



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL**



**MURILO SIQUEIRA MATOS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**IDENTIFICAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E PROPOSTAS DE MANUTENÇÃO DAS  
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UM TRECHO DE LINHA FÉRREA NO  
MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA/MG**

**Uberlândia  
2026**



**MURILO SIQUEIRA MATOS**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**IDENTIFICAÇÃO, CLASSIFICAÇÃO E PROPOSTAS DE MANUTENÇÃO DAS  
MANIFESTAÇÕES PATOLÓGICAS EM UM TRECHO DE LINHA FÉRREA NO  
MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA/MG**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à  
Faculdade de Engenharia Civil da Universidade  
Federal de Uberlândia, como parte dos  
requisitos necessários para obtenção do título  
de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Rogério Lemos Ribeiro

**Uberlândia  
2026**

## RESUMO

O presente estudo tem como objetivo analisar e quantificar as manifestações patológicas existentes na superestrutura ferroviária em um trecho de aproximadamente 2 km de via permanente no município de Uberlândia - MG, por meio de inspeções visuais realizadas em campo. O estudo apresenta caráter quantitativo e descritivo, fundamentando-se na aplicação adaptada do método proposto por Ildefonso (2013) para a identificação, classificação e avaliação do grau de severidade das manifestações patológicas observadas. A metodologia concentra-se nos elementos da superestrutura ferroviária, especificamente trilhos, dormentes e sistemas de fixação, permitindo o levantamento detalhado das manifestações patológicas e de sua distribuição ao longo do trecho analisado. Os dados obtidos foram organizados e analisados com o intuito de determinar a frequência de ocorrência e o nível de severidade das manifestações patológicas identificadas, possibilitando a avaliação do estado de conservação da via férrea. A análise dos resultados permite identificar os elementos mais críticos da superestrutura e compreender o comportamento estrutural da via diante das condições operacionais e das práticas de manutenção adotadas. As manifestações patológicas encontradas são apresentadas por meio do retográfico, o que facilita a visualização, assim contribuindo para o diagnóstico técnico da via permanente avaliada, fornecendo subsídios relevantes para o planejamento e a gestão da manutenção ferroviária, além de reforçar a importância do monitoramento contínuo das patologias visando à segurança operacional e à durabilidade da infraestrutura ferroviária.

Palavras-chave: Superestrutura ferroviária, patologias ferroviárias, gerência de pavimentos ferroviários, manutenção ferroviária.

## ABSTRACT

This study aims to analyze and quantify the pathologies present in the railway superstructure along an approximately 2 km stretch of permanent way in the municipality of Uberlândia, through visual inspections carried out in the field. The research is quantitative and descriptive in nature, based on an adapted application of the method proposed by Ildefonso (2013) for the identification, classification, and evaluation of the severity of the observed pathological manifestations. The methodology focuses on the elements of the railway superstructure, specifically rails, sleepers, and fastening systems, allowing for a detailed survey of the pathologies and their distribution along the analyzed stretch. The data obtained are organized and analyzed to determine the frequency of occurrence and the level of severity of the identified pathologies, enabling the evaluation of the railway's state of conservation. The analysis of the results allows for the identification of the most critical elements of the superstructure and an understanding of the structural behavior of the track under the operational conditions and maintenance practices adopted. The pathologies found are presented using a grid, which facilitates visualization, thus contributing to the technical diagnosis of the evaluated permanent way, providing relevant information for the planning and management of railway maintenance, in addition to reinforcing the importance of continuous monitoring of pathologies to ensure operational safety and the durability of railway infrastructure.

**Keywords:** Railway superstructure, railway pathologies, railway pavement management, railway maintenance.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Figura 01: Fluxograma do trabalho                            | 14 |
| Figura 02: Estrutura ferroviária                             | 15 |
| Figura 03: Componentes da superestrutura                     | 18 |
| Figura 04: Componentes da superestrutura                     | 20 |
| Figura 05: Tipos de dormentes                                | 21 |
| Figura 06: Componentes do trilho                             | 22 |
| Figura 07: Talas de junção                                   | 23 |
| Figura 08: Parafusos de fixações                             | 23 |
| Figura 09: Placas de apoio                                   | 24 |
| Figura 10: Tirefond                                          | 24 |
| Figura 11: Defeitos bitola                                   | 26 |
| Figura 12: Desnivelamento                                    | 26 |
| Figura 13: Desalinhamento                                    | 27 |
| Figura 14: Empeno                                            | 27 |
| Figura 15: Trincas transversais                              | 28 |
| Figura 16: Desgaste ondulatório                              | 29 |
| Figura 17: Trinca na concordância boleto e alma              | 29 |
| Figura 18: Trinca na concordância alma e patim               | 30 |
| Figura 19: Trinca na furação                                 | 30 |
| Figura 20: Escamação boleto                                  | 31 |
| Figura 21: Caroço                                            | 31 |
| Figura 22: Estilhamento canto boleto                         | 32 |
| Figura 23: Despedaçamento canto boleto                       | 32 |
| Figura 24: Patinagem                                         | 33 |
| Figura 25: Esmagamento boleto                                | 33 |
| Figura 26: Dormentes de concreto                             | 34 |
| Figura 27: Dormentes de aço                                  | 34 |
| Figura 28: Dormentes de madeira                              | 35 |
| Figura 29: Dormentes de plástico                             | 35 |
| Figura 30: Colmatação lastro                                 | 36 |
| Figura 31: Fixação pregos e parafusos                        | 37 |
| Figura 32: Escala dos índices de condições usada pelo Railer | 45 |

|                                                              |    |
|--------------------------------------------------------------|----|
| Figura 33: Método do trabalho                                | 49 |
| Figura 34: Trecho analisado                                  | 51 |
| Figura 35: Trincas transversais                              | 53 |
| Figura 36: Esmagamento de boleto                             | 54 |
| Figura 37: Patinação                                         | 55 |
| Figura 38: Fissura                                           | 56 |
| Figura 39: Desalinhamento horizontal                         | 57 |
| Figura 40: Ausência de dormente                              | 58 |
| Figura 41: Irregularidade de espaçamento                     | 59 |
| Figura 42: Irregularidade de espaçamento                     | 60 |
| Figura 43: Irregularidade de espaçamento                     | 60 |
| Figura 44: Desalinhamento do dormente                        | 61 |
| Figura 45: Deterioração de dormente                          | 62 |
| Figura 46: Deterioração da placa de apoio                    | 63 |
| Figura 47: Ausência dos parafusos de fixação                 | 64 |
| Figura 48: Deslocamento da placa de apoio                    | 65 |
| Figura 49: Ausência de fixação                               | 66 |
| Figura 50: Colmatagem externa do lastro                      | 67 |
| Figura 51: Contaminação biológica do lastro                  | 68 |
| Figura 52: Socamento Deficiente                              | 69 |
| Figura 53: Ausência de lastro                                | 70 |
| Figura 54: Insuficiência de lastro                           | 71 |
| Figura 55: Insuficiência de lastro                           | 71 |
| Figura 56: Escala dos índices de condições usada pelo Railer | 81 |

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 01: Categorias da escala dos índices de condição                   | 45 |
| Tabela 02: Causas e consequências das manifestações patológicas           | 72 |
| Tabela 03: Densidade e níveis de severidade das manifestações patológicas | 76 |
| Tabela 04: Valores do índice de Condição                                  | 80 |
| Tabela 05: Categorias da escala dos índices de condição                   | 82 |
| Tabela 06: Resumo das manutenções das manifestações patológicas           | 85 |

## SUMÁRIO

|                                                          |           |
|----------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO</b>                                     | <b>10</b> |
| 1.1. Objetivo geral                                      | 11        |
| 1.2. Objetivos específicos                               | 11        |
| 1.3. Justificativa                                       | 12        |
| 1.4. Organização do trabalho                             | 13        |
| <b>2. REVISÃO DA LITERATURA</b>                          | <b>15</b> |
| 2.1. Infraestrutura ferroviária                          | 16        |
| 2.2. Superestrutura ferroviária                          | 17        |
| 2.2.1. Sublastro                                         | 18        |
| 2.2.2. Lastro                                            | 19        |
| 2.2.3. Dormentes                                         | 20        |
| 2.2.4. Trilhos                                           | 21        |
| 2.2.5. Sistemas de fixações                              | 22        |
| 2.3. Defeitos em elementos da superestrutura ferroviária | 25        |
| 2.4. Defeitos geométricos                                | 25        |
| 2.5. Defeitos estruturais                                | 27        |
| 2.5.1. Trilhos                                           | 28        |
| 2.5.2. Dormentes                                         | 34        |
| 2.5.3. Lastro                                            | 36        |
| 2.5.4. Fixações acessórios                               | 36        |
| 2.6. Manutenção de pavimentos ferroviários               | 37        |
| 2.6.1. Tipos de manutenções                              | 37        |
| 2.6.2. Impacto econômico de Manutenção                   | 38        |
| 2.7. Sistema de gerência de pavimentos ferroviários      | 39        |
| 2.7.1. Análise estrutural                                | 39        |
| 2.7.2. Divisão dos níveis de severidade dos defeitos     | 40        |
| 2.7.3. Densidade                                         | 42        |
| 2.8. Curvas de ponderação                                | 42        |

|                                                                                   |           |
|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 2.9. Índices de condição                                                          | 43        |
| <b>3. MATERIAIS E MÉTODOS</b>                                                     | <b>47</b> |
| <b>4. ESTUDO DE CASO</b>                                                          | <b>50</b> |
| 4.1. Delimitação da área de estudo                                                | 50        |
| 4.2. Registros das patologias in loco                                             | 51        |
| 4.2.1. Patologias identificadas nos trilhos                                       | 52        |
| 4.2.2. Patologias identificadas nos dormentes                                     | 57        |
| 4.2.3. Patologias identificadas nos sistemas de fixação                           | 62        |
| 4.2.4. Patologias identificadas no lastro                                         | 66        |
| 4.2.5. Resumo das manifestações patológicas                                       | 72        |
| <b>5. ANÁLISE DE RESULTADOS CONFORME MÉTODO PROPOSTO POR ILDEFONSO (2013)</b>     | <b>75</b> |
| 5.1. Densidade das manifestações patológicas encontradas e nível de severidade    | 75        |
| 5.2. Determinação do índice global da via pelo método Ildefonso                   | 77        |
| 5.2.1. Quantificação das manifestações patológicas por grau de severidade         | 77        |
| 5.2.2. Conversão da densidade das manifestações patológicas em índice de condição | 78        |
| 5.2.3. Cálculo dos índice de condição por severidade (IC)                         | 79        |
| 5.2.4. Determinação do índice global da via                                       | 80        |
| 5.2.5. Classificação da condição da via                                           | 81        |
| 5.3. Recomendações de manutenção                                                  | 82        |
| 5.3.1. Manutenção dos trilhos                                                     | 83        |
| 5.3.2. Manutenção dos dormentes                                                   | 83        |
| 5.3.3. Manutenção dos sistemas de fixação                                         | 84        |
| 5.3.4. Manutenção do lastro                                                       | 84        |
| <b>6. CONCLUSÃO</b>                                                               | <b>87</b> |
| <b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>                                                 | <b>89</b> |
| <b>APÊNDICE</b>                                                                   | <b>92</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Segundo o Ministério dos Transportes (2025), o setor ferroviário possui papel estratégico no desenvolvimento socioeconômico de diversos países, sendo responsável por integrar regiões, promover a circulação de mercadorias e reduzir custos logísticos. No Brasil, historicamente, as ferrovias desempenharam papel fundamental na expansão territorial e na integração de polos produtivos, sobretudo no escoamento de produtos agrícolas e minerais para os portos. Ainda que nas últimas décadas, o transporte rodoviário tenha se consolidado como modal predominante, o transporte ferroviário continua sendo considerado uma alternativa mais econômica e sustentável, especialmente em longas distâncias e para grandes volumes de carga (Ministério do Planejamento, 2025).

A relevância econômica das ferrovias pode ser observada nos impactos diretos na competitividade do país. Ao possibilitar o escoamento de *commodities* de forma mais eficiente, como soja, milho e minério de ferro, esse modal reduz o custo logístico e amplia a participação do Brasil nos mercados internacionais (Santoro, 2025). Além disso, a ferrovia contribui para a redução do consumo de combustíveis fósseis e da emissão de poluentes, aspectos que se alinham às metas globais de sustentabilidade e à busca por soluções de transporte menos agressivas ao meio ambiente (Santoro, 2025). Nesse sentido, investimentos em infraestrutura ferroviária não representam apenas um avanço técnico, mas também uma estratégia econômica e ambiental (Tribunal de Contas da União, 2024).

Entretanto, a malha ferroviária brasileira apresenta desafios significativos. Apesar de algumas melhorias observadas com as concessões privadas, grande parte da infraestrutura encontra-se deteriorada ou subutilizada, com trechos inativos e outros operando abaixo de seu potencial. Estima-se que cerca de um terço da extensão ferroviária nacional esteja em condições precárias, o que compromete a eficiência do transporte e acarreta prejuízos à economia (Tribunal de Contas da União, 2024). Esse cenário está diretamente relacionado à ausência de manutenção adequada e à ocorrência de patologias que afetam a via permanente (Tribunal de Contas da União, 2024).

Ademais, patologia é o campo do conhecimento voltado ao estudo das alterações, falhas e processos de degradação que afetam o funcionamento normal de um sistema, seja ele biológico, físico ou estrutural. De forma geral, trata-se da análise das causas, dos mecanismos de desenvolvimento e das consequências dessas anomalias, buscando compreender como e por que determinado elemento deixa de desempenhar adequadamente sua função ao longo do

tempo. Nesse sentido, a patologia não se limita apenas à identificação do problema, mas também envolve a interpretação de sua evolução e dos fatores que contribuem para sua ocorrência. No contexto das linhas férreas, esse conceito é aplicado ao estudo das manifestações patológicas em estruturas e materiais, como fissuras, trincas, corrosão e deformações, as quais podem comprometer o desempenho, a segurança e a durabilidade das obras.

Diante disso, a manutenção surge como elemento central na gestão ferroviária. Mais do que reparar danos já existentes, a manutenção preventiva e preditiva busca prevenir falhas, reduzir custos de operação e aumentar a segurança do transporte (Tribunal de Contas da União, 2020).

Assim, o estudo das patologias nas ferrovias revela-se essencial não apenas do ponto de vista técnico, mas também econômico e social. Compreender as causas, os efeitos e as soluções possíveis para os problemas que acometem a via permanente é condição indispensável para que o Brasil alcance maior eficiência logística, reduza custos de transporte e fortaleça sua posição no cenário global.

### **1.1. Objetivo geral**

O presente trabalho tem como objetivo geral analisar de forma integrada as principais manifestações patológicas que acometem a infraestrutura ferroviária no município de Uberlândia/MG, buscando compreender seus mecanismos de ocorrência, causas associadas e impactos sobre a segurança, durabilidade e o desempenho operacional da ferrovia, de modo a subsidiar diretrizes técnicas para a gestão e manutenção da via permanente.

O estudo parte da necessidade de compreender as manifestações patológicas não apenas como ocorrências pontuais, mas como fenômenos que refletem a interação entre condições geotécnicas locais, as características dos materiais utilizados, a intensidade de tráfego, as características do subleito e as práticas de manutenção adotadas nas linhas férreas que atravessam Uberlândia.

### **1.2. Objetivos específicos**

Como desdobramento do objetivo geral, este trabalho estabelece os seguintes objetivos específicos:

- Identificar as principais manifestações patológicas presentes nos trechos ferroviários localizados no município de Uberlândia/MG.
- Classificar as manifestações patológicas identificadas segundo critérios amplamente adotados na engenharia ferroviária, considerando sua origem geométrica, ambiental ou operacional, bem como os elementos da via permanente envolvidos, tais como trilhos, dormentes, sistemas de fixação e lastro.
- Avaliar os impactos das patologias identificadas sobre a segurança operacional da ferrovia, analisando de que forma podem comprometer a estabilidade da circulação ferroviária e prejudicar o desempenho logístico do transporte ferroviário.
- Propor recomendações técnicas voltadas à mitigação das manifestações patológicas ferroviárias, contemplando diretrizes de manutenção preventiva, corretiva e de reabilitação da via permanente.

### **1.3. Justificativa**

A malha ferroviária que atravessa o município de Uberlândia possui grande relevância estratégica para o escoamento de cargas no Triângulo Mineiro e para o desenvolvimento econômico regional. A cidade está inserida em um corredor logístico fundamental, conectando importantes polos produtores, industriais e de distribuição (Santos, 2017).

Além disso, a ferrovia representa um elemento estruturante do território urbano e rural de Uberlândia, interferindo diretamente na dinâmica econômica, no planejamento territorial e no transporte regional. Compreender como a infraestrutura se comporta ao longo do tempo é fundamental para apoiar de forma mais adequada a gestão, o planejamento e a tomada de decisões tanto por parte de operadores ferroviários quanto por órgãos públicos e profissionais de engenharia envolvidos na área (Santos, 2017).

Diante desse contexto, este trabalho justifica-se pela necessidade de análise das condições da via permanente no município de Uberlândia, considerando a relevância socioeconômica do modal ferroviário na região. Dessa forma, busca-se classificar os impactos que o estado da via pode gerar na operação ferroviária, tendo em vista a importância desse modal para o escoamento de cargas e para o desenvolvimento regional.

#### **1.4. Organização do trabalho**

O Capítulo 1 apresenta a introdução do trabalho, contextualizando a importância das ferrovias para o desenvolvimento regional e destacando por que o estudo das patologias é indispensável para garantir segurança e eficiência operacional, além de expor as justificativas da pesquisa e os objetivos gerais e específicos que orientam todo o estudo.

No Capítulo 2, é apresentado o referencial bibliográfico, reunindo livros, artigos técnicos e normas que descrevem as patologias mais comuns e relevantes que podem ocorrer na via permanente, oferecendo a base conceitual necessária para a análise.

O Capítulo 3 descreve o método, destacando a utilização do Método de gerenciamento de vias férreas desenvolvido por Ildefonso (2013), que permite avaliar o nível de precariedade de cada trecho ferroviário e indicar recomendações adequadas de acordo com as condições encontradas.

