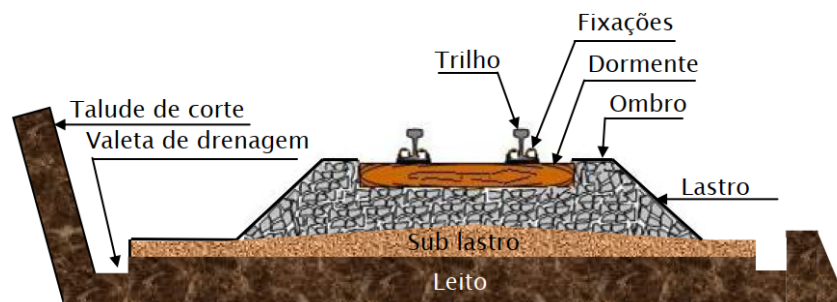
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo estabelece a base conceitual necessária para a aplicação da metodologia BPM no contexto da análise de dados de geometria ferroviária, estruturando-se em duas seções: conceitos fundamentais da via permanente e defeitos geométricos, seguidos pelos princípios e práticas do Gerenciamento de Processos de Negócio.

2.1 VIA PERMANENTE FERROVIÁRIA

A via permanente constitui o conjunto integrado de componentes estruturais responsável por guiar veículos e suportar cargas estáticas e dinâmicas da operação ferroviária (Brina, 1983). Sua função primordial é proporcionar uma superfície de rolamento segura e econômica, com menor atrito possível para transporte eficiente (Silva, 2011).

Figura 1 – Perfil de uma via permanente e seus componentes.



Fonte: Silva (2011).

Conforme ilustrado na Figura 1, a configuração da via permanente representa um sistema estrutural onde cada componente desempenha função específica e interdependente. O desempenho global depende da adequada interação entre trilhos, dormentes, lastro e elementos de fixação.

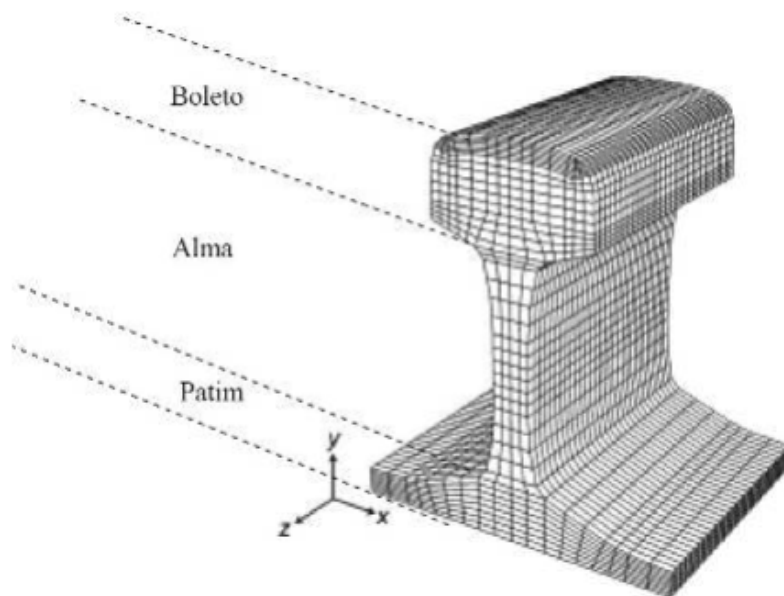
2.1.1 Componentes da Via Permanente

A estruturação da via fundamenta-se em componentes que trabalham coordenadamente para garantir estabilidade estrutural e segurança operacional. Cada elemento possui características técnicas específicas que contribuem para o desempenho do sistema.

2.1.1.1 Trilhos

Os trilhos estabelecem contato direto com as rodas dos veículos, funcionando como superfície de rolamento e elemento direcionador. Para suportar cargas elevadas e desgaste intenso, sua fabricação emprega ligas especiais de aço-carbono-manganês (El-Chaar, 2007).

Figura 2 – Perfil de um trilho e suas partes.



Fonte: Sartori (2010).

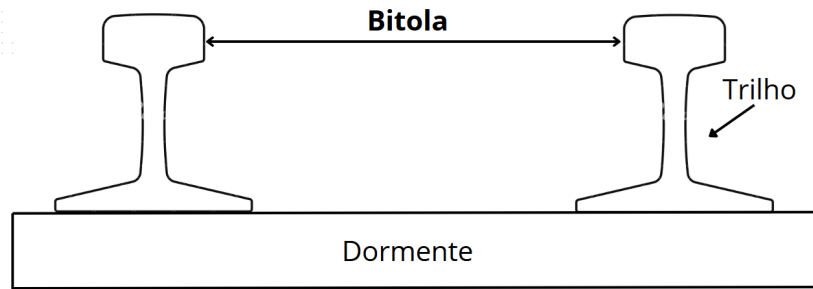
O perfil do trilho divide-se em três seções principais conforme Figura 2: o boleto (seção superior de contato), a alma (seção vertical de transmissão de esforços) e o patim (base de distribuição de cargas). A geometria e massa são dimensionadas conforme as cargas previstas e intensidade do tráfego (Steffler, 2013).

2.1.1.2 Dormentes

Os dormentes são elementos transversais fundamentais para a estabilidade da via. Suas funções incluem manutenção da bitola, suporte dos trilhos, transmissão de cargas ao lastro e preservação da posição da grade ferroviária (Brina, 1983).

A bitola, parâmetro fundamental mantido pelos dormentes, representa a distância entre as faces internas dos boletos como mostra Figura 3. Esta medida requer precisão rigorosa para garantir segurança operacional.

Figura 3 – Bitola do trilho.



Fonte: Autor (2025).

A evolução dos materiais reflete demandas crescentes de durabilidade. A madeira tem sido substituída por aço e concreto protendido em linhas de tráfego intenso (Steffler, 2013). A Figura 4 ilustra um processo típico de substituição.

Figura 4 – Substituição dos dormentes de madeira na via.



Fonte: Prema (2025).

A escolha do material impacta diretamente a rigidez da via. Análises indicam maior incidência de defeitos de bitola em trechos com dormentes de madeira comparados aos de concreto (Hoepers, 2024). A Figura 5 apresenta um dormente monobloco de concreto, tecnologia de maior durabilidade.

Figura 5 – Dormente Monobloco de Concreto.



Fonte: Empac (2025).

A eficácia de qualquer tipo de dormente, contudo, é indissociável da qualidade da fundação sobre a qual ele assenta, cabendo à camada de lastro a função de receber e distribuir adequadamente as cargas para garantir o desempenho e a longevidade do sistema (Brina, 1983).

2.1.1.3 Lastro e Sublastro

O lastro, composto de pedra britada graduada, recebe cargas dos dormentes e as distribui sobre a plataforma, ou subleito (Brina, 1983). Além da função estrutural, a camada de lastro é essencial para proporcionar uma drenagem eficiente das águas pluviais, garantir a ancoragem da grade ferroviária e amortecer as vibrações geradas pelo tráfego (Ribeiro, 2011).

A Figura 6 apresenta o perfil completo, distinguindo superestrutura de infraestrutura, evidenciando a importância da integração entre componentes.

Figura 6 – Perfil da malha ferroviária mostrando superestrutura e infraestrutura.



Fonte: Grupo Siderbrás (2025).

O sublastro atua como filtro granulométrico, impedindo a migração de partículas finas (colmatagem) que comprometeria a drenagem e resistência mecânica (Silva, 2011; Ribeiro, 2011).

2.1.2 Fundamentos da Geometria de Via

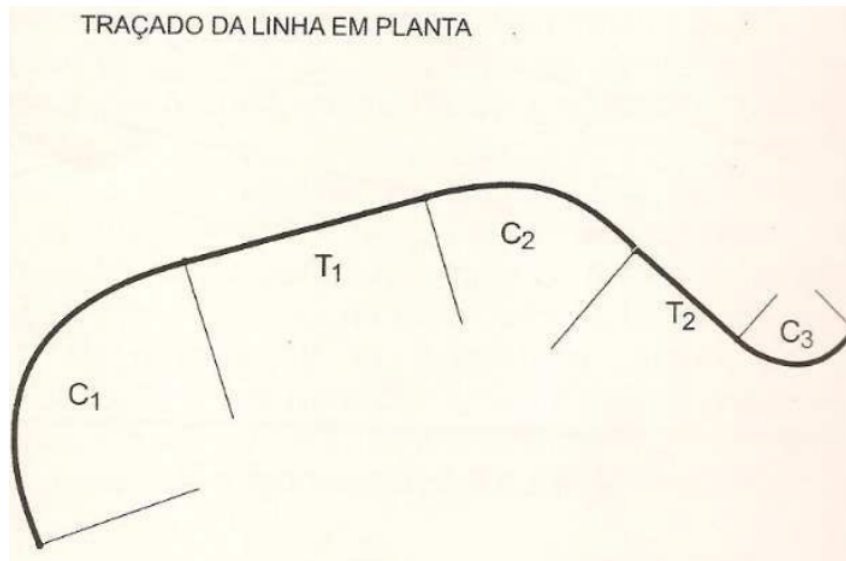
O desempenho e a segurança da via permanente dependem da manutenção de sua geometria tridimensional dentro de tolerâncias definidas pela configuração da operação exercida no local (Nabais, 2014). Para compreender a natureza dos defeitos, é primordial definir os parâmetros que descrevem a configuração espacial da via.

A bitola, como previamente definida, é a distância entre as faces internas dos boletos dos trilhos, sendo um parâmetro crítico para a segurança da circulação, de acordo com Mundrey (2010). O alinhamento refere-se ao traçado da via no plano horizontal, que pode ser em reta ou em curva, enquanto o nivelamento corresponde ao seu perfil no plano vertical (Brina, 1983).

Por fim, a superelevação, como define Lichtberger (2005), é a elevação intencional do trilho externo em relação ao interno nas curvas, projetada para compensar a força centrífuga, otimizando a segurança e o conforto.

A Figura 7 mostra parâmetros essenciais da geometria de via, mostrando as retas (Tangente) e curvas da via.

Figura 7 – Traçado da Linha Ferroviária em Planta.



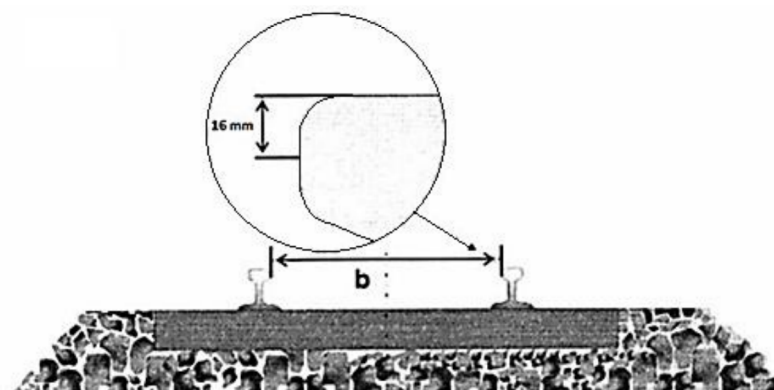
Fonte: Magalhães (2007).

A correta articulação entre os segmentos de tangente e curva, constitui a base do traçado e influencia diretamente a dinâmica e a segurança da circulação dos veículos. A manutenção precisa de cada um dos parâmetros geométricos fundamentais como bitola, alinhamento, nivelamento e superelevação dentro de limites de tolerância rigorosos é, portanto, essencial para a integridade operacional da via férrea (Steffler, 2013)

2.1.2.1 Bitola

A bitola corresponde à distância entre as faces internas dos boletos dos trilhos, medida em um ponto específico, 16mm abaixo da superfície de rolamento, conforme Figura 8 para desconsiderar o efeito do desgaste (Silva, 2011)

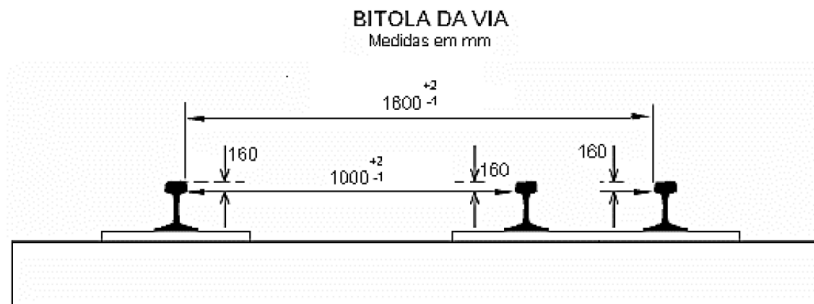
Figura 8 – Bitola da Via.



Fonte: Magalhães (2007).

Trata-se de uma das cotas mais críticas para a segurança operacional, pois sua manutenção garante o guiamento estável do rodeiro. No Brasil, coexistem principalmente duas bitolas comerciais (Figura 9): a métrica (1.000mm) e a larga (1.600mm), conforme aponta Hoepers (2024).

Figura 9 – Limites de Bitolas Métrica e Larga.



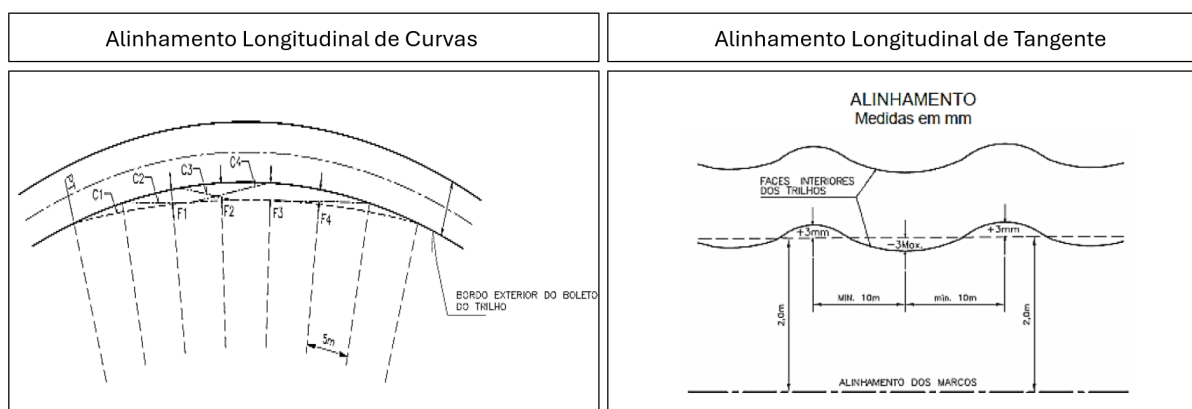
Fonte: França (2017).

A definição e manutenção desses limites dimensionais são, portanto, vitais para a operação ferroviária, pois asseguram a compatibilidade entre o material rodante e a via, prevenindo desgastes excessivos e riscos de acidentes. A gestão da bitola é um dos pilares da geometria da via, que se complementa com a análise do traçado no plano horizontal, conhecido como alinhamento (França, 2017).

2.1.2.2 Alinhamento

O alinhamento descreve o traçado da via quando observado no plano horizontal. Ele é composto por segmentos em tangente e em curva conforme Figura 10.

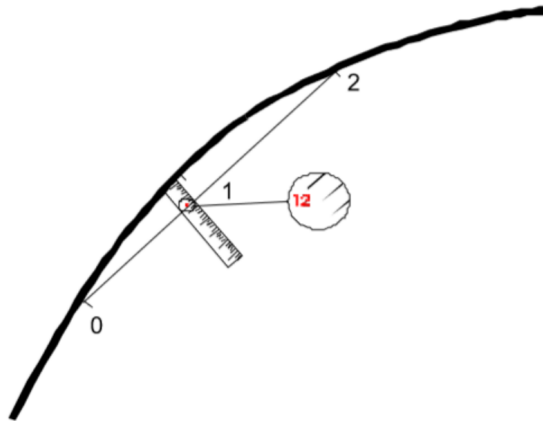
Figura 10 – Alinhamento Longitudinal de Curvas e Tangente.



Fonte: Adaptado de França (2017).

Para garantir uma transição suave entre esses segmentos e evitar variações abruptas de aceleração lateral, são utilizadas as curvas de transição. O controle do alinhamento é frequentemente realizado pela medição da flecha em uma corda de base pré-determinada como mostra na Figura 11, um método que permite verificar a regularidade e o raio das curvas (Steffler, 2013).

Figura 11 – Medida de Flecha.



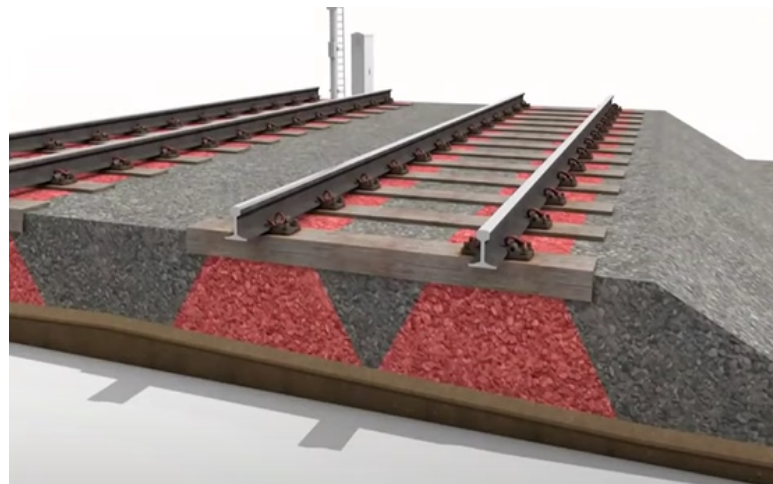
Fonte: Ferrovia Centro-Atlântica (2009).

A regularidade da medida de flecha ao longo de um trecho em curva indica a sua qualidade geométrica e conformidade com o raio projetado, sendo um procedimento de controle essencial para a segurança da operação ferroviária (Steffler, 2013).

2.1.2.3 Nivelamento

O nivelamento refere-se ao perfil da via no plano vertical conforme apresenta a Figura 12.

Figura 12 – Área (em vermelho) onde ocorre os efeitos de desnivelamento.

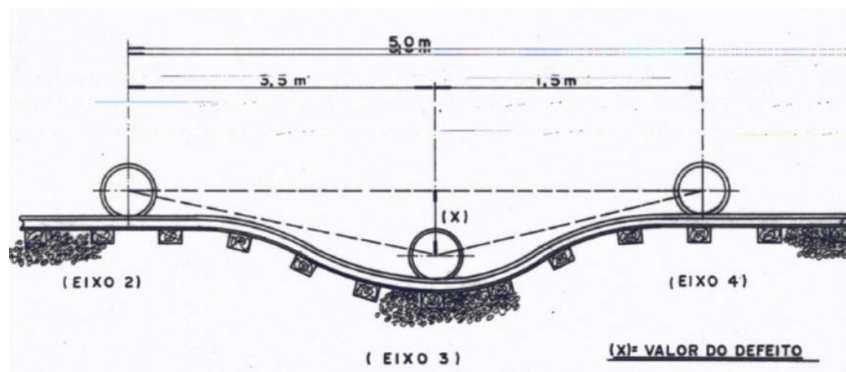


Fonte: Bastos (2022).

Para uma análise completa e precisa do perfil vertical da via, o nivelamento é essencialmente decomposto em duas componentes ortogonais: a longitudinal e a transversal. Essa divisão permite avaliar tanto a suavidade da superfície de rolamento ao longo de cada trilho individualmente quanto a relação de altura entre os trilhos em uma mesma seção (Brina, 1983).

- **Nivelamento Longitudinal:** Corresponde ao perfil de um mesmo trilho ao longo de sua extensão conforme mostra a Figura 13.

Figura 13 – Desnívelamento Longitudinal da Via.

