



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

CARLA MARÍLIA CAVALCANTE ALECRIM

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS ASSOCIADAS AO GEORREFERENCIAMENTO
COMO FERRAMENTA PARA O MONITORAMENTO DO ESTADO DE
CONSERVAÇÃO DE FERROVIAS

FORTALEZA

2017

CARLA MARÍLIA CAVALCANTE ALECRIM

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS ASSOCIADAS AO GEORREFERENCIAMENTO COMO
FERRAMENTA PARA O MONITORAMENTO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE
FERROVIAS

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia de Transportes do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Verônica Teixeira Franco Castelo Branco, Ph. D.

FORTALEZA

Dezembro/2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- A342u Alecrim, Carla Marília Cavalcante.
Utilização de imagens associadas ao georreferenciamento como ferramenta para o monitoramento do estado de conservação de ferrovias / Carla Marília Cavalcante Alecrim. – 2017.
84 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2017.
Orientação: Profª. Dra. Verônica Teixeira Franco Castelo Branco.
1. Imagens. 2. Georreferenciamento. 3. Monitoramento. 4. Ferramenta. 5. Ferrovias. I. Título.
CDD 620
-

CARLA MARÍLIA CAVALCANTE ALECRIM

UTILIZAÇÃO DE IMAGENS ASSOCIADAS AO GEORREFERENCIAMENTO COMO
FERRAMENTA PARA O MONITORAMENTO DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DE
FERROVIAS

Projeto de Graduação apresentado ao Departamento de Engenharia de Transportes do Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: __/__/____.

BANCA EXAMINADORA

Profa. Dra. Verônica Teixeira Franco Castelo Branco (Orientadora)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dr. Bruno Vieira Bertoncini (Membro acadêmico)
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Pablo Resende Souza (Membro externo)
Ferrovia Transnordestina Logística

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, quero agradecer a Deus e aos meus pais por terem me concedido a vida. É Nele e em vocês que encontro o apoio e a solução para superar quaisquer obstáculos. Obrigada por todo o incentivo, por sempre acreditarem em mim e por todo o amor.

À professora Verônica Castelo Branco, por sua excelente orientação, por acreditar no trabalho, pelas palavras de conforto todas as vezes que precisei e por ser essa pessoa inspiradora.

Aos meus amigos de faculdade, que se tornaram amigos para a vida, por estarem presentes em todos os momentos e por poder compartilhar com vocês todos os sentimentos, sejam de alegria ou de tristeza. Ter conhecido vocês, tornou essa caminhada possível e engrandecedora, além de mais prazerosa. Agradeço em especial ao Geovanny, ao Gledson, à Marina, ao Renan e à Wendy.

Aos demais amigos, por se preocuparem e por todo o apoio, em especial a minha irmã Bianca, o meu irmão de coração, Danyell, e à minha amiga Lua. Vocês são meu anjos da guarda e sei que posso contar com vocês para qualquer coisa. Contem comigo para o que der e vier.

À Ferrovia Transnordestina Logística, em especial ao Pablo, ao André e ao Michel, por tornarem possível a realização deste trabalho e pela disponibilidade em ajudar sempre que os procurei.

Ao Departamento de Engenharia de Transportes, pelo acolhimento aos alunos. Aos professores do DET, em especial ao professor Bruno, ao professor Mário e ao professor Uchôa, pela ajuda que proporcionaram. Aos colegas de departamento, Aninha, Cassiano e Daianne, vocês são demais!

Ao André Franca, por todo o empenho e dedicação em nos ajudar com o processamento de imagens. Ao Lorrán e seu aluno Daniel Douglas, por todas as dicas que ofereceram e interesse no trabalho.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo principal a utilização de imagens associadas ao georreferenciamento como ferramenta para o monitoramento do estado de conservação de ferrovias. No Brasil, a participação do modo ferroviário de transporte corresponde a apenas 20,7% da matriz do transporte de cargas (CNT, 2014), enquanto que o modo rodoviário representa 61,1% dessa matriz. Uma das características das ferrovias é que são ideais para o transporte a grandes distâncias, de produtos que possuem baixo valor agregado e em grandes quantidades, como minério de ferro, produtos agrícolas, fertilizantes, carvão e derivados de petróleo, ou seja, as *commodities*, produtos de cuja exportação o Brasil depende. Neste contexto, o modo ferroviário possui potencial para se desenvolver no país. No entanto, para fornecerem boas condições para a operação, as ferrovias precisam estar em bom estado de conservação e, para isso, ações de manutenção periódicas são necessárias. O método atual de inspeção das vias é visual e subjetivo, no qual há necessidade de idas de equipes a campo para coleta de informações acerca do estado de conservação destas. Como um método de auxílio ao monitoramento da via, este trabalho propõe a utilização de imagens, pois esta ferramenta permite identificar a ocorrência de diversos problemas na via, tanto na superestrutura quanto na infraestrutura. Para isso, através de imagens obtidas por uma câmera, posteriormente georreferenciadas, foram analisados critérios como o estado de conservação dos pontilhões e das passagens de nível (PN's) e a ocorrência de eventos causadores de problemas no trecho, como presença de vegetação, lixo, invasão à faixa de domínio e defeitos no lastro, sendo gerados mapas temáticos ao final do processo. Além disso, foram gerados mapas temáticos acerca das porcentagens de dormentes a substituir e inservíveis, que, juntamente com os mapas de ocorrências de problemas na via, permitiram identificar os trechos mais críticos, onde a atuação da manutenção é mais urgente.

Palavras-chave: Imagens. Georreferenciamento. Monitoramento. Ferramenta. Ferrovias.