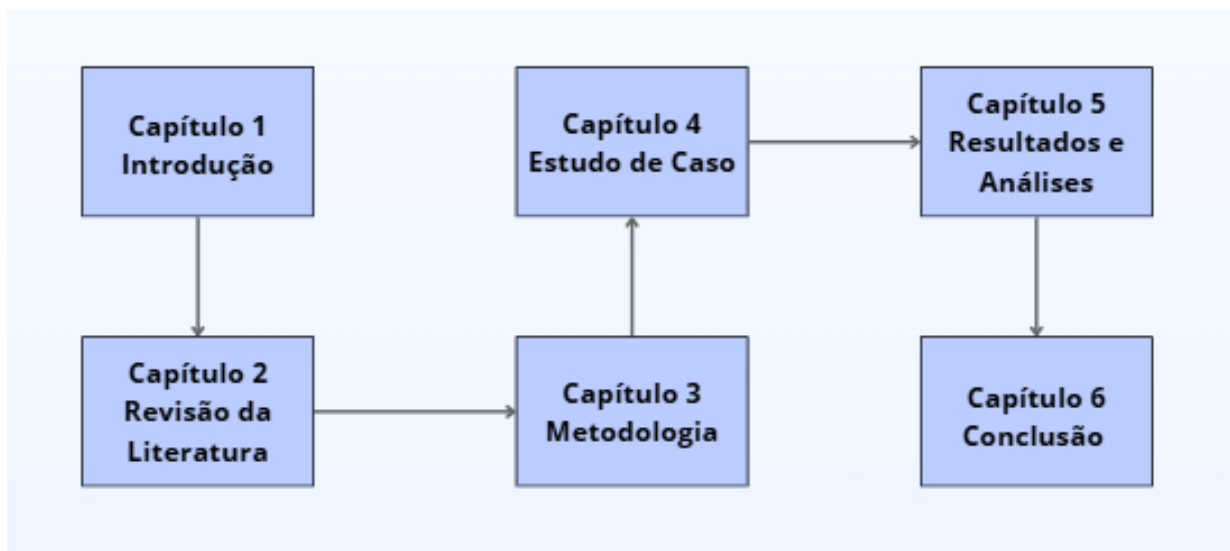
O Capítulo 4 trata do estudo de caso realizado em um trecho da via permanente no município de Uberlândia, onde são apresentados os levantamentos, registros e classificações das manifestações patológicas observadas em campo.

O Capítulo 5 traz a análise e os resultados com o intuito de determinar a condição dos trechos avaliados e compreender o estado geral da ferrovia em relação às patologias identificadas.

Por fim, o Capítulo 6 reúne a conclusão do trabalho e recomendações para trabalhos futuros, sintetizando os principais achados, discutindo a situação atual da ferrovia estudada e apresentando considerações finais e possíveis direcionamentos para estudos futuros. Após o Capítulo 6 é apresentado um apêndice que demonstra a densidade das manifestações patológicas e suas localidades através do retográfico.

Conforme mencionado nos parágrafos anteriores, a Figura 01 representa o fluxograma da estrutura do trabalho.

Figura 01: Fluxograma do trabalho



Fonte: Autor (2025)

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

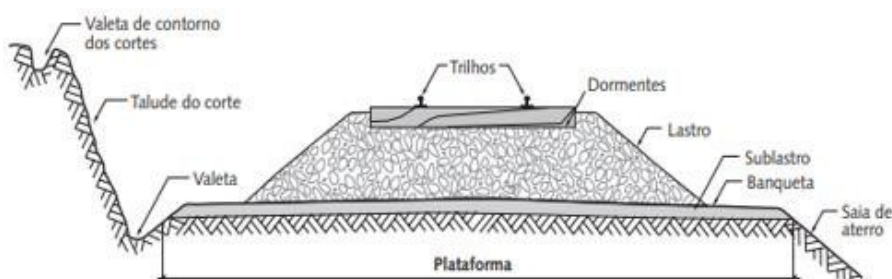
O setor ferroviário brasileiro permaneceu por muitos anos em segundo plano, recebendo investimentos escassos e acumulando déficits operacionais. Esse cenário começou a se modificar a partir da década de 1990, especialmente em 1992, quando foi instituído o Programa Nacional de Desestatização (PND). Por meio dele, trechos significativos da malha ferroviária foram repassados à iniciativa privada em regime de concessão (Silva Junior, 2008).

O objetivo dessa medida era reverter a estagnação do modal, proporcionando um ambiente de maior competitividade e eficiência. Com o aporte privado, houve melhorias consideráveis na infraestrutura existente e a operação ferroviária ganhou fôlego. Contudo, mesmo com os avanços, a representatividade do setor ainda é pequena quando comparada ao transporte rodoviário. De acordo com a Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários (ANTF, 2024), as ferrovias respondem por apenas 21,5% da movimentação de cargas no Brasil, enquanto as rodovias concentram cerca de 65% desse volume.

Ainda assim, os investimentos realizados permitiram a ampliação da extensão ferroviária nacional, que atualmente alcança cerca de 30.576 km de linhas (Confederação Nacional do Transporte, 2019). Isso demonstra o potencial de crescimento desse modal e justifica a necessidade de estudos técnicos que analisem sua eficiência e as condições de sua infraestrutura.

O transporte ferroviário é classificado como um sistema autoguiado, no qual os veículos, tanto locomotivas quanto vagões, deslocam-se sobre trilhos metálicos contínuos. Esses trilhos, por sua vez, apoiam-se em dormentes, que repousam sobre o lastro e demais camadas de suporte. Dessa forma, a ferrovia pode ser entendida como um conjunto formado basicamente por dois subsistemas: o material rodante (conjunto de locomotivas e vagões) e a via permanente, que corresponde ao conjunto estrutural da ferrovia (Santos, 2017), conforme apresentado na Figura 02.

Figura 02: Estrutura ferroviária



Fonte: Nabais (2014)

A via permanente é composta por infraestrutura e superestrutura. Cabe a ela absorver e redistribuir os esforços gerados pelo tráfego ferroviário, garantindo uma resposta elástica que mantenha a estabilidade da linha. A durabilidade desse subsistema está diretamente relacionada à qualidade dos materiais e ao bom desempenho de cada componente, já que o desgaste ocorre tanto pelo atrito com o material rodante quanto pela ação de agentes climáticos (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes, 2015).

Assim, o estudo do pavimento ferroviário é essencial para compreender não apenas a mecânica de funcionamento do sistema, mas também os desafios relacionados às patologias e manutenções (Esveld, 2001).

## **2.1. Infraestrutura ferroviária**

A infraestrutura ferroviária corresponde ao conjunto de elementos físicos responsáveis por sustentar a superestrutura da via, assegurando condições adequadas de estabilidade, resistência e segurança para a circulação dos trens (Pereira, 2016). De maneira objetiva, compreende todas as intervenções executadas na faixa de domínio da ferrovia, incluindo desde os serviços de terraplenagem até a implantação de obras de arte especiais, como pontes e viadutos, necessárias à continuidade do traçado ferroviário (Pereira, 2016).

Dessa forma, a infraestrutura pode ser entendida como o conjunto de obras implantadas em determinada faixa de terreno com a finalidade de estabelecer e proteger o caminho destinado ao tráfego em uma via terrestre (Lima, 1998). Embora essa definição também se aplique às rodovias, no contexto ferroviário ela assume características próprias, em função das exigências estruturais e geométricas específicas impostas pelo sistema de transporte sobre trilhos.

A infraestrutura desempenha, portanto, a função de sustentar a superestrutura, absorvendo e distribuindo os esforços transmitidos pelo tráfego ferroviário. Além disso, garante a proteção da plataforma contra a erosão, infiltração de água e instabilidades geotécnicas. Uma infraestrutura mal executada pode comprometer toda a vida útil da ferrovia, gerando deformações, recalques diferenciais e, conseqüentemente, altos custos de manutenção (Pereira, 2016).

Outro aspecto relevante é a drenagem. Sem um sistema adequado de escoamento das águas pluviais, o solo da plataforma tende a saturar-se, reduzindo sua capacidade de suporte e

aumentando a ocorrência de patologias, como bolsões de lama, erosões e instabilidade de taludes. Por essa razão, dispositivos de drenagem são indispensáveis em qualquer projeto de infraestrutura ferroviária (Esveld, 2001).

Em síntese, a infraestrutura ferroviária constitui a espinha dorsal da via permanente. É nela que repousa a superestrutura, e dela depende a durabilidade e o desempenho do sistema. Logo, um estudo aprofundado de seus elementos é essencial para compreender as condições operacionais e as patologias que podem surgir no decorrer da vida útil da ferrovia.

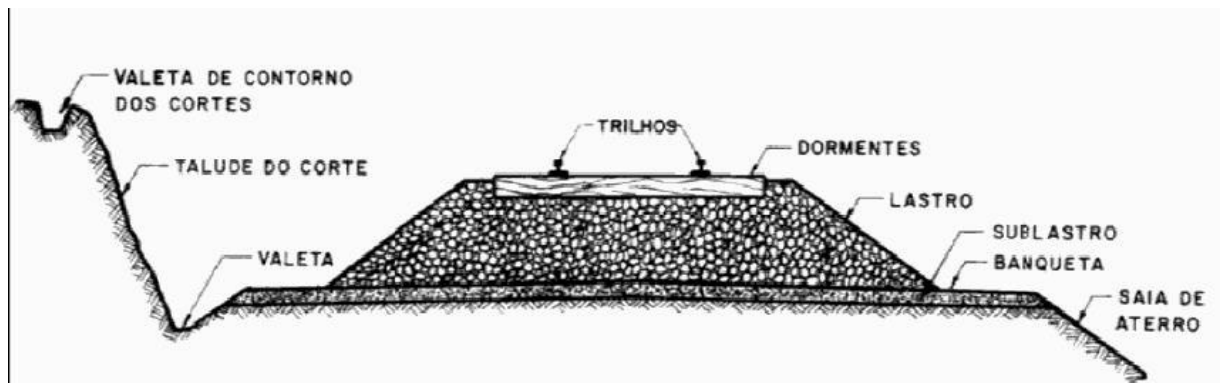
## **2.2. Superestrutura ferroviária**

De acordo com o Glossário de Termos Ferroviários do DNIT (2015), a superestrutura ferroviária é definida como a porção superior da via permanente, responsável por receber diretamente os esforços provenientes da circulação dos trens e transmiti-los para a infraestrutura. É, portanto, a parte mais visível da ferrovia e aquela em contato direto com o material rodante.

Os principais componentes da superestrutura são: sublastro, lastro, dormentes, trilhos, acessórios e aparelhos de mudança de via (AMVs). Cada um desses elementos tem funções específicas, mas todos atuam de forma conjunta para garantir a estabilidade, o conforto e a segurança da operação ferroviária (Nabais, 2014).

A superestrutura pode ser classificada em dois tipos principais: rígida e elástica (Nabais, 2014). Considera-se rígida quando os trilhos estão apoiados diretamente sobre estruturas de concreto, sem a presença de lastro, ou quando dormentes são fixados em lajes ou vigas. Esse modelo, apesar de robusto, apresenta menor capacidade de amortecimento de esforços (NABAI, 2014). Já a superestrutura elástica, que é a mais comum no Brasil, utiliza o lastro como camada intermediária para distribuir as cargas aplicadas. Isso proporciona melhor absorção dos impactos e facilita as atividades de manutenção (Nabais, 2014), conforme apresentado na Figura 03.

Figura 03: Componentes da superestrutura



Fonte: Brina (1979)

A seguir, são descritos os principais elementos constituintes da superestrutura, com suas características, funções e principais patologias, com foco nos elementos que são analisados neste trabalho, sendo eles os trilhos, dormentes, sublastro, lastro e sistemas de fixação.

### 2.2.1. Sublastro

O sublastro corresponde à camada localizada entre o lastro e a infraestrutura. Segundo Brina (1988), as principais funções do sublastro incluem:

- Aumentar a capacidade de resistência do terreno, reduzindo a necessidade de grandes espessuras de lastro.
- Evitar a mistura do lastro na plataforma, preservando a integridade da infraestrutura.
- Contribuir para a drenagem da via, reduzindo a infiltração de água.
- Proporcionar uma base mais elástica ao lastro, evitando que a via apresente comportamento excessivamente rígido.

Do ponto de vista econômico, o uso do sublastro é vantajoso. Isso porque ele pode ser construído com materiais de menor custo, geralmente disponíveis na região da obra, enquanto o lastro exige agregados de alta qualidade e custo elevado. Além disso, quando bem dimensionado, o sublastro diminui a frequência de manutenções corretivas e prolonga a vida útil da ferrovia (Esveld, 2001)

Para garantir sua eficiência, é necessário que a espessura do sublastro seja suficiente para distribuir adequadamente as tensões até os limites admissíveis do solo de fundação. Caso

contrário, a camada perde sua função de reforço e pode gerar recalques diferenciais e instabilidade da via (Brina, 1988).

### **2.2.2. Lastro**

O lastro ferroviário é a camada granular que se encontra logo abaixo dos dormentes, com ou sem a presença de sublastro. Sua função principal é distribuir uniformemente os esforços transmitidos pelo material rodante, além de proporcionar estabilidade geométrica à via (DNIT, 2015).

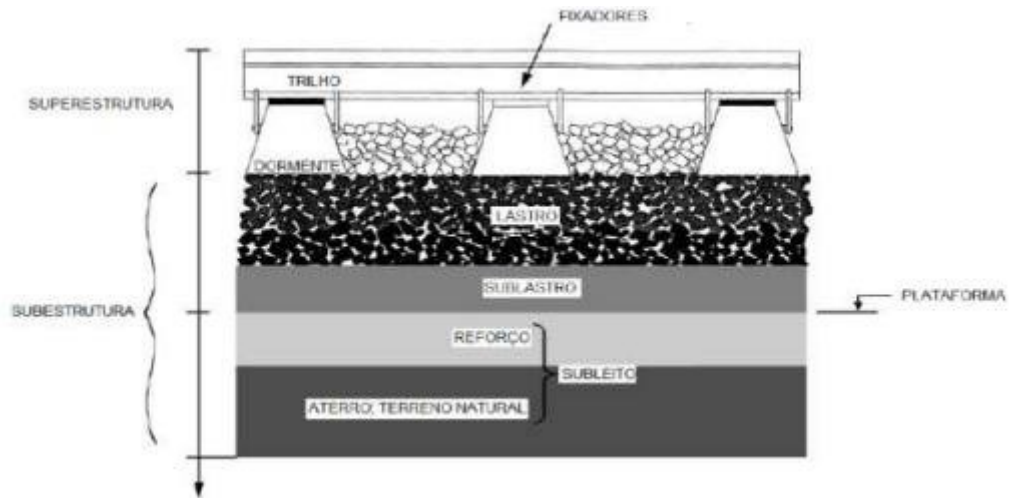
O lastro atua como elemento fundamental para garantir a elasticidade da superestrutura. Ele não apenas absorve os impactos, mas também possibilita a correção de deformações por meio de operações de socaria e nivelamento (Brina, 1988).

Segundo Brina (1988) principais funções do lastro incluem:

- Fixar transversal e longitudinalmente os dormentes.
- Formar uma superfície contínua e estável para o apoio dos trilhos.
- Permitir a drenagem das águas pluviais, reduzindo a saturação do solo.
- Resistir ao desgaste físico provocado pela circulação e pelas intempéries.

A qualidade do lastro é determinada pela granulometria, resistência mecânica e durabilidade do material. Os materiais mais empregados no lastro são britas de rocha dura, como basalto e granito, por apresentarem elevada resistência e baixa porosidade. Entretanto, em alguns trechos ainda se utilizam materiais alternativos, como areia, cascalho e escória. Tais soluções, apesar de mais baratas, apresentam desempenho inferior, aumentando a necessidade de manutenção, conforme apresenta a Figura 04 os componentes da superestrutura.

Figura 04: Componentes da superestrutura



Fonte: Selig e Waters (1994)

### 2.2.3. Dormentes

Os dormentes são peças fundamentais da superestrutura, responsáveis por receber os esforços dos trilhos e transmiti-los ao lastro. Além disso, fixam os trilhos, mantendo a bitola constante (Brina, 1988).

Segundo Brina (1988) para desempenhar bem sua função, os dormentes precisam apresentar:

- Resistência suficiente às solicitações mecânicas.
- Durabilidade contra intempéries e ataques biológicos.
- Elasticidade adequada para evitar rigidez excessiva da via.
- Facilidade de fixação e manutenção.

Existem diferentes materiais utilizados na fabricação de dormentes: madeira, aço, concreto e plástico reciclado (Brina, 1988).

- Madeira – historicamente, foi o material mais empregado. Apresenta vantagens como facilidade de manuseio e bom comportamento elástico, mas sofre com problemas de apodrecimento, trincas e baixa durabilidade.
- Aço – oferece resistência mecânica elevada, mas apresenta como desvantagens o custo, a propagação de ruídos e a dificuldade de isolamento elétrico.

- Concreto – atualmente muito utilizado em trechos de tráfego intenso. Os modelos mais comuns são o monobloco protendido e o polibloco. Garantem maior durabilidade, embora demandem custos iniciais mais altos.
- Plástico reciclado – solução moderna e sustentável, apresenta resistência mecânica satisfatória, longa vida útil (40 a 50 anos) e reduz impacto ambiental, pois reaproveita resíduos plásticos.

A escolha do tipo de dormente, conforme apresentado na Figura 05, depende da disponibilidade de materiais, do custo e das condições operacionais da ferrovia.

Figura 05: Tipos de dormentes



Fonte: Vale (2010)

#### 2.2.4. Trilhos

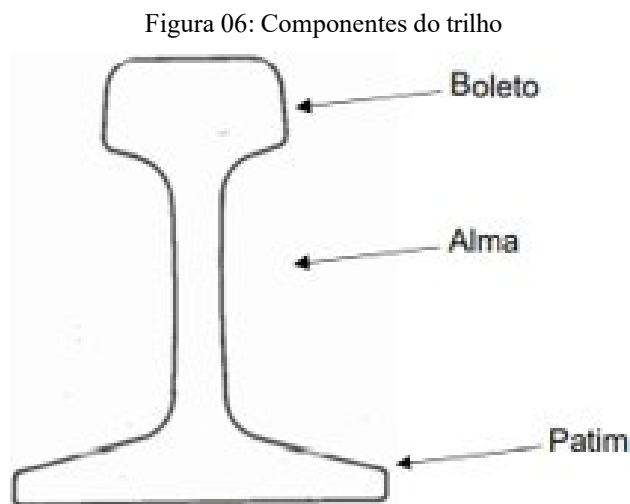
Os trilhos constituem o elemento mais característico da via férrea. São perfis metálicos contínuos que servem como superfície de rolamento para as rodas dos trens, guiando o material rodante e transmitindo os esforços aos dormentes (Nabais, 2014). Em essência, o trilho funciona como uma viga submetida a esforços dinâmicos, cuja durabilidade e resistência são determinantes para a segurança da operação.

Ao longo da história, os trilhos passaram por diversas evoluções tecnológicas. Antigamente, utilizava-se o modelo de duplo boleto, hoje é utilizado o chamado de trilho de seção em duplo “T”. Esse perfil garante maior momento de inércia, conferindo resistência à flexão e ao desgaste (Brina, 1988).

O trilho é formado por três partes principais, conforme a Figura 06 (Ildefonso, 2013):

- Boleto: região superior onde as rodas dos veículos efetivamente se apoiam.

- Alma: parte vertical e central que conecta o boleto ao patim.
- Patim: base mais larga, apoiada sobre o dormente ou placa de apoio, responsável por transmitir os esforços.



Fonte: Brina (1988)

A classificação dos trilhos é feita de acordo com sua massa nominal por metro linear, expressa em kg/m. A escolha do perfil depende do volume de tráfego, velocidade de operação e intensidade dos esforços aplicados.

Além da geometria, a qualidade do aço empregado é crucial. Ensaio de tração, impacto, dureza e fratura são realizados para garantir resistência e homogeneidade do material. Os comprimentos mais comuns são de 12, 18 e 24 metros, sendo necessário realizar soldagens para compor longos trechos contínuos (Nabais, 2014).