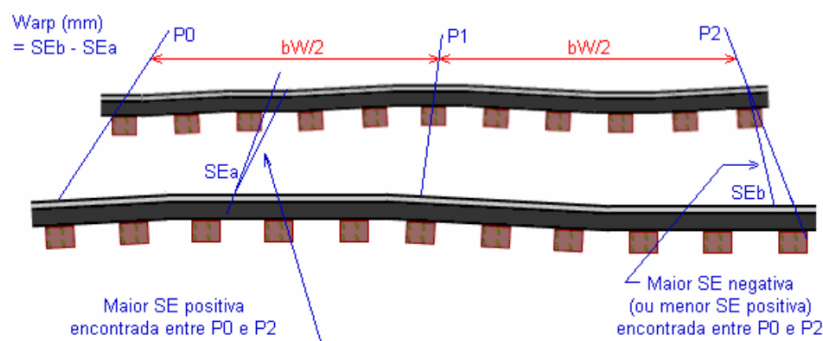


Fonte: Rodrigues (2001).

A presença de irregularidades, como depressões ou pontos altos, pode levar ao alívio de roda do veículo, comprometendo a estabilidade e elevando o risco de descarrilamento, como descrito por Brina (1983).

- **Nivelamento Transversal:** Refere-se à diferença de altura entre os dois trilhos em uma mesma seção da via conforme mostra a Figura 14.

Figura 14 – Desnívelamento Transversal da Via.



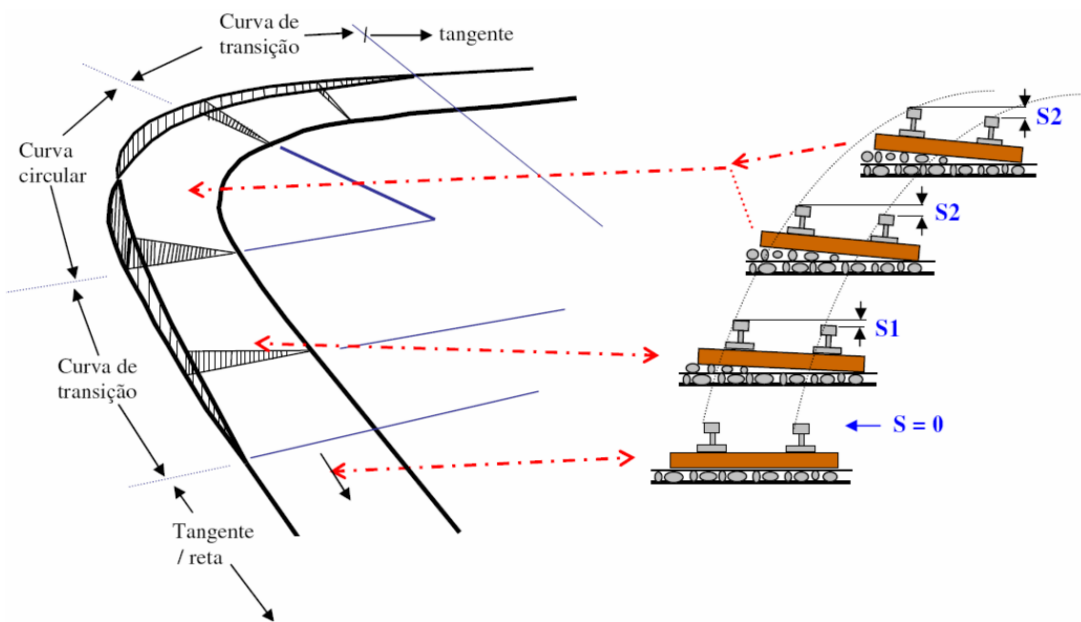
Fonte: Silva (2006).

Em trechos em tangente, essa diferença deve ser próxima de zero. Em curvas, no entanto, uma diferença de altura é intencionalmente projetada, dando origem à superelevação.

2.1.2.4 Superelevação

A superelevação é a elevação do trilho externo em relação ao interno em um trecho de curva, conforme mostra a Figura 15. Sua função é compensar a força centrífuga que atua sobre o veículo em movimento, melhorando a distribuição de carga entre os trilhos, reduzindo o desgaste e aumentando a segurança e o conforto da operação (Lichtberger, 2005).

Figura 15 – Superelevação.



Fonte: Silva (2006).

O valor da superelevação é projetado com base no raio da curva e na velocidade de circulação dos trens no trecho. Variações bruscas de superelevação, especialmente nas transições entre tangente e curva, podem gerar defeitos conhecidos como torção e empeno (Mundrey, 2010).

2.1.3 Defeitos Geométricos da Via

Os defeitos geométricos constituem desvios dos parâmetros nominais da superestrutura ferroviária que comprometem a segurança operacional e o conforto durante o deslocamento dos veículos (Mundrey, 2010). Tais anomalias manifestam-se como variações nos padrões de bitola, problemas de nivelamento longitudinal e transversal, desalinhamentos em trechos de tangente ou curva, e torções que podem impor esforços excessivos sobre o material rodante.

A progressão desses desvios pode ser atribuída a um conjunto de fatores, incluindo o desgaste natural decorrente da interação dinâmica entre roda e trilho, a degradação dos componentes da via (como o apodrecimento de dormentes de madeira), e a fadiga dos materiais submetidos a cargas cíclicas (Sousa, 2022). As ações do clima e a intensidade do tráfego são agentes que aceleram essa degradação, interferindo diretamente no desempenho da ferrovia (Pereira, 2016).

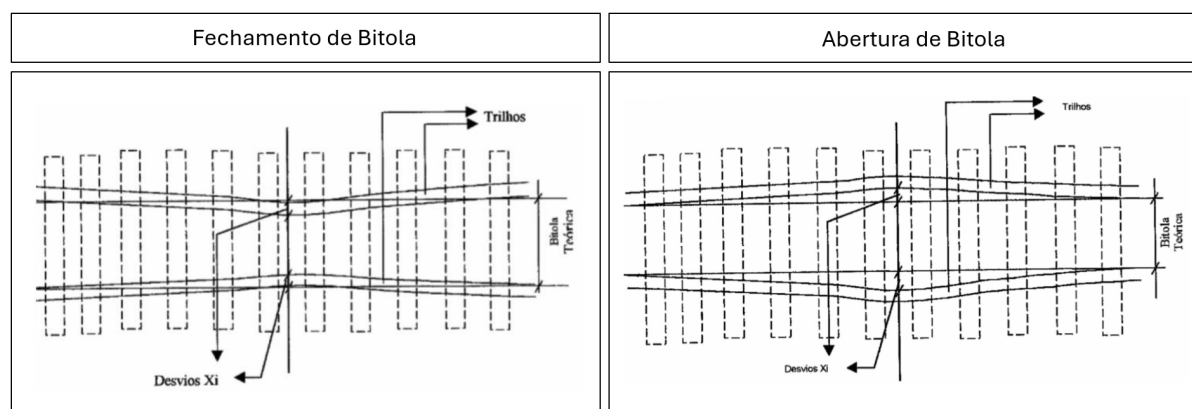
As consequências de tais irregularidades são severas, impactando a eficiência logística ao exigir restrições de velocidade, causar interrupções de tráfego para reparos emergenciais e, em casos críticos, figurar como causa principal de descarrilamentos (Passos, 2018).

É importante ressaltar que nem toda variação dos parâmetros nominais constitui, em si, um defeito. As ferrovias operam dentro de limites de tolerância estabelecidos por normas técnicas, como a ABNT NBR 16387, e pelos regulamentos internos de cada operadora. A definição dessas tolerâncias é crucial para o planejamento da manutenção e para garantir a qualidade da circulação (Aguiar, 2011). Um desvio só é classificado como defeito quando ultrapassa os valores de segurança preestabelecidos, demandando então uma ação de manutenção corretiva.

2.1.3.1 Variação de Bitola

A variação de bitola manifesta-se como um desvio da distância nominal entre as faces internas dos trilhos, sendo um dos defeitos mais críticos para a segurança da operação ferroviária. Pode ocorrer de duas formas, a bitola aberta, caracterizada por um alargamento da distância, ou a bitola fechada, quando há um estreitamento conforme mostra a Figura 16.

Figura 16 – Abertura e Fechamento de Bitola.



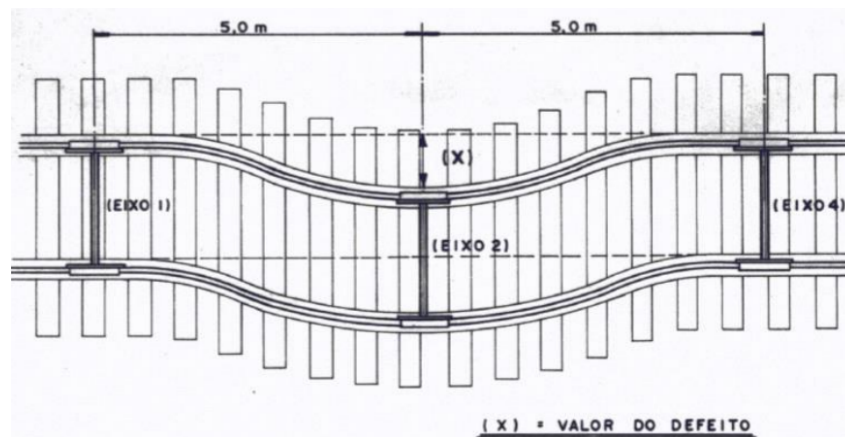
Fonte: Adaptado de Rodrigues (2001).

Geralmente causada por esforços laterais excessivos impostos pelos veículos, pela degradação de dormentes especialmente os de madeira ou por falhas nos elementos de fixação, comprometendo a capacidade da via de conter o rodeiro (Mundrey, 2010).

2.1.3.2 Desalinhamento

O desalinhamento corresponde à distorção do traçado da via no plano horizontal conforme mostra a Figura 17, seja em trechos em tangente ou em curva.

Figura 17 – Desalinhamento de Via.



Fonte: Rodrigues (2001).

De acordo com Brina (1983) este tipo de defeito surge, em geral, de uma insuficiência do lastro em prover o confinamento lateral necessário para a grade, de recalques diferenciais da plataforma ou de tensões geradas por variações térmicas nos trilhos, sendo uma das principais causas de descarrilamento em curvas (Steffler, 2013).

2.1.3.3 Desnivelamento

O desnivelamento refere-se a defeitos no perfil vertical da via e pode ser classificado como longitudinal ou transversal conforme apresentando na Seção 2.1.2.3. O desnivelamento longitudinal consiste em irregularidades ao longo de um mesmo fio de trilho, como depressões ou pontos altos localizados. Sua principal causa é a falta de uniformidade no suporte fornecido pelo lastro, muitas vezes associada a problemas de drenagem ou à presença de "dormentes flutuantes" (vazios sob os dormentes), região mostrada na Figura 12.

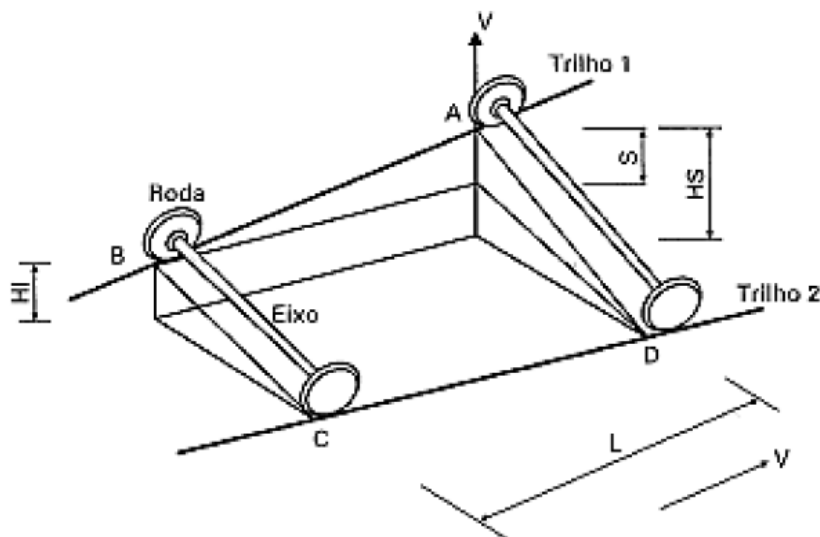
Tais defeitos geram elevados esforços de impacto dinâmico na interação roda-trilho, acelerando a degradação dos componentes da via e do material rodante. Em situações críticas, podem provocar o alívio de carga da roda, comprometendo a estabilidade do veículo (Brina, 1983).

O desnivelamento transversal, por sua vez, é a diferença de altura indevida entre os dois trilhos em uma seção, causando o balanço excessivo do veículo e uma distribuição desigual de carga, o que afeta a segurança e a integridade da carga transportada.

2.1.3.4 Empeno ou Torção

O empeno, frequentemente tratado como torção de via, conforme mostra a Figura 18 é um dos defeitos geométricos mais críticos para a segurança operacional. Ele é definido pela variação do nivelamento transversal medida entre dois pontos ao longo da via, sobre uma distância de base padronizada (Mundrey, 2010). Enquanto o empeno é um parâmetro projetado e controlado nas transições de superelevação em curvas, sua presença não intencional ou fora dos limites de tolerância em qualquer ponto da via constitui um grave defeito.

Figura 18 – Empeno.



Fonte: Ferrovia Centro-Atlântica (2009).

A sua periculosidade reside no fato de que uma variação abrupta no plano da via pode exceder a capacidade de compensação da suspensão do veículo, provocando o alívio de carga de uma das rodas. Essa perda de contato, que deixa o veículo apoiado em apenas três pontos, cria uma condição de instabilidade extrema e representa um risco iminente de descarrilamento (Lichtberger, 2005). Geometricamente, o empeno é a causa, enquanto a torção pode ser entendida como o esforço mecânico resultante que atua sobre a estrutura do material rodante e da própria via ao passar sobre o defeito.

2.1.4 Inspeção e Diagnóstico de Defeitos Geométricos da Via

O monitoramento contínuo da via permanente é uma premissa fundamental para a segurança e a eficiência das operações ferroviárias, exigindo métodos capazes de identificar desvios geométricos antes que atinjam um nível crítico (Hoepers, 2024; Junqueira *et al.*, 2023).

As práticas de monitoramento evoluíram de inspeções puramente visuais, conhecidas como "ronda de linha" e baseadas em ferramentas manuais, para sistemas automatizados de alta precisão (Hoepers, 2024). Atualmente, o método predominante para a avaliação em larga escala da geometria da via é o emprego de veículos especializados, denominados "carros controle" (Aguiar, 2011; Apolinário Júnior, 2019).

2.1.4.1 Tecnologias de Inspeção Automatizada

Os "carros controle", como o TrackSTAR utilizado pela MRS Logística (Aguiar, 2011) ou o Nomadtan conforme mostra a Figura 19, são tipicamente de concepção rodoferroviária, o que lhes confere agilidade para se deslocar entre diferentes trechos (Aguiar, 2011; Apolinário Júnior, 2019). A tecnologia central desses sistemas é baseada em medições sem contato, utilizando sistemas de medição como sensores, feixes de laser ou câmeras de alta velocidade que projetam e capturam o perfil dos trilhos, gerando um modelo geométrico computadorizado da via ou apresentando graficamente possíveis defeitos na via (Aguiar, 2011; Hoepers, 2024).

Para garantir a máxima acurácia, esses sistemas são complementados por sensores de posicionamento (GPS), sensores inerciais, acelerômetros e giroscópios, que corrigem as medições em tempo real (Hoepers, 2024).

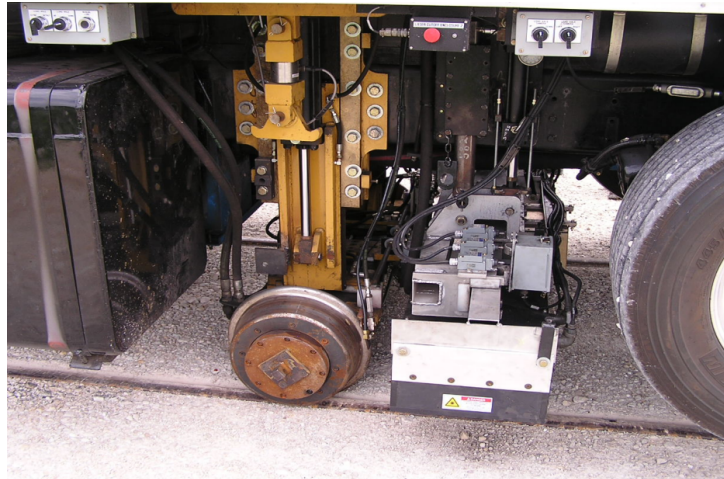
Figura 19 – Carro Controle da NomadLog Batizado de "Nomadtan".



Fonte: Brastan (2019).

Algumas tecnologias, como o sistema GRMS (Gage Restraint Measurement System) conforme mostra a Figura 20, permitem ainda a aplicação de cargas verticais e horizontais durante a medição, simulando a passagem de uma composição e permitindo uma avaliação mais realista de parâmetros como a bitola sob carga (Aguiar, 2011).

Figura 20 – GRMS do Holland TrackSTAR® Split Axle



Fonte: RailTEC (s.d.).

A combinação dessas tecnologias, que aliam medições geométricas de alta precisão com a simulação de esforços dinâmicos, proporciona uma avaliação diagnóstica completa do comportamento da via sob condições operacionais. Essa capacidade de coletar dados detalhados e realistas é o que fundamenta o processo de inspeção moderno, permitindo a geração de relatórios precisos que orientam as ações de manutenção (Aguiar, 2011).

2.1.4.2 O Processo de Inspeção e a Geração de Dados

O processo de inspeção, como o realizado pela Nomadlog, ocorre com o veículo trafegando em velocidades que podem atingir até 50 km/h, minimizando a interferência no tráfego ferroviário (Hoepers, 2024; Aguiar, 2011). A operação é conduzida por técnicos especializados que monitoram a aquisição dos dados e realizam verificações imediatas de defeitos críticos apontados pelo sistema, a fim de evitar o registro de "falsos positivos" e garantir a integridade do levantamento (Hoepers, 2024).

O resultado primário da inspeção é um relatório de "exceções", que documenta todos os pontos da via onde os parâmetros geométricos excederam os limites de tolerância pré-estabelecidos (Aguiar, 2011; Apolinário Júnior, 2019).

Conforme informado por Hoepers (2024), este relatório contém um conjunto de variáveis para cada ocorrência, como a posição quilométrica, a descrição do defeito como a "Bitola Aberta", o valor máximo medido, o comprimento da anomalia e a data da inspeção.

O processo de análise baseia-se no fluxo de coleta de dados apresentado por Hoepers (2024). Seguindo essa metodologia, os defeitos são sistematicamente mapeados e identificados com base nos critérios estabelecidos pela norma ABNT NBR 16387:2020.

A aplicação de um fluxo metodológico estruturado, é fundamental para assegurar a consistência e a rastreabilidade da análise. Estabelecendo transição crucial dos dados brutos, coletados em campo, para um conjunto de informações organizadas e contextualizadas, que servirão de base para a etapa subsequente de diagnóstico e classificação de criticidade dos defeitos (Hoepers, 2024).

2.1.4.3 Relatório de Exceções ao Diagnóstico

A partir dos dados brutos, inicia-se a etapa de diagnóstico. Os defeitos identificados são classificados segundo níveis de criticidade, que em geral seguem uma nomenclatura de prioridades como "P0" - Interdição, "P1" - Restrição, "P2" e "P3" - Alertas para direcionar as ações de manutenção (Hoepers, 2024; Apolinário Júnior, 2019). Essa classificação transforma a extensa lista de exceções em um plano de ação para as equipes de manutenção, que podem priorizar os reparos mais urgentes (Aguiar, 2011).

Esse ciclo de inspeção sistemática e diagnóstico fundamentado em dados é, portanto, a base para a evolução de uma manutenção corretiva para uma abordagem preditiva, permitindo a identificação de tendências de degradação e a programação otimizada de intervenções (Apolinário Júnior, 2019). Neste ponto que o Gerenciamento de Processos de Negócio (BPM) se apresenta como uma boa metodologia para mapear e aprimorar processos complexos como este.