ABSTRACT

The main objective of this work is to use images, associated do their georeferencing, as a tool for monitoring the state of conservation of railways. In Brazil, the share of the rail transport mode corresponds to only 20.7% of the freight transport matrix (CNT, 2014), whereas the road mode represents 61.1% of this matrix. One of the characteristics of railroads is that they are ideal for long-distance transport of products that have low added value and in large quantities, such as iron ore, agricultural products, fertilizers, coal and petroleum products, i.e., commodities, products which exportation Brazil is dependent of. In this context, the rail transport mode has the potential to be developed in the country. However, in order to provide good conditions for its operation, railroads need to be in a good state of conservation and, for that, regular maintenance actions are necessary. The current method of inspection of the railways is visual and subjective, in which there is a need for field teams to collect information about their state of conservation. As a method to aid the railway monitoring, this work proposes the use of images, since this tool allows the identification of occurrences of several problems in the track, both in the superstructure and in the infrastructure. For this, using images from a camera, subsequently georeferenced, criteria such as the conservation status of the pontoons and grade crossings and the occurrence of events causing problems in the railway section were analyzed, such as presence of vegetation, presence of garbage, invasion to railroad lands and defects on the ballast layer, generating thematic maps at the end of the process. In addition, thematic maps were generated on the percentages of sleepers to be replaced and non-existent, which, together with the maps of occurrences of track problems, allowed us to identify the most critical sections where maintenance is more urgent.

Keywords: Images. Georeferencing. Monitoring. Tool. Railways.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Comparativo entre os modos de transporte de carga para distância percorrida versus peso da carga.....	9
Figura 2 - Densidade das malhas ferroviárias dos países	10
Figura 3 - Seção transversal típica de via permanente	14
Figura 4 – Perfil Vignole	15
Figura 5 – Dormentes de diferentes tipos de material	16
Figura 6 – Talas de junção.....	17
Figura 7 – Defeitos externos em trilho	21
Figura 8 – Shells no boleto.....	21
Figura 9 – Patinado em trilho.....	22
Figura 10 – Sistema de cadastro ferroviário.....	26
Figura 11 – Mapa temático com demarcação de trechos de malha ferroviária interferentes com APA's	28
Figura 12 - Detecção de defeitos em pavimentos rodoviários por ferramenta de georreferenciamento.....	29
Figura 13 – (a) Malha da FTL e (b) trecho de estudo.....	33
Figura 14 - Veículo ALI 5710 com câmera acoplada	34
Figura 15 – Lastro contaminado pela carga.....	39
Figura 16 – Lastro colmatado por solo.....	40
Figura 17 – Presença de vegetação na via permanente	40
Figura 18 – Presença de lixo na via em grande quantidade.....	40
Figura 19 – Local apontado como com potencial para a ocorrência de erosão.....	41
Figura 20 – Invasão à faixa de domínio	41
Figura 21 – Exemplo de tabela para cômputo dos defeitos encontrados no trecho.....	42
Figura 22 – Pontilhão	43
Figura 23 – Passagem de Nível	43
Figura 24 – Fendas de dormente situado na junta e suas fixações	45
Figura 25 – Desenquadramento de dormente e junta de dilatação	46
Figura 26 - Principais defeitos encontrados no trecho considerado ruim.....	47
Figura 27 – Principais defeitos encontrados no trecho considerado muito ruim.....	49
Figura 28 - Níveis de severidade para caracterização de pontilhões.....	51

Figura 29 – Localização dos pontilhões e indicação da sua severidade	52
Figura 30 – Exemplos de passagens de nível (a) normal e com ranhuras e (b) clandestina.....	53
Figura 31 – Passagens de Nível no trecho por tipo	54
Figura 32 – PN com (a) pavimento asfáltico deteriorado e (b) com problemas de drenagem .	55
Figura 33 – Níveis de severidade sugeridos para o lastro	56
Figura 34 – Subtrecho com indicação da ocorrência de defeitos no lastro e respectiva severidade	57
Figura 35 – Indicação da ocorrência de vegetação.....	57
Figura 36 – Indicação da ocorrência de invasão à faixa de domínio.....	58
Figura 37 – Ocorrência de eventos diversos no trecho avaliado	59
Figura 38 – Presença de lixo no trecho avaliado	60
Figura 39 – Situação crítica de invasão à faixa de domínio	60
Figura 40 – Mapa temático de dormentes a substituir.....	61
Figura 41 – Mapa temático de dormentes inservíveis	62
Figura 42 – Quantidade de segmentos no trecho por faixa de porcentagem de dormentes a substituir	62
Figura 43 – Quantidade de segmentos no trecho por faixa de porcentagem de dormentes inservíveis.....	63

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	9
1.1	Considerações iniciais	9
1.2	Problema de pesquisa	11
1.3	Justificativa	12
1.4	Questões motivadoras	12
2	OBJETIVOS	13
2.1	Objetivo geral	13
2.2	Objetivos específicos	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1	Elementos da via permanente	15
3.1.1	<i>Trilho</i>	15
3.1.2	<i>Dormente</i>	16
3.1.3	<i>Acessórios de trilho</i>	17
3.1.4	<i>Lastro e sublastro</i>	18
3.1.5	<i>Subleito</i>	18
3.2	Defeitos na via	19
3.2.1	<i>Defeitos geométricos</i>	20
3.2.2	<i>Defeitos estruturais</i>	20
3.2.2.1	<i>Defeitos nos trilhos</i>	20
3.2.2.2	<i>Defeitos nos dormentes</i>	22
3.2.2.3	<i>Defeitos nas juntas, acessórios de fixação e placas de apoio</i>	23
3.2.2.4	<i>Defeitos no lastro</i>	23
3.3	Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP's)	24
3.4	Monitoramento de estruturas com o uso de imagens e aplicações de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) em transportes	25
4	MATERIAIS E MÉTODO	32
4.1	Trecho ferroviário	32
4.2	Coleta de imagens e georreferenciamento do trecho	33
4.3	Coleta de dados de prospecção e critérios de substituição de dormentes da FTL	35
4.4	Detecção de eventos	39