#### 2.2.5. Sistemas de fixações

Os trilhos, por si só, não seriam capazes de resistir às solicitações sem os acessórios de fixação e ligação. Esses elementos complementares asseguram a continuidade e a estabilidade geométrica da via. Podem ser divididos em dois grupos principais: acessórios de ligação e acessórios de fixação (Brina, 1988).

- Talas de junção

As talas de junção são peças metálicas, conforme apresenta a Figura 07, aplicadas nas extremidades dos trilhos, fixadas por parafusos. Sua função é garantir a continuidade da linha,

reduzindo concentrações de tensão e minimizando deformações. Comercialmente, existem modelos de quatro e seis furos, sendo os de seis preferidos em curvas, pela maior rigidez proporcionada (Nabais, 2014).

Figura 07: Talas de junção



Fonte: Brina (1988)

- Parafusos, porcas e arruelas

Esses componentes fixam as talas aos trilhos. Normalmente, utilizam parafusos de gola oval, conforme apresenta a Figura 08, que evitam o giro durante o aperto. A presença da arruela específica é indispensável para impedir o afrouxamento causado pela vibração do tráfego (Nabais, 2014).

Figura 08: Parafusos de fixação



Fonte: Ildefonso (2013)

- Placas de apoio

As placas metálicas são colocadas entre todos trilho e dormente, conforme apresenta a Figura 09, distribuindo melhor as tensões de contato e evitando que o patim corte a madeira ou danifique o concreto. Nelas que os parafusos são instalados para segurar os trilhos nos dormentes.

Figura 09: Placas de apoio



Fonte: Lobato (2023)

- Fixações rígidas

Utiliza pregos de linha ou parafusos (tirefond), conforme apresenta a Figura 10. São simples e de baixo custo, mas oferecem menor absorção de impactos e vibrações. O prego de linha é comum em dormentes de madeira, enquanto o parafuso garante maior resistência ao arrancamento.

Figura 10: Tirefond



Fonte: Ildefonso (2013)

### **2.3. Defeitos em Elementos da Superestrutura Ferroviária**

Assim como qualquer estrutura de engenharia, a via férrea está sujeita a processos de degradação ao longo do tempo. Após entrar em operação, os componentes da superestrutura começam a sofrer os efeitos do tráfego repetitivo, associado às variações climáticas e às solicitações dinâmicas impostas pelos trens. Cada componente possui patologias típicas. Os fatores provocam alterações geométricas e estruturais, que comprometem o desempenho e a segurança do sistema ferroviário (Lima, 1998).

De modo geral, os defeitos que ocorrem na superestrutura ferroviária podem ser agrupados em duas grandes categorias: defeitos geométricos e defeitos estruturais (Ildefonso, 2013).

- Os defeitos geométricos estão relacionados à perda de conformidade da via em relação ao projeto original, afetando parâmetros como bitola, alinhamento e nivelamento.
- Os defeitos estruturais, por sua vez, dizem respeito ao desgaste ou à falha dos materiais constituintes, como fissuras nos trilhos, apodrecimento de dormentes e colmatação do lastro.

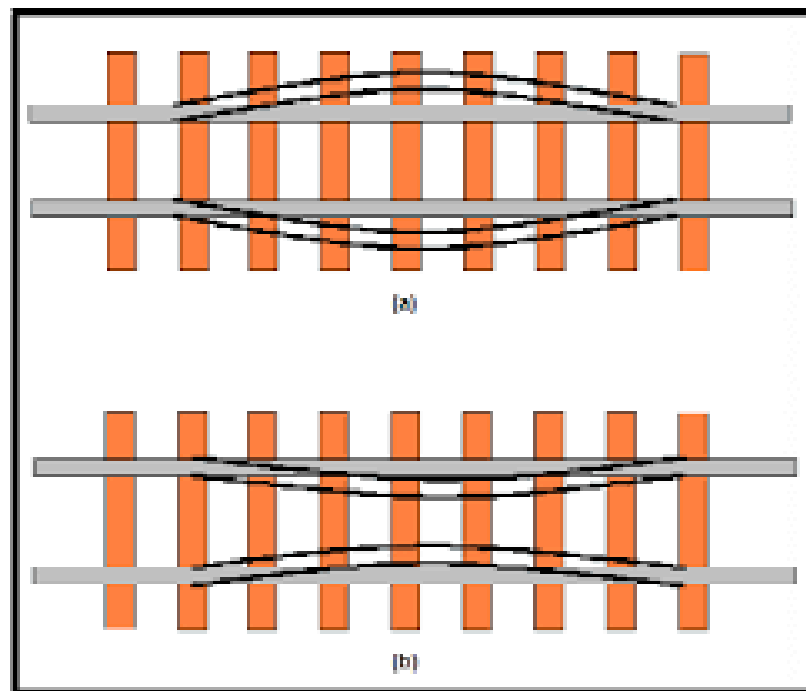
A seguir, detalham-se os principais tipos de patologias observadas.

### **2.4. Defeitos geométricos**

Os defeitos geométricos se manifestam como deslocamentos ou deformações da via em relação à posição prevista em projeto (Coimbra, 2008). Os principais são:

- Defeitos de bitola: correspondem ao alargamento ou estreitamento da distância entre os trilhos. Dormentes deteriorados, folga em fixações e desgaste das placas de apoio estão entre as principais causas, conforme apresenta a Figura 11.

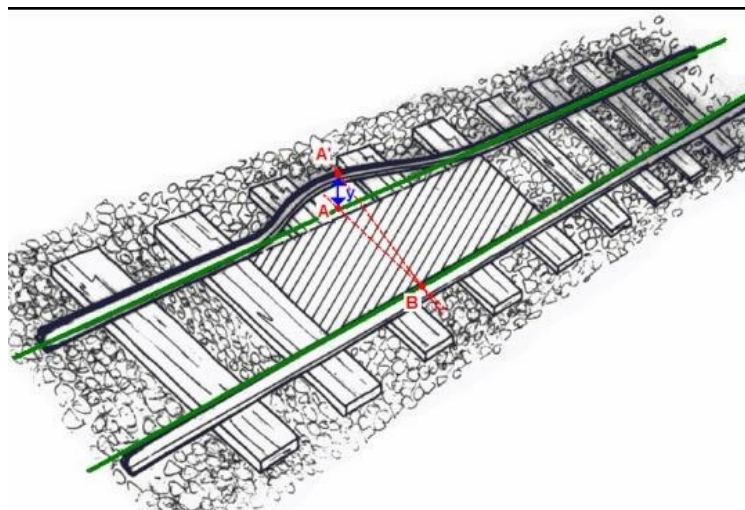
Figura 11: Defeitos bitola



Fonte: Ildefonso (2013)

- Defeitos de nivelamento: referem-se às diferenças de altura, tanto no sentido longitudinal quanto transversal da via. O desnivelamento longitudinal, conforme apresenta a Figura 12, resulta em irregularidades perceptíveis na rodagem, enquanto o transversal provoca balanço lateral nos vagões (Coimbra, 2008).

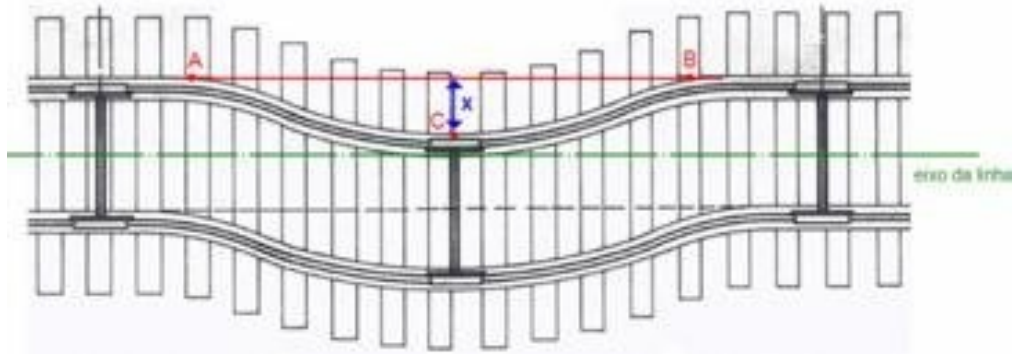
Figura 12: Desnivelamento



Fonte: Coimbra (2008)

- Desalinhamento: ocorre quando o eixo da via se afasta da linha projetada, gerando curvas irregulares (Coimbra, 2008), conforme apresenta a Figura 13.

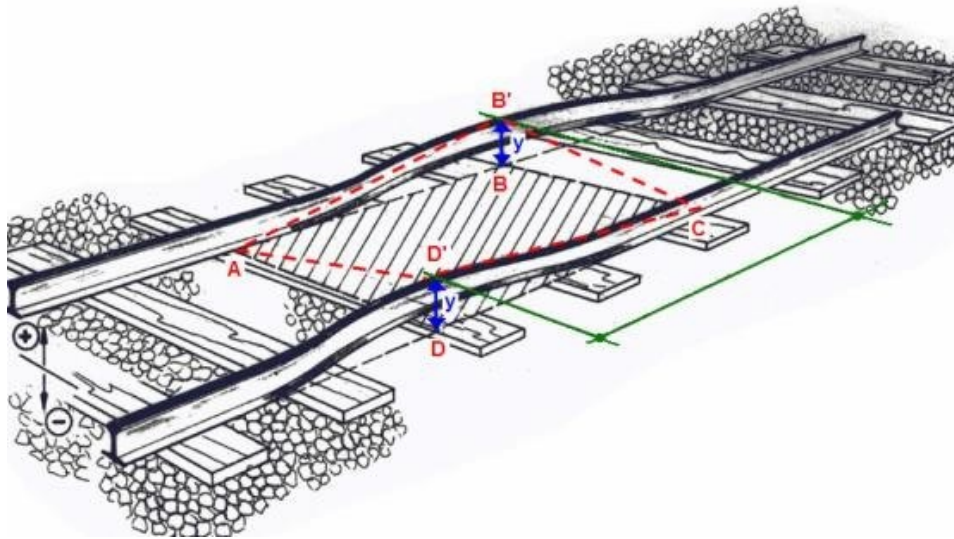
Figura 13: Desalinhamento



Fonte: Coimbra (2008)

- Empeno: caracterizado pela torção da via em determinados trechos, conforme apresenta a Figura 14, normalmente medido com apoio em quatro pontos de referência. Esse defeito pode levar ao tombamento do material rodante se não for corrigido a tempo (Coimbra, 2008).

Figura 14: Empeno



Fonte: Coimbra (2008)

## 2.5. Defeitos estruturais

Enquanto os defeitos geométricos afetam a posição espacial da via, os estruturais comprometem a integridade dos componentes físicos da superestrutura.

### 2.5.1. Trilhos

Os trilhos estão em contato direto com as rodas metálicas, o que gera tensões concentradas e desgaste acentuado (Coimbra, 2008). Patologias típicas incluem:

- Trincas transversais: defeitos internos, que se desenvolvem na direção transversal ao trilho, são comumente causados por falhas na estrutura do material, conforme ilustra a Figura 15.

Figura 15: Trincas transversais



Fonte: Lobato (2023)

- Trincas longitudinais: falhas longitudinais nos trilhos são observadas no sentido do seu comprimento. As principais incluem rachaduras horizontais ou verticais e fissuras. Esses defeitos geralmente surgem devido a impurezas no processo de fabricação, comprometendo a funcionalidade do trilho ao diminuir sua capacidade de resistir a tensões.
- Desgaste ondulatório: defeitos de desgaste surgem da exposição constante ao atrito com o material rodante. Eles geralmente afetam a parte superior dos trilhos, o boleto, e são categorizados como desgaste lateral, desgaste vertical anormal e desgaste ondulatório, conforme ilustra a Figura 16.

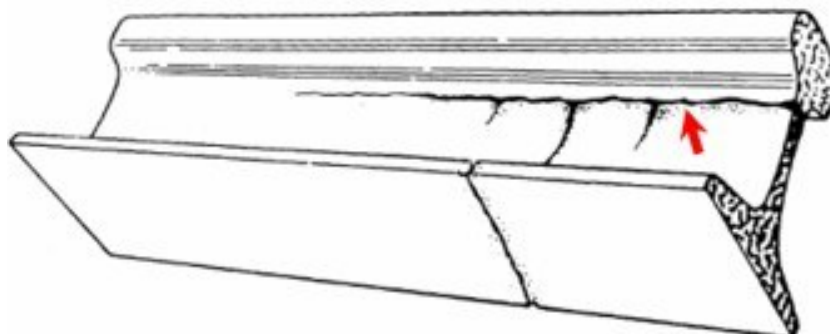
Figura 16: Desgaste ondulatório



Fonte: Lobato (2023)

- Trinca na Concordância Boleto e Alma: esse tipo de trinca começa nas extremidades dos trilhos, nas junções do boleto com a alma. Com o tempo, pode resultar na separação entre essas duas partes do trilho (Coimbra, 2008), conforme ilustra a Figura 17.

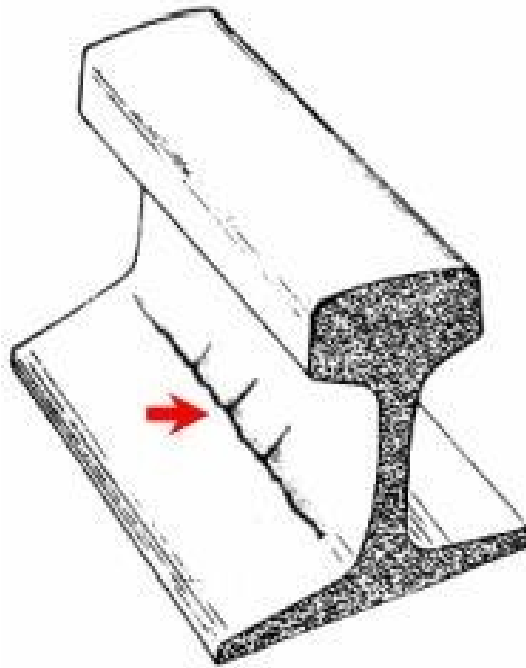
Figura 17: Trinca na concordância boleto e alma



Fonte: Coimbra (2008)

- Trinca na Concordância Alma e Patim: falha horizontal que ocorre na região final do trilho, com tendência a separar a alma do patim, afetando a estrutura da junção (Coimbra, 2008), conforme apresenta a Figura 18.

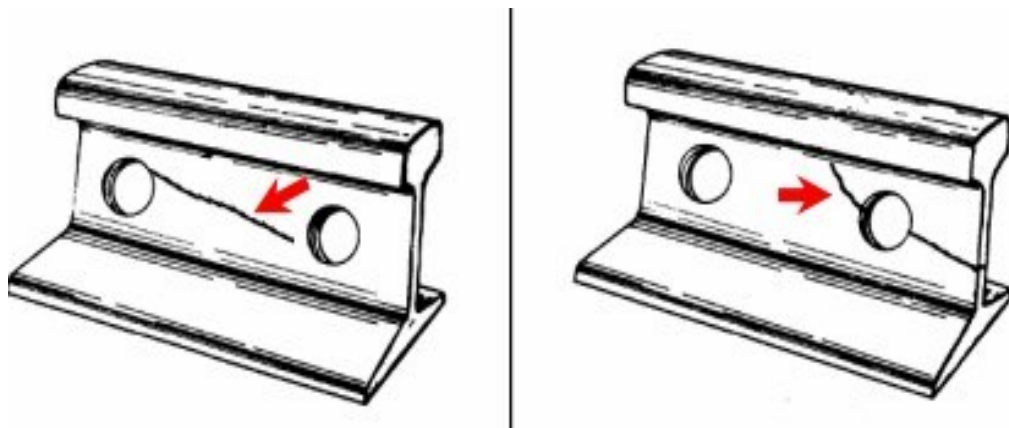
Figura 18: Trinca na Concordância alma e patim



Fonte: Coimbra (2008)

- Trinca Estelar na Furação: surge nos pontos de fixação das talas ou nos furos do trilho, podendo se estender longitudinalmente até o próximo furo ou mudar sua direção para o patim ou boleto (Coimbra, 2008), conforme ilustra a Figura 19.

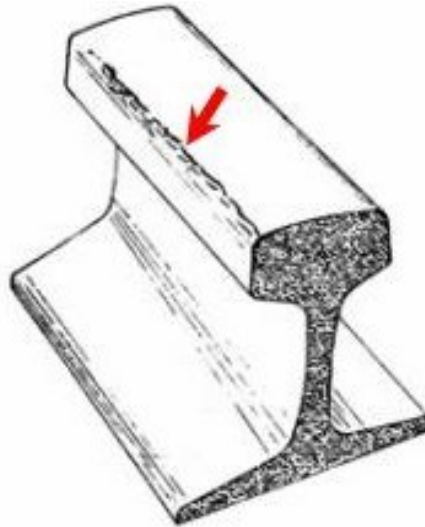
Figura 19: Trinca na furação



Fonte: Coimbra (2008)

- Escamação no Boleto: finas lâminas de aço se separam do boleto devido à fricção e ao impacto das rodas nos trilhos. Esse defeito é exacerbado pelas tensões causadas pelo contato roda-trilho (Coimbra, 2008), conforme ilustra a Figura 20.

Figura 20: Escamação boleto



Fonte: Coimbra (2008)

- Caroço: elevações ou depressões nas soldas dos trilhos, causadas pelo impacto do tráfego e pelo calor gerado durante o processo de soldagem. Esses defeitos podem levar à formação de pequenas ondulações, que geram um ruído metálico quando o trem passa, criando a sensação de uma junção mecânica (Coimbra, 2008), conforme apresenta a Figura 21.

Figura 21: Caroço



Fonte: Coimbra (2008)

- Estiramento do Canto do Boleto: são pedaços do aço se desprendem nas áreas próximas ao canto da bitola, geralmente devido à pressão das rodas em trilhos enfraquecidos por trincas superficiais que se aprofundaram com o tempo (Coimbra, 2008), conforme ilustra a Figura 22.

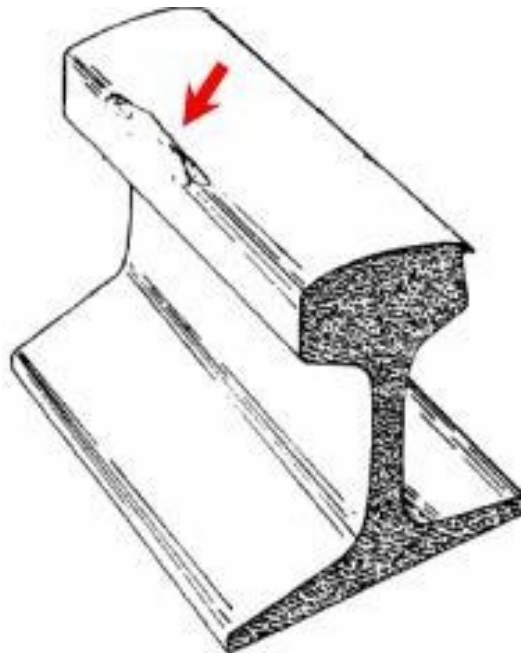
Figura 22: Estiramento canto boleto



Fonte: Lobato (2023)

- Despedaçamento do Canto do Boleto: começa com o aparecimento de manchas escuras e irregulares nas bordas do boleto, que são os primeiros sinais da deterioração do aço. Com o tempo, a ação do tráfego causa o desnível no boleto, intensificando o desgaste (Coimbra, 2008), conforme apresenta a Figura 23.