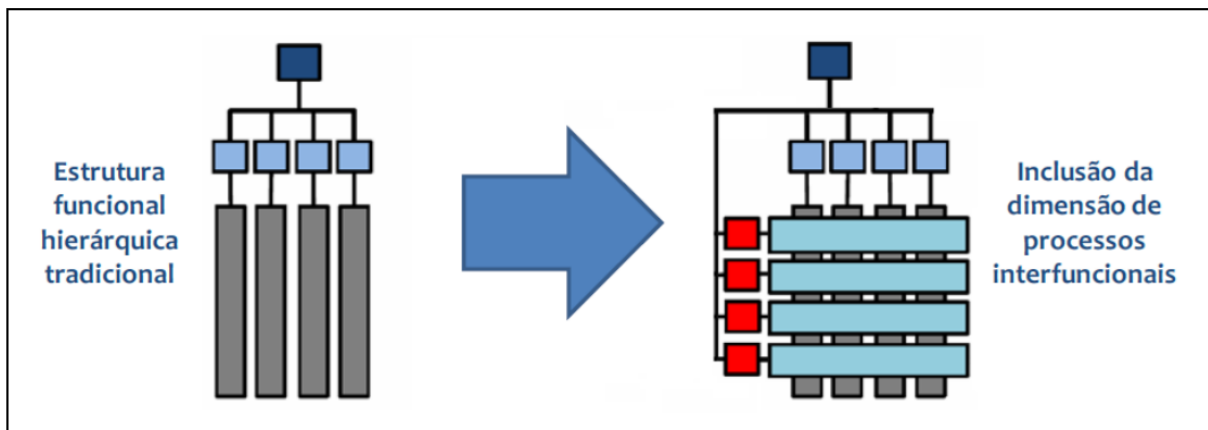
Apoiado por um conjunto de ferramentas de modelagem e notações padronizadas, com destaque para a Business Process Model and Notation (BPMN), o BPM oferece o método para traduzir esse fluxo de trabalho técnico, muitas vezes complexo e dependente do conhecimento dos especialistas, em um modelo de processo explícito. Essa representação visual melhora o gerenciamento do processo, que pode ser analisado para identificar gargalos, ineficiências e pontos de falha (Dumas *et al.*, 2018; Association of Business Process Management Professionals, 2013).

2.2 GERENCIAMENTO DE PROCESSOS DE NEGÓCIO (BPM)

O Gerenciamento de Processos de Negócio, do inglês Business Process Management (BPM), é uma método gerencial que aborda os fluxos de trabalho de uma organização a partir de uma perspectiva ponta a ponta, orientada à entrega de valor para um cliente final (Gonçalves, 2000). Em vez de focar nas estruturas departamentais isoladas, o BPM concentra-se na cadeia completa de eventos, atividades e decisões que constituem um processo, compreendendo como o trabalho é executado para garantir resultados consistentes e identificar oportunidades de melhoria (Dumas *et al.*, 2018).

A Figura 21 mostra o funcionamento da visão funcional tradicional, organizada em silos verticais e departamentais, com a visão por processos, que introduz uma dimensão horizontal. Nessa nova perspectiva, os processos interfuncionais atravessam as fronteiras dos departamentos, conectando as atividades de ponta a ponta com o objetivo de entregar valor ao cliente final, em vez de focar apenas nas tarefas isoladas de cada setor (Association of Business Process Management Professionals, 2013).

Figura 21 – Comparativo entre a visão funcional e a visão por processo.



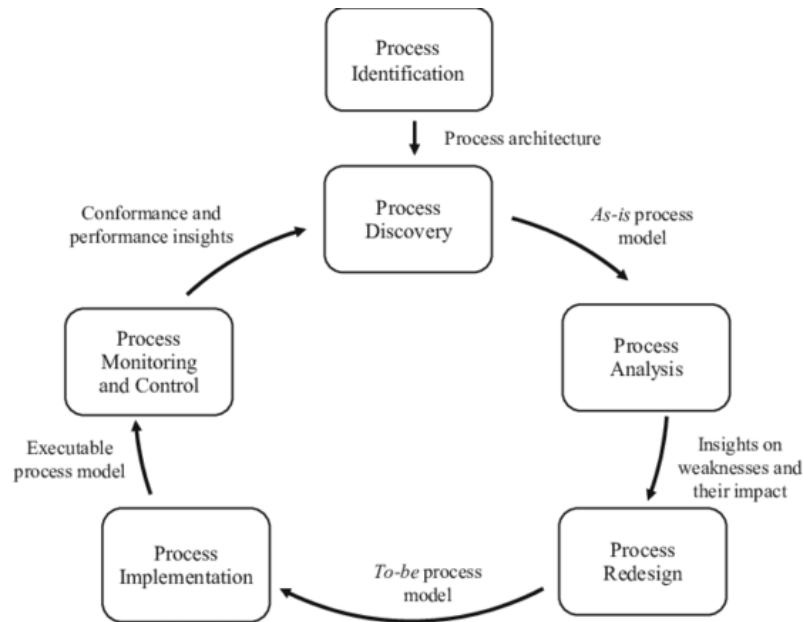
Fonte: Association of Business Process Management Professionals (2013).

Embora sua origem esteja associada a processos de negócio tradicionais, seus princípios de análise, modelagem e otimização são plenamente aplicáveis a processos de natureza técnico-científica. Nestes, o "valor" entregue se traduz em resultados de análise confiáveis, replicáveis e rastreáveis. A padronização do fluxo de trabalho torna-se, portanto, fundamental para eliminar variabilidades que possam comprometer a validade científica das conclusões, aumentando a reprodutibilidade dos resultados (Santos, 2019).

2.2.1 O Ciclo de Vida do BPM

A implementação do BPM é caracterizada por um ciclo contínuo e iterativo, que promove a melhoria constante dos processos. A abordagem mais consolidada na literatura, proposta por Dumas *et al.* (2018), estrutura este ciclo em seis fases interdependentes, conforme ilustrado na Figura 22.

Figura 22 – Ciclo de Vida BPM proposto por Dumas *et al.* (2018).



Fonte: Dumas *et al.* (2018).

Cada fase deste ciclo possui um objetivo claro e resulta em uma entrega específica, transformando gradualmente a compreensão sobre o processo em melhorias concretas. O Quadro 1 resume as principais características de cada etapa, desde a identificação inicial até o monitoramento contínuo, evidenciando a jornada estruturada desde o mapeamento até a otimização.

Quadro 1 – Resumo das fases, objetivos e entregas do Ciclo de Vida BPM.

Fase	Objetivo Principal	Principal Entrega
Identificação	Definir a arquitetura de processos e priorizar iniciativas.	Mapa de Processos
Modelagem AS-IS	Documentar o processo em seu estado atual.	Modelo AS-IS (BPMN)
Análise	Identificar gargalos, redundâncias e ineficiências.	Relatório de Análise
Redesenho TO-BE	Projetar uma versão otimizada do processo.	Modelo TO-BE (BPMN)
Implementação	Colocar o novo processo em prática.	Processo Operacional
Monitoramento	Acompanhar o desempenho e garantir a melhoria contínua.	Painel de Indicadores (KPIs)

Fonte: Adaptado de Dumas *et al.* (2018).

A interdependência entre essas fases demonstra o caráter evolutivo do BPM. O monitoramento contínuo, por exemplo, não representa apenas a conclusão do ciclo, mas também a fonte de novas percepções que podem reiniciar o processo de identificação e análise, assegurando que a otimização seja uma atividade perene e alinhada às constantes mudanças e necessidades da organização (Dumas *et al.*, 2018).

2.2.1.1 A Importância da Análise Qualitativa de Processos

Embora o monitoramento do desempenho por meio de métricas quantitativas seja uma parte essencial do BPM, a fase de análise de processos depende fundamentalmente de abordagens qualitativas, especialmente em fluxos de trabalho complexos ou de natureza intelectual. A análise qualitativa foca na identificação de problemas que não são facilmente mensuráveis, mas que impactam profundamente a eficiência e a eficácia do processo.

Isso inclui a identificação de causas-raiz de problemas, análise de valor agregado para distinguir atividades essenciais daquelas que geram desperdício, e a investigação de transferências de responsabilidade (handoffs) que podem gerar ambiguidades ou perda de informação. Essa investigação, por sua vez, segue um ciclo metodológico próprio, conforme mostra na Figura 23, que orienta desde a coleta e análise de conteúdo até a apresentação dos resultados para a tomada de decisão (QuestionPro, 2025).

Figura 23 – Etapas de Análise Qualitativa.



Fonte: QuestionPro (2025).

O ciclo demonstrado evidencia que a análise qualitativa não é um ato isolado, mas um processo iterativo que envolve a coleta de informações de diversas fontes, a análise aprofundada do conteúdo para extrair significados, a comparação dos achados com o conhecimento prévio e a consolidação dos resultados de forma objetiva. É por meio desse aprofundamento que se torna possível ir além da simples observação de um problema e investigar suas causas fundamentais.

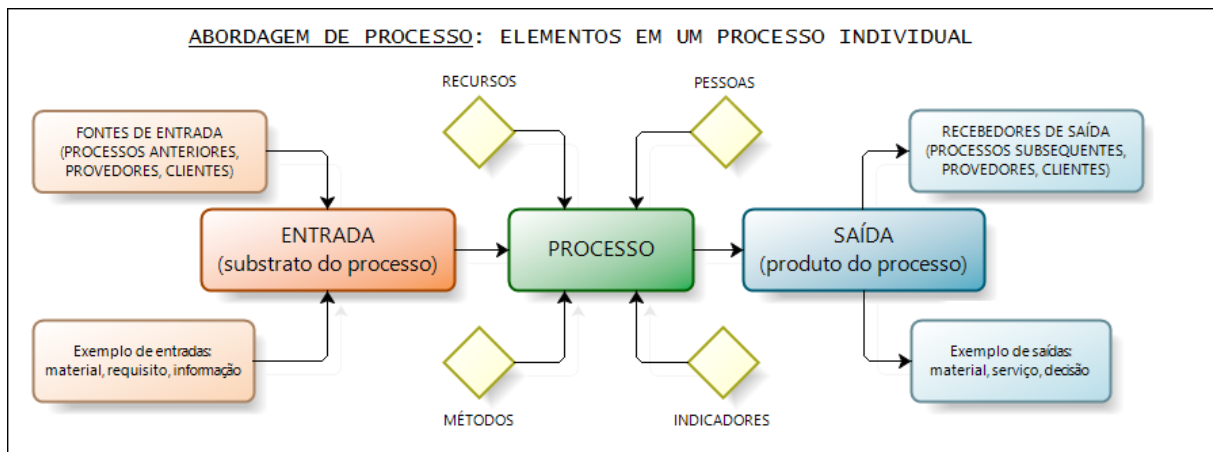
No contexto de processos técnico-científicos, como a análise de dados de engenharia, a abordagem qualitativa torna-se ainda mais crucial. Tais processos frequentemente dependem do conhecimento tácito e da experiência de especialistas, e a ausência de padronização pode introduzir variabilidades que comprometem a replicabilidade dos resultados.

Portanto, a análise qualitativa permite mapear e questionar o "porquê" de cada etapa, expondo fragilidades sistêmicas que métricas de tempo ou custo sozinhas não revelariam, alinhando-se ao objetivo de criar um fluxo de trabalho padronizado e robusto.

2.2.1.2 Identificação de Processos

A primeira fase consiste em um diagnóstico organizacional para identificar, nomear e delimitar os processos existentes. Eles são então categorizados e relacionados em uma arquitetura coerente conforme mostra a Figura 24, que permite uma priorização estratégica para direcionar os esforços de otimização às áreas de maior impacto para o negócio (Weske, 2012).

Figura 24 – Mapa de Processo com Base na Norma ISO 9001:2015.



Fonte: 8Quali (2025).

A estruturação de um mapa como o apresentado permite que a organização obtenha uma visão holística de suas operações, distinguindo claramente entre processos estratégicos (de gestão), processos centrais (de realização) e processos de suporte. Uma vez que essa arquitetura de alto nível é estabelecida e um processo específico é selecionado para otimização, o ciclo avança para a etapa seguinte: a investigação detalhada de seu funcionamento, materializada na modelagem do processo em seu estado atual (AS-IS) (Weske, 2012).

2.2.1.3 Modelagem do Processo Atual (AS-IS)

Esta etapa, frequentemente chamada de mapeamento de processos, envolve a criação de uma representação gráfica do processo em seu estado atual ("AS-IS"). O mapeamento é uma ferramenta que busca expor as informações de cada atividade, detalhando suas entradas, o processamento e suas saídas, a fim de criar uma base sólida para a análise (8Quali, 2025). A modelagem transforma o conhecimento tácito dos executores em uma documentação formal e inequívoca, que serve como um alicerce para a discussão entre as partes interessadas (Lottermann, 2021; Association of Business Process Management Professionals, 2013).

A documentação do estado "AS-IS" permite identificar gargalos, falhas e ausência de informações, sendo o primeiro passo para otimizações que visam a redução de tempo, o aumento da eficácia e a melhoria na interação entre setores (8Quali, 2025).

2.2.1.4 Análise de Processos

Com o modelo AS-IS definido, o ciclo BPM avança da fase descritiva para a diagnóstica. A análise de processos é a etapa em que se realiza um exame crítico do fluxo de trabalho mapeado, com o objetivo de identificar sistematicamente as fontes de ineficiência e as fragilidades que comprometem o seu desempenho. Esta fase é fundamental, pois transforma o mapa de processo de uma simples representação visual em uma ferramenta analítica para a tomada de decisão.

A análise pode empregar uma combinação de técnicas, tanto qualitativas quanto quantitativas. Embora a abordagem quantitativa se concentre em métricas como tempo de ciclo e custos, a análise qualitativa, foco deste trabalho, investiga a lógica e a natureza das atividades. Questiona-se, por exemplo, o valor que cada tarefa agrega ao resultado final, a clareza das regras de negócio e a necessidade de cada transferência de responsabilidade (*handoff*) entre os envolvidos.

O objetivo é encontrar problemas sistêmicos, que frequentemente se manifestam como (Dumas *et al.*, 2018):

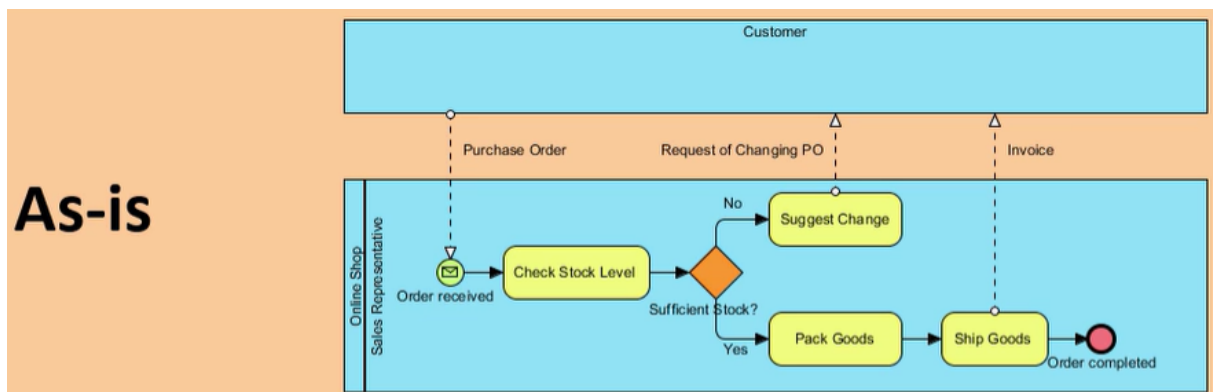
- **Gargalos:** Pontos no processo onde o fluxo de trabalho é restringido ou represso, gerando atrasos e sobrecarregando recursos específicos.
- **Atividades Redundantes:** Tarefas repetitivas ou desnecessárias que consomem tempo e esforço sem agregar valor ao produto final, como a reinserção manual de dados já existentes em outro sistema.
- **Handoffs Problemáticos:** A transferência de trabalho ou informação entre diferentes atores ou sistemas é um ponto de vulnerabilidade comum. Falhas na comunicação, informações incompletas ou atrasos nessas transições podem gerar erros em cascata e retrabalho.
- **Falta de Padronização:** Quando atividades semelhantes são executadas de maneiras diferentes por pessoas distintas, a variabilidade nos resultados aumenta, comprometendo a previsibilidade e a qualidade do processo.

A identificação e a documentação dessas fragilidades fornecem a base de evidências necessária para justificar e orientar a próxima fase do ciclo BPM: o redesenho do processo (TO-BE).

2.2.1.5 Redesenho do Processo (TO-BE)

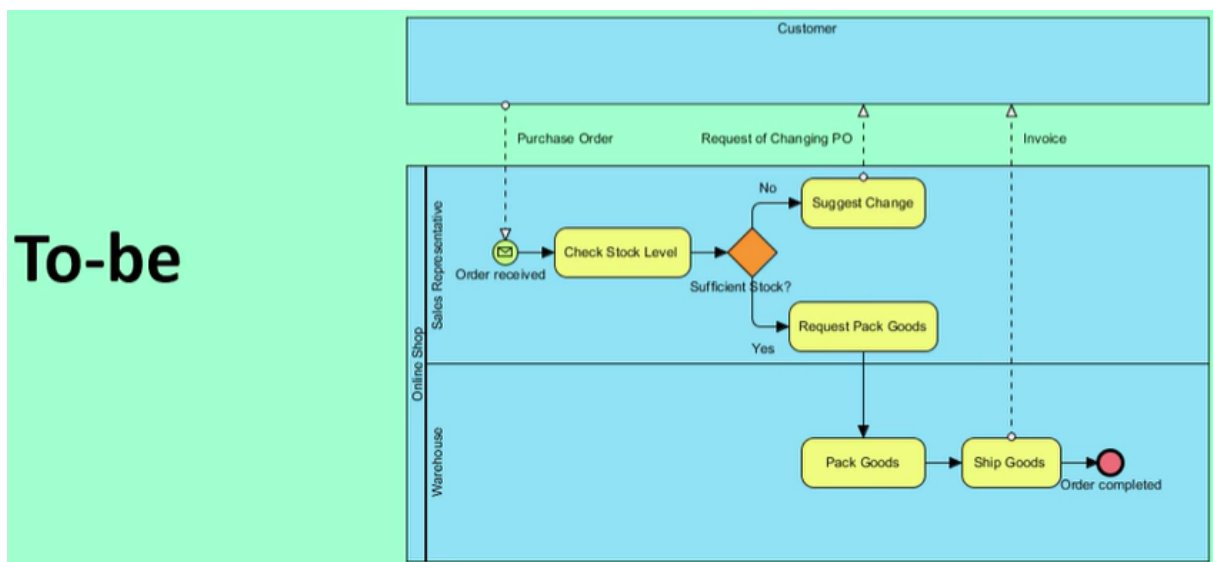
A fase de redesenho concentra-se na concepção de uma versão futura e otimizada do processo ("TO-BE"). O novo modelo é projetado para solucionar os problemas identificados na análise, podendo variar desde melhorias incrementais até uma reengenharia radical do fluxo de trabalho (Weske, 2012). As Figuras 25 e 26 exemplifica essa transição do estado atual para o futuro.

Figura 25 – Exemplo de aplicação AS-IS em processos.



Fonte: Adaptado de Visual Paradigm (2025).

Figura 26 – Exemplo de aplicação TO-BE em processos.



Fonte: Adaptado de Visual Paradigm (2025).

Essa reestruturação ilustra como o redesenho pode ir além de simples ajustes, envolvendo a redefinição de papéis e responsabilidades para promover especialização e eficiência. Uma vez que o modelo TO-BE é finalizado e aprovado, o foco do ciclo BPM se desloca da concepção para a ação, iniciando a fase de implementação, na qual o novo processo é efetivamente colocado em prática.

2.2.1.6 Implementação do Processo

A fase de implementação representa a transição do modelo teórico (TO-BE) para a prática operacional. Trata-se de uma etapa crítica que vai além da simples divulgação de um novo fluxograma, exigindo uma gestão de mudança organizacional e técnica cuidadosamente planejada. Do ponto de vista organizacional, a implementação envolve comunicar os benefícios do novo processo, treinar os colaboradores nas novas atividades e responsabilidades, e gerenciar possíveis resistências, garantindo que a equipe não apenas entenda, mas também adote o novo fluxo de trabalho.