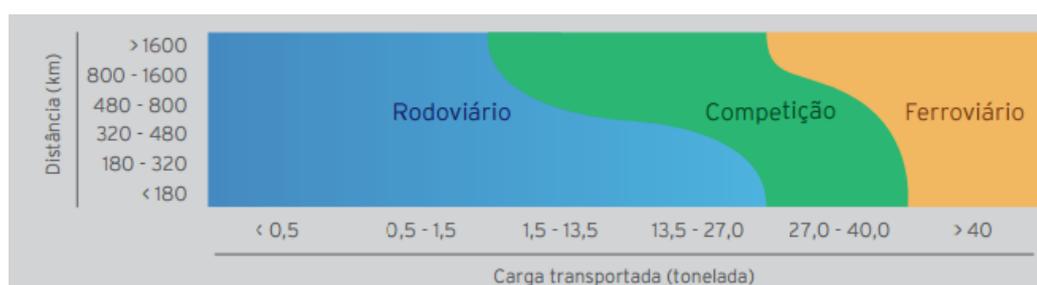
4.5	Pontilhões, Passagens de Nível (PN) e subtrechos com diferentes severidades.....	42
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	44
5.1	Análise de subtrecho com severidade baixa, média e alta	44
5.2	Análise de pontilhões	49
5.3	Análise do estado de conservação das Passagens de Nível (PN's).....	53
5.4	Situação geral do trecho com base nas imagens	56
5.5	Mapa temático de defeitos em dormentes	61
6	CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	65
	REFERÊNCIAS.....	67
	APÊNDICE A – COORDENADAS DO TRECHO.....	70
	APÊNDICE B – TABELA PROPOSTA PARA CÔMPUTO DOS EVENTOS NO TRECHO.....	Erro! Indicador não definido.
	ANEXO A – PLANILHA DE PROSPECÇÃO DA FTL	81

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações iniciais

Em estudo realizado pela Conferência da Organização das Nações Unidas sobre Comércio e Desenvolvimento (UNCTAD), foi revelado que um país é dependente da sua mercadoria quando pelo menos 60% de suas exportações são daquele produto (UNITED NATIONS, 2016). Uma das maiores economias da América Latina, o Brasil possui um comércio de *commodities* de 60%, o que confere a tais produtos grande importância econômica para o país. Devido às dimensões continentais do Brasil e ao grande volume de exportações, é necessário que haja um sistema de transportes eficiente capaz de vencer tais desafios, maximizando os lucros e reduzindo os custos. Diante deste cenário, tem-se as ferrovias como uma opção de grande potencial econômico, uma vez que a principal vantagem do transporte ferroviário se deve à sua capacidade de carregamento, sendo as cargas de alta tonelage preferencialmente transportadas através de ferrovias, especialmente nos casos em que longas distâncias precisam ser percorridas (CNT, 2013). A Figura 1 mostra um comparativo entre o transporte de cargas através de ferrovias e de rodovias, de onde se infere que para cargas superiores a 40 toneladas o modo ferroviário é mais vantajoso independentemente da distância a ser percorrida.

Figura 1 - Comparativo entre os modos de transporte de carga para distância percorrida versus peso da carga



Fonte: CNT (2013).

No Brasil, no transporte regional de cargas, em milhões de Toneladas Quilômetro Útil (TKU), a participação do modo ferroviário é de 20,7%, tendo o modo rodoviário, sozinho, participação de 61,1% (CNT, 2014). Essas porcentagens evidenciam a grande dependência do país do transporte rodoviário e também refletem o engessamento da multimodalidade do sistema de transportes na movimentação de cargas. Há, portanto, grande necessidade de expansão dos demais modos de transportes, especialmente do ferroviário,

cujos principais produtos transportados possuem baixo valor agregado e grandes quantidades, como minério de ferro, produtos agrícolas, fertilizantes, carvão e derivados de petróleo, ou seja, as *commodities*.

Segundo a Associação Nacional de Transportadores Ferroviários (ANTF, 2017), em 2016 as ferrovias de carga atingiram o recorde de volume transportado com 503 milhões de toneladas úteis, o que representa um aumento de 98,8% quando comparado aos 253 milhões que eram transportados por esse modo em 1997, época do início das concessões ferroviárias à iniciativa privada. Esse volume é escoado através da malha ferroviária de aproximadamente 29 mil quilômetros, valor esse que é pequeno se comparado a países desenvolvidos e com porte territorial semelhante, como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Densidade das malhas ferroviárias dos países

	Área (milhões km ²)	Ferrovias (mil km)	Ferrovias/Área (km/1.000 km ²)
 EUA	9,83	224,79	22,9
 Índia	3,29	68,53	20,8
 China	9,60	191,27	19,9
 África do Sul	1,22	20,99	17,2
 Argentina	2,78	36,92	13,3
 México	1,96	15,39	7,8
 Canadá	9,98	77,93	7,8
 Rússia	17,10	87,16	5,1
 Austrália	7,74	36,97	4,8
 Brasil	8,52	28,54	3,4

Fonte: Association of American Railroads (AAR), CIA World Factbook e ANTF (2017).

As principais características do modo ferroviário no Brasil são: grande capacidade de carga, adequado para grandes distâncias, elevada eficiência energética, alto custo de implantação, baixo custo de manutenção, maior segurança em relação ao modo rodoviário devido à baixa ocorrência de furtos e roubos, transporte lento devido às cargas e descargas, baixa flexibilidade com pequena extensão da malha, baixa integração entre os estados e pouco poluente (MINISTÉRIOS DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL, 2016). Diante do exposto, se observa tanto as vantagens do transporte ferroviário quanto as suas limitações no país, o que evidencia a necessidade de expansão, melhorias e integração deste com os outros modos e entre os estados das diferentes regiões do país.