Figura 23: Despedaçamento canto boleto



Fonte: Coimbra (2008)

- Patinagem: as rodas da locomotiva escorregam no trilho devido à falta de aderência, conforme apresenta a Figura 24, o que gera fricção excessiva e provoca desgaste irregular na superfície do trilho. É mais comum em áreas com condições inadequadas de aderência, como trilhos molhados ou com substâncias escorregadias, e pode gerar trincas térmicas no trilho (Coimbra, 2008).

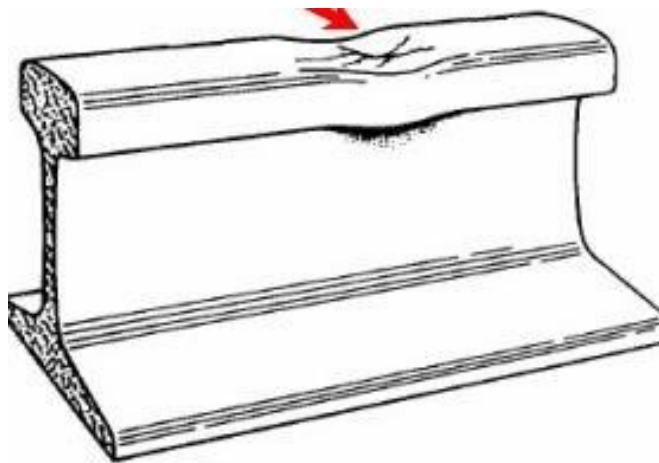
Figura 24: Patinagem



Fonte: Lobato (2023)

- Esmagamento do Boleto: o aço do trilho perde resistência mecânica, resultando em uma deformação do boleto, principalmente nas regiões internas das curvas (Coimbra, 2008), conforme ilustra a Figura 25.

Figura 25: Esmagamento boleto



Fonte: Coimbra (2008)

### 2.5.2. Dormentes

Os defeitos variam conforme o material empregado (Brina, 1988):

- Concreto: em dormentes do tipo monobloco, os defeitos são rachaduras e fraturas nas seções transversais ou nos pontos de fixação, o resultado disso é a perda de estabilidade e diminuição da resistência, conforme ilustra a Figura 26.

Figura 26: Dormentes de concreto



Fonte: Ildefonso (2013)

- Aço: estes elementos estão expostos à corrosão por fatores naturais, conforme apresenta a Figura 27. Eles também podem sofrer deformações no sentido do comprimento, o que modifica a bitola da ferrovia (Brina, 1988). Fragmentações podem ocorrer nas seções transversais.

Figura 27: Dormentes de aço



Fonte: Lobato (2023)

- Madeira: estes componentes são vulneráveis à deterioração causada por condições climáticas. A resistência de fixação desses elementos diminui devido a desgastes ou furações excessivas, o que pode levar à formação de rachaduras e fissuras (Brina, 1988), conforme apresenta a Figura 28.

Figura 28: Dormentes de madeira



Fonte: Lobato (2023)

- Plástico reciclado: embora mais resistentes, pode apresentar desgaste superficial em locais de intenso tráfego (Vale, 2009), conforme ilustra a Figura 29.

Figura 29: Dormentes de plástico

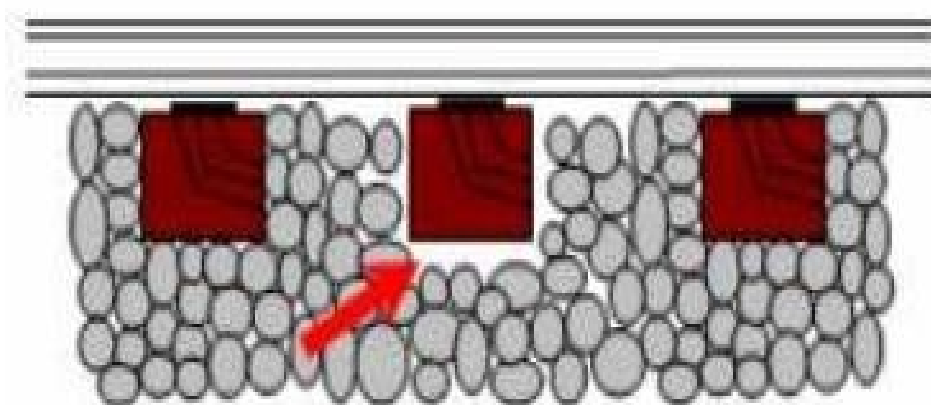


Fonte: Vale (2010)

### 2.5.3. Lastro

As principais patologias que acometem o lastro e o sublastro manifestam-se, predominantemente, por meio da colmatagem e da bioinvasão. Esses processos resultam no preenchimento dos vazios intergranulares por detritos minerais, orgânicos ou pelo crescimento de vegetação. Essa contaminação compromete a permeabilidade da via, transformando a camada de suporte em uma massa densa que retém umidade e anula a função drenante do sistema. Adicionalmente, problemas como o socamento deficiente e a insuficiência do ombro de lastro criam vazios estruturais e perda de confinamento lateral. Tais falhas provocam impactos dinâmicos severos, instabilidade geométrica e a degradação acelerada da interface com o sublastro, elevando o risco de recalques permanentes e falhas catastróficas na superestrutura (Coimbra, 2008), conforme ilustra a Figura 30.

Figura 30: Colmatção lastro



Fonte: Coimbra (2008)

### 2.5.4. Fixações acessórios

Pregos, parafusos, talas e grampos sofrem desgaste mecânico e corrosão. O afrouxamento ou a ausência desses elementos compromete a manutenção da bitola e aumenta os riscos de acidentes (Coimbra, 2008), conforme ilustra a Figura 31.

Figura 31: Fixações pregos e parafusos



Fonte: Lobato (2023)

## 2.6. Manutenção dos pavimentos ferroviários

Durante o funcionamento de uma ferrovia, é inevitável que os esforços repetitivos impostos pelo tráfego e pelas variações climáticas causem desgaste na via. Até certo ponto, tais deteriorações são toleradas dentro de parâmetros de segurança e qualidade. Entretanto, quando os limites são ultrapassados, torna-se imprescindível adotar medidas de manutenção para restabelecer o desempenho adequado da linha (Amaral, 1994).

A manutenção pode ser compreendida como o conjunto de ações técnicas e administrativas voltadas para preservar ou recuperar as condições de funcionamento. No contexto ferroviário, esse conceito engloba intervenções destinadas a prolongar a vida útil da via permanente, reduzir custos operacionais e garantir segurança à operação (Moubray, 2000).

Segundo a ABNT NBR 5462:1994, manutenção é o conjunto de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo atividades de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em condições de desempenhar uma função requerida. Essa definição reforça que a manutenção não se restringe apenas a reparos corretivos, mas também envolve planejamento estratégico e inspeções preventivas.

### 2.6.1. Tipos de manutenção

Conforme o Marques (2015), as modalidades de manutenção aplicadas às ferrovias são:

- Manutenção preventiva: realizada em intervalos programados, antes que ocorram falhas significativas. Tem como objetivo antecipar problemas, aumentando a confiabilidade da via e reduzindo riscos de acidentes (Marques, 2015).
- Manutenção corretiva: executada após a ocorrência de falhas ou defeitos que inviabilizam o tráfego. É geralmente mais onerosa, pois implica paralisação da linha e maiores custos com reparo emergencial (Marques, 2015).
- Manutenção preditiva: utiliza técnicas de monitoramento e análise de dados (como medições de vibração, ultrassom e carros-controle) para prever falhas antes que elas se manifestem de forma crítica. Essa abordagem busca otimizar recursos e diminuir a necessidade de manutenções corretivas (Marques, 2015).

Cada tipo de manutenção deve ser aplicado conforme a gravidade e a natureza dos defeitos identificados. Em linhas de grande importância estratégica, é comum o uso combinado dos três tipos, de modo a equilibrar custos e desempenho.

### **2.6.2. Impacto econômico da manutenção**

A ausência de manutenção das patologias adequadamente tem efeitos diretos na segurança e na economia do sistema ferroviário. Uma falha grave pode interromper o tráfego, gerando prejuízos não apenas com reparos emergenciais, mas também com a paralisação do transporte de cargas e passageiros (Marques, 2015).

Por outro lado, a implementação de programas de manutenção preventiva e preditiva contribui para a redução dos custos totais. Embora envolvam investimentos iniciais em planejamento e equipamentos de monitoramento, essas estratégias diminuem a frequência de intervenções corretivas, que costumam ser as mais caras (Marques, 2015).

De acordo com Vale (2009), a interrupção prolongada de uma ferrovia pode representar perdas financeiras milionárias, especialmente em linhas de escoamento de commodities, como minérios e grãos. Dessa forma, investir em manutenção é também investir em competitividade e eficiência logística.

## **2.7. Sistema de gerência de pavimentos ferroviários**

O método de Sistema de Gerência Ferroviário (Ildefonso, 2013) constitui uma abordagem metodológica consolidada em estudos de engenharia diagnóstica e análise de patologias. Segundo Ildefonso (2013), a eficácia do método reside em sua estrutura lógica, que organiza o processo investigativo em etapas sucessivas e interligadas, permitindo transformar a percepção visual imediata de uma falha em um diagnóstico técnico consistente e fundamentado em evidências.

No contexto de infraestruturas lineares, essa metodologia é particularmente eficaz devido à natureza sistêmica da via permanente. Como o sistema é composto por elementos interdependentes trilhos, dormentes, lastro, sublastro e drenagem, as patologias raramente decorrem de um fator isolado, exigindo uma visão holística para a identificação das causas raízes (Ildefonso, 2013).

### **2.7.1. Análise estrutural**

A análise estrutural no contexto do método de Sistema de Gerência Ferroviário consiste em examinar de forma detalhada as condições físicas e funcionais dos elementos que compõem a via permanente, adotando uma abordagem sistemática baseada nos princípios de observação, registro e interpretação (Ildefonso, 2013). Nessa perspectiva, a avaliação estrutural envolve a identificação de manifestações patológicas visíveis, que são separadas em sete áreas:

- Inspeção de dormentes: verificação da integridade física, presença de fissuras, deterioração, apodrecimento, esboroamento e condições de fixação.
- Inspeção de trilhos: análise de desgastes, trincas, corrugações, empenos, amolgamentos e demais anomalias que podem comprometer a segurança operacional.
- Inspeção de materiais de fixação e acessórios: avaliação de cliques, parafusos, placas de apoio, grampos e dispositivos metálicos que garantem a estabilidade entre trilho e dormente.
- Inspeção do lastro, subleito e via: identificação de contaminação por finos, perda de angularidade, recalques, bombeamento, falhas de suporte e irregularidades na plataforma.
- Inspeção de drenagem: verificação das condições de valetas, sarjetas, bueiros, saídas d'água e elementos responsáveis pelo escoamento superficial e profundo.

- Inspeção de aparelhos de mudança de via: avaliação detalhada de AMVs, incluindo componentes móveis, sapatas, cruzamentos, agulhas e mecanismos de acionamento.
- Inspeção geométrica: análise de alinhamento, nivelamento e bitola, realizada com equipamentos específicos, não abordada neste trabalho por ser atribuição da concessionária.

Neste trabalho, optou-se pela análise de apenas inspeção de dormente, de trilhos, de lastro e de materiais de fixação e acessórios. Além disso, optou-se pela utilização exclusiva do método objetivo para avaliação estrutural da via férrea. Essa escolha se justifica pela necessidade de obter resultados mensuráveis, reproduzíveis e diretamente comparáveis entre os diferentes trechos analisados. Dessa forma, todos os defeitos e irregularidades identificados serão quantificados por meio de medidas físicas e parâmetros técnicos, evitando a influência de julgamentos subjetivos e garantindo maior precisão na caracterização das condições reais da ferrovia estudada.

### **2.7.2. Divisão dos níveis de severidade dos defeitos**

Nesta pesquisa será adotada uma classificação por níveis de severidade dos defeitos observados na via férrea, de forma a padronizar a avaliação e direcionar as ações de manutenção. Foram considerados quatro níveis principais, baixa (B), média (M), alta (A) e muito alta (MA) severidade, além de um grupo (SGE) de defeitos sem graduação específica (Ildefonso, 2013).

A severidade baixa (B) corresponde a defeitos que não interferem significativamente na operação dos trens e permitem que as intervenções de manutenção sejam planejadas com maior flexibilidade (Ildefonso, 2013). Enquadram-se neste nível:

- Dormente mal posicionado;
- Dormente em mau estado de conservação;
- Junta (aberta, desnivelada ou desgastada);
- Tala de junção trincada;
- Ligação com parafuso faltando;
- Trilho trincado superficialmente no boleto (horizontal, vertical, transversal).

A severidade média (M) contempla defeitos que já podem influenciar o tráfego, ainda que de forma limitada, exigindo atenção no planejamento das intervenções (Ildefonso, 2013). São incluídos nesta faixa:

- Dormente mal posicionado (desenquadrado ou deslocado mais do que 20 cm sem ser na junta);
- Dormente em mau estado de conservação;
- Junta (aberta, desnivelada ou desgastada);
- Tala de junção quebrada;
- Ligação com parafusos faltando;
- Trinca nos furos da junta  $< 13$  mm;
- Trilho com trinca no boleto  $> 5$  cm (horizontal, vertical, transversal);
- Trilho desgastado;
- Trilho com trincas na alma ou no patim  $> 13$  cm.

A severidade alta (A) refere-se a defeitos que normalmente já impõem restrições operacionais, principalmente quanto à velocidade de circulação, e exigem intervenção mais rápida para recompor as condições de segurança (Ildefonso, 2013). Nesse grupo estão:

- Dormente mal posicionado (desenquadrado ou deslocado mais do que 20 cm e na junta);
- Dormente em mau estado de conservação;
- Junta (aberta, desnivelada ou desgastada);
- As duas talas de junção trincadas;
- Trinca nos furos da junta  $> 13$  mm e  $< 38$  mm;
- Trilho com trincas no boleto  $> 5$  cm e  $< 10$  cm (horizontal, vertical, transversal);
- Trilho desgastado;
- Trilho com trincas na alma ou no patim  $> 13$  cm e  $< 76$  cm.

Por fim, a severidade muito alta (MA) compreende defeitos graves, capazes de impedir a circulação segura dos trens e que exigem intervenções em caráter emergencial (Ildefonso, 2013). Incluem-se nessa categoria:

- Dormente em mau estado de conservação;
- Junta (aberta, desnivelada ou desgastada);
- As duas talas de junção faltando ou quebradas;
- Ligação com todos os parafusos faltando;
- Trinca nos furos da junta  $> 38$  mm;
- Trilho com trinca no boleto  $> 10$  cm (horizontal, vertical, transversal);
- Trilho com trincas na alma ou no patim  $> 76$  cm.

Além desses níveis graduados, serão também registrados, em um grupo sem divisão por níveis de severidade (SGE), defeitos que, embora relevantes para a integridade da via, não foram subdivididos em faixas de gravidade na metodologia adotada (Ildefonso, 2013) tais como:

- Lastro contaminado;
- Dormente faltando;
- Placa de apoio quebrada;
- Fixação com prego ou tirefond faltando.

Essa sistematização permite uma análise mais objetiva da condição da via e o estabelecimento de prioridades de manutenção compatíveis com o risco associado a cada tipo de anomalia.

### **2.7.3. Densidade**

Para avaliar a ocorrência dos defeitos ao longo da ferrovia, cada anomalia será relacionada a um trecho padrão de via ou a um componente específico da superestrutura. Essa abordagem permite expressar a quantidade de defeitos em função do comprimento analisado, tornando a comparação entre diferentes segmentos mais consistente (Ildefonso, 2013). Neste estudo, utilizou-se o termo densidade para indicar quantas vezes um determinado defeito aparece dentro do trecho selecionado para análise.

### **2.8. Curvas de ponderação**

O método de Ildefonso (2013) utiliza curvas de ponderação que atribuem pesos específicos às relações entre o defeito, sua severidade e sua extensão. Tais curvas são elaboradas em função da densidade e da gravidade de cada anomalia encontrada, permitindo a definição de valores de ponderação precisos. Esse modelo considera, ainda, a reincidência de um determinado defeito em um mesmo segmento, por esse motivo, são traçados grupos de curvas que variam conforme o número de ocorrências registradas no trecho. Dessa forma, a avaliação da qualidade da via transcende a análise isolada da gravidade do defeito, incorporando também a sua dimensão espacial e frequência no trecho analisado.

No método de Ildefonso (2013), a avaliação da condição da via permanente é realizada a partir dessas curvas de ponderação, que relacionam a densidade de defeitos observados com uma

curva de condição expressa em escala percentual. Essas curvas indicam que, à medida que a quantidade de defeitos aumenta, a condição da via se reduz de forma progressiva.

## 2.9. Índices de condição

Os índices de condição têm como finalidade avaliar, de forma objetiva e numérica, o estado geral de cada segmento da via ferroviária, permitindo medir a qualidade estrutural do trecho analisado. Além de oferecer uma representação quantitativa da condição da via, esses índices auxiliam diretamente no processo de tomada de decisão relacionado às atividades de manutenção e recuperação, contribuindo para a definição de prioridades, para o planejamento das intervenções e para a estimativa das taxas de degradação ao longo do tempo (Ildefonso, 2013).

No âmbito ferroviário, o sistema RAILER (USACERL, 1993) possibilita o cálculo de diferentes índices específicos, como o destinado à avaliação de trilhos, juntas e sistemas de fixação (RJCI), o índice voltado aos dormentes (TCI) e aquele referente ao lastro, subleito e demais componentes relacionados à sustentação da via (BSCI). A integração desses três indicadores resulta no Índice de Condição Geral da Estrutura (TSCI), que sintetiza a situação geral da via permanente. A lógica de construção desses índices segue princípios semelhantes aos empregados em modelos consagrados de avaliação de pavimentos, como o Índice de Condição de Pavimento (PCI), adaptando tais conceitos para a realidade e particularidades do sistema ferroviário

No método de Sistema de Gerência Ferroviário (Ildefonso, 2013), adotado nesta pesquisa para avaliação quantitativa e qualitativa da condição da via férrea, a determinação do índice global segue a formulação proposta por Uzarski (1991). O autor desenvolveu um modelo baseado em regressão linear capaz de relacionar os índices individuais de cada grupo de defeitos ao índice global de condição da via. Essa abordagem permitiu atribuir diferentes pesos aos grupos de anomalias, considerando que alguns defeitos possuem impacto mais significativo sobre a integridade da superestrutura do que outros.

Inicialmente, Uzarski (1991) apresentou uma equação composta por três termos, cada um representando uma parte individual de condição estrutural. O estudo demonstrou que os grupos de defeitos classificados como “b” (menor severidade), “m” (severidade intermediária) e “a” (maior severidade) influenciavam de forma distinta o valor final do índice global de condição.

Embora o modelo inicial apresentasse bom ajuste estatístico, seu uso direto gerava problemas de escala e, em alguns casos, permitia valores negativos, o que não é adequado para representar a condição real da via.