Tecnicamente, a implementação pode abranger desde a reconfiguração de sistemas de informação existentes até o desenvolvimento de novas ferramentas ou a automação de etapas por meio de um Business Process Management System (BPMS). Um BPMS pode orquestrar o fluxo de trabalho, atribuir tarefas automaticamente e garantir que as regras de negócio sejam seguidas consistentemente, transformando o modelo de processo em uma aplicação executável (Dumas *et al.*, 2018). O sucesso desta fase não é medido pelo lançamento do processo, mas pela sua execução estável, correta e sustentada pela equipe.

2.2.1.7 Monitoramento e Controle

Após a implementação, o ciclo BPM entra em sua fase de vigilância contínua. O monitoramento e o controle são essenciais para garantir que o processo otimizado não apenas atinja os resultados esperados, mas também que seu desempenho se mantenha ou melhore ao longo do tempo. Esta etapa se materializa por meio da coleta e análise de indicadores-chave de desempenho (KPIs), que funcionam como "sinais vitais" da saúde do processo. Métricas como tempo de ciclo, taxa de erros, conformidade com os padrões e satisfação dos stakeholders são quantificadas e acompanhadas.

Os dados coletados são então comparados com as metas e os *benchmarks* estabelecidos durante a fase de redesenho. O "controle" consiste em definir limites de tolerância para esses KPIs e estabelecer ações claras caso o desempenho saia desses limites. Se desvios ou novas oportunidades de otimização forem identificados, os resultados do monitoramento servem como *input* para um novo ciclo de análise. Essa retroalimentação assegura a natureza evolutiva da gestão, consolidando a melhoria contínua como uma prática-padrão e não como um projeto com início, meio e fim (Association of Business Process Management Professionals, 2013).

2.2.2 Modelagem de Processos e a Notação BPMN

A modelagem de processos é a atividade central do BPM, que consiste em transformar o fluxo de atividades e informações em uma representação visual clara e precisa, utilizando uma linguagem padronizada (Lottermann, 2021). Entre as diversas notações existentes, a Business Process Model and Notation (BPMN) consolidou-se como o padrão de mercado. O Quadro 2 mostra um comparativo entre as principais notações, destacando suas características e aplicações mais comuns.

Quadro 2 – Comparativo entre as principais notações de modelagem de processos.

Notação	Descrição Sucinta	Aplicação Principal
BPMN	Padrão robusto com símbolos para diferentes públicos (negócio e TI).	Modelagem detalhada, simulação e preparação para automação de processos.
Fluxograma	Conjunto simples e intuitivo de símbolos, amplamente conhecido.	Representações de alto nível e fluxos simples para rápido entendimento.
EPC (Event-driven Process Chain)	Notação que considera eventos como gatilhos ou resultados de atividades.	Modelagem de processos complexos, especialmente em sistemas de gestão como o SAP.






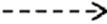
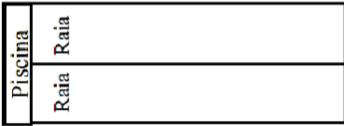


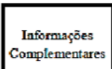
Fonte: Adaptado de Lottermann (2021) e Association of Business Process Management Professionals (2013).

A análise comparativa evidencia que, enquanto notações como o fluxograma priorizam a simplicidade e a rapidez na comunicação de fluxos de alto nível, o BPMN se destaca por sua robustez e versatilidade. Sua capacidade de atender tanto a analistas de negócio quanto a equipes de tecnologia, aliada ao suporte para simulação e automação, justifica sua consolidação como o padrão de fato para a disciplina de BPM, sendo a notação adotada neste trabalho para a modelagem dos processos de análise de dados.

2.2.2.1 Principais Elementos da Notação BPMN

Para permitir uma representação clara e padronizada dos processos, a notação BPMN organiza seus diversos símbolos em um conjunto intuitivo de categorias, conforme ilustrado previamente na Figura 27.

Figura 27 – Categorias e elementos utilizados pela notação BPMN.

Objetos de Fluxo			
	Evento	Atividade	Gateway/gatilho
Conexões			
	Fluxo de Sequência	Fluxo de Mensagem	Associação
Piscinas e Raias			
Artefatos			
	Objeto de Dados	Grupo	Anotações

Fonte: Lira e Eleutério (2022).

O domínio desses elementos é essencial para a correta modelagem e interpretação de um fluxo de trabalho. As categorias e seus principais componentes, com base em Dumas *et al.* (2018) e no guia da Association of Business Process Management Professionals (2013), são:

- **Objetos de Fluxo (Flow Objects):** Constituem os elementos centrais que definem o comportamento do processo. São eles:
 - *Eventos:* Representam algo que acontece durante o processo de início, fim ou recebimento de uma mensagem. São modelados como círculos.
 - *Atividades:* Indicam um trabalho a ser executado, como uma tarefa ou um subprocesso. São representadas por retângulos com cantos arredondados.
 - *Gateways:* Simbolizam pontos de desvio e convergência no fluxo, representando decisões, paralelismos ou junções. São modelados como losangos.
- **Objetos de Conexão (Connecting Objects):** São as linhas que conectam os Objetos de Fluxo entre si, mostrando a direção e a lógica do processo. Incluem o Fluxo de Sequência (indica a ordem das atividades), o Fluxo de Mensagem (mostra a comunicação entre participantes distintos) e a Associação (liga um artefato a um objeto de fluxo).
- **Piscinas (Pools) e Raias (Lanes):** São elementos organizacionais. Uma Piscina representa um participante principal no processo como uma empresa ou um cliente. As Raias, por sua vez, são subdivisões dentro de uma piscina que repre-

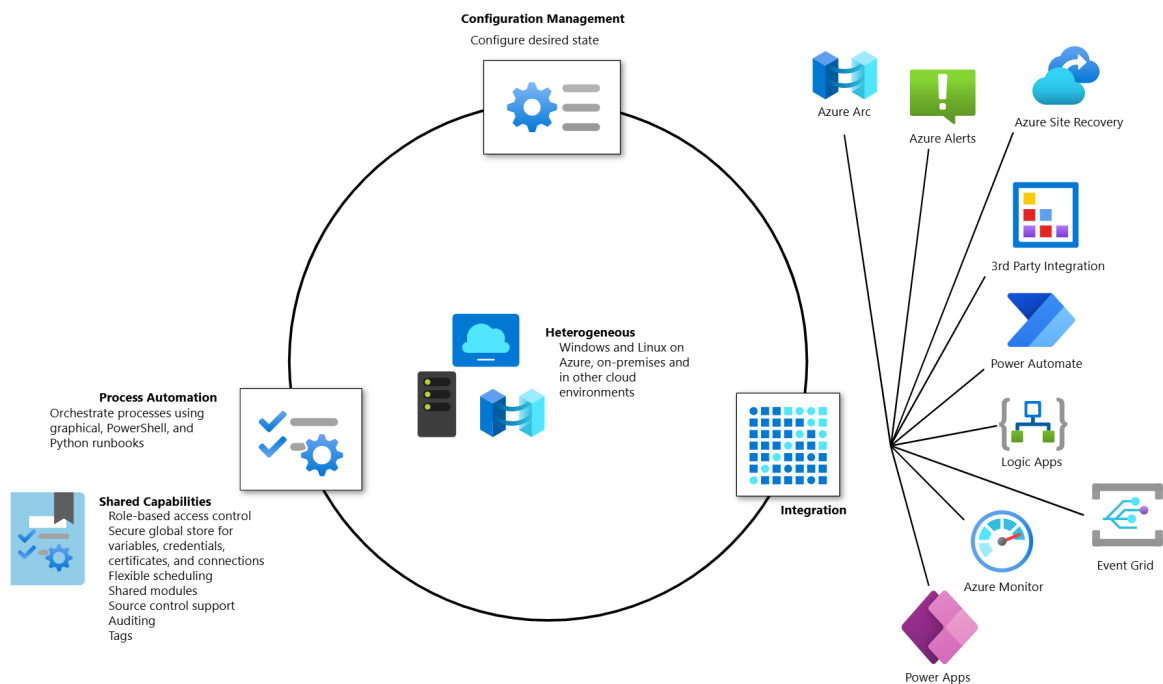
sentam papéis ou departamentos específicos (Association of Business Process Management Professionals, 2013).

- **Artefatos (Artifacts):** São utilizados para adicionar informações adicionais e contextuais ao modelo, sem afetar diretamente o fluxo do processo. Os principais são os Objetos de Dados (representam dados necessários ou produzidos por uma atividade) e as Anotações (permitem a inclusão de comentários explicativos no diagrama) (Dumas *et al.*, 2018).

2.2.3 Tecnologias de Virtualização em BPM

A disciplina de BPM continua a evoluir, transcendendo a automação tradicional para incorporar tecnologias emergentes e novas abordagens de trabalho centradas no ser humano (Bartlett *et al.*, 2025). Dentre as tendências, destacam-se a virtualização de recursos e o work design. A virtualização, exemplificada por plataformas como a Área de Trabalho Virtual do Azure utiliza ciclo conforme mostra a Figura 28, permite a criação de ambientes de trabalho e interfaces colaborativas que não dependem de uma localização física, oferecendo flexibilidade e escalabilidade aos processos (Poppe *et al.*, 2017; Microsoft, 2024).

Figura 28 – Ciclo de Gerenciamento Azure



Fonte: Microsoft (2024).

Paralelamente, o work design foca na experiência do colaborador ao desenhar os processos, buscando criar sistemas e fluxos de trabalho que sejam intuitivos, ergonômicos e que promovam a satisfação e a adoção por parte dos usuários (Bartlett *et al.*, 2025).

Adicionalmente, a integração da Inteligência Artificial (IA) representa a mais disruptiva das tendências recentes, impulsionando o que é conhecido como hiperautomação. A IA potencializa o BPM em diversas frentes: permite a automação de decisões complexas baseada em análise de dados, otimiza a alocação de recursos em tempo real e possibilita o monitoramento preditivo, onde algoritmos podem prever gargalos ou falhas antes que ocorram.

Técnicas como a Mineração de Processos (Process Mining), por exemplo, utilizam IA para analisar logs de sistemas e descobrir como os processos realmente são executados na prática, permitindo uma análise muito mais precisa e uma otimização contínua e orientada por dados (Di Francescomarino *et al.*, 2020).

O Quadro 3 sintetiza essas três abordagens, descrevendo seu foco principal e o impacto transformador que cada uma exerce sobre a disciplina de Gerenciamento de Processos de Negócio.

Quadro 3 – Tecnologias emergentes e seu impacto no Gerenciamento de Processos de Negócio.

Tecnologia/Abordagem	Descrição	Impacto no BPM
Virtualização de Recursos	Criação de ambientes de trabalho e colaboração que não dependem de uma localização física, como a Área de Trabalho Virtual do Azure (Microsoft, 2024).	Aumenta a flexibilidade, a escalabilidade e a resiliência dos processos, permitindo a operação remota e distribuída.
Work Design	Abordagem de desenho de processos focada na experiência do usuário (colaborador), buscando criar fluxos de trabalho intuitivos e ergonômicos (Bartlett <i>et al.</i> , 2025).	Melhora a adoção das ferramentas, reduz a curva de aprendizado, aumenta a satisfação e diminui a probabilidade de erros humanos.
Inteligência Artificial (IA)	Aplicação de algoritmos para automatizar decisões, prever resultados e descobrir padrões em dados de processos como de Mineração de Processos (Di Francescomarino <i>et al.</i> , 2020).	Permite a hiperautomação, o monitoramento preditivo de falhas, a otimização dinâmica de recursos e a descoberta de como os processos realmente são executados.

Fonte: Autor (2025).

Conforme resumido no Quadro 3, a integração dessas tecnologias e abordagens, virtualização, work design e inteligência artificial, representa a evolução do BPM para um sistema de gestão mais flexível, inteligente e centrado no humano. Juntas, elas capacitam as organizações a não apenas automatizar e otimizar fluxos de trabalho, mas também a criar processos resilientes, adaptáveis e que valorizam a experiência dos colaboradores que os executam.

3 METODOLOGIA

Este capítulo detalha os procedimentos metodológicos adotados para o alcance dos objetivos propostos, caracterizando a natureza da pesquisa, definindo o objeto de estudo e descrevendo as etapas sequenciais de mapeamento, análise e proposição do modelo de processo otimizado.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

Este trabalho configura-se como uma pesquisa de natureza aplicada, pois visa gerar conhecimentos práticos para a solução de um problema específico: os desafios quanto à padronização na análise de dados de geometria ferroviária. Quanto aos seus objetivos, a pesquisa é classificada como descritiva e explicativa, uma vez que não apenas descreve as características do processo de análise de dados como ele ocorre atualmente, mas também busca explicar os fatores que podem comprometer sua eficiência e replicabilidade (Prodanov; Freitas, 2013).

A abordagem metodológica adotada é de natureza qualitativa. Essa escolha se justifica pela necessidade de compreender em profundidade um processo que envolve etapas de interpretação de padrões e tomada de decisão especializada. A pesquisa qualitativa é particularmente adequada para explorar as percepções, os comportamentos e as nuances de um fluxo de trabalho complexo que não poderia ser plenamente compreendido apenas por meio de métricas quantitativas (QuestionPro, 2025).

Em termos de procedimentos técnicos, o trabalho classifica-se como um estudo de caso, fundamentado por uma extensa revisão bibliográfica. Este método permite a investigação de um fenômeno contemporâneo, o processo de análise de dados de geometria, dentro de seu contexto real, o que é essencial para garantir a validade e a aplicabilidade dos resultados (Prodanov; Freitas, 2013).

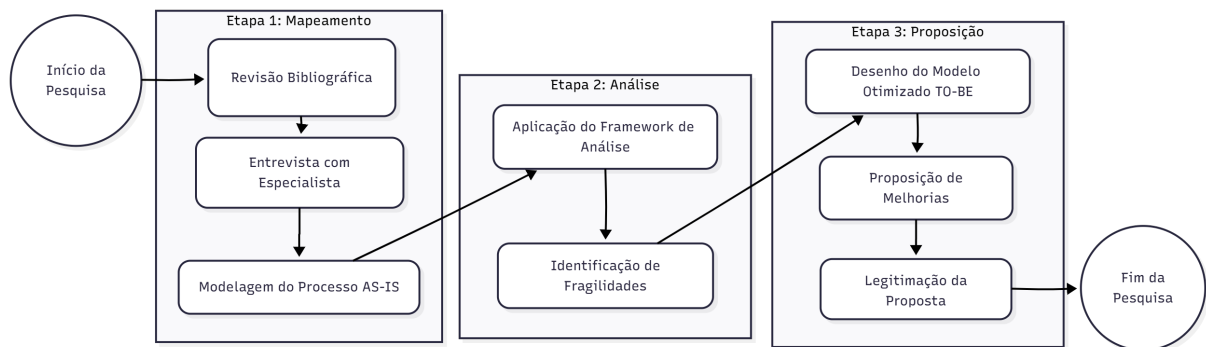
3.2 OBJETO DE ESTUDO

O objeto de estudo desta pesquisa é o processo de análise de dados de defeitos de geometria ferroviária, conforme a prática executada pela empresa Nomadlog e cujos resultados foram documentados no trabalho de Hoepers (2024). O foco recai especificamente sobre as etapas que sucedem a coleta de dados brutos, abrangendo o tratamento, a filtragem, a classificação de criticidade e a interpretação qualitativa que fundamenta o diagnóstico da via.

3.3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

A execução da pesquisa foi estruturada em três etapas sequenciais, adaptadas do ciclo de vida BPM e tendo como referência a abordagem metodológica de Lottermann (2021) para a análise e melhoria de processos. A Figura 29 ilustra o fluxo de trabalho completo desta pesquisa, demonstrando o percurso desde o levantamento inicial até a proposição do modelo otimizado.

Figura 29 – Fluxograma das etapas metodológicas da pesquisa.



Fonte: Autor (2025).

As etapas, detalhadas nas subseções seguintes, consistiram no mapeamento do processo atual (AS-IS), na sua análise crítica para identificação de fragilidades e, por fim, na proposição de um modelo otimizado (TO-BE).

3.3.1 Mapeamento do Processo Atual (AS-IS)

A primeira etapa consistiu no mapeamento detalhado do estado atual do processo de análise de dados, cujas atividades de levantamento ocorreram entre os meses de julho e agosto de 2025. Tendo em vista que o trabalho de Hoepers (2024) foca nos resultados e não na descrição pormenorizada do fluxo de trabalho, o levantamento inicial foi robustecido por meio da realização de uma entrevista pessoal em profundidade com um Analista Ferroviário, seguindo um roteiro semiestruturado, conforme apresentada no Apêndice A. Esse procedimento permitiu capturar o conhecimento das etapas informais que compõem a rotina de análise.

As informações coletadas foram, então, estruturadas e traduzidas em um modelo de processo formal, utilizando a notação BPMN (*Business Process Model and Notation*). O mapeamento AS-IS abrangeu a identificação de todas as atividades, os pontos de decisão, as entradas (relatórios de exceções), as saídas (diagnósticos de criticidade), os papéis envolvidos e as ferramentas utilizadas, estabelecendo uma base inequívoca para a fase de análise.

3.3.2 Análise Crítica do Processo

Com o modelo AS-IS estabelecido, procedeu-se à análise crítica do fluxo de trabalho. Esta etapa teve como objetivo aplicar os princípios do BPM para identificar fragilidades e oportunidades de melhoria. A análise foi conduzida sob a ótica de critérios qualitativos, como a clareza, a padronização, a robustez e a replicabilidade do processo.

Foram investigados pontos como:

- **Dependência de conhecimento tácito:** atividades que dependem excessivamente da experiência individual do analista, sem critérios formalizados.
- **Ausência de padronização:** falta de procedimentos claros para a execução de tarefas, o que pode introduzir variabilidade nos resultados.
- **Pontos de ambiguidade:** etapas do processo cujos critérios de decisão não são explícitos.
- **Atividades que comprometem a replicabilidade:** falta de documentação ou de rastreabilidade das decisões tomadas durante a análise.

Os problemas identificados foram categorizados e priorizados conforme seu potencial impacto na qualidade e confiabilidade do diagnóstico final.

3.3.3 Proposição do Modelo Otimizado (TO-BE)

A etapa final do trabalho consistiu no desenvolvimento de uma versão otimizada do processo, o modelo TO-BE. A concepção deste modelo tomou como ponto de partida o framework de análise e melhoria proposto por Lottermann (2021). Contudo, não se tratou de uma aplicação direta da metodologia; foi necessário um processo de adequação ao contexto técnico-científico da análise de dados de geometria, filtrando elementos aplicáveis e adicionando novas atividades e pontos de verificação para endereçar as fragilidades específicas identificadas na análise AS-IS.

O modelo TO-BE resultante visa, portanto, aumentar a padronização das análises qualitativas, clarificar os critérios decisórios e introduzir verificações que elevem a robustez e a confiabilidade do processo. As alterações propostas buscam transformar o fluxo de trabalho em um procedimento mais sistemático, menos suscetível a variações individuais e mais facilmente auditável e replicável, garantindo que os resultados possam ser consistentemente alcançados.

3.4 FERRAMENTAS UTILIZADAS

Para a modelagem dos processos AS-IS e TO-BE, foi utilizada a ferramenta de software Bizagi Modeler. A escolha desta plataforma justifica-se por seu suporte integral à notação BPMN (Business Process Model and Notation), que é o padrão de mercado para a representação de processos de negócio. Adicionalmente, foi empregada a ferramenta Mermaid para a geração de fluxogramas que apoiaram a estruturação visual das etapas metodológicas conforme, Apêndices B e C.

O Bizagi Modeler permitiu não apenas a criação de diagramas visualmente claros e padronizados, mas também a documentação detalhada de cada atividade, ator e regra de negócio, centralizando as informações do mapeamento em um único repositório.