A baixa utilização de ferrovias para o escoamento de cargas no Brasil se deve ao fato de existirem vários gargalos para a operação ferroviária no país. Dentre eles, está a atual distribuição da malha férrea, que apresenta problemas relativos à sua extensão, às diferenças de bitola e às práticas de Manutenção e Reabilitação (M&R) executadas sem critérios técnicos adequados (ILDEFONSO, 2013). Além disso, as operações de M&R das vias são realizadas com base no ciclo “quebra-repara” (ILDEFONSO, 2013). Os fatores mencionados anteriormente contribuem para a baixa qualidade das vias, o que conduz a baixas velocidades operacionais e a frequentes interrupções no tráfego, contribuindo para que o total de toneladas transportado fique limitado às condições precárias das vias existentes, tornando esse meio de transportes subaproveitado no país.

Um sistema de gerência ferroviária eficiente deve ser capaz de indicar onde, quando e quais as operações de manutenção ou reconstrução, em casos mais extremos, devem ser feitas. Isso contribui para a diminuição da frequência com que o tráfego é interrompido e possibilita o aumento das velocidades de operação das locomotivas e vagões, o que potencializa a eficiência do transporte ferroviário.

1.2 Problema de pesquisa

As práticas de manutenção e reabilitação das vias férreas brasileiras são baseadas no ciclo “quebra-repara”, o que causa interrupções frequentes no tráfego, causando prejuízos e comprometendo a eficiência desse meio de transporte. Ao contrário de outros países, onde esse modo é bem mais utilizado, o sistema de gerência de ferrovias é deficiente e praticamente inexistente no Brasil, fato que contribui ainda mais para o engessamento da multimodalidade no transporte de cargas, que é realizado em cerca de 60% através apenas do modo rodoviário. A precariedade de algumas vias férreas, que afeta diretamente as operações de tráfego nestas, traz significantes implicações econômicas. Portanto, é importante o desenvolvimento de métodos de auxílio ao monitoramento de ferrovias, que sejam capazes de fornecer um panorama do seu estado de conservação, mesmo que através de uma análise expedita, mas que possam embasar o gerenciamento destas e contribuir para sua melhoria e, conseqüentemente, para a otimização das operações que nelas ocorrem, possibilitando melhor aproveitamento do modo de transporte ferroviário.

1.3 Justificativa

Vários autores estão de acordo que a manutenção da via permanente corresponde de 12% a 30% do custo de operação de uma via férrea. No ano de 2000, nas ferrovias brasileiras, foram gastos cerca de 300 milhões de dólares com este propósito, o que evidencia que grande economia pode ser alcançada com a implantação de simples melhorias no modo como as manutenções são realizadas (RODRIGUES, 2001 *apud* ILDEFONSO, 2013).

A pesquisa CNT de Ferrovias 2015 (CNT, 2015) identificou os principais entraves ao desenvolvimento do sistema ferroviário nacional. São eles: as invasões das faixas de domínio, Passagens em Nível (PN's) críticas, gargalos físicos e operacionais, investimentos no setor e expansão integrada da malha, problemas na regulamentação do setor e, estímulos ao setor ferroviário, que precisa atender plenamente às demandas do setor.

Diante das condições apresentadas no território brasileiro no que tange à utilização de ferrovias como meio de transportes, o trabalho em questão propõe a obtenção de imagens de um trecho de via férrea para utilização como ferramenta de auxílio à sua inspeção, que culmina nos processos de gerência e manutenção destas. O método de inspeção manual é largamente utilizado pelas empresas. Este, prevê a ida de equipes de trabalhadores a campo, que realizam tarefas exaustivas e sujeitas a subjetividade, em malhas muito extensas e em locais de difícil acesso, aonde estão expostos a intempéries do clima. A abordagem deste trabalho busca dar uma contribuição de inovação em relação ao método como a inspeção é feita tradicionalmente, de forma que esse processo seja feito de forma mais prática e ágil.

Deficiências na manutenção da via permanente acarretam sérios prejuízos à operação do sistema ferroviário, pois estas podem implicar em baixas velocidades operacionais e em frequentes interrupção do tráfego (devido a acidentes ou a bloqueios da via para a realização de atividades corretivas), o que prejudica o escoamento das mercadorias pelas ferrovias. Assim, o presente trabalho se justifica pela necessidade de melhorias na execução de atividades relacionadas ao processo de monitoramento das vias e, que deve gerar também o aprimoramento do sistema de gerência ferroviário.

1.4 Questões motivadoras

- De que forma pode-se associar as imagens, coletadas pela câmera, com o georreferenciamento, realizado por aparelho GPS, para monitorar o trecho da ferrovia em estudo?

- Quais são as estruturas e os defeitos cujos monitoramentos são relevantes para a manutenção de ferrovias e que podem ser feitos através de imagens?
- É possível gerar mapas temáticos, com o uso de ferramentas de fácil acesso, como o *Google Earth*, contendo os graus de severidade de defeitos a partir das imagens obtidas a fim de nortear estratégias de intervenções?
- De que forma o uso de imagens para o monitoramento da ferrovia pode contribuir para a tomada de decisão por parte dos encarregados pela gerência da via?

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é utilizar imagens, associadas ao seu georreferenciamento, como ferramenta para o monitoramento do estado de conservação de ferrovias.