A partir de ajustes sucessivos e do método de tentativa e erro, Uzarski (1991) obteve uma formulação mais estável e coerente, que eliminou as inconsistências do modelo inicial. A equação final, compatível com os requisitos do método de Ildefonso (2013) e utilizada nesta pesquisa, é expressa pela Equação 01 – Índice Global de Condição.

$$IG = 0,50 \cdot (ICb) + 0,35 \cdot (ICm) - 0,15 \cdot (ICa) \quad (1)$$

Onde:

*ICb*: Índice de Condição de menor severidade;

*ICm*: Índice de Condição de severidade intermediária;

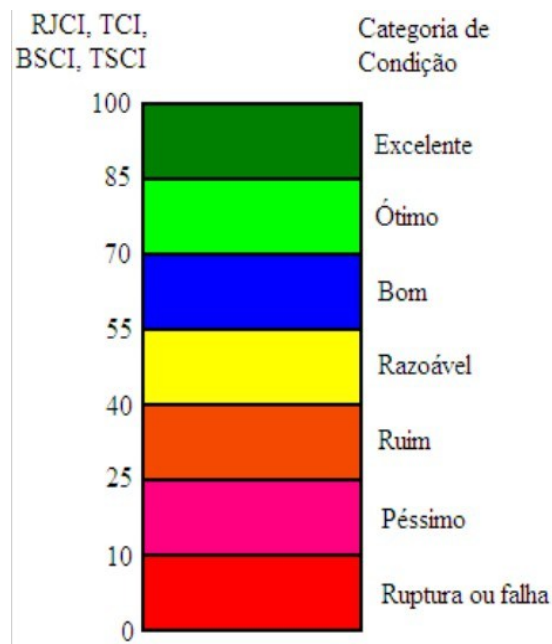
*ICa*: Índice de Condição de maior severidade.

Essa representação permite calcular o índice global, considerando a influência relativa de cada grupo de defeitos e garantindo uma avaliação mais fiel da condição geométrica e estrutural da via.

A escala dos índices de condição foi criada para oferecer uma forma objetiva e numérica de expressar o estado da via ferroviária, permitindo que diferentes profissionais avaliem e interpretem a condição da infraestrutura com base em um mesmo padrão. Essa padronização facilita tanto a comunicação entre usuários quanto a comparação entre trechos distintos, garantindo uniformidade na análise da qualidade da via.

No método RAILER (USACERL, 1993), essa escala é representada por valores que vão de 0 a 100, distribuídos em sete níveis que classificam a condição da via desde excelente até extremamente deteriorada. Cada uma dessas categorias, apresentadas na Figura 32 e explicadas de forma detalhada na Tabela 1, serve como referência para entender o desempenho estrutural de cada segmento avaliado, auxiliando na identificação de trechos que podem continuar operando normalmente e daqueles que necessitam de manutenção imediata.

Figura 32: Escala dos índices de condições usada pelo Railer



Fonte: U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories – USACERL (1993)

Tabela 01: Categorias da escala dos índices de condição

| Índice   | Categoria        | Descrição da Condição                                                                                                                                                                                                |
|----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 86 – 100 | Excelente        | Apresenta poucos defeitos e mantém plena funcionalidade. Não há necessidade de intervenções imediatas. Apenas manutenção de rotina ou preventiva deve ser programada.                                                |
| 71 – 85  | Ótimo            | Exibe baixa deterioração, sem prejuízo ao desempenho operacional. É recomendada manutenção de rotina ou preventiva, conforme planejamento.                                                                           |
| 56 – 70  | Bom              | Apresenta deterioração moderada, mas ainda opera satisfatoriamente. Manutenções de rotina e correções pontuais podem ser necessárias.                                                                                |
| 41 – 55  | Razoável         | Possui sinais evidentes de desgaste. A funcionalidade começa a ser afetada, mas não de forma crítica. Reparos menores são recomendados.                                                                              |
| 26 – 40  | Ruim             | Mostra deterioração significativa, com comprometimento parcial do trecho. Defeitos podem evoluir rapidamente. Intervenções corretivas mais abrangentes são necessárias.                                              |
| 11 – 25  | Péssimo          | O trecho apresenta deterioração severa em grande extensão. Há falhas estruturais importantes e risco crescente de perda de funcionalidade. Reparos extensos ou reconstrução podem ser exigidos.                      |
| 0 – 10   | Ruptura ou falha | O trecho encontra-se em estado crítico, com perda substancial de funcionalidade. A via não atende às condições mínimas de operação. São necessárias intervenções emergenciais, reconstrução ou restauração completa. |

Fonte: U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories – USACERL (1993)

Dessa forma, o presente trabalho adotou o Método de Sistema de Gerência Ferroviária (Ildefonso, 2013) para a análise e a conclusão do estudo de caso referente ao trecho ferroviário de Uberlândia/MG. Tal metodologia, por integrar a avaliação sistemática ao registro estruturado e à interpretação objetiva das condições da via, ofereceu uma base sólida para a identificação e a quantificação das patologias observadas.

A aplicação desse procedimento nos capítulos subsequentes permitiu estabelecer, de forma técnica, o estado de conservação da ferrovia, o que subsidiou a discussão dos resultados e a definição do Índice de Condição correspondente.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o atendimento aos objetivos propostos, a pesquisa foi desenvolvida a partir do mapeamento dos principais trechos ferroviários do município de Uberlândia/MG. A identificação das manifestações patológicas foi realizada por meio de observação direta em campo, registros fotográficos e consulta a documentos técnicos relacionados à infraestrutura ferroviária local.

A metodologia adotada neste trabalho fundamenta-se no método proposto por Ildefonso (2013), aplicado à avaliação da via permanente ferroviária. Trata-se de um estudo de caso desenvolvido em um ramal destinado predominantemente ao transporte de cargas, com foco na análise das condições físicas da superestrutura.

O método proposto por Ildefonso (2013) baseia-se na identificação dos defeitos presentes na superestrutura da via permanente, na classificação de sua severidade e na determinação da densidade de ocorrência ao longo do trecho analisado. A partir desses parâmetros, são calculados índices de condição para cada grupo de componentes da via, permitindo posteriormente a determinação de um índice global que representa a condição estrutural da ferrovia

O desenvolvimento metodológico estruturou-se a partir de três dimensões integradas: observação, registro e interpretação. Inicialmente, realizou revisão bibliográfica da literatura, com o objetivo de estabelecer embasamento teórico consistente acerca das manifestações patológicas, dos mecanismos de degradação da via permanente e dos critérios técnicos utilizados para avaliação estrutural, conforme descrito no Capítulo 2. Para essa etapa, foram consultados livros especializados, artigos científicos, dissertações, teses, normas técnicas e documentos institucionais voltados à manutenção ferroviária. Essa fundamentação permitiu definir parâmetros de comparação e orientar tecnicamente as etapas seguintes.

Após a consolidação do referencial teórico, delimitou-se o trecho ferroviário objeto do estudo, considerando suas características operacionais, estruturais e ambientais. Em seguida, realizou-se inspeções *in loco* ao longo do trecho selecionado, percorrendo sistematicamente a via permanente e observando as condições dos principais componentes estruturais, como trilhos, dormentes, lastro, e sistemas de fixação.

Durante o levantamento de campo, identificou-se e registrou-se as manifestações patológicas visíveis. A inspeção seguiu roteiro previamente definido, com a finalidade de garantir

padronização na coleta de dados e reduzir a subjetividade da avaliação. Também foram considerados fatores externos que podem contribuir para o surgimento ou agravamento das patologias, como acúmulo de água, instabilidade do subleito e intervenções anteriores de manutenção.

Com os dados obtidos no levantamento, realizou-se uma análise técnica dos trechos visitados, buscando avaliar a severidade das patologias e verificar se a condição atual atende aos parâmetros normativos aplicáveis. Essa análise foi organizada em três etapas:

- A análise técnica fundamentou-se no confronto das condições de campo com os critérios normativos estabelecidos pela ABNT NBR 17033-1:2021, para o lastro ferroviário, e pela ABNT NBR 7511:2013, referentes aos dormentes de madeira e concreto, respectivamente. Adicionalmente, a avaliação dos trilhos seguiu as diretrizes da ABNT NBR 7590:2012. Foram observados, ainda, os parâmetros de segurança estipulados na Resolução ANTT nº 5.956 (2021) e os procedimentos diagnósticos do Manual de Instruções para Inspeção de Vias Permanentes do DNIT (2015). Verificou-se a adequação dos trilhos, dormentes, lastro, sistemas de fixações e estabilidade lateral, identificando eventuais desconformidades em relação ao que é recomendado para operação segura.
- Classificação das patologias encontradas: as falhas registradas foram organizadas conforme sua gravidade e impacto potencial na segurança ferroviária.
- Análise funcional do trecho: além da verificação física dos componentes, avaliou-se como as patologias interferem no desempenho operacional da via. Foram considerados possíveis riscos de descarrilamento, alterações na bitola, queda da qualidade da circulação e comprometimento da estabilidade da via durante o tráfego ferroviário. Na sequência, foi elaborado um retigráfico para mapear todas as manifestações patológicas identificadas a cada 100 metros.

Para tornar a coleta e interpretação dos dados mais precisa, foram utilizados diversos instrumentos e ferramentas:

- Câmera ou *smartphone* com boa resolução: utilizado para registrar evidências das patologias encontradas;
- Equipamentos de medição (trena, fita métrica): utilizados para medir deformações, distâncias, profundidade de lastro exposto;

- *Google Earth* e imagens de satélite: auxiliou na identificação geográfica dos trechos analisados e reconhecimento do entorno;
- Ferramenta computacional (Excel): utilizado para elaboração do retográfico.

O Fluxograma apresentado na Figura 33 ilustra de forma esquemática o método adotado nesta pesquisa, evidenciando as principais etapas desenvolvidas, bem como a sequência lógica das atividades realizadas para o atendimento aos objetivos propostos.

Figura 33: Método do trabalho



Fonte: Autor (2025)

## 4. ESTUDO DE CASO

Este Capítulo apresenta o estudo de caso desenvolvido a partir da aplicação do método de Sistema de Gerência Ferroviária (Ildefonso, 2013) em um segmento estratégico da malha ferroviária no município de Uberlândia/MG. O trecho analisado caracteriza-se por uma via singela de bitola métrica (1,00 metro), composta por uma superestrutura de trilhos de aço do tipo TR-57 (57 kg/m), adequados para suportar o tráfego de cargas pesadas característico da região. O suporte é garantido por dormentes de madeira, dispostos com um espaçamento nominal de 0,60 m, o que resulta em uma taxa de dormentação de aproximadamente 1.667 dormentes por quilômetro. Este trecho insere-se em uma área de intenso fluxo logístico, conectando polos de produção agrícola e terminais intermodais, exigindo alta performance dos elementos da via e rigor no controle das manifestações patológicas de geometria e fixação.

### 4.1. Delimitação da área de estudo

Para a etapa de campo da pesquisa, foram selecionados 2 (dois) quilômetros de extensão contínua de via permanente situados no entorno da malha ferroviária ativa que atravessa o município de Uberlândia (MG), com início nas coordenadas E: 790.811,94 m e N: 7.908.232,32 m (18°53'35.4"S; 48°14'19.2"W), e final nas coordenadas E: 792.209,79 m e N: 7.907.130,51 m (18°54'10.9"S; 48°13'31.2"W). Os dados referem-se à projeção Transversa de Mercator (UTM), Fuso 22 Sul, tendo como referência geocêntrico o SIRGAS 2000. Esse trecho serviu como amostra representativa da condição da via permanente na região estudada.

Esse trecho foi selecionado devido representar uma pequena amostra da malha ferroviária que articula o Triângulo Mineiro ao restante da rede ferroviária brasileira, com foco no escoamento de produtos agrícolas, insumos industriais e outras mercadorias.

A partir das inspeções de campo, foram coletados dados técnicos que caracterizam a composição da via permanente nesse trecho. Observa-se que:

- Os trilhos são montados sobre dormentes, predominantemente de madeira, distribuídos ao longo da extensão amostrada;
- As fixações utilizadas são fixações rígidas do tipo tirefond;
- A implantação dos elementos complementares da via (lastro, sistemas de drenagem e alinhamento geométrico) foi registrada e classificada conforme as diretrizes da ABNT NBR 16387:2020 (para parâmetros geométricos), ABNT NBR 5564:2011 (referente à

qualidade e manutenção do lastro), além das instruções de serviço ISF-210 (DNIT, 2017) e ISF-212 (DNIT, 2017), garantindo que os componentes atendam aos requisitos de segurança e estabilidade operacional.

É importante destacar que as informações técnicas descritas se referem exclusivamente à amostragem dos 2 km analisados no campo, sendo estes representativos da condição geral da superestrutura nesse segmento da ferrovia urbana e periurbana de Uberlândia, conforme ilustra a Figura 34.

Figura 34: Trecho analisado



Fonte: Autor (2025)

Notas: A linha representa o percurso percorrido.

#### 4.2. Registros das principais manifestações patológicas observadas nas inspeções *in loco*

A inspeção de campo ocorreu no dia 16/12/2025, no período vespertino (15:20 horas), tempo chuvoso e nublado. Conforme mencionado, a inspeção foi realizada ao longo dos 2 (dois) quilômetros de extensão da via ferroviária e teve como objetivo a avaliação global das condições da via permanente, abrangendo todos os seus componentes. Durante o

caminhamento, foram observadas e registradas diversas manifestações patológicas distribuídas ao longo do trecho analisado.

Embora a observação tenha contemplado a totalidade dos elementos da via permanente, verificou-se que as manifestações patológicas mais recorrentes se concentraram principalmente nos trilhos, dormentes, lastro, e sistemas de fixação. A primeira observação realizada durante a inspeção *in loco* evidenciou a ausência de alas revestidas, canaletas moldadas, guias de sarjeta e tubos de concreto como sistemas de drenagem superficial. Além disso, não foi possível confirmar a existência de sistemas de drenagem profunda, uma vez que não foram identificados elementos visíveis que permitissem essa verificação durante a vistoria.

Em função dessa predominância, e em consonância com o escopo definido na metodologia, a análise quantitativa e a apresentação detalhada dos resultados foram direcionadas prioritariamente a esses três componentes da superestrutura ferroviária. Considerando conjuntamente as ocorrências identificadas nesses elementos, foram registrados um total de 319 manifestações patológicas, evidenciando um padrão de degradação associado às condições operacionais e ao histórico de manutenção da via.

A seguir, os resultados são apresentados de forma segmentada, conforme os principais elementos da superestrutura que concentraram a maior quantidade de registros patológicos, sendo eles os trilhos, os dormentes, lastro e os sistemas de fixação. Após, é apresentado o retigráfico (Apêndice 1) sintetiza as manifestações patológicas identificadas nos componentes da via permanente (trilhos, dormentes, lastro e sistema de fixação), permitindo visualizar a distribuição das ocorrências ao longo do trecho de aproximadamente 2 km analisado.

#### **4.2.1. Manifestações patológicas identificadas nos trilhos**

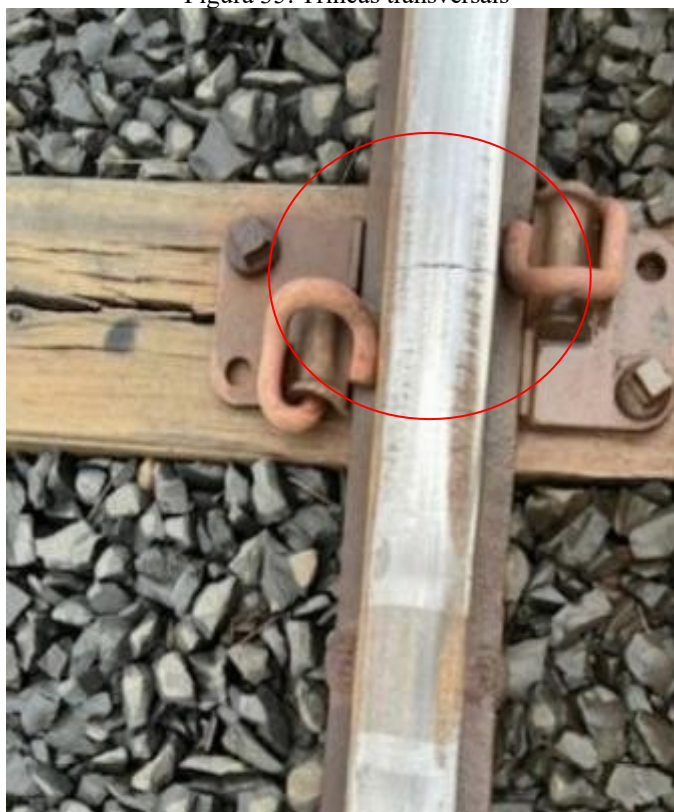
No que se refere aos trilhos, a inspeção *in loco* permitiu identificar um total de 92 manifestações patológicas ao longo do trecho analisado. As ocorrências e a distribuições longitudinal dos defeitos ao longo da via permanente podem ser observadas no retigráfico apresentado no Apêndice 1. Essas ocorrências são associadas principalmente ao desgaste decorrente do contato roda e trilho e às solicitações repetitivas impostas pela operação ferroviária.

Observou-se que grande parte dessas manifestações patológicas apresenta características semelhantes e se repete ao longo da extensão analisada. Dessa forma, foram apresentados apenas alguns registros fotográficos das manifestações patológicas encontradas, uma vez que a

maioria das ocorrências possui natureza repetitiva, sendo suficientes para representar o conjunto das anomalias identificadas nos trilhos.

Foram observadas trincas transversais no trilho, possivelmente desenvolvidas em decorrência de tensões cíclicas elevadas oriundas do contato roda-trilho, fenômeno associado na literatura à fadiga estrutural do aço ferroviário (AREMA, 2022). Caso não haja intervenção, essas trincas podem evoluir progressivamente para fraturas completas do trilho, aumentando significativamente o risco de falhas estruturais na via e possíveis descarrilamentos (AREMA, 2022). Essas tensões podem ser intensificadas por fatores como elevado volume de tráfego ferroviário, sobrecarga por eixo, irregularidades geométricas da via e desgaste progressivo do trilho, que contribuem para a concentração de tensões no material (Brina, 1988). Sugere-se que a descontinuidade esteja relacionada ao acúmulo progressivo de danos internos no material, podendo evoluir para fratura súbita caso não haja monitoramento adequado, situação amplamente discutida em manuais técnicos de manutenção ferroviária (DNIT, 2015). Ainda que o defeito aparente estar em estágio inicial, recomenda-se acompanhamento por inspeções periódicas, considerando o potencial comprometimento da segurança operacional, conforme ilustra a Figura 35.