Do ponto de vista analítico, a investigação não se limitou à aplicação de um software. A análise crítica do processo foi fundamentada nos princípios teóricos do Gerenciamento de Processos de Negócio (BPM) e nas melhores práticas de modelagem técnico-científica, conforme a literatura de referência.

Isso significa que, para além da modelagem, foram aplicados conceitos como a identificação de *handoffs*, a análise de valor agregado de cada etapa e a busca por gargalos e redundâncias. Portanto, as ferramentas (Bizagi e Mermaid) serviram como o meio para registrar e visualizar o processo, enquanto o arcabouço teórico do BPM forneceu a lente crítica para analisá-lo e propor melhorias fundamentadas.

4 APRESENTAÇÃO DE DADOS E MAPEAMENTO DO PROCESSO (AS-IS)

Este capítulo dedica-se a apresentar os dados levantados para a pesquisa, que consistem no mapeamento do processo de inspeção de geometria de via como executado atualmente. Conforme delineado na Metodologia, a construção deste modelo de processo, denominado AS-IS, fundamenta-se na análise do trabalho de Hoepers (2024), complementada por uma entrevista pessoal realizada diretamente com o Analista Ferroviário, transcrita no Apêndice A, para aprofundar o entendimento das etapas operacionais da empresa Nomadlog, e por pesquisas em fontes públicas sobre a tecnologia empregada. O resultado é a descrição detalhada do fluxo de trabalho, dos atores envolvidos e das ferramentas utilizadas, servindo como base para a análise crítica e a proposição de melhorias no capítulo subsequente.

4.1 O ESTUDO DE CASO: A EMPRESA E O PROCESSO-ALVO

Para atender aos objetivos propostos e investigar a aplicação da metodologia BPM em um contexto real, este trabalho foi estruturado como um estudo de caso. O estudo de caso, como método de pesquisa, permite uma investigação aprofundada de um fenômeno contemporâneo dentro de seu ambiente autêntico, sendo particularmente adequado para pesquisas de natureza exploratória, onde o objetivo é compreender as complexidades e as particularidades de um processo específico.

A organização selecionada como objeto de estudo é a Nomadlog, uma empresa de tecnologia consolidada no setor ferroviário brasileiro e integrante do Grupo Brastane. Fundada em 2012, a Nomadlog conta com mais de uma década de experiência no mercado, posicionando-se na vanguarda da coleta de dados geométricos com um corpo técnico de aproximadamente 10 colaboradores em 2025. A empresa especializou-se em serviços de inspeção de via permanente por meio de "carros controle", gerando um grande volume de informações que demandam um processo de análise robusto e sistemático.

O foco do estudo não é a empresa em sua totalidade, mas sim um processo técnico específico e de alta relevância: o fluxo de trabalho para análise e diagnóstico dos dados de defeitos geométricos. Este processo, detalhado no trabalho de Hoepers (2024), representa um exemplo ideal para a aplicação do BPM, pois, embora tecnicamente sofisticado, carece da formalização e padronização no qual um gerenciamento de processos pode oferecer. Ao aprofundar a análise sobre como a Nomadlog executa essa tarefa, a pesquisa busca não apenas mapear um fluxo de trabalho, mas também explorar as oportunidades de otimização, justificando assim seu caráter exploratório e a relevância prática do estudo de caso.

A seção a seguir detalha o funcionamento dessa operação, estabelecendo o ponto de partida para o mapeamento do processo em seu estado atual (AS-IS).

4.2 CONTEXTUALIZAÇÃO DA OPERAÇÃO DE INSPEÇÃO

A gestão da manutenção da via permanente é um pilar para a segurança e a eficiência da operação ferroviária. A evolução das práticas de manutenção tem migrado de um modelo puramente corretivo (reparar após a falha) para um modelo preventivo (intervenções em intervalos fixos) e, mais recentemente, para um modelo preditivo, que busca antecipar falhas com base na análise de dados e tendências de degradação (Junqueira *et al.*, 2023). Neste novo paradigma, a inspeção automatizada é o instrumento basilar que fornece os dados necessários para essa transição.

O processo da Nomadlog, objeto deste estudo, exemplifica essa abordagem moderna. Ele substitui a "ronda de linha" inspeção manual de baixa eficiência por um "carro controle" rodoferroviário. Este veículo especializado, equipado com sistemas de medição a laser, sensores inerciais, giroscópios e GPS, captura um modelo digital tridimensional da via com alta precisão e a velocidades de até 50 km/h, minimizando a interferência no tráfego (Hoepers, 2024; Brastan, 2019).

4.3 ATORES E RESPONSABILIDADES

A execução do processo de inspeção de dados geométricos é uma atividade complexa que transcende a simples operação de um veículo. Ela envolve uma equipe multidisciplinar, com papéis e responsabilidades bem definidos, cuja coordenação é essencial para garantir tanto a segurança da operação em campo quanto a qualidade e a integridade dos dados coletados. O sucesso do levantamento depende da sinergia entre as funções técnicas, focadas na operação dos equipamentos de medição, e as funções de suporte logístico e de segurança, que gerenciam a interface com a infraestrutura ferroviária e a concessionária cliente. O Quadro 4 detalha os principais atores envolvidos no processo e suas respectivas atribuições.

Quadro 4 – Atores e suas Responsabilidades no Processo de Inspeção.

Ator	Descrição das Responsabilidades
Condutor do Veículo	Responsável por conduzir o carro controle em modo rodoviário até o ponto de início da inspeção, realizar o encarrilhamento e operar o veículo sobre a via durante a medição.
Inspetor de Via (Operador do Sistema)	Técnico especializado que opera o sistema de aquisição de dados no interior do veículo. É responsável por calibrar os equipamentos, monitorar a qualidade do sinal, analisar os gráficos em tempo real e realizar a verificação inicial de defeitos críticos para evitar "falsos positivos" (Hoepers, 2024).
Licenciador de Via (Funcionário da ferrovia)	Responsável pela comunicação contínua com o Centro de Controle Operacional (CCO) da ferrovia. Informa a posição exata do veículo na malha, solicita autorização para ocupar a via e garante que a operação siga os regulamentos de segurança da concessionária.
Gestor da Via (Cliente)	Representante da concessionária ferroviária que contrata o serviço. Frequentemente acompanha a inspeção para auditar a qualidade da execução, validar a criticidade de defeitos encontrados em campo e tomar decisões imediatas em casos de anomalias graves que possam exigir uma interdição da via.

Fonte: Autor (2025).

A análise do Quadro 4 evidencia a natureza colaborativa e a interface crítica entre contratada e contratante. Fica claro que a equipe da Nomadlog (Condutor e Inspetor) forma o núcleo técnico de medição, enquanto o Licenciador de Via, geralmente um funcionário da concessionária ou ferrovia, atua como o elo de segurança operacional e comunicação com o Centro de Controle.

Em paralelo, a presença do Gestor da Via Permanente, como representante do cliente, estabelece uma ponte crucial entre a prestação do serviço e a tomada de decisão. Essa interação em tempo real é um diferencial do processo, pois permite a validação imediata dos achados e confere maior agilidade e confiabilidade ao diagnóstico, transformando a inspeção em um evento dinâmico de auditoria e análise conjunta.

4.4 MAPEAMENTO DAS ETAPAS DO PROCESSO AS-IS

A partir das informações levantadas, o processo de inspeção foi decomposto em três fases principais: planejamento e preparação da missão, execução da inspeção em campo, e tratamento e disponibilização dos dados.

4.4.1 Planejamento e Preparação da Missão

Antes do deslocamento para campo, ocorre uma fase de preparação crucial. O inspetor de via é responsável por carregar no sistema embarcado do veículo o "plano de regras" específico para o trecho que será inspecionado. Este plano contém os limites de tolerância para cada tipo de defeito geométrico, alinhados à classe da via (conforme ABNT NBR 16387) e às especificações da operadora. Além disso, dados de inspeções anteriores podem ser carregados para permitir a comparação e análise evolutiva de defeitos já conhecidos. A calibração dos sensores a laser e do sistema inercial também é realizada nesta fase para garantir a acurácia das medições.

4.4.2 Execução da Inspeção em Campo

Com o veículo encarrilhado e a licença de via concedida pelo CCO, a medição é iniciada. Durante o percurso, o inspetor monitora ativamente a aquisição de dados em telas que exibem gráficos dos parâmetros geométricos em tempo real. O software embarcado emite alertas visuais sempre que um parâmetro excede os limites definidos no plano de regras.

O fluxo de trabalho varia com o contexto operacional:

- **Ferrovias de Carga:** Para minimizar o impacto, a inspeção é frequentemente realizada na "cauda" de um trem de carga, aproveitando a janela operacional.
- **Metrôs e Vias Urbanas:** As inspeções são realizadas na madrugada, em janelas de tempo curtas, exigindo máxima eficiência da equipe.
- **Terminais Portuários:** A operação exige um planejamento logístico mais complexo e burocrático, devido à intensa movimentação de trens de múltiplas operadoras.

Durante a medição, o inspetor também anota eventos relevantes no software, como a passagem por Aparelhos de Mudança de Via (AMVs), Passagens em Nível (PNs) ou obras de arte, para contextualizar as leituras. Caso o sistema identifique um defeito de alta severidade (P0 - Interdição), o protocolo de verificação é iniciado: o inspetor comunica o achado ao condutor e ao responsável do cliente.

Caso o sistema identifique um defeito de alta severidade (P0 - Interdição), o protocolo de verificação é iniciado imediatamente: o inspetor comunica o achado ao condutor e ao responsável do cliente. O veículo é imobilizado para que a equipe realize uma medição manual no local, em conformidade com a norma ABNT NBR 16387, buscando conciliar a precisão dos métodos manuais com a leitura automatizada. Esta validação cruzada é fundamental para a tomada de decisão. Já para defeitos de severidade "P1", a decisão de parada é avaliada caso a caso, considerando o histórico do local e o impacto operacional, conforme julgamento técnico em tempo real.

4.4.3 Tratamento, Disponibilização e Análise dos Dados

Alguns "carros controle" são equipados com internet via satélite, permitindo que os dados validados sejam transmitidos em tempo real para uma plataforma web, com a limitação em algumas regiões devido a falta de sinal conforme informado na entrevista presente no Apêndice A. O gestor do cliente e sua equipe de manutenção podem, assim, acompanhar o "diagnóstico" da via remotamente. O resultado imediato da inspeção é a geração de um **relatório de exceções**, um documento detalhado que lista cada defeito com sua localização quilométrica precisa, valor máximo, extensão e classificação de criticidade (Hoepers, 2024).

Este relatório serve a dois propósitos principais:

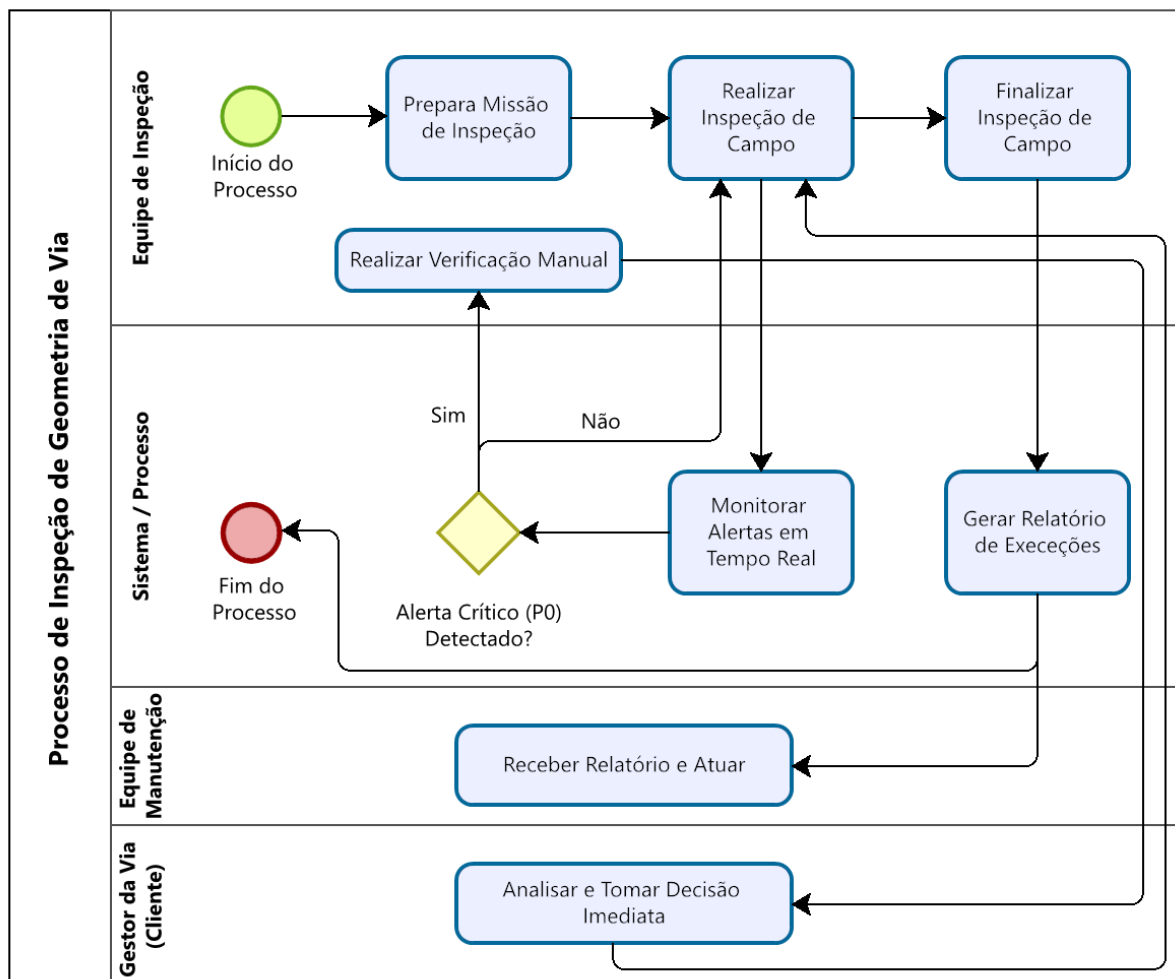
1. **Ação Corretiva Imediata:** As equipes de manutenção utilizam o relatório para priorizar os reparos mais urgentes, com base na criticidade (PO e P1).
2. **Análise Preditiva:** Os dados de cada inspeção alimentam um banco de dados histórico. A análise da evolução de um mesmo defeito ao longo de múltiplas medições permite calcular sua taxa de degradação. Com essa informação, os engenheiros de manutenção podem prever quando o defeito atingirá um limite crítico e programar a intervenção de forma otimizada, caracterizando a manutenção preditiva (Silva; Costa, 2020).

4.5 O MODELO BPMN DO PROCESSO AS-IS

Com base na descrição funcional detalhada, foi elaborado o modelo formal do processo de inspeção utilizando a notação BPMN. O diagrama, apresentado na Figura 30, ilustra o fluxo de trabalho ponta a ponta, as interações entre os diferentes atores e os principais pontos de decisão. O fluxograma foi gerado no programa Bizagi conforme apresentado no Apêndice D.

O modelo BPMN organiza o fluxo de trabalho em quatro raias (lanes) horizontais. Cada raia representa um participante ou sistema envolvido no processo, delimitando suas responsabilidades e atividades. As raias identificadas são: "Equipe de Inspeção", "Sistema / Processo", "Gestor da Via (Cliente)" e "Equipe de Manutenção".

Figura 30 – Modelo BPMN do processo de inspeção de geometria de via (AS-IS).



Fonte: Autor (2025).

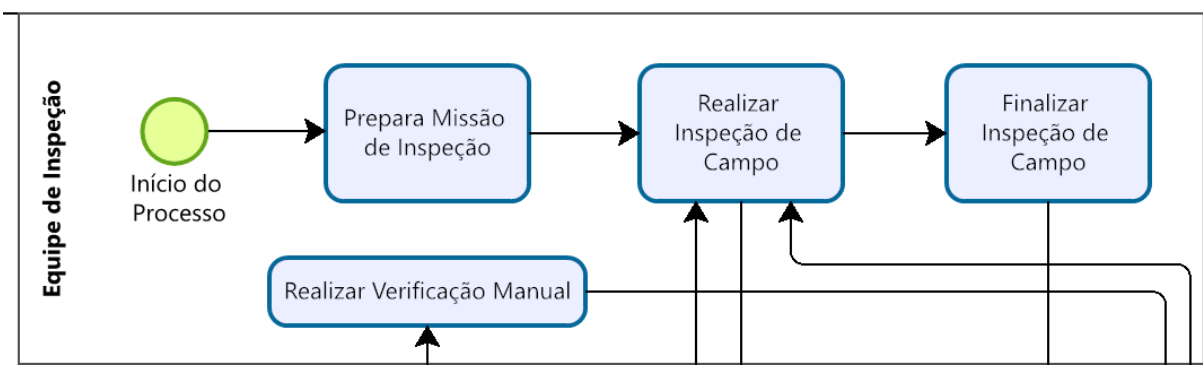
Para uma compreensão aprofundada, as seções a seguir detalham o fluxo de atividades dentro de cada um desses agrupamentos.

4.5.1 Raia da Equipe de Inspeção

A raia "Equipe de Inspeção", conforme destacada na Figura 31, representa o núcleo operacional da equipe da Nomadlog em campo. O processo tem seu início formal (evento de início) nesta raia, com a atividade "Preparar Missão de Inspeção", que, conforme descrito, envolve a calibração dos sensores e o carregamento do "plano de regras" específico do trecho (Hoepers, 2024). A atividade central é a "Realizar Inspeção em Campo", que representa o deslocamento do veículo enquanto os dados são coletados. Esta raia também contém uma atividade humana crucial, "Realizar Verificação Manual", que é disparada apenas quando um alerta crítico é identificado pelo sistema.

- **Início (Evento):** Marca o ponto de partida do processo.
- **Preparar Missão de Inspeção (Atividade):** Calibração dos sensores e carregamento do plano de regras da via.
- **Realizar Inspeção em Campo (Atividade):** Condução do veículo e monitoramento da coleta de dados.
- **Realizar Verificação Manual (Atividade):** Validação humana em campo, acionada por um alerta crítico do sistema.
- **Finalizar Inspeção de Campo (Atividade):** Conclui a etapa de coleta de dados no trecho.

Figura 31 – Detalhe da raia "Equipe de Inspeção" no modelo AS-IS.



Fonte: Autor (2025).

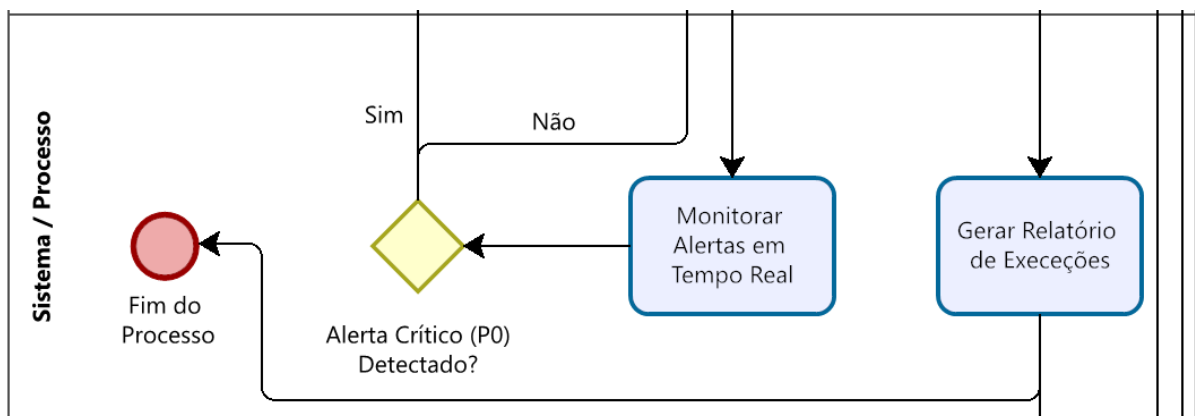
As atividades da equipe de inspeção ocorrem em conjunto com as ações do software embarcado, cujo fluxo é detalhado na próxima seção.