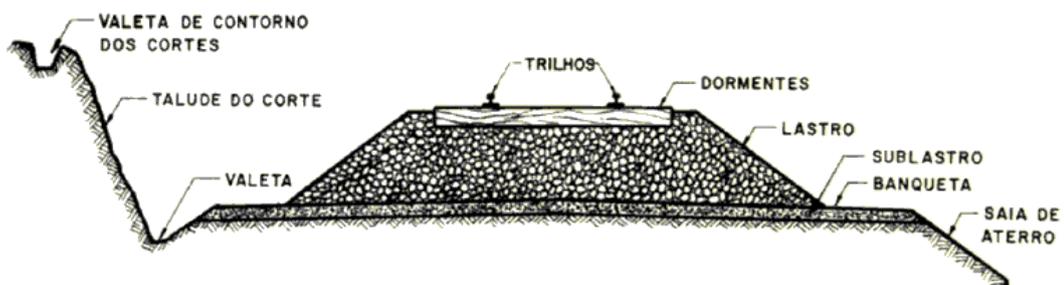
2.2 Objetivos específicos

- Associar as imagens do trecho, coletadas pela câmera, ao georreferenciamento, realizado por aparelho GPS, para realizar o monitoramento do trecho;
- Avaliar as estruturas e os defeitos cujos estados de conservação são relevantes para a ferrovia;
- Gerar mapas temáticos, através de ferramentas de fácil acesso, como o *Google Earth*, que possibilitem a identificação dos trechos mais críticos para nortear estratégias de intervenção;
- Avaliar a contribuição do uso de imagens para a tomada de decisão por parte dos encarregados pela gerência da via

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

De acordo com Nabais (2014), um dos conceitos mais completos de estrada de ferro diz que ferrovia é um sistema de transporte terrestre, autoguiado, em que os veículos (motores e rebocados) se deslocam com rodas metálicas sobre duas vigas contínuas longitudinais, também metálicas, denominadas trilhos. Por sua vez, os trilhos possuem apoios transversais denominados dormentes, que são regularmente espaçados e colocados sobre uma camada granular amortecedora, o lastro, que absorve e transmite ao solo as pressões correspondentes às cargas suportadas pelos trilhos, distribuindo-as para o subleito com taxa compatível à sua capacidade de suporte. Ainda segundo o mesmo autor, a ferrovia é composta por dois subsistemas básicos: o material rodante, formado pelos veículos tratores e rebocados, e a via permanente, apresentada na Figura 3, composta pela infra e pela superestrutura ferroviária.

Figura 3 - Seção transversal típica de via permanente



Fonte: Brina (1979).

Vale ressaltar que há divergências entre os autores quanto ao conceito de via permanente. Para Brina (1979), a via permanente pode ser entendida como o conjunto que forma a superestrutura de uma via férrea e que está sujeito ao desgaste pelas intempéries e pelo contato com as rodas dos veículos. Klinecivicius (2011) considera que os elementos que constituem a via permanente são: trilhos, fixações, dormentes, lastro, sublastro e subleito. Percebe-se então que a infraestrutura pode ou não ser incluída nesse conceito, a depender do autor, sendo seu próprio conceito também variável. Comumente, o conjunto formado pelos dormentes, fixações e trilhos é denominado de grade da via.

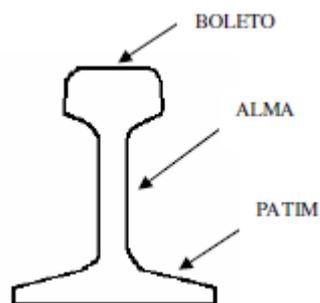
3.1 Elementos da via permanente

3.1.1 Trilho

O trilho é definido pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2015) como cada uma das barras de aço carbono laminado (em número de duas na bitola normal e três na bitola mista, e paralelas entre si), de formato especial, que se prolongam, assentadas e fixadas sobre dormentes, e que suportam e guiam as rodas dos veículos ferroviários, constituindo, assim, a superfície de rolamento de uma via férrea (superestrutura). Este elemento é fundamental na estrutura da via permanente e deve seguir os propósitos de: resistir diretamente e transmitir as tensões provenientes do trem aos outros elementos que compõem a via, orientar as rodas dos veículos ferroviários quando do movimento destes e funcionar como condutor da corrente elétrica para a sinalização e a tração nas linhas eletrificadas.

Segundo Semprebone (2006), o perfil básico utilizado em trilhos ferroviários, definido pela NBR 7590 (2012), é do tipo Vignole, composto por boleto, alma e patim. Este perfil é apresentado na Figura 4. A NBR 7650 (1982) define boleto como a parte do trilho destinada ao apoio e deslocamento da roda ferroviária; alma como a parte do trilho situada entre o boleto e o patim; e este como a base do trilho de massa mais longa do duplo T, através do qual o trilho é fixado e apoiado.

Figura 4 – Perfil Vignole



Fonte: Semprebone (2006).

Os trilhos podem ser comercializados com comprimentos de 12, 18 ou 24m, e são classificados pela NBR 7590 (2012) em tipo de acordo com a massa por unidade de metro (kg/m), conforme mostra a Tabela 1. Os trilhos também podem ser classificados segundo a citada norma quanto ao tipo de aço utilizado na sua composição.

Tabela 1 - Classificação de trilho quanto ao tipo

Tipos de trilhos	TR37	TR45	TR50	TR57	UIC60	GB60	TR68	140RE	141RE
Massa nominal por metro linear de trilho (kg/m)	37,10	44,64	50,35	56,90	60,34	60,64	67,56	69,50	69,90

Nota: O trilho é designado por TR. Os trilhos UIC 60 e GB 60 correspondem ao TR60. Os trilhos 140RE e 141RE correspondem ao TR70. O trilho UIC corresponde ao EN 60 E1.

Fonte: NBR 7590 (2012).