Figura 35: Trincas transversais



Fonte: Autor (2025)

Foi identificado indício de deformação plástica na região do boleto, compatível com processo de esmagamento superficial decorrente de elevadas tensões de contato. Esta patologia é causada pela superação do limite de escoamento do aço do trilho, resultante da combinação de rodas com perfis desgastados, tráfego de cargas por eixo acima do projeto e insuficiência na dureza do boleto para o esforço solicitado (DNIT, 2015). Caso o problema não seja corrigido, o esmagamento do boleto pode favorecer o surgimento de fissuras por fadiga, aumento do desgaste do trilho e degradação acelerada da superfície de rolamento, podendo comprometer a estabilidade da via e reduzir a vida útil do componente (DNIT, 2015). Sugere-se esmagamento do boleto devido à concentração de cargas verticais superiores à capacidade resistente local do material, possivelmente associado a sobrecarga por eixo ou irregularidades geométricas da via (DNIT, 2015). Caso não seja sanado, conforme ilustra a Figura 36, o defeito pode favorecer o surgimento de fissuras por fadiga, no estágio observado, aparenta ser mínimo, porém sua evolução deve ser acompanhada.

Figura 36: Esmagamento do boleto



Fonte: Autor (2025)

Foram observadas patinagem na região do boleto, possivelmente associadas à perda momentânea de aderência entre roda e trilho durante processos de aceleração ou frenagem. Esse fenômeno pode ocorrer devido a condições operacionais como frenagens bruscas, acelerações intensas, presença de contaminantes na superfície do trilho (óleo, água ou partículas sólidas) e condições climáticas adversas que reduzem a aderência entre roda e trilho (Brina, 1988). A patinagem pode provocar aquecimento localizado e alterações metalúrgicas superficiais no trilho. Quando recorrente, esse fenômeno pode favorecer o surgimento de microfissuras e intensificar o desgaste da superfície de rolamento, contribuindo para o desenvolvimento de defeitos associados à fadiga de contato ao longo do tempo (Brina, 1988). Segundo a literatura técnica, a patinagem pode gerar aquecimento localizado e alterações metalúrgicas superficiais que contribuem para o surgimento de microfissuras (DNIT, 2015). Sugere-se que, se recorrente, o fenômeno possa intensificar o desgaste irregular do trilho e aumentar a incidência de defeitos por fadiga de contato (AREMA, 2022). Embora o dano observado, conforme ilustra a Figura 37, pareça superficial, é recomendado o monitoramento preventivo para evitar sua progressão (DNIT, 2015).

Figura 37: Patinagem



Fonte: Autor (2025)

Foram observadas fissuras nos trilhos, cujo tamanho varia entre 3 cm e 5 cm, a falta de intervenção compromete a estabilidade da via, podendo evoluir para fraturas. A ocorrência desse tipo de defeito pode estar associada a fatores como fadiga do material decorrente do tráfego repetitivo de cargas, tensões concentradas no boleto do trilho, desgaste excessivo da superfície de rolamento e falhas nos processos de manutenção preventiva da via (Nabais, 2014). Quando não tratadas, essas discontinuidades tendem a se propagar progressivamente devido às cargas cíclicas do tráfego ferroviário, podendo comprometer a integridade estrutural do trilho e evoluir para fraturas, aumentando o risco de falhas operacionais na via permanente (Brina, 1988).

Segundo a literatura técnica (Brina, 1988), quando o desgaste ou a degradação da seção transversal do boleto ultrapassa o limite crítico de 25%, deve ser realizado a substituição do material. A fissura indicada na Figura 38, ocupa mais de 25% do trilho, então segundo a literatura técnica sugere, deve ser feito a substituição desse trilho.

Figura 38: Fissura



Fonte: Autor (2025)

Verificou-se a presença de desalinhamento horizontal da via, caracterizado por desvio lateral do trilho em relação ao traçado geométrico observado. Além disso, o desalinhamento pode ocorrer

em função de compactação inadequada do lastro, degradação dos dormentes, deficiência nos sistemas de fixação ou ainda devido a recalques diferenciais na infraestrutura da via (DNIT, 2015).

Conforme a literatura técnica, irregularidades geométricas horizontais, conforme ilustra a Figura 39, podem elevar os esforços dinâmicos, acelerar o desgaste dos componentes da superestrutura e comprometer a estabilidade da via (AREMA, 2022).

Figura 39: Desalinhamento horizontal



Fonte: Autor (2025)

#### **4.2.2. Manifestações patológicas identificadas nos dormentes**

A avaliação dos dormentes resultou no registro de 52 manifestações patológicas, distribuídas ao longo da extensão estudada. As ocorrências e a distribuições longitudinal dos defeitos ao longo da via permanente podem ser observadas no retigráfico apresentado no Apêndice 1. As ocorrências identificadas são relacionadas principalmente à deterioração do material, e comprometimento das condições de apoio dos trilhos.

Verificou-se que muitas dessas manifestações patológicas se repetem em diferentes pontos da via, apresentando padrões semelhantes de degradação. Assim, foram apresentados apenas alguns

registros fotográficos das manifestações patológicas encontradas, considerando que a maior parte das ocorrências possui características repetidas ao longo do trecho avaliado.

Constata-se ausência pontual de dormentes em determinados trechos da via, conforme ilustra a Figura 40, condição que pode comprometer a adequada transferência de cargas do trilho ao lastro e alterar o comportamento da superestrutura. A regularidade dos apoios é fundamental para a distribuição homogênea de tensões e manutenção da estabilidade geométrica da via, conforme diretrizes técnicas de manutenção ferroviária (DNIT, 2015). Essa ausência pode estar associada à deterioração estrutural do dormente, remoções realizadas durante intervenções de manutenção sem posterior recomposição ou falhas operacionais durante substituições pontuais de componentes da via. Caso essa condição não seja corrigida, a ausência de apoio pode provocar concentração de esforços nos dormentes adjacentes, aumento das tensões no trilho e no lastro e desenvolvimento de recalques localizados, podendo evoluir para deformações geométricas da via e aumento do risco de instabilidade operacional (Brina, 1988).

A supressão identificada pode estar associada a remoções anteriores por deterioração ou intervenções não recompostas, podendo gerar concentração de esforços nos dormentes adjacentes, e aceleração do desgaste do trilho. Caso não haja recomposição do apoio estrutural, a condição pode evoluir para recalques localizados e perda de nivelamento.

Figura 40: Ausência de dormente



Fonte: Autor (2025)

Identifica-se variação na cadência de espaçamento entre dormentes, conforme ilustra a Figura 41, ao longo do trecho analisado, com medições aproximadas alternando entre 0,24 m e 0,39 m, conforme Figura 42 e Figura 43 sem manutenção de padrão uniforme. Considerando que, no trecho analisado, o espaçamento usual situa-se em torno de 0,60 m, tais oscilações indicam descontinuidade na modulação originalmente prevista. A causa técnica dessa variação é provocada por fixações frouxas ou ineficientes e pela baixa resistência longitudinal do lastro (lastro colmatado ou insuficiente), que permite que o dormente se desloque sob o esforço de frenagem e aceleração dos trens. Caso não seja corrigida, essa irregularidade altera o módulo de via, criando pontos rígidos e pontos flexíveis alternados, o que induz esforços dinâmicos elevados que desestabilizam o nivelamento da via (DNIT, 2015). A distribuição irregular de apoios pode gerar diferenciação na transmissão de esforços e contribuir para a degradação da superestrutura, conforme apresenta a Figura 41.

Figura 41: Irregularidade de espaçamento



Fonte: Autor (2025)

Figura 42: Irregularidade de espaçamento



Fonte: Autor (2025)

Figura 43: Irregularidade de espaçamento



Fonte: Autor (2025)

Observa-se desalinhamento de dormentes em relação ao eixo transversal da via, caracterizado por rotação lateral em relação ao posicionamento observado. Essa condição pode estar associada à perda de confinamento lateral do lastro ou à ação repetitiva de esforços transversais induzidos pelo tráfego ferroviário. O desalinhamento, conforme ilustra a Figura 44, pode comprometer o apoio uniforme do trilho, favorecer variações de bitola e reduzir a eficiência do sistema de fixação, impactando diretamente a estabilidade geométrica da via (DNIT, 2015). Caso persista, pode contribuir para aumento dos esforços dinâmicos atuantes e degradação progressiva da superestrutura.

Figura 44: Desalinhamento do dormente



Fonte: Autor (2025)

Foram observados dormentes em avançado estado de deterioração, apresentando perda de material, fissuração e indícios de degradação biológica, o que sugere possível comprometimento de sua função de suporte e distribuição de cargas do trilho para o lastro. Esse processo de deterioração pode ser intensificado por exposição prolongada à umidade, envelhecimento natural da madeira, falhas no tratamento preservativo ou condições ambientais favoráveis ao desenvolvimento de agentes biológicos degradadores, como fungos e insetos xilófagos (Brina,

1988). Caso essa condição não seja tratada, a perda progressiva da resistência do dormente pode comprometer a capacidade de fixação dos trilhos, gerar deslocamentos na superestrutura, provocar alterações na geometria da via, e redução da segurança operacional (Nabais, 2014). Conforme estabelece a Associação Brasileira de Normas Técnicas por meio da ABNT NBR 7511:2013, dormentes de madeira devem apresentar integridade. Observa-se, que nas condições observadas, conforme ilustra a Figura 45, parte dos dormentes perdeu parcialmente sua capacidade de ancoragem dos elementos de fixação e trilhos o que pode gerar instabilidade geométrica progressiva caso não haja intervenção.

Figura 45: Deterioração do dormente



Fonte: Autor (2025)

#### **4.2.3. Manifestações patológicas identificadas nos sistemas de fixação**

Em relação aos sistemas de fixação, foram registradas 124 manifestações patológicas, envolvendo diferentes tipos de anomalias. As ocorrências e a distribuições longitudinal dos defeitos ao longo da via permanente podem ser observadas no retrográfico apresentado no Apêndice 1. Essas são associadas ao desgaste, à perda de eficiência ou à ausência de componentes responsáveis pela ligação entre trilhos e dormentes.

Da mesma forma, constatou-se que diversas dessas manifestações patológicas apresentam características semelhantes e se repetem ao longo da via. Por esse motivo, serão apresentados

apenas alguns registros fotográficos das manifestações patológicas encontradas, suficientes para ilustrar as principais condições observadas nos sistemas de fixação.

Constata-se deterioração da placa de apoio, conforme ilustra a Figura 46, caracterizada por desgaste e possível deformação do componente metálico, condição que pode comprometer o adequado apoio do patim do trilho sobre o dormente. A placa de apoio tem como funções principais proporcionar superfície de assentamento compatível, manter a inclinação prevista do trilho e reduzir o esmagamento localizado da madeira sob o patim, conforme princípios de superestrutura ferroviária descritos em manuais técnicos (DNIT, 2015). A perda de integridade da placa pode favorecer concentrações de tensões no dormente, redução da eficiência da fixação e alterações na geometria da via. Nessas condições, pode haver comprometimento progressivo da estabilidade do conjunto trilho e dormente.

Figura 46: Deterioração da placa de apoio



Fonte: Autor (2025)

Verificou-se ausência dos parafusos de fixação, conforme ilustra a Figura 47, em pontos localizados do sistema de fixação, elemento responsável pela ancoragem mecânica do trilho ao dormente de madeira. A ausência desses elementos pode estar relacionada ao afrouxamento

progressivo provocado por vibrações do tráfego ferroviário, falhas em intervenções de manutenção ou deterioração do dormente que reduz a capacidade de ancoragem do parafuso (Brina, 1988). Caso não seja restabelecido o sistema de fixação, a perda de ancoragem pode favorecer deslocamentos longitudinais e laterais do trilho, alteração da bitola da via (DNIT, 2015).

Figura 47: Ausência dos parafusos de fixação



Fonte: Autor (2025)

Observa-se deslocamento da placa de apoio em relação ao seu posicionamento original, conforme ilustra a Figura 48, condição que pode estar associada ao afrouxamento dos elementos de fixação ou à degradação do dormente. A movimentação identificada pode alterar a distribuição de tensões e influenciar negativamente o comportamento do conjunto trilho e dormente.

Figura 48: Deslocamento lateral da placa de apoio



Fonte: Autor (2025)

Identifica-se ausência parcial de elementos de fixação responsáveis pela contenção do trilho ao dormente, como grampos ou parafusos ferroviários. O sistema de fixação tem a função de manter a estabilidade da via, garantindo resistência aos esforços dinâmicos impostos pelo tráfego (AREMA, 2022). A ausência desses elementos pode estar associada ao afrouxamento progressivo provocado por vibrações da via, falhas em processos de manutenção ou deterioração dos dormentes que compromete a capacidade de fixação dos componentes (Brina, 1988). Caso essa condição não seja corrigida, a perda parcial do sistema de fixação pode favorecer deslocamentos do trilho, variações de bitola (Nabais, 2014). A ausência observada, conforme ilustra a Figura 49, pode reduzir a eficiência da ancoragem e contribuir para deslocamentos indesejados do trilho.

Figura 49: Ausência de fixação



Fonte: Autor (2025)

#### **4.2.4. Manifestações patológicas identificadas no Lastro**

A avaliação do lastro resultou no registro de 51 manifestações patológicas distribuídas ao longo do trecho analisado, estando associadas, principalmente, à perda de suas propriedades estruturais e funcionais. As ocorrências e a distribuições longitudinal dos defeitos ao longo da via permanente podem ser observadas no retigráfico apresentado no Apêndice 1. Observou-se que tais manifestações patológicas comprometem diretamente a capacidade de drenagem e a adequada distribuição das cargas transmitidas pelos dormentes, favorecendo recalques diferenciais e instabilidade geométrica da via.

A presença de materiais estranhos depositados sobre a camada de lastro caracteriza um processo de colmatagem externa, conforme apresentado na Figura 50, condição que compromete diretamente a função drenante e a capacidade estrutural da camada. A introdução de resíduos reduz os vazios entre os agregados pétreos, dificultando o escoamento da água e favorecendo a

retenção de umidade, o que pode acelerar a degradação do material e provocar perda de suporte. Segundo Brina (1988), o lastro deve manter características de permeabilidade e elasticidade adequadas, sendo a contaminação por materiais estranhos um fator que prejudica seu desempenho mecânico.

Nesse mesmo sentido, Esveld (2001) destaca que a colmatagem do lastro reduz sua eficiência estrutural e pode contribuir para recalques e instabilidades na via permanente. A Figura 50 apresenta, como exemplo, a manifestação patológica do tipo colmatagem do lastro.

Figura 50: Colmatagem externa do lastro



Fonte: Autor (2025)

O crescimento de vegetação no interior da via permanente evidencia um quadro de contaminação biológica, conforme apresentado na Figura 51, interferindo nas funções estruturais e hidráulicas do lastro. A presença de plantas no lastro altera a estrutura granular, dificulta a drenagem e favorece a retenção de umidade, comprometendo a estabilidade ao longo do tempo. Conforme Brina (1988), a conservação da via permanente requer controle sistemático da vegetação, pois sua presença compromete o funcionamento.

Figura 51: Contaminação biológica do lastro



Fonte: Autor (2025)

A existência de vazios entre o trilho e o lastro indica deficiência no processo de socamento, caracterizando o socamento deficiente, conforme apresentado na Figura 52, situação que compromete a adequada transmissão das cargas provenientes do tráfego ferroviário. A ausência de contato pleno entre trilho e lastro intensifica os esforços dinâmicos e favorece a perda de nivelamento e alinhamento da via.

Conforme Esveld (2001), o correto apoio dos trilhos é fundamental para garantir estabilidade geométrica e reduzir tensões excessivas nos componentes da superestrutura, falhas no processo de compactação do lastro estão entre as principais causas de degradações precoces na via permanente.

Figura 52: Socamento deficiente



Fonte: Autor (2025)

A redução significativa do volume do lastro caracteriza insuficiência de lastro, conforme apresentado na Figura 53, condição que compromete o confinamento lateral e a estabilidade transversal da via. A escassez de material reduz a capacidade de absorção das cargas dinâmicas e pode resultar em recalques diferenciais e perda de geometria. Segundo Brina (1988), a quantidade adequada de lastro é determinante para assegurar suporte estrutural eficiente e adequada dissipação de esforços, as espessuras insuficientes de lastro elevam as tensões transmitidas ao subleito, acelerando processos de deformação permanente.

Figura 53: Ausência de lastro

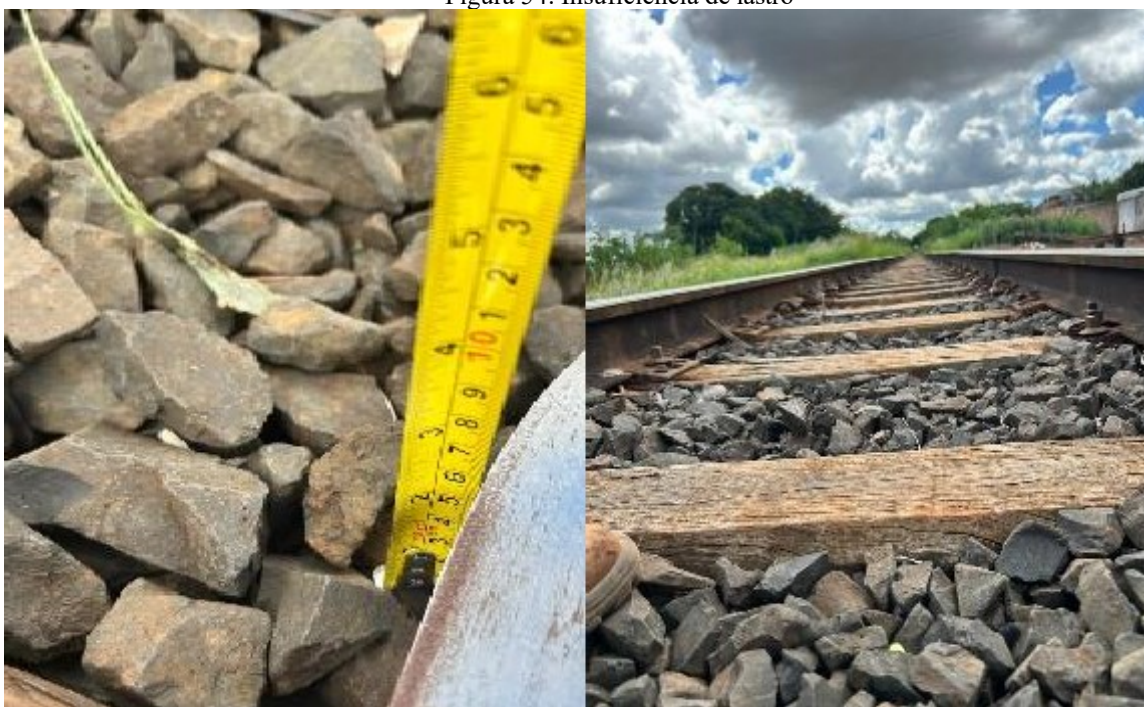


Fonte: Autor (2025)

A variação na espessura da camada de lastro evidencia insuficiência de cobrimento, conforme apresentado nas Figuras 54 e 55, refletindo desuniformidade na altura do material ao longo do trecho analisado. Em determinados pontos observou-se espessura aproximada de 14 cm, enquanto em outros a medida foi reduzida para cerca de 6 cm, diferença que pode comprometer o confinamento adequado dos dormentes e a dissipação das cargas provenientes do tráfego.

Conforme Brina (1988), o cobrimento adequado é indispensável para garantir estabilidade e reduzir os efeitos das vibrações, as variações significativas na espessura do lastro contribuem para irregularidades geométricas e aumento da necessidade de intervenções corretivas na via permanente.