4.5.2 Raia do Sistema / Processo

Paralelamente à equipe humana, a raia "Sistema / Processo", conforme detalhado na Figura 32, descreve as ações executadas pelo software embarcado no carro controle. Sua função primária é "Monitorar Alertas em Tempo Real". Esta raia contém o principal ponto de decisão (gateway) do fluxo: "Alerta Crítico (P0) detectado?". Se a resposta for "Não", o fluxo retorna à atividade de inspeção. Se "Sim", o sistema comanda a necessidade da verificação manual. Além disso, após a "Finalização da Inspeção de Campo" pela equipe, é o sistema que executa a tarefa final de "Gerar Relatório de Exceções", que por sua vez é entregue à "Equipe de Manutenção" e marca o fim do processo de inspeção (evento de fim).

- **Monitorar Alertas em Tempo Real (Atividade):** O software compara os dados medidos com os limites do plano de regras.
- **Alerta Crítico (P0) detectado? (Gateway):** Ponto de decisão que desvia o fluxo caso um defeito de alta gravidade seja encontrado.
- **Gerar Relatório de Exceções (Atividade):** Consolida todos os desvios e anomalias identificados na inspeção.
- **Fim do Processo (Evento):** Marca a conclusão do processo e a entrega do relatório.

Figura 32 – Detalhe da raia "Sistema / Processo" no modelo AS-IS.



Fonte: Autor (2025).

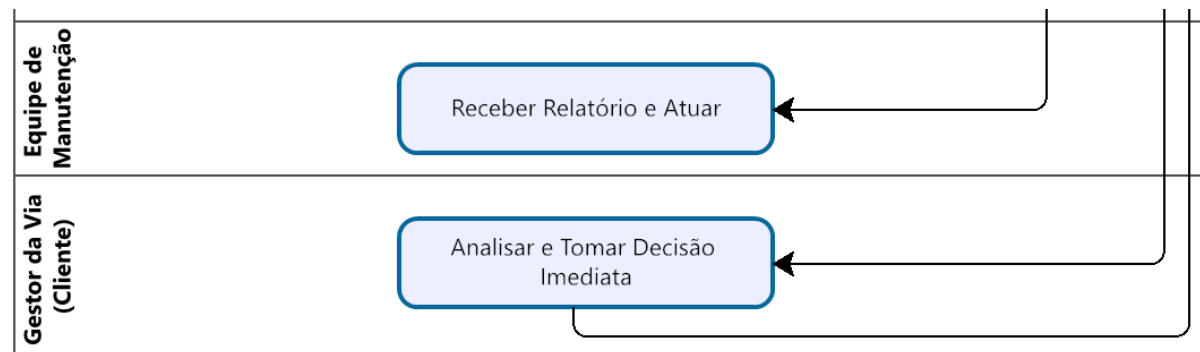
Este fluxo de sistema e inspeção gera os dados que serão consumidos pelos representantes do cliente, como descrito a seguir.

4.5.3 Raias dos Stakeholders (Cliente)

As duas raias superiores, conforme ilustrado na Figura 33, representam os *stakeholders* externos pertencentes à concessionária ferroviária cliente. O "Gestor da Via (Cliente)" é acionado em um momento crítico e específico: ele recebe a "Comunicação Verbal" da equipe de inspeção após a confirmação de um defeito grave. Sua responsabilidade é "Analisar e Tomar Decisão Imediata", que pode incluir a interdição da via (Hoepers, 2024). A "Equipe de Manutenção", por sua vez, é a consumidora final do processo; ela é responsável por "Receber Relatório e Atuar" sobre os defeitos listados no relatório de exceções gerado pelo sistema.

- **Gestor da Via (Cliente):**
 - **Analisar e Tomar Decisão Imediata (Atividade):** Responsabilidade de alto nível como a ação de interditar a via, baseada na comunicação verbal da equipe de inspeção.
- **Equipe de Manutenção (Cliente):**
 - **Receber Relatório e Atuar (Atividade):** Utiliza o Relatório de Exceções para planejar e executar as correções em campo.

Figura 33 – Detalhe das raias "Gestor da Via (Cliente)" e "Equipe de Manutenção".



Fonte: Autor (2025).

A decomposição do modelo AS-IS em raias evidencia a forte interdependência entre a tecnologia de medição (Sistema) e a validação humana (Equipe de Inspeção). Fica explícito que os pontos mais críticos do processo, como a validação de um defeito P0 e a comunicação para interdição da via, dependem de atividades manuais e canais de comunicação informais (verbais). Esta constatação é fundamental, pois aponta para as principais fragilidades do processo atual, que serão o foco da análise crítica e das propostas de melhoria detalhadas no capítulo subsequente.

5 ANÁLISE DO PROCESSO E PROPOSIÇÃO DO MODELO OTIMIZADO (TO-BE)

Com o processo de inspeção de geometria de via devidamente mapeado em seu estado atual (AS-IS), este capítulo avança para a fase de análise crítica e proposição de melhorias, constituindo o núcleo deste estudo de caso. O objetivo é aplicar os princípios do Gerenciamento de Processos de Negócio (BPM) para identificar fragilidades e oportunidades de otimização no fluxo de trabalho, visando aumentar sua padronização, robustez e replicabilidade.

Para conduzir esta análise de forma sistemática, foi desenvolvido um framework adaptado do estudo de Lottermann (2021), que aplicou diversas técnicas de análise de processos em um contexto de engenharia. A seguir, detalha-se este framework, que servirá como base para a subsequente análise do modelo AS-IS e para a construção do modelo otimizado (TO-BE).

5.1 FRAMEWORK DE ANÁLISE ADAPTADO

O trabalho de Lottermann (2021) emprega um conjunto abrangente de técnicas de análise de processos, conforme preconizado pelo guia Business Process Management – Common Body of Knowledge (BPM CBOK) (Association of Business Process Management Professionals, 2013). No entanto, nem todas as técnicas são igualmente aplicáveis a um processo de natureza técnico-científica e qualitativa como o de análise de dados.

Portanto, foi realizada uma seleção criteriosa, adaptando os métodos mais pertinentes para avaliar o fluxo de trabalho da Nomadlog. O framework de análise proposto para este trabalho se baseia em quatro pilares, extraídos e adaptados de Lottermann (2021):

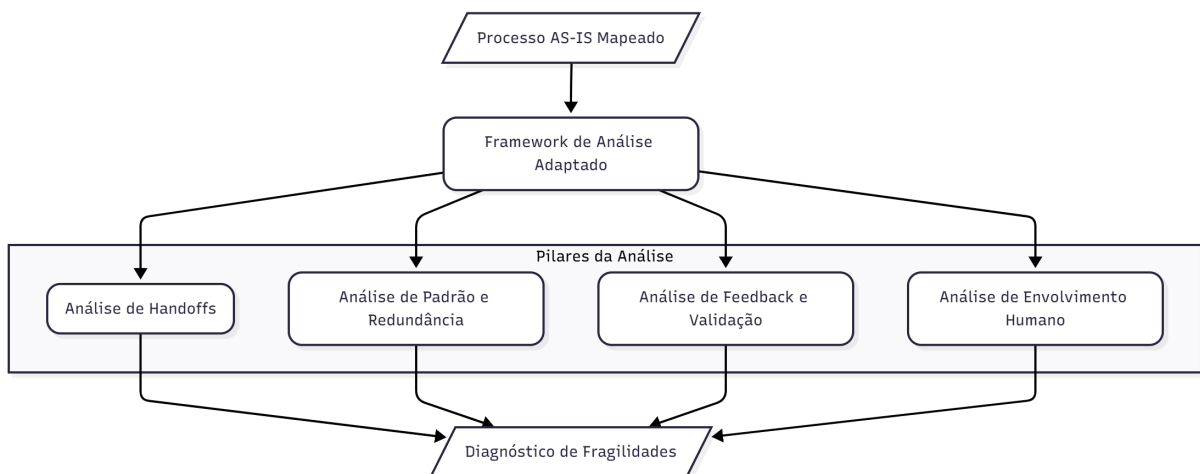
- **Análise de Handoffs (Transferências):** Foca nos pontos onde o trabalho ou a informação é transferida entre atores ou sistemas. Os *handoffs* são fontes potenciais de erros, atrasos e perda de informação.
- **Análise de Padrão e Redundância:** Consiste em identificar padrões de atividades repetitivas ou redundantes que podem ser racionalizadas para ganhar eficiência e reduzir a possibilidade de erros operacionais.
- **Análise de Feedback e Validação:** Avalia os mecanismos de feedback que informam um ator sobre o resultado e a qualidade de sua tarefa, sendo essencial para o controle de qualidade do processo.

- **Análise de Envolvimento Humano e Padronização:** Foca na complexidade das tarefas manuais e na dependência de conhecimento tácito (não documentado), que são barreiras para a replicabilidade do processo.

Com este framework estabelecido, as seções seguintes aplicarão cada um desses pilares para realizar um diagnóstico aprofundado do processo AS-IS, culminando na proposição de um modelo TO-BE.

A Figura 34 demonstra visualmente como o processo mapeado (AS-IS) serve como entrada (input) para este framework. Ele é então avaliado pelos quatro pilares analíticos, que, em conjunto, produzem o diagnóstico de fragilidades (output) que fundamenta a proposição de melhorias.

Figura 34 – Estrutura do Framework de Análise Crítica.



Fonte: Autor (2025).

Com este framework estabelecido, as seções seguintes aplicarão cada um desses pilares para realizar um diagnóstico aprofundado do processo AS-IS, culminando na proposição de um modelo TO-BE.

5.2 ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO AS-IS

A aplicação do framework ao modelo AS-IS, descrito na Seção 4, revela diversos pontos de melhoria que, embora não invalidem a eficácia geral do processo, representam riscos à sua consistência e escalabilidade.

5.2.1 Análise de Handoffs

O processo de inspeção é caracterizado por intensas trocas de informação em tempo real, tornando a análise das transferências particularmente relevante.

- **Comunicação CCO-Equipe:** A interação entre o Licenciador de Via e o CCO é realizada via rádio, suportada por protocolos de segurança (repetição da mensagem) e confirmação via macros no sistema de bordo. Embora existam esses mecanismos de controle que garantem a segurança da operação, a etapa caracteriza-se como um handoff misto (verbal e digital). Sob a ótica do BPM, a necessidade de dupla validação (voz e registro manual da macro) ainda demanda intervenção humana síncrona, diferindo de sistemas de sinalização totalmente automatizados, sendo, portanto, um ponto de atenção para a eficiência do fluxo, embora seguro.
- **Transferência Sistema-Inspetor:** O sistema embarcado gera alertas classificados por severidade, disparando protocolos distintos. Enquanto a parada para verificação de defeitos críticos (P0) é mandatória e padronizada, a triagem de defeitos intermediários (P1) apresenta uma variabilidade decisória. A decisão de parar o veículo para investigar um "P1" depende de fatores contextuais, como o conhecimento prévio do Gestor sobre a existência daquele defeito ou a avaliação de seu impacto operacional imediato. Sob a ótica de BPM, essa etapa configura um ponto de decisão complexo que depende de alinhamento em tempo real e conhecimento tácito do histórico da via, em contraste com a rigidez do protocolo "P0".
- **Transferência Equipe-Gestor (Cliente):** A comunicação de um defeito crítico (P0) ao Gestor da Via Permanente é verbal e ocorre sob pressão operacional. Embora a atuação diante desses defeitos seja regida por regulamentos técnicos da operadora, a tratativa de situações excepcionais ou limítrofes permanece sujeita ao critério discricionário do Gestor presente. A dependência desse julgamento individual para os casos de exceção, aliada à ausência de um registro formal instantâneo da decisão tomada em campo (interditar ou manter), introduz uma variável humana que pode impactar a padronização do registro histórico das ocorrências.

5.2.2 Análise de Padrão e Redundância

A análise do fluxo de trabalho aponta para uma atividade central que, embora necessária, carece de padronização:

- **Desafios na Validação Comparativa:** A atividade de verificação manual segue os critérios metrológicos definidos pela norma ABNT NBR 16387, amplamente difundidos entre os profissionais do setor. Contudo, o processo enfrenta o desafio da diferença de precisão instrumental: enquanto o sistema embarcado utiliza sensores a laser de alta resolução, a aferição em campo frequentemente recorre a métodos analógicos (como uso de cordas para medição de flechas), que pos-

suem menor acurácia relativa. Atualmente, a conciliação entre esses dois valores discrepantes (sistema vs. manual) para validar o defeito depende da interpretação técnica do inspetor no momento da medição. A falta de um registro digital estruturado que documente essa "tolerância operacional" aceita em campo pode dificultar a auditoria futura da decisão.

5.2.3 Análise de Feedback e Validação

O ciclo de feedback dentro do processo apresenta uma lacuna importante no que tange à melhoria contínua.

- **Ciclo de Feedback Pós-Manutenção:** O processo atual termina com a disponibilização do relatório de exceções para a equipe de manutenção do cliente. Contudo, não há um fluxo de retorno de informação formalizado. A equipe de inspeção não recebe feedback sobre se os defeitos apontados foram, de fato, confirmados e corrigidos pela manutenção, ou se houve divergências. A ausência deste ciclo de feedback impede o aprimoramento dos algoritmos do sistema de medição e a calibração da "sensibilidade" dos inspetores, tratando cada inspeção como um evento isolado.

5.2.4 Análise de Envolvimento Humano e Padronização

Este é o ponto mais crítico identificado no processo AS-IS.

- **Dependência de Conhecimento Tácito:** O sucesso do diagnóstico depende fundamentalmente da experiência e do julgamento subjetivo do Inspetor de Via. A capacidade de "interpretar os gráficos", diferenciar um defeito real de um "falso positivo" e decidir pela verificação manual não está documentada em regras ou critérios explícitos. Este conhecimento, adquirido com a experiência, é tácito. Isso representa um risco significativo para a empresa, pois a qualidade da análise não é uma característica do processo em si, mas do indivíduo que o executa. Além disso, torna o treinamento de novos inspetores um desafio e compromete a replicabilidade e a comparabilidade dos resultados entre diferentes inspeções.

5.3 PROPOSIÇÃO DO MODELO DE PROCESSO OTIMIZADO (TO-BE)

Com base na análise crítica, foi desenvolvido um modelo de processo otimizado (TO-BE), cujas melhorias visam mitigar as fragilidades identificadas, introduzindo maior padronização, formalização do conhecimento e robustez ao fluxo de trabalho. As principais alterações são detalhadas a seguir.

5.3.1 Melhorias Propostas

1. **Criação de um Checklist de Verificação (CV):** Para padronizar a atividade de validação manual de defeitos críticos, propõe-se a criação de um "Checklist de Verificação" digital. Este formulário, integrado ao sistema embarcado, guiaria o inspetor por um procedimento padronizado, definindo as ferramentas a serem utilizadas, o número de medições e os campos a serem preenchidos. Isso transforma a validação de uma atividade subjetiva para um procedimento formal e rastreável.
2. **Sistematização da Matriz de Decisão (Suporte à Decisão):** Reconhecendo que os critérios de avaliação já estão definidos em normas e regulamentos técnicos, a proposta visa a consolidação visual desses parâmetros em uma ferramenta de suporte. Em situações de exceção (como nos defeitos P1), onde a decisão depende de múltiplas variáveis (histórico, velocidade, impacto), essa matriz digital agrupa os critérios existentes para oferecer uma recomendação rápida. O objetivo é transformar a consulta aos regulamentos em um fluxo integrado ao sistema, reduzindo a carga cognitiva do inspetor e garantindo que todas as variáveis técnicas sejam checadas uniformemente antes da decisão final.
3. **Formalização do Relatório de Análise Crítica (RAC):** O handoff verbal entre o inspetor e o gestor do cliente para decidir sobre uma interdição seria formalizado por meio de um "Relatório de Análise Crítica" gerado automaticamente pelo sistema. Este documento conteria os dados da medição automática, os resultados do Checklist de Verificação manual e a recomendação da Matriz de Decisão, fornecendo uma base de informação robusta e documentada para a tomada de decisão.
4. **Criação do Ciclo de Feedback da Manutenção (CFM):** Propõe-se a adição de uma nova etapa ao final do processo. Após a equipe de manutenção do cliente atuar sobre um defeito apontado, eles preencheriam um "Formulário de Feedback da Manutenção" na plataforma online. Este formulário simples informaria se o defeito foi confirmado, a natureza da correção aplicada e se houve divergências. Este fluxo de retorno de informação é vital para a melhoria contínua do processo de inspeção.

5.3.1.1 Concepção Estrutural dos Artefatos e Variáveis

Para tangibilizar a aplicação dos artefatos propostos (CV, RAC e CFM), apresenta-se no Quadro 5 uma concepção inicial de sua estrutura de dados. Esta modelagem visa demonstrar os requisitos mínimos de informação para garantir a rastreabilidade do processo.

É imperativo ressaltar, contudo, que esta definição é conceitual. Conforme validado pelo especialista técnico durante a legitimação, a composição exata dos campos possui alta complexidade e variabilidade prática. Fatores como a classe da via (segundo a ABNT NBR 16387), o tipo de contrato de manutenção (por disponibilidade ou por escopo) e as especificidades dos instrumentos de medição de cada operadora exigem que esses formulários sejam parametrizáveis. Portanto, a estrutura abaixo deve ser compreendida como um modelo funcional base, sujeito a adaptações contextuais.

Quadro 5 – Proposta conceitual da estrutura de dados dos novos artefatos.

Artefato	Campos / Elementos Sugeridos (Estrutura Mínima)
<p align="center">Checklist de Verificação (CV)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Metadados: Data, Hora, Geolocalização (GPS) e Km exato. • Dados da Medição: Valor medido pelo sistema (Laser) vs. Valor medido manualmente. • Condições: Instrumento utilizado (Ex: Régua, Gabarito), Temperatura do trilho (se aplicável). • Evidência: Campo para anexo de fotografia da medição manual.
<p align="center">Relatório de Análise Crítica (RAC)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Vínculo: ID único da Ocorrência (gerado pelo sistema). • Consolidação: Comparativo visual (Gráfico do sistema + Foto do CV). • Diagnóstico: Parecer técnico do Inspetor (Texto livre ou opções pré-definidas). • Decisão: Ação recomendada (Ex: Interdição total, Restrição de velocidade, Monitoramento). • Validação: Assinatura digital do Inspetor e do Gestor do Cliente.
<p align="center">Ciclo de Feedback da Manutenção (CFM)</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Rastreabilidade: ID da Ocorrência atendida. • Intervenção: Ação efetiva realizada (Ex: Socaria, Troca de dormente, Esmerilhamento). • Validação de Campo: O defeito foi confirmado pela equipe de manutenção? (Sim/Não). • Divergência: Se não confirmado, descrever a discrepância (calibração da "sensibilidade"). • Status: Data de fechamento da ordem de serviço.