3.1.2 *Dormente*

Dormente é o elemento da superestrutura cuja função é receber e transmitir ao lastro os esforços produzidos pelas cargas dos veículos, servindo de suporte aos trilhos, permitindo sua fixação e mantendo invariável a distância entre eles, que é denominada de bitola. Alguns requisitos devem ser atendidos pelos dormentes, dentre eles: ter dimensões adequadas para que haja transmissão de esforços compatível com a resistência do lastro e para que a rigidez necessária seja atingida, possuir resistência aos esforços solicitantes, ter durabilidade, permitir fácil execução do nivelamento do lastro (socaria), fornecer resistência aos deslocamentos da via e permitir boa fixação do trilho (NABAIS, 2014).

Alguns materiais empregados na fabricação de dormentes atualmente são: madeira, aço, concreto e plástico. A madeira apresenta propriedades adequadas para utilização em dormentes, porém devido à sua escassez e à sua baixa durabilidade, a utilização deste material está diminuindo (KLINCEVICIUS, 2011). A Figura 5 mostra exemplos de dormentes de madeira (a) esquerda) e dormentes de concreto (b).

Figura 5 – Dormentes de diferentes tipos de material



(a) Madeira

(b) Concreto

Fonte: Ildefonso (2013).

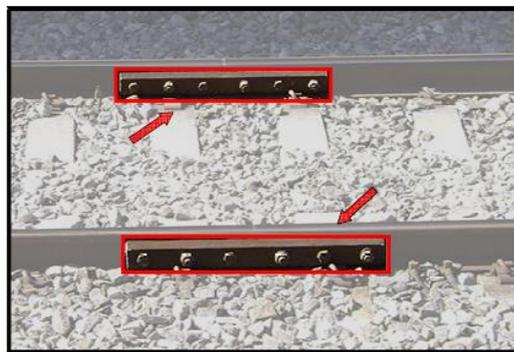
3.1.3 Acessórios de trilho

Os acessórios do trilho podem ter função de fixá-los nos dormentes ou em outros trilhos, sendo denominados, respectivamente, de acessórios de fixação e de ligação. Quanto às ligações, estas devem ser feitas de forma que não haja travamento total, pois os esforços devidos à dilatação térmica precisam ser dissipados. Para isso, as talas de junção, os parafusos, as porcas e as arruelas são utilizadas (ILDEFONSO, 2013).

A fixação tem como função manter o trilho preso ao dormente na posição correta, o que garante a bitola da via, além de oferecer resistência aos deslocamentos longitudinais e transversais do trilho. Exemplos de fixação rígida são o prego ou o grampo de linha, que é o tipo de fixação mais comum, e o *tirefond*. Esse tipo de fixação é mais utilizado em dormentes de madeira, no entanto essa pode afrouxar com o tempo devido às vibrações e aos impactos na via provocados pela passagem dos trens (NABAIS, 2014).

Para garantir a continuidade dos trilhos, já que estes são fabricados em tamanhos específicos, as talas de junção (Figura 6) são fixadas às extremidades de trilhos consecutivos, de ambos os lados, de forma a lhes oferecer maior inércia, gerando maior dificuldade para a deformação dos mesmos. Essa fixação ocorre por meio de parafusos, porcas e arruelas. Outra forma de se unir os trilhos é através de soldas, que dispensam o uso das talas e que eliminam as discontinuidades que provocam impactos das rodas nos trilhos, o que resulta em dispendiosa manutenção e certo desconforto aos passageiros (NABAIS, 2014).

Figura 6 – Talas de junção



Fonte: Ildefonso, 2013.

Para aumentar a área de apoio entre o trilho e o dormente, promovendo melhor distribuição dos esforços e evitar o desgaste mecânico do material deste, utilizam-se as placas de apoio. Estas placas são chapas de aço que possuem os furos necessários para a passagem dos elementos de fixação dos trilhos nos dormentes.

3.1.4 Lastro e sublastro

Nabais (2014) define lastro como o elemento da superestrutura situado entre os dormentes e o sublastro, cujas funções são:

- distribuir convenientemente, sobre a plataforma, os esforços resultantes das cargas dos veículos, o que produz uma taxa de trabalho compatível com a capacidade de carga;
- formar um suporte com adequada elasticidade, a fim de atenuar as trepidações resultantes da passagem dos veículos;
- suprimir as irregularidades da plataforma, para formar uma superfície contínua e uniforme para a grade;
- impedir os deslocamentos dos dormentes longitudinal e transversalmente;
- facilitar a drenagem da superestrutura.

O material da camada de lastro é geralmente obtido pela britagem de rochas e seu comportamento mecânico é determinado pelas características dos agregados que o compõem, bem como pela graduação do material. As propriedades de um material adequado para o lastro são: forma cúbica e angular, faces britadas, rugosidade superficial, dureza elevada, graduação uniforme e ausência de poeiras e materiais finos (KLINCEVICIUS, 2011).

Frequentemente, entre o subleito e a camada de lastro, é utilizada a camada de sublastro. As funções desta camada são: aumentar a capacidade de suporte da plataforma, evitar a penetração do lastro na plataforma, aumentar a resistência do leito à erosão e à penetração da água, permitir relativa elasticidade ao apoio do lastro, de forma que a via permanente não seja excessivamente rígida. Esta camada é constituída por material de menor qualidade se comparado ao usado para o lastro, e que pode ser encontrado nas proximidades do local em que será empregado, podendo trazer significativa economia para a superestrutura, além de aumentar o padrão técnico da via e diminuir seus custos de manutenção (NABAIS, 2014).

3.1.5 Subleito

O subleito (ou plataforma) é a fundação da ferrovia. Este pode ser constituído pelo solo natural da região ou por uma camada de solo selecionado. A plataforma tem como função principal garantir a estabilidade da fundação e evitar recalques excessivos. As tensões

geradas pela passagem dos veículos podem ser dissipadas a até cerca de 5m de profundidade a partir da face inferior do dormente e, como as camadas de lastro e sublastro são esbeltas (de 25 cm a 40 cm para o lastro e 20 cm para o sublastro), o subleito desempenha importante função mecânica, influencia a resiliência da estrutura e contribui para a deflexão elástica da via (SELIG e WATERS, 1994).