Figura 54: Insuficiência de lastro



Fonte: Autor (2025)

Figura 55: Insuficiência de lastro



Fonte: Autor (2025)

#### 4.2.5. Resumo das manifestações patológicas

As manifestações patológicas identificadas foram compiladas na Tabela 02, que estabelece a correlação sistemática entre os defeitos observados, suas respectivas causas e os riscos decorrentes da omissão de manutenção. Essa estrutura permite uma visão holística das manifestações patológicas da via.

Tabela 02: Causas e consequências das manifestações patológicas

| Dispositivo | Manifestação Patológica   | Possíveis Causas                                                                                                                                       | Possíveis Consequências na Via                                                                                      |
|-------------|---------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| TRILHO      | Fissura                   | Fadiga do material devido ao tráfego repetitivo, tensões concentradas no boleto, desgaste da superfície de rolamento e falhas na manutenção preventiva | Propagação da fissura, fratura do trilho, aumento do risco de falhas estruturais e possibilidade de descarrilamento |
| TRILHO      | Trincas transversais      | Tensões cíclicas elevadas no contato roda-trilho, sobrecarga por eixo, irregularidades geométricas da via e desgaste do trilho                         | Evolução para fratura completa do trilho, comprometimento da segurança operacional                                  |
| TRILHO      | Patinagem                 | Perda de aderência entre roda e trilho durante frenagens ou acelerações, presença de água, óleo ou contaminantes na superfície do trilho               | Aquecimento localizado, alterações metalúrgicas, surgimento de microfissuras e aumento do desgaste do trilho        |
| TRILHO      | Esmagamento do boleto     | Cargas verticais elevadas, rodas com perfil desgastado, sobrecarga por eixo ou baixa resistência do material do trilho                                 | Deformação permanente do boleto, surgimento de fissuras por fadiga e redução da vida útil do trilho                 |
| TRILHO      | Desalinhamento horizontal | Compactação inadequada do lastro, degradação de dormentes, deficiência nos sistemas de fixação ou recalques diferenciais                               | Aumento dos esforços dinâmicos, desgaste acelerado dos componentes e perda da estabilidade geométrica da via        |

|                    |                                  |                                                                                                            |                                                                                                        |
|--------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| DORMENTE           | Ausência de dormente             | Remoção durante manutenção sem recomposição, deterioração do material ou falhas operacionais               | Concentração de esforços nos dormentes adjacentes, recalques localizados e perda de nivelamento da via |
| DORMENTE           | Irregularidade de espaçamento    | Fixações frouxas, baixa resistência longitudinal do lastro ou deslocamento dos dormentes devido ao tráfego | Alteração do módulo de via, aumento dos esforços dinâmicos e degradação da superestrutura              |
| DORMENTE           | Desalinhamento                   | Perda de confinamento lateral do lastro ou esforços transversais repetitivos do tráfego ferroviário        | Variação da bitola da via, redução da eficiência do sistema de fixação e instabilidade geométrica      |
| DORMENTE           | Deterioração                     | Umidade, envelhecimento da madeira, falhas no tratamento preservativo e ataque de fungos ou insetos        | Perda da resistência estrutural, falha na ancoragem das fixações e deslocamento da superestrutura      |
| SISTEMA DE FIXAÇÃO | Ausência de fixação              | Afrouxamento por vibração do tráfego, falhas de manutenção ou deterioração do dormente                     | Deslocamento do trilho e redução da estabilidade da via                                                |
| SISTEMA DE FIXAÇÃO | Ausência de parafusos de fixação | Afrouxamento progressivo, perda do elemento ou falhas em intervenções de manutenção                        | Redução da ancoragem do trilho, deslocamentos longitudinais e laterais                                 |
| SISTEMA DE FIXAÇÃO | Deterioração da placa de apoio   | Desgaste mecânico, corrosão ou deformação do componente metálico                                           | Concentração de tensões no dormente, redução da eficiência da fixação e alterações geométricas da via  |
| SISTEMA DE FIXAÇÃO | Deslocamento da placa de apoio   | Afrouxamento das fixações ou deterioração do dormente                                                      | Alteração da distribuição de tensões e instabilidade do conjunto trilho e dormente                     |
| LASTRO             | Colmatagem externa               | Deposição de materiais, poeira ou resíduos sobre o lastro                                                  | Redução da drenagem, retenção de umidade e perda da capacidade de suporte                              |

|        |                         |                                                                  |                                                                                   |
|--------|-------------------------|------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| LASTRO | Contaminação biológica  | Crescimento de vegetação e acúmulo de matéria orgânica no lastro | Comprometimento da drenagem e retenção de umidade                                 |
| LASTRO | Socamento deficiente    | Falhas no processo de socaria ou perda de compactação do lastro  | Vazios sob os dormentes, aumento dos esforços dinâmicos e perda de nivelamento    |
| LASTRO | Ausência de lastro      | Remoção ou perda de material ao longo do tempo                   | Redução do confinamento lateral e instabilidade estrutural da via                 |
| LASTRO | Insuficiência de lastro | Espessura inadequada da camada ou perda de material              | Aumento das tensões no subleito, recalques diferenciais e deformações geométricas |

Fonte: Autor (2026)

## **5. ANÁLISE DE RESULTADOS CONFORME MÉTODO PROPOSTO POR ILDEFONSO (2013)**

Este capítulo apresenta a análise dos resultados obtidos a partir das inspeções realizadas *in loco* no trecho ferroviário analisado, bem como a análise técnica das manifestações patológicas identificadas na superestrutura da via permanente. Os dados levantados em campo foram organizados e interpretados com base no método proposto por Ildefonso (2013), permitindo avaliar a condição estrutural dos componentes ferroviários e compreender a influência das manifestações patológicas sobre a segurança e o desempenho operacional da ferrovia. A análise considera tanto a densidade das manifestações patológicas observadas quanto o grau de severidade associado a cada defeito, possibilitando uma visão integrada do estado de conservação da via e subsidiando a definição de prioridades para ações de manutenção.

### **5.1. Densidade das manifestações patológicas encontradas e nível de severidade**

A partir dos dados obtidos nas inspeções realizadas *in loco*, foi possível avaliar de forma sistemática a densidade das manifestações patológicas identificadas na superestrutura da via permanente, bem como o grau de severidade associado a cada manifestação patológica. Para esta análise, considerou-se exclusivamente os defeitos observados nos trilhos, dormentes, lastro e sistemas de fixação, por serem os componentes que concentraram a maior quantidade de ocorrências e apresentarem influência direta sobre a segurança e o desempenho operacional da ferrovia.

Os resultados levantados em campo foram organizados na Tabela 03, nas quais são apresentados os níveis de severidade adotados na metodologia, baixa (B), média (M), alta (A) e muito alta (MA), além do grupo de defeitos sem graduação específica (SGE) juntamente com a densidade de ocorrência de cada patologia ao longo do trecho analisado. Essa sistematização permite uma leitura objetiva dos dados, facilitando a compreensão da distribuição espacial dos defeitos e a identificação dos componentes da superestrutura mais suscetíveis à degradação.

A análise da densidade das manifestações patológicas mostra que as ocorrências não se distribuem de forma homogênea ao longo da via, concentrando-se em determinados elementos e segmentos específicos. Nos trilhos, predominam defeitos associados ao desgaste do boleto e à fadiga do material, resultantes das solicitações repetitivas impostas pelo tráfego ferroviário. Nos dormentes, observa-se a recorrência de manifestações patológicas relacionadas à deterioração do material e à perda de eficiência na transmissão de cargas para o lastro, conforme estabelecido

nos critérios de inspeção de via permanente (Brina, 1988). Esta distribuição heterogênea de danos é frequentemente associada à variabilidade da rigidez do suporte e ao comportamento dinâmico da superestrutura sob carga (Brina, 1988). Já nos sistemas de fixação, as principais ocorrências estão vinculadas ao afrouxamento, à ausência ou à falha de componentes, comprometendo a estabilidade do conjunto. No lastro, as principais ocorrências são a colmatagem, contaminação e a insuficiência de lastro. Ademais, a Tabela 03 apresenta a organização das quantidades e níveis de severidade por manifestação patológica.

Tabela 03: Densidade e níveis de severidade das manifestações patológicas

| DISPOSITIVO        | MANIFESTAÇÃO PATOLÓGICA          | QUANTIDADE | NÍVEL DE SEVERIDADE |
|--------------------|----------------------------------|------------|---------------------|
| TRILHO             | Fissura                          | 4          | A                   |
| TRILHO             | Trincas Transversais             | 28         | A                   |
| TRILHO             | Patinagem                        | 10         | M                   |
| TRILHO             | Esmagamento do Boleto            | 36         | M                   |
| TRILHO             | Desalinhamento Horizontal        | 14         | M                   |
| DORMENTE           | Ausência                         | 11         | SGE                 |
| DORMENTE           | Deterioração                     | 29         | A                   |
| DORMENTE           | Irregularidade de Espaçamento    | 8          | M                   |
| DORMENTE           | Desalinhamento                   | 4          | B                   |
| SISTEMA DE FIXAÇÃO | Ausência de Fixação              | 14         | MA                  |
| SISTEMA DE FIXAÇÃO | Ausência de Parafusos de Fixação | 51         | B                   |
| SISTEMA DE FIXAÇÃO | Deterioração da Placa de Apoio   | 35         | SGE                 |
| SISTEMA DE FIXAÇÃO | Deslocamento da Placa de Apoio   | 24         | B                   |
| LASTRO             | Colmatagem Externa               | 7          | SGE                 |
| LASTRO             | Contaminação Biológica           | 16         | SGE                 |
| LASTRO             | Socamento Deficiente             | 8          | SGE                 |
| LASTRO             | Ausência de Lastro               | 7          | B                   |
| LASTRO             | Insuficiência de Lastro          | 13         | B                   |

Fonte: Autor (2026)

Notas: SGE: Sem Graduação Específica; B: Baixa severidade; M: Média severidade; A: Alta severidade; MA: Muito Alta severidade.

Em relação ao grau de severidade, verifica-se a presença de manifestações patológicas em diferentes estágios de evolução. As ocorrências classificadas como de baixa (B) e média (M) severidade indicam defeitos que, embora ainda não imponham restrições operacionais imediatas, demandam acompanhamento contínuo para evitar sua progressão. Por outro lado, as manifestações patológicas enquadradas nos níveis de severidade alta (A) e muito alta (MA)

representam situações mais críticas, associadas à perda significativa de desempenho estrutural e ao aumento do risco operacional, exigindo intervenções prioritárias de manutenção. Além da classificação de defeitos sem graduação específica (SGE), defeitos que, embora relevantes para a integridade da via, não foram subdivididos em faixas de gravidade na metodologia (Ildefonso, 2013) adotada.

## **5.2. Determinação do índice global da via pelo método de Ildefonso (2013)**

A partir da identificação e quantificação das manifestações patológicas observadas nos componentes da superestrutura ferroviária, procedeu-se à aplicação do Método de Ildefonso (2013) com o objetivo de determinar o Índice Global (IG), apresentado no Capítulo 2.9, do trecho analisado. Esse índice permite avaliar, de forma integrada, a condição da via permanente, considerando tanto a densidade das manifestações patológicas quanto o grau de severidade associado a cada defeito identificado durante as inspeções de campo.

Conforme apresentado no Capítulo 5.1, para a aplicação do método foram considerados exclusivamente os defeitos observados nos trilhos, dormentes, lastro, e sistemas de fixação, uma vez que esses elementos concentraram a maior parte das manifestações patológicas e exercem influência direta sobre a segurança e o desempenho operacional da ferrovia. Os defeitos classificados como SGE (Sem Graduação Específica) foram devidamente registrados e analisados de forma qualitativa, porém não foram incluídos no cálculo do índice, em conformidade com as diretrizes do método adotado.

### **5.2.1. Quantificação das manifestações patológicas por grau de severidade**

Inicialmente, as manifestações patológicas identificadas foram agrupadas de acordo com os níveis de severidade estabelecidos pelo Método de Ildefonso (2013) a saber: baixa (B), média (M), alta (A) e muito alta (MA). Considerando que os defeitos classificados como alta (A) e muito alta (MA) severidade representam condições críticas da via, ambos foram tratados conjuntamente na etapa de cálculo do índice de condição, apresentada no Capítulo 2.9, conforme prática adotada na metodologia original.

A partir dos dados levantados em campo, obteve-se a seguinte distribuição de manifestações patológicas:

- Severidade Baixa (B): 99 ocorrências
- Severidade Média (M): 68 ocorrências
- Severidade Alta e Muito Alta (A + MA): 75 ocorrências

Esses valores refletem a concentração de defeitos nos diferentes estágios de degradação da superestrutura ferroviária, evidenciando a predominância de manifestações patológicas de maior severidade no trecho analisado.

### 5.2.2. Conversão da densidade de manifestações patológicas em índices de condição

O método de Ildefonso (2013) baseia-se na utilização de curvas de ponderação, explicadas no Capítulo 2.8, nas quais a condição da via é representada por índice variando em uma escala percentual, geralmente entre 0 e 100. Nessas curvas, quanto maior a densidade de defeitos associados a determinado nível de severidade, menor é o índice de condição correspondente, refletindo a degradação progressiva da via permanente.

No método de Ildefonso (2013), a avaliação da condição da via permanente é realizada a partir de curvas de ponderação que relacionam a densidade de defeitos observados com um índice de condição expresso em escala percentual. Essas curvas indicam que, à medida que a quantidade de defeitos aumenta, a condição da via se reduz de forma progressiva. Assim, para possibilitar a aplicação prática do método neste trabalho, adotou-se uma adaptação baseada na conversão da densidade relativa das manifestações patológicas em índices percentuais de condição, preservando o comportamento decrescente indicado pelas curvas. Essa abordagem permitiu representar, de maneira simplificada e coerente, a influência dos defeitos sobre a condição da via e viabilizar o cálculo do Índice Global, mantendo os fundamentos teóricos do método original, conforme a Equação 2 - Índice de Condição por Severidades.

$$IC = 100 \times \left( 1 - \frac{\text{Quantidade}}{\text{total}} \right) \quad (2)$$

Onde:

Quantidade: quantidade de manifestações patológicas encontradas por níveis de severidades;

Total: quantidade total de manifestações patológicas encontradas independentes dos níveis de severidades.

Essa adaptação baseia-se no princípio de proporcionalidade entre a quantidade relativa de defeitos e a condição da via, permitindo representar de forma simplificada o efeito das manifestações patológicas sobre o desempenho da superestrutura ferroviária.

### 5.2.3. Cálculo dos índices de condição por severidades (IC)

Para a determinação dos índices de condição correspondentes a cada classe de severidade, foi considerada a relação entre o número de manifestações patológicas observadas em cada grupo e o total de manifestações patológicas identificadas no trecho analisado, que corresponde a 319 ocorrências, porém será considerado apenas 242 ocorrências, devido a não consideração das manifestações patológicas classificadas como SGE. Esse procedimento permite expressar a influência relativa de cada classe de severidade sobre a condição global da via permanente.

Ressalta-se que o aumento da incidência de defeitos resulta na redução progressiva do índice de condição. Dessa forma, a equação possibilita representar o impacto das manifestações patológicas sobre a condição estrutural da via.

- **Índice de Condição para Severidade Baixa ( $IC_b$ )**

Considerando-se 99 manifestações patológicas de severidade baixa, através das Equação 03 à Equação 05, obteve-se o índice de Condição Baixa severidade:

$$IC_b = 100 \times \left(1 - \frac{99}{242}\right) \quad (3)$$

$$IC_b = 100 \times (1 - 0,409) \quad (4)$$

$$IC_b = 59,1 \quad (5)$$

- **Índice de Condição para Severidade Média ( $IC_m$ )**

Para 68 manifestações patológicas de severidade média, o índice de condição, Equação 06 à Equação 08, foi determinado por:

$$IC_m = 100 \times \left(1 - \frac{68}{242}\right) \quad (6)$$

$$IC_m = 100 \times (1 - 0,281) \quad (7)$$

$$IC_m = 71,9 \quad (8)$$

- **Índice de Condição para Severidade Alta e Muito Alta ( $IC_a$ )**

As manifestações patológicas classificadas como de alta e muito alta severidade, por representarem condições críticas da via, foram analisadas de forma conjunta, Equação 09 à Equação 11, totalizando 75 ocorrências. Assim, obteve-se Índice de Condição Alta e Muito Alta.

$$IC_a = 100 \times \left(1 - \frac{75}{242}\right) \quad (9)$$

$$IC_a = 100 \times (1 - 0,310) \quad (10)$$

$$IC_a = 69,0 \quad (11)$$

Portanto, os resultados dos valores de Índice de Condição, descobertos através de cálculos, estão indicados na Tabela 4.

Tabela 04: Valores índice de condição

|                                      |      |
|--------------------------------------|------|
| Índice de Condição Baixa             | 59,1 |
| Índice de Condição Média             | 71,9 |
| Índice de Condição Alta e Muito Alta | 69,0 |

Fonte: Autor (2025)

#### 5.2.4. Determinação do índice global da via

Com os índices de condição definidos, procedeu-se à aplicação da Equação 01 (Índice Global de Condição), apresentada no Capítulo 2.9, proposta pelo método de Ildefonso (2013) para o cálculo do Índice Global da via (IG), conforme apresentado no Capítulo 2 (Revisão da Literatura).

$$IG = 0,50 \cdot (IC_b) + 0,35 \cdot (IC_m) - 0,15 \cdot (IC_a) \quad (1)$$

Onde:

$IC_b$ : Índice de Condição de menor severidade;

$IC_m$ : Índice de Condição de severidade intermediária;

$IC_a$ : Índice de Condição de maior severidade.

Substituindo-se os valores calculados nas Equação 12 e Equação 13, obteve-se o Índice Global de Condição na Equação 14.

$$IG = 0,50 \times (59,1) + 0,35 \times (71,9) - 0,15 \times (69,0) \quad (12)$$

$$IG = 29,55 + 25,16 - 10,35 \quad (13)$$

$$IG = 65,06 \quad (14)$$

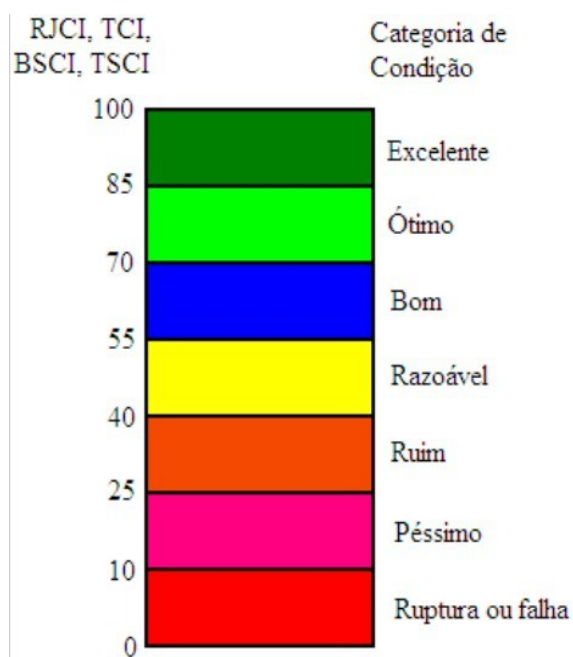
O valor obtido para o Índice Global da via foi de:

$$IG = 65,06 \quad (14)$$

### 5.2.5. Classificação da Condição da Via

A partir do valor do Índice Global, realizou-se a classificação da via conforme os intervalos estabelecidos no Capítulo 2.9, do método de Sistema de Gerência Ferroviário (Ildefonso, 2013) e pela Escala dos índices de condições Railer (USACERL, 1993), conforme apresenta a seguir na Figura 56 e na Tabela 05.