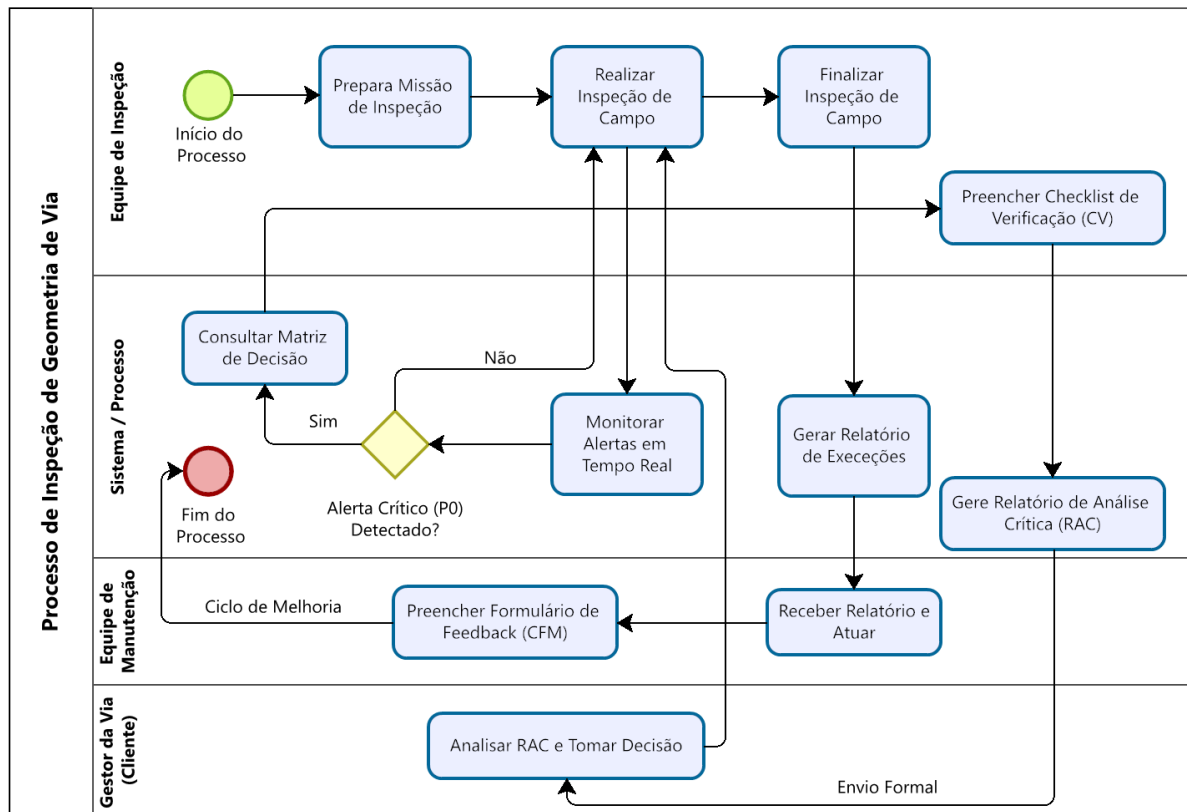
Fonte: Autor (2025).

A estruturação destes dados transforma o conhecimento tácito em informação explícita, permitindo que o sistema de gestão futura utilize esses registros para refinar os algoritmos de detecção e as tolerâncias da Matriz de Decisão.

5.3.2 O Modelo BPMN do Processo TO-BE

As melhorias propostas foram incorporadas em um novo modelo de processo, representado na Figura 35. O diagrama ilustra os novos artefatos (CV, RAC, CFM) e as novas atividades que tornam o processo mais estruturado e orientado a dados.

Figura 35 – Modelo BPMN do processo de inspeção otimizado (TO-BE).



Fonte: Autor (2025).

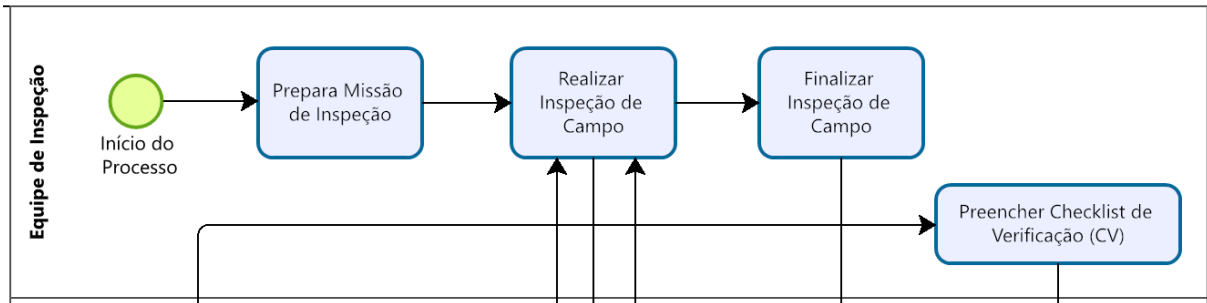
O modelo TO-BE (Figura 35) mantém a estrutura de quatro raias, mas introduz atividades que endereçam as fragilidades identificadas. A seguir, o fluxo de cada raia é detalhado com foco nas alterações propostas.

5.3.3 Raia da Equipe de Inspeção do Modelo TO-BE

Na raia da "Equipe de Inspeção", conforme destacada na Figura 36, a mudança principal é a formalização da validação de defeitos. A atividade manual informal do AS-IS é substituída por um procedimento padronizado.

- **Preencher Checklist de Verificação (CV) (Nova Atividade):** Substitui a "Realizar Verificação Manual". Esta nova tarefa exige que o inspetor siga um procedimento padronizado e rastreável, mitigando a subjetividade da análise.

Figura 36 – Detalhe da raia "Equipe de Inspeção" no modelo TO-BE.



Fonte: Autor (2025).

Esta atividade de verificação padronizada é agora acionada e complementada por novas inteligências de processo, detalhadas na próxima raia.

5.3.4 Raia do Sistema / Processo do Modelo TO-BE

A raia "Sistema / Processo", conforme detalhado na Figura 37, recebe as alterações mais significativas. O fluxo de decisão de um alerta "P0" é reestruturado para adicionar suporte à decisão e formalizar a comunicação.

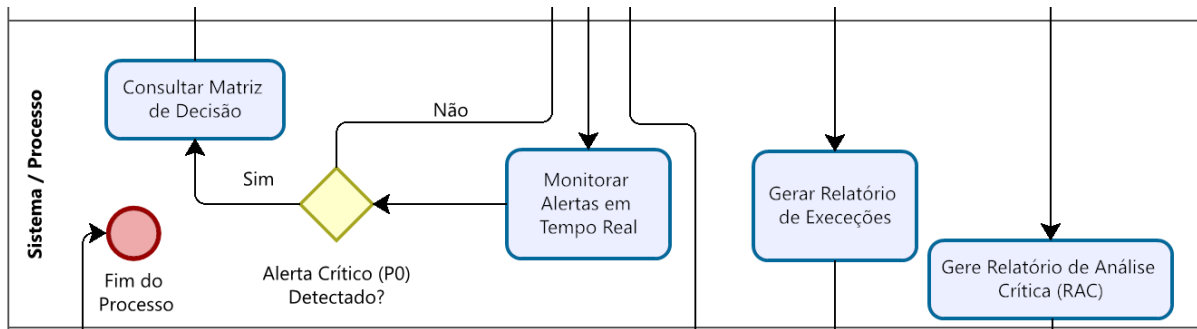
- **Fluxo de Alerta Modificado:** O "Sim" do gateway "Alerta Crítico (P0) detectado?" agora aciona primeiro uma nova atividade do sistema, em vez de ir diretamente para a equipe.
- **Consultar Matriz de Decisão (Nova Atividade):** O sistema fornece uma recomendação formal (baseada em regras) antes de envolver o inspetor, reduzindo a dependência do conhecimento tácito.
- **Gerar Relatório de Análise Crítica (RAC) (Nova Atividade):** Após o preenchimento do CV pelo inspetor, o sistema consolida os dados da medição e do CV em um artefato formal (RAC), que será enviado ao gestor.

Os novos artefatos gerados pelo sistema (RAC) e o novo fluxo de feedback (CFM) alteram fundamentalmente a interação com os stakeholders, como visto a seguir.

5.3.5 Raias dos Stakeholders (Cliente) do Modelo TO-BE

Nas raias dos stakeholders, conforme ilustrado na Figura 38, as mudanças eliminam a informalidade da comunicação e criam um ciclo de melhoria contínua.

Figura 37 – Detalhe da raia "Sistema / Processo" no modelo TO-BE.



Fonte: Autor (2025).

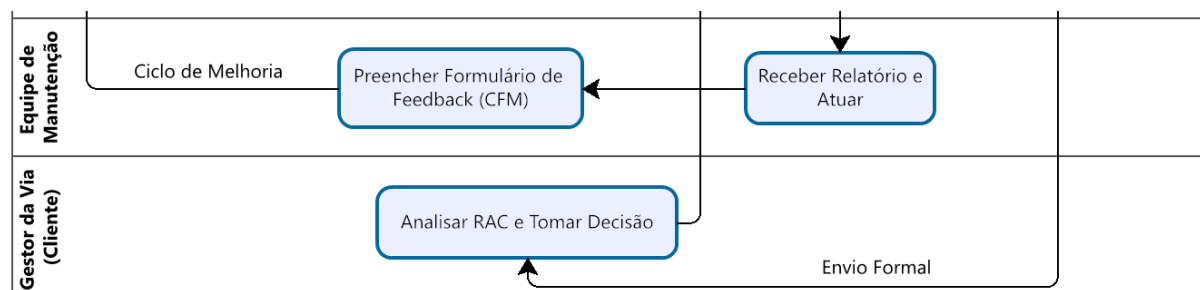
- **Gestor da Via (Cliente):**

- **Analisar RAC e Tomar Decisão (Atividade Modificada):** A "Comunicação Verbal" informal é substituída pelo recebimento formal do "Relatório de Análise Crítica (RAC)". A tomada de decisão passa a ser baseada em um documento rastreável.

- **Equipe de Manutenção (Cliente):**

- **Preencher Formulário de Feedback (CFM) (Nova Atividade):** Esta é a mudança mais crítica do processo. Após "Receber Relatório e Atuar", a equipe de manutenção agora fornece um retorno formal.
- **Criação do Ciclo de Melhoria:** O CFM alimenta o "Fim do Processo", fechando o ciclo e permitindo que a equipe de inspeção (Nomadlog) aprimore suas calibrações, matrizes de decisão e diagnósticos futuros.

Figura 38 – Detalhe das raias "Gestor da Via (Cliente)" e "Equipe de Manutenção" no TO-BE.



Fonte: Autor (2025).

A inclusão destes novos artefatos e atividades (CV, Matriz de Decisão, RAC e CFM) transforma fundamentalmente o processo. O modelo TO-BE mitiga as fragilidades do AS-IS, substituindo a informalidade e a dependência do conhecimento tácito por procedimentos padronizados, rastreáveis e que promovem a melhoria contínua.

5.4 LEGITIMAÇÃO DA PROPOSTA DE MELHORIA

A proposição de um modelo de processo otimizado (TO-BE) encerra o ciclo de análise e redesenho deste estudo. Contudo, em uma pesquisa de natureza qualitativa e aplicada como esta, a etapa subsequente não consiste em uma "validação" quantitativa, que exigiria a implementação e o monitoramento de indicadores em um projeto piloto. Em vez disso, buscou-se a **legitimação** da proposta, um procedimento que consiste em submeter o modelo otimizado à avaliação do especialista cujo conhecimento e experiência serviram de base para o mapeamento do processo original.

O objetivo da legitimação é, portanto, verificar a coerência, a pertinência e a viabilidade das melhorias propostas sob a ótica de quem executa e conhece profundamente o processo. Confirma-se se as fragilidades identificadas são, de fato, relevantes e se as soluções sugeridas são aplicáveis e têm o potencial de gerar o impacto positivo esperado. Para cumprir esta etapa, a análise e o modelo TO-BE foram apresentados ao Engenheiro João Marcos Hoepers, analista ferroviário da Nomadlog e autor do trabalho que fundamentou o mapeamento AS-IS.

O Quadro 6 sintetiza a transição do estado atual para o estado proposto, contrapondo as fragilidades sistêmicas identificadas na análise AS-IS com as soluções estruturadas incorporadas ao modelo TO-BE. Este quadro serviu como o principal instrumento para conduzir a avaliação junto ao especialista, destacando as principais oportunidades de melhoria e as soluções correspondentes. A seguir, detalha-se brevemente cada par de fragilidade e solução para maior clareza.

Quadro 6 – Fragilidades do Processo AS-IS e Soluções no Modelo TO-BE.

Oportunidade de Melhoria (AS-IS)	Solução Proposta (TO-BE)
Dependência de Conhecimento Tácito (Defeitos P1)	Implementação da Matriz de Decisão
Variabilidade no Registro da Verificação	Criação do Checklist de Verificação (CV)
Handoffs Verbais e Manuais	Geração do Relatório de Análise Crítica (RAC)
Ausência de Ciclo de Feedback	Criação do Ciclo de Feedback da Manutenção (CFM)

Fonte: Autor (2025).

A **dependência de conhecimento tácito** refere-se ao fato de que, no processo atual, a decisão de verificar defeitos não-mandatários (P1) envolve análise contextual e baseada na experiência técnica do inspetor. Essa característica, natural em processos humanos, pode introduzir **variabilidade na tratativa** dos registros. No modelo TO-BE, a implementação da **Matriz de Decisão** fornece um suporte formal e

documentado para auxiliar a tomada de decisão, reduzindo a discricionariedade e promovendo a padronização das análises.

A **variabilidade no registro da verificação** ocorre pois o procedimento de validação manual, ainda que tecnicamente robusto e amparado por normas, carece de integração digital instantânea, aumentando a suscetibilidade a divergências documentais entre a medição laser e a manual. Para mitigar isso, o TO-BE propõe a **implementação do Checklist de Verificação (CV)**, que transcreve a inspeção técnica para um fluxo digital rastreável, assegurando a integridade e a padronização dos dados gerados.

Os **handoffs verbais e manuais** representam um ponto de atenção. Embora existam protocolos de segurança via rádio e macros internas, a formalização da decisão conjunta (Inspetor e Cliente) sobre a interdição carece de um documento compartilhado em tempo real. A solução proposta é a **geração do Relatório de Análise Crítica (RAC)**, que formaliza esse consenso por meio de um documento que consolida os dados da medição e do CV, oferecendo uma base robusta e auditável para a decisão.

Por fim, a **ausência de ciclo de feedback** impede a melhoria contínua, pois não há um fluxo de retorno estruturado de informações da equipe de manutenção sobre a efetividade dos diagnósticos. O modelo TO-BE institui o **Ciclo de Feedback da Manutenção (CFM)**, criando um canal formal para que a equipe de inspeção receba dados sobre os resultados em campo, permitindo o aprimoramento contínuo das calibrações e matrizes de decisão.

Os resultados da legitimação, detalhados no Apêndice E, corroboraram integralmente a análise realizada. O especialista confirmou a relevância dos quatro pontos apontados, destacando que a gestão da discricionariedade nas decisões e a rastreabilidade na comunicação são desafios operacionais reais. As soluções propostas foram consideradas pertinentes e viáveis, com destaque para o potencial do Checklist de Verificação (CV) e da Matriz de Decisão em auxiliar a rotina técnica, e para a necessidade do Ciclo de Feedback da Manutenção (CFM), considerado uma melhoria crucial para a calibração do processo de inspeção.

Dessa forma, a avaliação do especialista legitima a proposta TO-BE, conectando o referencial teórico do BPM à prática da engenharia ferroviária e validando o modelo proposto como uma evolução robusta, realista e aplicável ao contexto operacional da empresa.

6 CONCLUSÃO

Este trabalho teve como objetivo principal aplicar a metodologia de Gerenciamento de Processos de Negócio (BPM) para modelar, analisar e propor um processo otimizado para a análise de dados de defeitos de geometria de via ferroviária. Adicionalmente, buscou-se demonstrar como a estruturação digital de um fluxo de trabalho pode elevar sua robustez, rastreabilidade e replicabilidade.

Baseado em conceitos de BPM e análise de geometria de via, extraídos de trabalhos como os de Hoepers (2024) e Lottermann (2021), identificou-se uma oportunidade de melhoria sistêmica: a necessidade de aprimorar a documentação das etapas de análise que, embora técnicas e normatizadas, dependem do conhecimento tácito dos especialistas para a gestão de exceções. Para alcançar o objetivo, o processo foi mapeado em seu estado atual (AS-IS), com base na literatura e em entrevistas com especialistas, conforme o Apêndice A. Em seguida, o modelo sofreu análise crítica via framework de BPM, revelando desafios operacionais, como a dificuldade de rastreabilidade na conciliação entre medições de diferentes precisões (manual vs. automática) e a ausência de um ciclo formal de feedback.

Com esse diagnóstico, propôs-se o modelo otimizado (TO-BE), principal contribuição do estudo. Ele incorpora melhorias como o Checklist de Verificação (CV) para assegurar a integridade do registro digital das inspeções manuais, a Matriz de Decisão para auxiliar na redução da discricionariedade em defeitos não-mandatários e o Relatório de Análise Crítica (RAC) para conferir auditabilidade às decisões de segurança tomadas em campo. Destaca-se a introdução do Ciclo de Feedback da Manutenção (CFM), que estabelece um canal formal entre equipes de manutenção e inspeção, permitindo avaliação contínua e aprimoramento dos diagnósticos.

A coerência, pertinência e viabilidade deste modelo TO-BE foram, por fim, legitimadas pelo especialista de referência da área, conforme detalhado no Apêndice E. O especialista validou a proposta como aderente à realidade operacional, reconhecendo que as ferramentas sugeridas endereçam efetivamente a variabilidade documental e a gestão da decisão técnica, respeitando os ritos operacionais já estabelecidos.

O estudo contribui para a gestão da manutenção ferroviária ao mostrar que princípios de BPM podem converter um processo técnico complexo em um fluxo estruturado e rastreável, mitigando a dependência exclusiva da memória organizacional. Para o setor, o modelo serve como guia para elevar a confiabilidade dos registros e otimizar decisões. Pessoalmente, como futuro engenheiro ferroviário, o estudo reforçou a importância de integrar a visão processual à engenharia, compreendendo que a qualidade dos dados técnicos está intrinsecamente ligada à robustez dos processos que os geram.

Para trabalhos futuros, sugere-se implementar o modelo TO-BE em um projeto piloto para validar quantitativamente os ganhos em consistência e eficiência. Além disso, recomenda-se o desenvolvimento de uma aplicação de software que integre as ferramentas propostas (CV, RAC e CFM) ao sistema de gestão da manutenção da operadora, representando um avanço em direção à automação e à manutenção preditiva. Por fim, a metodologia aqui aplicada poderia ser expandida para outros processos de diagnóstico da via permanente, como a análise de dados de ultrassom de trilhos.

REFERÊNCIAS

- 8Quali. *Desvendando o Mapeamento de Processos em 5 minutos!* 2025. <https://www.8quali.com.br/desvendando-o-mapeamento-de-processos-em-5-minutos/>. Acesso em: 03 set. 2025.
- AGUIAR, L. T. d. **Inspeção de via permanente: um fator determinante no processo de direcionamento da manutenção ferroviária.** 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) — Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2011.
- Apolinário Júnior, F. C. **Análise do sistema de manutenção ferroviária da FCA/VLI em Patrocínio - MG.** 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) — Centro Universitário do Cerrado Patrocínio, Patrocínio, 2019.
- Association of Business Process Management Professionals. **BPM CBOK V3.0: guia para o gerenciamento de processos de negócio.** [S.l.]: ABPMP, 2013.
- BARTLETT, L.; KABIR, M. A.; HAN, J. The interplay of virtualisation, work design, and business process management: a mixed-methods study. **International Journal of Information Management Data Insights**, v. 5, p. 100345, 2025.
- BASTOS, J. **Socamento, alinhamento e nivelamento de ferrovias.** 2022. <https://www.youtube.com/watch?v=XrBDSAAQs40>. Vídeo. Acesso em: 02 set. 2025.
- Brastan. **Inspeção Por Geometria.** 2019. <https://www.brastan.com.br/services/inspecao-geometria/>. Acesso em: 1 set. 2025.
- BRINA, H. L. **Estradas de ferro, volume 1: via permanente.** Rio de Janeiro: LTC, 1983.
- Di Francescomarino, C.; Di Ciccio, C.; DUMAS, M. Process management in the ai era: How artificial intelligence is reshaping business process management. **Business & Information Systems Engineering**, Springer, v. 62, p. 485–497, 2020.
- DUMAS, M.; LA ROSA, M.; MENDLING, J.; REIJERS, H. A. **Fundamentals of business process management.** 2. ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2018.
- EL-CHAAR, G. **Análise de falhas por desgaste e fadiga em trilhos ferroviários.** 2007. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)) — Escola de Engenharia, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2007.
- Empac. **Transporte ferroviário de cargas: como funciona e vantagens.** 2025. Disponível em: <https://empac.com.br/transporte/>. Acesso em: 1 jul. 2025.
- Ferrovia Centro-Atlântica. **Manual Técnico da Via Permanente.** Belo Horizonte, 2009. E-book, 172 p.
- FRANÇA, T. d. F. **Ferrovias: Módulo 2 - Superestrutura Ferroviária.** Morrinhos, 2017.