3.2 Defeitos na via

A via férrea está sujeita a defeitos advindos das intempéries e das ações do tráfego. Estes são divididos de diversas formas, conforme o tipo de material constituinte da superestrutura ou sua localização no pavimento. O conhecimento sobre cada defeito, o local de ocorrência e sua causa é de extrema importância para que a decisão adequada, acerca da intervenção a ser feita e do momento a realizá-la, seja tomada (ILDEFONSO, 2013).

Os defeitos podem ser identificados por máquinas e equipamentos especiais, que medem as características da via e detectam os trechos problemáticos. Porém, esta análise também pode ser realizada por inspeção visual, a pé ou em veículo (autos de linha). Segundo Ildefonso (2013), a inspeção visual, ainda que tenha rendimento muito menor que a automatizada, apresenta bons resultados e ainda é muito usada.

Ildefonso (2013) divide os defeitos da superestrutura em duas grandes categorias: geométricos e estruturais. Os defeitos geométricos estão ligados à posição espacial da via e os estruturais aos materiais que compõem a superestrutura ferroviária. O autor afirma que cada tipo de defeito pode apresentar diferentes graus de degradação, o que é denominado de severidade. Assim, quanto maior for o grau de severidade do defeito, menor é a qualidade da via.

Ildefonso (2013) afirma que para a realização da avaliação completa da via é necessário, além de definir os tipos de defeito, avaliar o impacto que estes oferecem na qualidade da ferrovia, a partir do seu grau de deterioração. Dessa forma, o citado autor propõe a classificação dos defeitos em diferentes níveis de severidade, da seguinte forma:

- Baixa: defeitos com esta severidade não afetam as operações de tráfego. Estes permitem que as ações de manutenção sejam planejadas e executadas no momento mais conveniente;
- Média: defeitos com esta severidade podem ou não afetar o tráfego e gerar restrições. Nesse nível as intervenções podem ser planejadas e agendadas;

- Alta: esses defeitos causam restrições ao tráfego, sobretudo na velocidade limite. As atividades de manutenção devem ser realizadas rapidamente para que o tráfego ocorra adequadamente;
- Muito alta: estes defeitos podem inibir a circulação dos trens. As intervenções devem ser realizadas com urgência para que o tráfego seja liberado.

3.2.1 Defeitos geométricos

Os defeitos geométricos podem ser definidos como os desvios que o trilho sofre, fora dos limites aceitáveis, com relação à posição original ou à posição para a qual o mesmo foi projetado (Ildefonso, 2013). De acordo com Nabais (2014), os parâmetros considerados na manutenção da geometria da via são: alinhamento, nivelamento, empeno (empenamento ou torção da via) e bitola de via. Pedroni (2008) afirma que a geometria da via é medida através dos parâmetros geométricos do traçado da via, quais sejam: bitola, nivelamento transversal, nivelamento longitudinal, alinhamento e curvatura.

3.2.2 Defeitos estruturais

Os defeitos estruturais, como já mencionado anteriormente, se referem a problemas nos materiais que compõem a via. Alguns tipos de defeitos podem ocorrer de forma associada ou em conjunto, fato de extrema relevância quando do planejamento das intervenções.

3.2.2.1 Defeitos nos trilhos

Nabais (2014) afirma que os defeitos em trilhos são classificados em internos ou externos, conforme o local de sua ocorrência. Os defeitos internos têm origem nos defeitos metalúrgicos oriundos do processo de fabricação e da soldagem dos trilhos, podendo ser detectados através de aparelhos de ultrassom, de raios X, por percussão, etc. Alguns desses defeitos podem progredir e se manifestar externamente, o que pode gerar uma fratura iminente. Já a detecção dos defeitos externos é feita de forma visual, podendo também ser realizada a oito, através de aparelhos. Os tipos de defeitos externos apontados pelo autor são:

longitudinais, transversais, superficiais, desgastes, defeitos em soldas, defeitos em juntas e fraturas. Alguns termos específicos também utilizados para caracterizar defeitos externos e internos são destacados pelo autor. Estes defeitos são: fissuração do canto de bitola ou *head check* (Figura 7a), escamação do boleto ou *flacking* (Figura 7b), estilhaçamento do canto de bitola ou *spalling* (Figura 7c), despedaçamento do canto de bitola ou *shelling* (Figura 7d), *shelling* na superfície do boleto (Figura 8), patinação (Figura 9), escoamento, esmagamento do boleto e sulco no boleto.

Figura 7 – Defeitos externos em trilho



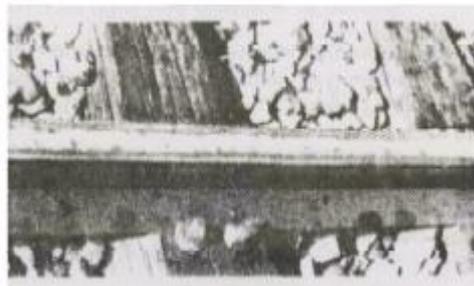
(a) Fissuração no canto da bitola (b) Escamação do boleto



(c) Estilhaçamento do canto de bitola (d) Despedaçamento do canto de bitola

Fonte: MRS Logística *apud* Pedroni (2008).

Figura 8 – Shells no boleto.



Fonte: Esveld (1989) *apud* Semprebone (2006).

Figura 9 – Patinado em trilho.



Fonte: MRS Logística *apud* Pedroni (2008).