Figura 56: Escala dos índices de condições usada pelo Railer



Fonte: U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories – USACERL (1993)

Notas: Figura reapresentada para fins de análise dos resultados.

Tabela 05: Categorias da escala dos índices de condição

| Índice   | Categoria        | Descrição da Condição                                                                                                                                                                                                |
|----------|------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 86 – 100 | Excelente        | Apresenta poucos defeitos e mantém plena funcionalidade. Não há necessidade de intervenções imediatas. Apenas manutenção de rotina ou preventiva deve ser programada.                                                |
| 71 – 85  | Ótimo            | Exibe baixa deterioração, sem prejuízo ao desempenho operacional. É recomendada manutenção de rotina ou preventiva, conforme planejamento.                                                                           |
| 56 – 70  | Bom              | Apresenta deterioração moderada, mas ainda opera satisfatoriamente. Manutenções de rotina e correções pontuais podem ser necessárias.                                                                                |
| 41 – 55  | Razoável         | Possui sinais evidentes de desgaste. A funcionalidade começa a ser afetada, mas não de forma crítica. Reparos menores são recomendados.                                                                              |
| 26 – 40  | Ruim             | Mostra deterioração significativa, com comprometimento parcial do trecho. Defeitos podem evoluir rapidamente. Intervenções corretivas mais abrangentes são necessárias.                                              |
| 11 – 25  | Péssimo          | O trecho apresenta deterioração severa em grande extensão. Há falhas estruturais importantes e risco crescente de perda de funcionalidade. Reparos extensos ou reconstrução podem ser exigidos.                      |
| 0 – 10   | Ruptura ou falha | O trecho encontra-se em estado crítico, com perda substancial de funcionalidade. A via não atende às condições mínimas de operação. São necessárias intervenções emergenciais, reconstrução ou restauração completa. |

Fonte: U.S. Army Construction Engineering Research Laboratories – USACERL (1993)

Notas: Tabela apresentada para fins de análise dos resultados.

Para o valor de IG = 65,06 o trecho ferroviário analisado enquadra-se na classe “Bom”, conforme a Figura 56, cujo “Apresenta deterioração moderada, mas ainda opera satisfatoriamente. Manutenções de rotina e correções pontuais podem ser necessárias.” definição retirada da Tabela 05.

Essa classificação indica que a via apresenta condições satisfatórias de operação, embora possua manifestações patológicas relevantes que demandam ações de manutenção corretiva e preventiva, especialmente nos componentes associados às manifestações patológicas de maior severidade.

### 5.3. Recomendações de manutenção

Com base nos resultados obtidos nas inspeções e na análise da condição da ferrovia, recomenda-se a adoção de uma estratégia integrada de manutenção, combinando ações preventivas, corretivas e emergenciais, conforme o grau de severidade das manifestações patológicas

identificadas. As recomendações foram organizadas de acordo com os principais componentes da superestrutura ferroviária avaliados neste estudo: trilhos, dormentes, lastro e sistemas de fixação, conforme apresenta Tabela 06.

### **5.3.1. Manutenção dos trilhos**

Para ocorrências de fissuras que excedem o limite crítico de 25% da seção ou trincas transversais detectadas via inspeção, a manutenção indicada consiste na substituição imediata do trecho do trilho (AREMA, 2022). No que tange à patinação, a recuperação deve ser realizada via esmerilhamento técnico ou deposição de solda, desde que a alteração metalúrgica não tenha atingido camadas profundas. O procedimento exige a remoção completa da camada de martensita através do esmerilhamento de precisão, devolvendo ao boleto sua geometria original e prevenindo a necessidade de substituição prematura do componente (DNIT, 2015). Quanto ao esmagamento do boleto, a manutenção corretiva envolve o esmerilhamento para restabelecer o perfil transversal ou a substituição do trilho em casos em que a deformação comprometa a integridade da alma (DNIT, 2015).

No caso de trincas transversais superficiais ou desgaste acentuado do boleto (perda de seção vertical ou lateral), a manutenção deve focar na substituição do trilho quando os limites de desgaste previstos em norma forem atingidos. Por fim, o desalinhamento horizontal exige a correção geométrica através do revestimento da grade com equipamentos de socaria e alinhamento. A manutenção deve ser realizada preferencialmente em horários de temperatura amena para permitir o ajuste da folga de dilatação e o correto posicionamento do trilho em relação ao eixo da via (AREMA, 2022).

### **5.3.2. Manutenção dos dormentes**

Em situações de ausência pontual ou deterioração avançada de dormentes, a manutenção deve focar na substituição imediata desses elementos para restabelecer a taxa de dormência e a capacidade de suporte da via. O processo de manutenção envolve a retirada do elemento degradado, a regularização do berço de lastro e a instalação de um novo dormente devidamente tratado, garantindo que o apoio seja efetivo e uniforme sob ambos os trilhos (ABNT NBR 7511:2013).

Para as irregularidades de espaçamento e o desalinhamento transversal, a intervenção técnica necessária é o reposicionamento dos dormentes seguido do aperto das fixações e ajuste do lastro. A correção deve ser feita utilizando alavancas ou máquinas de posicionamento para garantir que o espaçamento entre eixos retorne ao padrão (DNIT, 2015).

### **5.3.3. Manutenção dos sistemas de fixação**

Para os casos de ausência de fixação e ausência de parafusos de fixação, a manutenção corretiva deve ser realizada através da reposição imediata de todos os componentes faltantes, utilizando grampos, tirefonds ou parafusos que respeitem as especificações originais da superestrutura (AREMA, 2022). No que diz respeito à deterioração da placa de apoio, a manutenção envolve a substituição das peças que apresentem oxidação excessiva, deformação (DNIT, 2015).

Quanto ao deslocamento da placa de apoio, a manutenção consiste no reposicionamento geométrico da peça e no reforço da ancoragem. A correção técnica requer o tamponamento dos furos antigos no dormente de madeira, a regularização da superfície de apoio e a execução de novas furações para a reinstalação da placa na posição correta, garantindo assim a manutenção rigorosa da bitola da via e o correto ângulo de inclinação do trilho (DNIT, 2015).

### **5.3.4. Manutenção do lastro**

Para os casos de colmatagem externa e contaminação biológica, a manutenção requer o peneiramento ou a substituição total do lastro para garantir a permeabilidade da via. O procedimento exige a remoção do material contaminado e a inserção de brita nova, restabelecendo os vazios necessários para a drenagem eficiente das águas pluviais (DNIT, 2015). No que se refere ao socamento deficiente, à insuficiência ou ausência de lastro, a intervenção consiste na descarga de brita e no socamento mecânico para adensamento da pedra. A manutenção deve garantir a formação completa do lastro e o preenchimento dos espaços, utilizando socadoras mecânicas para atingir a compactação necessária à estabilidade da via (AREMA, 2022).

A seguir, as manutenções recomendadas são apresentadas de forma resumida conforme apresenta a tabela 06.

Tabela 06: Resumo das manutenções das manifestações patológicas

| Dispositivo        | Manifestação Patológica          | Manutenção Recomendada                                                                    |
|--------------------|----------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------|
| TRILHO             | Fissuras no trilho               | Substituição do trilho quando a fissura ultrapassar o limite crítico de desgaste da seção |
| TRILHO             | Trincas transversais             | Substituição imediata do trecho do trilho                                                 |
| TRILHO             | Patinagem                        | Esmerilhamento técnico ou recuperação por soldagem                                        |
| TRILHO             | Esmagamento do boleto            | Esmerilhamento corretivo ou substituição do trilho                                        |
| TRILHO             | Desalinhamento horizontal        | Correção geométrica da via com socaria e alinhamento                                      |
| DORMENTE           | Ausência de dormente             | Substituição imediata do dormente e recomposição do lastro                                |
| DORMENTE           | Irregularidade de espaçamento    | Reposicionamento dos dormentes                                                            |
| DORMENTE           | Desalinhamento de dormentes      | Ajuste transversal e reaperto das fixações                                                |
| DORMENTE           | Deterioração de dormentes        | Substituição dos dormentes deteriorados                                                   |
| SISTEMA DE FIXAÇÃO | Ausência de fixação              | Reposição imediata dos elementos de fixação                                               |
| SISTEMA DE FIXAÇÃO | Ausência de parafusos de fixação | Instalação dos parafusos de fixação                                                       |
| SISTEMA DE FIXAÇÃO | Deterioração da placa de apoio   | Substituição da placa de apoio deteriorada                                                |
| SISTEMA DE FIXAÇÃO | Deslocamento da placa de apoio   | Reposicionamento da placa e reforço da ancoragem                                          |
| LASTRO             | Colmatagem externa               | Peneiramento ou substituição do lastro contaminado                                        |

|        |                         |                                                          |
|--------|-------------------------|----------------------------------------------------------|
| LASTRO | Contaminação biológica  | Remoção do material contaminado e recomposição do lastro |
| LASTRO | Socamento deficiente    | Socaria mecanizada para recomposição da geometria da via |
| LASTRO | Ausência de lastro      | Descarga de brita e recomposição da camada de lastro     |
| LASTRO | Insuficiência de lastro | Complementação da camada e socamento mecanizado          |

Fonte: Autor (2026)

## 6. CONCLUSÃO

A presente pesquisa consistiu em um estudo de caso voltado à aplicação do método proposto por Ildefonso (2013) para avaliação das condições da superestrutura ferroviária em um trecho de aproximadamente 2 km de via permanente no município de Uberlândia/MG. A partir da realização de inspeções visuais sistematizadas e da adaptação da metodologia às condições específicas do trecho analisado, foi possível identificar, classificar e quantificar as manifestações patológicas presentes nos principais componentes da via permanente, permitindo uma avaliação técnica fundamentada do estado de conservação da ferrovia.

Os resultados obtidos demonstraram que a aplicação do método permitiu identificar e organizar de forma sistemática as manifestações patológicas observadas nos trilhos, dormentes, sistemas de fixação e no lastro, bem como classificar seus respectivos níveis de severidade. A utilização de critérios padronizados de inspeção e classificação contribuiu para reduzir a subjetividade inerente às avaliações visuais, conferindo maior consistência à análise das condições estruturais da superestrutura ferroviária.

A partir da análise dos dados levantados em campo, foi possível determinar a condição global do trecho estudado, que, de acordo com os parâmetros da metodologia aplicada, foi classificado como “Bom”. Esse resultado indica que, embora existam manifestações patológicas distribuídas ao longo da via, estas não comprometem de forma significativa a estabilidade estrutural nem a segurança operacional no momento da inspeção, sendo recomendadas intervenções de manutenção compatíveis com os níveis de severidade observados.

Com base nos resultados obtidos, foram propostas recomendações técnicas de manutenção voltadas aos diferentes componentes da superestrutura ferroviária, contemplando ações preventivas, corretivas e, quando necessário, substituições pontuais de elementos deteriorados. Essas recomendações visam contribuir para a preservação das condições estruturais da via permanente, para a redução da evolução das manifestações patológicas e para o aumento da vida útil dos componentes ferroviários.

Dessa forma, conclui-se que a aplicação do método de Ildefonso (2013) se mostrou adequada como ferramenta de apoio à avaliação das condições da via permanente, permitindo identificar e organizar de forma sistemática as manifestações patológicas presentes no trecho analisado.

Nesse sentido, estudos dessa natureza contribuem para o aprimoramento das práticas de inspeção e para o planejamento mais eficiente das de manutenção ferroviária, favorecendo a segurança operacional e a durabilidade da infraestrutura ferroviária.

Por fim, para trabalhos futuros, recomenda-se a ampliação da aplicação do método de Ildefonso (2013) em trechos mais extensos da via permanente ou em diferentes segmentos ferroviários, possibilitando análises comparativas entre distintas condições operacionais e de conservação da ferrovia. Além disso, estudos complementares podem considerar a realização de inspeções periódicas ao longo do tempo, permitindo acompanhar a evolução das manifestações patológicas identificadas e contribuir para o aprimoramento das estratégias de manutenção da infraestrutura ferroviária.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, J. S. Manutenção ferroviária: fundamentos e práticas. São Paulo: [s. n.], 1994.

AMERICAN RAILWAY ENGINEERING AND MAINTENANCE-OF-WAY ASSOCIATION. Manual for railway engineering. Lanham: AREMA, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5462: Confiabilidade e manutenibilidade – Terminologia. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5564: Via permanente – Lastro ferroviário – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7511: Dormentes de madeira – Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7590: Trilhos ferroviários – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7640: Defeitos de trilhos utilizados para via férrea – Terminologia, tolerâncias e tratamentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 11709: Dormentes de concreto – Projeto, materiais e componentes. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 16387: Via férrea – classificação de vias. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 17033-1: Fixação elásticas – Classificação e métodos de ensaio. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.

ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTADORES FERROVIÁRIOS. Anuário ferroviário 2024. Brasília: ANTF, 2024.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Relatório anual do transporte ferroviário brasileiro. Brasília: ANTT, 2020.

BRASIL. Agência Nacional de Transportes Terrestres. Resolução nº 5.956, de 2021. Brasília: ANTT, 2021.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. ISF-210: instrução de serviço ferroviário. Brasília: DNIT, 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. ISF-212: instrução de serviço ferroviário. Brasília: DNIT, 2017.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de manutenção da via permanente ferroviária. Brasília: DNIT, 2010.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Manual de projeto geométrico de ferrovias. Brasília: DNIT, 2015.

BRINA, H. L. Estradas de ferro. Rio de Janeiro: LTC, 1979.

BRINA, H. L. Estradas de ferro. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

COIMBRA, J. L. P. Patologias em vias permanentes ferroviárias. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. Anuário CNT do transporte. Brasília: CNT, 2019.

ESVELD, C. Modern railway track. 2. ed. Delft: MRT Productions, 2001.

ILDEFONSO, J. S. Metodologia para gerência da manutenção de vias permanentes ferroviárias. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia de Transportes) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

LIMA, J. A. Infraestrutura de transportes terrestres. São Paulo: [s. n.], 1998.

LOBATO, A. Manual técnico de via permanente. São Paulo: VLI, 2023.

MACHADO, A. R. Projeto e construção de ferrovias. São Paulo: Pini, 2006.

MARQUES, R. Engenharia e manutenção ferroviária. Curitiba: Interciência, 2015.

MINISTÉRIO DO PLANEJAMENTO. Relatório de infraestrutura e logística brasileira. Brasília: [s. n.], 2025.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES. Anuário estatístico do setor ferroviário. Brasília: [s. n.], 2025.

MOUBRAY, J. Reliability-centered maintenance. 2. ed. Oxford: [s. n.], 2000.

NABAIS, R. A. Via permanente ferroviária. Lisboa: [s. n.], 2014.

PEREIRA, L. M. Infraestrutura ferroviária: fundamentos técnicos. São Paulo: Pini, 2016.

RAILER SYSTEMS. Railway inspection and maintenance systems: condition index scale. Technical report. [S. l.: s. n., s. d.].

SANTORO, F. Logística e sustentabilidade no modal ferroviário. Belo Horizonte: [s. n.], 2025.

SANTOS, F. Manutenção e desempenho da via permanente ferroviária. São Paulo: [s. n.], 2017.

SELIG, E. T.; WATERS, J. M. Track geotechnology and substructure management. London: [s. n.], 1994.

SILVA JUNIOR, A. F. O programa nacional de desestatização e o setor ferroviário. Brasília: [s. n.], 2008.

SILVA JUNIOR, M. A. O processo de desestatização ferroviária no Brasil. 2008. Monografia (Especialização em Gestão Ferroviária) – Universidade de Brasília, Brasília, 2008.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. Manual de auditoria de manutenção de infraestrutura. Brasília: TCU, 2020.

TRIBUNAL DE CONTAS DA UNIÃO. Relatório de fiscalização da malha ferroviária federal. Brasília: TCU, 2024.

U.S. ARMY CONSTRUCTION ENGINEERING RESEARCH LABORATORIES. Railway infrastructure evaluation and maintenance models. Champaign: [s. n.], 1993.

UZARSKI, D. R. Condition assessment manual for railroad track structure. Champaign: USACERL, 1991.

VALE S.A. Manual de manutenção da via permanente ferroviária. Vitória: Vale, 2010.

VALE S.A. Manual técnico de via permanente. Belo Horizonte: Vale, 2014.

VALE S.A. Manual técnico de via permanente. Vitória: Vale, 2009.

APÊNDICE 1 – RETIGRÁFICO

| dez/25             | PATOLOGIAS NA LINHA FÉRREA NO TRECHO DE UBERLÂNDIA/MG                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |    | TOTAL |
|--------------------|----------------------------------------------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----|-------|
|                    | (Início: 18°53'35.4"S 48°14'19.2"W - Fim: 18°54'10.9"S 48°13'31.2"W) |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |    |       |
|                    | Km                                                                   | 0,000 | 0,100 | 0,200 | 0,300 | 0,400 | 0,500 | 0,600 | 0,700 | 0,800 | 0,900 | 1,000 | 1,100 | 1,200 | 1,300 | 1,400 | 1,500 | 1,600 | 1,700 | 1,800 | 1,900 | 2,000 |    |       |
|                    | Patologias                                                           |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |    |       |
| TRILHO             | Fissura                                                              |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 4  |       |
| TRILHO             | Trincas Transversais                                                 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 28 |       |
| TRILHO             | Patinagem                                                            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 10 |       |
| TRILHO             | Esmagamento do Boleto                                                |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 36 |       |
| TRILHO             | Desalinhamento Horizontal                                            |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 14 |       |
| DORMENTE           | Ausência                                                             |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 11 |       |
| DORMENTE           | Deterioração                                                         |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 29 |       |
| DORMENTE           | Irregularidade de Espaçamento                                        |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 8  |       |
| DORMENTE           | Desalinhamento                                                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 4  |       |
| SISTEMA DE FIXAÇÃO | Ausência de Fixação                                                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 14 |       |
| SISTEMA DE FIXAÇÃO | Ausência de Parafusos de Fixação                                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 51 |       |
| SISTEMA DE FIXAÇÃO | Deterioração da Placa de Apoio                                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 35 |       |
| SISTEMA DE FIXAÇÃO | Deslocamento da Placa de Apoio                                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 24 |       |
| LASTRO E SUBLASTRO | Colmatação Externa                                                   |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 7  |       |
| LASTRO E SUBLASTRO | Contaminação Biológica                                               |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 16 |       |
| LASTRO E SUBLASTRO | Socamento Deficiente                                                 |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 8  |       |
| LASTRO E SUBLASTRO | Ausência de Lastro e Sublastro                                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 7  |       |
| LASTRO E SUBLASTRO | Insuficiência de Lastro e Sublastro                                  |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | 13 |       |