GONÇALVES, J. E. L. As empresas são grandes coleções de processos. **Revista de Administração de Empresas**, v. 40, n. 1, p. 6–19, 2000.

Grupo Siderbrás. **Trilhos ferroviários e suas especificações**. 2025. <https://gruposiderbras.com.br/trilhos-ferroviarios-especificacoes/>. Acesso em: 1 jul. 2025.

HOEPERS, J. M. **Análise dos defeitos de geometria em trechos das ferrovias brasileiras**. 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ferroviária e Metroviária) — Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2024.

JUNQUEIRA, Â. S.; MOTTA, R. d. S.; OLIVEIRA, L. Análise dos métodos de avaliação geométrica de via permanente para monitoramento de via férrea no Brasil. **TRANSPORTES**, v. 31, n. 1, p. e2824, 2023.

LICHTBERGER, B. **Track compendium: formation, permanent way, maintenance, economic management**. Hamburg: Eurailpress, 2005.

LIRA, J. P.; OLIVEIRA ELEUTÉRIO, E. Modelagem de processos de negócio com a notação BPMN: um estudo de caso na secretaria acadêmica da universidade federal do agreste de pernambuco. *In*: UNIVERSIDADE FEDERAL DO AGRESTE DE PERNAMBUCO. **Anais do X Encontro de Ensino, Pesquisa e Extensão da UFAPE**. Garanhuns, PE, 2022. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/363243490_Modelagem_de_processos_de_negocio_com_a_notacao_BPMN_um_estudo_de_caso_na_secretaria_academica_da_Universidade_Federal_do_Agreste_de_Pernambuco. Acesso em: 1 jul. 2025.

LOTTERMANN, L. I. C. **Modelagem de processos em uma empresa de serviços laboratoriais químicos e mecânicos**. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ferroviária e Metroviária) — Centro Tecnológico de Joinville, Universidade Federal de Santa Catarina, Joinville, 2021.

MAGALHÃES, P. C. B. **Programa de capacitação em geometria de linha: Ênfase em segurança e comodidade**. Juiz de Fora, 2007.

Microsoft. **Serviços de Área de Trabalho Virtual do Azure para a empresa**. 2024. Publicado no Centro de Arquitetura do Azure. <https://learn.microsoft.com/pt-br/azure/architecture/example-scenario/azure-virtual-desktop/azure-virtual-desktop>. Acesso em: 1 jul. 2025.

MUNDREY, J. S. **Railway track engineering**. 4. ed. New Delhi: Tata McGraw-Hill, 2010.

NABAIS, R. **Manual Básico de Engenharia Ferroviária**. São Paulo: Oficina de Textos, 2014.

PASSOS, W. L. **Geometria de via permanente: um fator determinante para a velocidade de uma composição**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) — Centro Universitário do Cerrado Patrocínio, Patrocínio, 2018.

PEREIRA, J. A. **Impactos das condições das vias permanentes na operação ferroviária: avaliação de um método de inspeção das condições de manutenção e reabilitação de ferrovias**. 2016. Dissertação (Dissertação (Mestrado em

Engenharia de Transportes)) — Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2016.

POPPE, E. *et al.* Design and evaluation of virtual environments mechanisms to support remote collaboration on complex process diagrams. **Information Systems**, v. 66, p. 59–81, 2017.

Prema. **Dormentes ferroviários**. 2025. Disponível em: <http://www.prema.com.br/dormentes-ferroviarios/>. Acesso em: 1 jul. 2025.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. d. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

QuestionPro. **Pesquisa qualitativa: Definição, tipos, métodos, características e exemplos**. 2025. <https://www.questionpro.com/blog/pt-br/pesquisa-qualitativa/>. Acesso em: 03 set. 2025.

RailTEC. **Track Gage Restraint Testing: Identifying Compromised Lateral Strength Under Load**. s.d. Apresentação Técnica. Acesso em: 2 set. 2025. Acesso em: 2 set. 2025.

RIBEIRO, L. d. O. **Estudo da influência da granulometria do lastro ferroviário no seu comportamento mecânico**. 2011. Dissertação (Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)) — Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2011.

RODRIGUES, C. A. **Contribuição ao Planejamento da Manutenção Preditiva da Superestrutura Ferroviária**. 2001. 260 p. Tese (Tese (Doutorado em Ciências em Engenharia de Transportes)) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2001.

SANTOS, L. S. **Proposta de uma metodologia de análise de dados para otimização de processos industriais**. 2019. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

SARTORI, M. **Influência da adição de nióbio na microestrutura e propriedades mecânicas de um aço para trilhos ferroviários**. 2010. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Metalúrgica) — Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010.

SILVA, A. B.; COSTA, C. D. Metodologia de manutenção preditiva para via permanente baseada em análise de tendências de defeitos geométricos. *In: Anais do Congresso Brasileiro de Manutenção e Gestão de Ativos*. São Paulo: [s.n.], 2020.

SILVA, A. d. C. e. **Uma introdução à engenharia ferroviária**. São Paulo: Edgard Blücher, 2011.

SILVA, E. T. S. **Análise da evolução dos defeitos da via permanente da MRS para planejamento de intervenções preditivas de manutenção**. 2006. Monografia (Especialização em Transporte Ferroviário de Carga) — Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2006. Acesso em: 23 jul. 2025.

SOUSA, D. F. d. **Papel da geometria na via permanente: uma análise dos seus impactos**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) — Centro Universitário Anhanguera Pitágoras Unopar, Goiânia, 2022.

STEFFLER, F. **Via permanente aplicada: guia teórico e prático**. Ouro Preto, 2013.

Summit Mobilidade. **Como evitar acidentes de trem?** 2020.
<https://summitmobilidade.estadao.com.br/guia-do-transporte-urbano/como-evitar-acidentes-de-trem/>. Acesso em: 1 jul. 2025.

Visual Paradigm. **How to develop as-is and to-be business process?** 2025. Artigo online. Disponível em: <https://www.visual-paradigm.com/guide/business-process-modeling/as-is-and-to-be-business-process/>. Acesso em: 1 jul. 2025.

WESKE, M. **Business process management: concepts, languages, architectures**. 2. ed. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012.

APÊNDICE A – ROTEIRO DA ENTREVISTA COM ESPECIALISTA

Título do Projeto: Proposta de Modelo de Processo com Base em BPM para Análise de Dados de Geometria de Via Ferroviária.

Entrevistado: João Marcos Hoepers.

Data da Entrevista: 07 de agosto de 2025.

Objetivo: Levantar as etapas, os atores, as ferramentas e as regras de negócio do processo de inspeção de geometria de via por meio de carro controle, para subsidiar a modelagem do processo no estado atual (AS-IS) e identificar potenciais pontos de melhoria.

Formato: Entrevista semiestruturada. As perguntas a seguir serviram como um guia para a conversa técnica.

BLOCO 1: MAPEAMENTO GERAL DO PROCESSO (AS-IS)

P1:

Poderia descrever, de forma geral, como se inicia e quais são as principais fases do processo de inspeção de geometria de via utilizando o carro controle da Nomadlog?

P2:

Quais são os profissionais envolvidos em uma missão de inspeção e quais as responsabilidades de cada um durante a operação?

P3:

O fluxo de trabalho da inspeção muda dependendo do tipo de ferrovia, como em metrô, linhas de carga ou terminais portuários? Se sim, quais são as principais adaptações?

P4:

Como os dados são coletados, processados em tempo real e disponibilizados para o cliente final (gestor da via)?

P5:

Qual é o protocolo padrão quando o sistema detecta um defeito de severidade máxima (P0), que poderia exigir uma interdição imediata da via?

P6:

Existem limitações operacionais, como condições da via (vegetação, lastro alto), que impedem a medição? Como esses casos são tratados e registrados no relatório final?

BLOCO 2: ANÁLISE CRÍTICA E IDENTIFICAÇÃO DE FRAGILIDADES**P7 (Análise de Envolvimento Humano):**

Além dos alertas automáticos do sistema, que critérios ou "sinais" baseados na sua experiência como inspetor são utilizados para diferenciar um defeito real de um "falso positivo" ou de um simples ruído na medição?

P8 (Análise de Padronização):

Existe um treinamento formalizado para novos inspetores sobre como interpretar os gráficos e tomar essas decisões mais subjetivas, ou é um conhecimento adquirido primordialmente com a prática em campo?

P9 (Análise de Padrão e Redundância):

Quando um defeito crítico (PO) é detectado e a equipe decide realizar uma verificação manual, existe um procedimento documentado? Por exemplo, quantas medições devem ser feitas, quais ferramentas são obrigatórias e como a discrepância entre a medição manual e a do sistema é tratada?

P10 (Análise de Handoffs):

A comunicação sobre um defeito crítico (PO) ao gestor da via (cliente) é, em geral, verbal. Como essa recomendação e a decisão final do cliente (interditar ou não) são documentadas para fins de rastreabilidade futura?

P11 (Análise de Feedback):

Após o envio do relatório de exceções, a equipe da Nomadlog recebe algum tipo de retorno formal da equipe de manutenção da ferrovia? Por exemplo, informações sobre se os defeitos apontados foram confirmados, como foram corrigidos, ou se houve alguma divergência na análise em campo? A ausência desse feedback é vista como uma oportunidade de melhoria?

P12 (Planejamento):

No início da missão, como o "plano de regras" é customizado para cada trecho ou cliente? Quais fatores, além da classe da via (ABNT NBR 16387), influenciam na definição das tolerâncias de defeitos que serão carregadas no sistema?

APÊNDICE B – CÓDIGO DO FLUXOGRAMA AS-IS EM MERMAID

```

graph TD
    subgraph "Equipe de Manutenção"
        EM1("Receber Relatório e Atuar")
    end
    subgraph "Gestor da Via (Cliente)"
        GVC1("Analisar e Tomar Decisão Imediata")
    end
    subgraph "Sistema / Processo"
        SP1("Monitorar Alertas em Tempo Real")
        SP2{"Alerta Crítico (PO) detectado?"}
        SP3("Gerar Relatório de Exceções")
        SP_FIM(("Fim do Processo"))
    end
    subgraph "Equipe de Inspeção"
        EI_INICIO(("Início"))
        EI1("Preparar Missão de Inspeção")
        EI2("Realizar Inspeção em Campo")
        EI3("Realizar Verificação Manual (informal)")
        EI_FIM_INSPECAO("Finalizar Inspeção de Campo")
    end

    EI_INICIO --> EI1; EI1 --> EI2; EI2 --> SP1;
    SP1 --> SP2; SP2 -- "Não" --> EI2; SP2 -- "Sim" --> EI3;
    EI3 -- "Comunicação Verbal" --> GVC1; GVC1 --> EI2;
    EI2 --> EI_FIM_INSPECAO; EI_FIM_INSPECAO --> SP3;
    SP3 --> SP_FIM; SP3 --> EM1;

```

APÊNDICE C – CÓDIGO DO FLUXOGRAMA TO-BE EM MERMAID

```

graph TD
    classDef improvement fill:#e8f8f5,stroke:#1abc9c,stroke-width:2px;

    subgraph "Equipe de Manutenção"
        EM1_TB("Receber Relatório e Atuar")
        EM2_TB("Preencher Formulário de Feedback (CFM)")
    end

    subgraph "Gestor da Via (Cliente)"
        GVC1_TB("Analisar RAC e Tomar Decisão")
    end

    subgraph "Sistema / Processo"
        SP1_TB("Monitorar Alertas em Tempo Real")
        SP2_TB{"Alerta Crítico (PO) detectado?"}
        SP3_TB("Consultar Matriz de Decisão")
        SP4_TB("Gerar Relatório de Análise Crítica (RAC)")
        SP5_TB("Gerar Relatório de Exceções")
        SP_FIM_TB(("Fim do Processo"))
    end

    subgraph "Equipe de Inspeção"
        EI_INICIO_TB(("Início"))
        EI1_TB("Preparar Missão de Inspeção")
        EI2_TB("Realizar Inspeção em Campo")
        EI3_TB("Preencher Checklist de Verificação (CV)")
        EI_FIM_INSPECAO_TB("Finalizar Inspeção de Campo")
    end

    EI_INICIO_TB --> EI1_TB; EI1_TB --> EI2_TB; EI2_TB --> SP1_TB;
    SP1_TB --> SP2_TB; SP2_TB -- "Não" --> EI2_TB; SP2_TB -- "Sim" --> SP3_TB;
    SP3_TB --> EI3_TB; EI3_TB --> SP4_TB;
    SP4_TB -- "Envio Formal" --> GVC1_TB; GVC1_TB --> EI2_TB;
    EI2_TB --> EI_FIM_INSPECAO_TB; EI_FIM_INSPECAO_TB --> SP5_TB;
    SP5_TB --> EM1_TB; EM1_TB --> EM2_TB;
    EM2_TB -- "Ciclo de Melhoria" --> SP_FIM_TB;

    class SP3_TB,EI3_TB,SP4_TB,EM2_TB ::: improvement;

    class SP3_TB,EI3_TB,SP4_TB,EM2_TB ::: improvement;

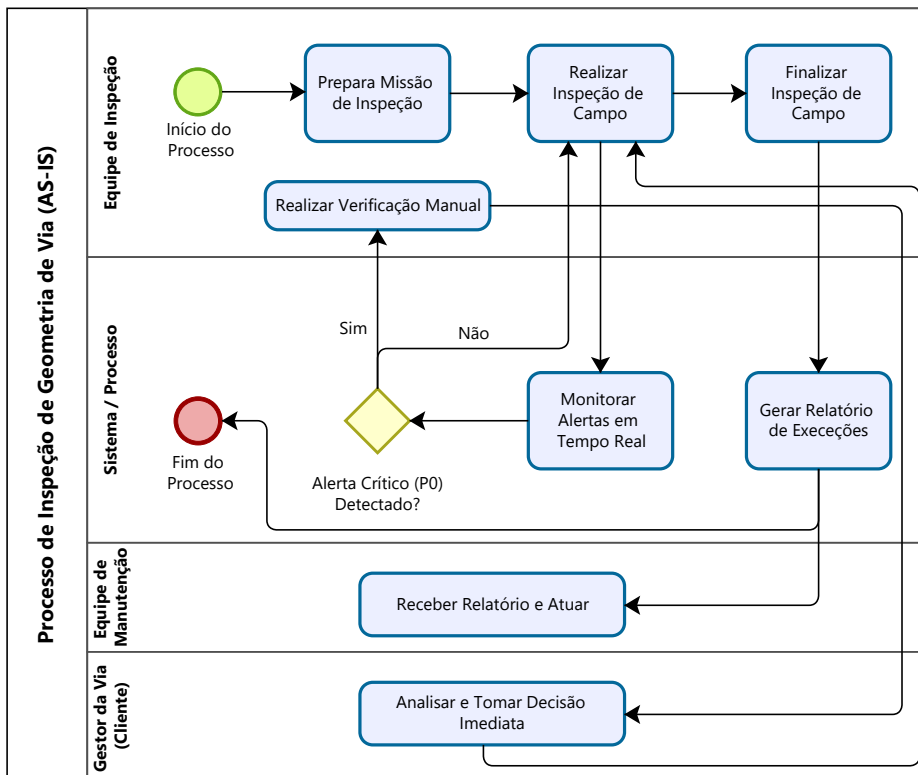
```

APÊNDICE D – FLUXOGRAMA DO AS-IS E TO-BE EM BIZAGI

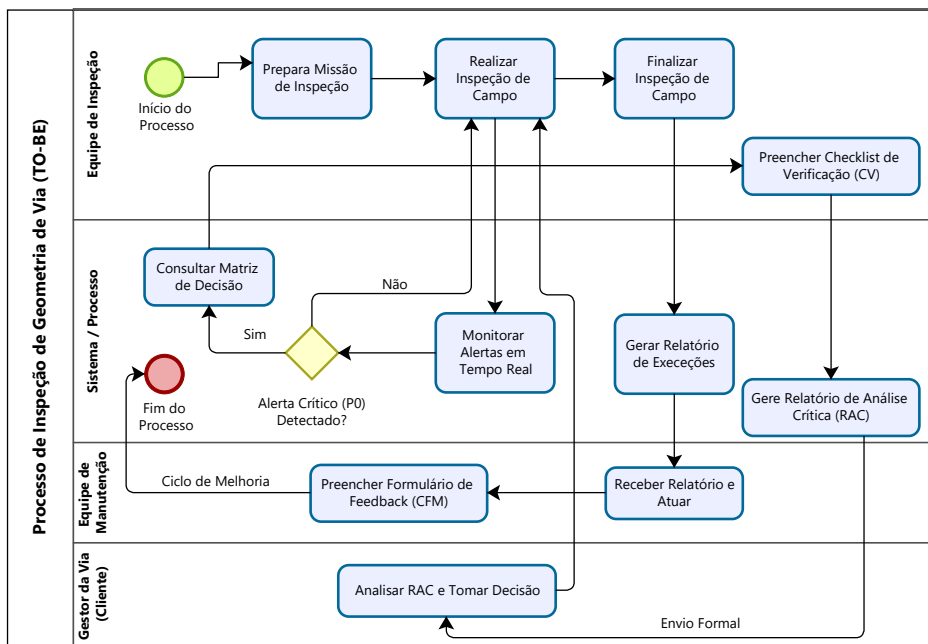
Modelo de Processo por Gabriel Salomão Diodato

Bizagi Modeler

1 AS-IS



2 TO-BE



APÊNDICE E – ROTEIRO E RESULTADOS DA LEGITIMAÇÃO

Especialista Convidado: Eng. João Marcos Hoepers (Analista Ferroviário).

Data da Avaliação: 30 de setembro de 2025.

Objetivo: Submeter a análise de fragilidades (AS-IS) e o modelo de processo otimizado (TO-BE), resumidos no Quadro 6, à avaliação do especialista para verificar a coerência, pertinência e viabilidade das propostas.

Formato: Roteiro semiestruturado, aplicado via troca de mensagens (com autorização para transcrição e uso acadêmico).

RESULTADOS DA AVALIAÇÃO

1. Sobre a Coerência das Fragilidades (AS-IS):

O especialista foi questionado se as quatro oportunidades de melhoria identificadas (Dependência de Conhecimento Tácito, Variabilidade no Registro, Handoffs Verbais e Ausência de Feedback) refletem a realidade da operação.

Síntese do Feedback: O analista ferroviário validou a coerência geral do diagnóstico, confirmando que as fragilidades apontadas são reais. Fez, contudo, uma ressalva técnica importante: destacou que já existem normas (como a ABNT NBR 16387) e critérios definidos para os defeitos, de modo que a fragilidade não reside na ausência de regras, mas sim na dificuldade de sistematizá-las e integrá-las digitalmente no momento da decisão, corroborando a necessidade de melhoria na gestão das exceções.

2. Sobre a Pertinência e Viabilidade das Soluções (TO-BE):

Foi solicitado que o especialista avaliasse se as soluções (Matriz de Decisão, CV, RAC e CFM) são adequadas e se sua implementação é viável.

Síntese do Feedback: As propostas foram avaliadas como tecnicamente coerentes ("fazem sentido"). O analista ferroviário destacou que a viabilidade de implementação, especialmente do Ciclo de Feedback da Manutenção (CFM), depende diretamente da maturidade da gestão: "*Acredito ser viável para empresas onde a cultura organizacional permite, mas há empresas cuja cultura [atual] pode não comportar este tipo de melhoria*". Essa observação reforça que o modelo TO-BE exige não apenas ferramentas técnicas, mas também gestão de mudança organizacional.

3. Sugestões Adicionais:

Foi perguntado se haveria sugestões para refinar a modelagem do processo TO-BE.

Síntese do Feedback: O especialista não apresentou objeções à estrutura do fluxo proposto. Reconheceu a metodologia BPM aplicada pelo autor como adequada para a organização do processo, validando a modelagem como uma contribuição que complementa seu conhecimento técnico da operação ferroviária.