3.2.2.2 *Defeitos nos dormentes*

Nabais (2014) destaca que a manutenção dos dormentes deve atender a aspectos relacionados à sua condição (estado), à posição (enquadramento e espaçamento) e às inserções de fixação. Esses aspectos se aplicam a dormentes de qualquer tipo. Alguns aspectos relacionados ao estado dos dormentes (alguns só se aplicam a dormentes de madeira) devem ser verificados (Nabais, 2014):

- existência de trincas, fendas, rachaduras e destacamento de material;
- dormentes queimados;
- falta de dormentes;
- existência de fungos e partes putrefeitas com a extensão e a região afetada (junto às fixações, por exemplo);
- presença de marcas profundas, decorrentes de descarrilamentos e arrastamento de ferragens.

Segundo Nabais (2014), alguns aspectos relacionados à posição dos dormentes devem ser verificados, são esses: o espaçamento entre eles e sua ortogonalidade em relação ao eixo da via. Ainda segundo o citado autor, os aspectos que devem ser verificados na avaliação das regiões de inserções de fixação são: comprometimento da fixação das placas de apoio pelo estado ou posição do dormente (caso não haja placas de apoio, verificam-se as fixações diretas - pregos ou *tirefonds*); e causa da baixa qualidade da inserção da fixação (putrefação, falta de fixação, etc.).

Ildefonso (2013) afirma que os defeitos podem ocorrer isoladamente ou em grupos. Dormentes isolados são considerados defeituosos quando estão ocos, podres,

deslocados ou danificados a ponto de impossibilitarem a fixação, quebrados, cortados ou deteriorados. As causas dos defeitos são diversas, dentre elas, putrefação, deterioração feita por insetos, fatores climáticos, má drenagem, desgastes mecânicos, falta de suporte do lastro, má instalação e descarrilamento. O citado autor propõe uma metodologia de classificação dos defeitos para dormentes defeituosos isolados, mal posicionados, que estejam faltando ou em grupo.

3.2.2.3 *Defeitos nas juntas, acessórios de fixação e placas de apoio*

Os defeitos nas juntas envolvem todos os itens que reduzem a resistência ou funcionalidade nestes pontos. Assim, defeitos nas talas de junção, defeitos em parafusos e parafusos frouxos ou faltando, defeitos de solda, corrosão de tala, talas quebradas, etc. constituem defeitos nas juntas.

Os acessórios de fixação apresentam defeitos se estes falham com relação a sua função de fixar o trilho corretamente ao dormente ou se são colocados em padrão ou posição inapropriados. Esses defeitos podem ocorrer devido à instalação imprópria, defeitos nos dormentes, vibrações e deflexões decorrentes do tráfego. Ainda podem haver defeitos nas placas de apoio, que podem estar em posição imprópria, trincadas, dobradas, quebradas ou corroídas.

3.2.2.4 *Defeitos no lastro*

O lastro é considerado defeituoso quando este está contaminado por materiais finos entre os agregados graúdos, que podem ser provenientes do material transportado pela ferrovia (minério, por exemplo), do subleito ou carreados por agentes ambientais. Outro defeito que ocorre nesta camada é a colmatação dos vazios pela degradação do material que a compõe, o que é devido à abrasão mecânica que a camada sofre ocasionada pelas cargas por elas transportadas. Além disso, materiais finos podem ser bombeados das camadas inferiores com a passagem das cargas, o que é conhecido como *pumping*.

3.3 Sistemas de Gerência de Pavimentos (SGP's)

Na literatura, boa parte do material sobre gerência de pavimentos se refere a pavimentos rodoviários, porém é comum entre os autores que tratam de gerência de pavimentos ferroviários a abordagem em seus trabalhos de ambos sistemas de gerência de pavimentos, rodoviário e ferroviário. A principal diferença entre o pavimento rodoviário e o pavimento ferroviário está na configuração de cada um deles. O pavimento rodoviário é basicamente uma infraestrutura, composta por camadas de solo, pedra britada, concreto e uma camada de acabamento, enquanto que o pavimento ferroviário é composto de uma infraestrutura e de uma superestrutura (BARIA, 2015).

De acordo com o Manual de Gerência de Pavimentos do DNIT (2011), um Sistema de Gerência de Pavimentos tem como componentes, que devem interagir mutuamente, o planejamento, o projeto, a construção e a manutenção dos pavimentos. Segundo este manual, o propósito de um SGP é conseguir alocar, da melhor maneira possível, os recursos disponíveis e oferecer um transporte rodoviário seguro, compatível e econômico.

Segundo Ildefonso (2013), para que um SGP seja eficiente, as atividades por ele indicadas para conservação da qualidade da via também o devem ser. Assim, as intervenções não só devem ser indicadas, mas também devem ser feitas ao menor custo possível. O autor apresenta alguns tipos de atividades que existem para readequar a qualidade da via e o que deve ser feito em cada uma delas. Algumas das intervenções que podem ser feitas na via são: manutenção preventiva, manutenção corretiva, reabilitação e reconstrução.

Para avaliar a condição do pavimento existem diferentes métodos e uma parte considerável destes considera três pontos em comum, que são: o tipo de defeito, sua severidade e sua extensão. Outro ponto que os métodos consideram é a divisão dos defeitos em classes ou grupos, de acordo com sua origem ou elemento que afeta a superestrutura (Ildefonso, 2013).

No Brasil, devido à falta de sistemas de gerência de vias férreas, recentemente autores desenvolveram teses que buscaram preencher essa lacuna. Ildefonso (2013) estudou a geometria e a condição estrutural dos elementos da superestrutura de vias férreas e propôs métodos de gerência e índices de qualidade que refletem ambos os casos. Na caracterização através de um modelo geométrico, buscou-se um parâmetro capaz de fornecer diretrizes para a caracterização das ferrovias por meio da análise de diferenças na bitola, no alinhamento, na torção e no empeno encontrados na superestrutura. Ao incorporar esses defeitos nessa análise, definiu-se o Índice de Qualidade Geométrica (IQG). Para a caracterização da condição

estrutural, propôs índices estruturais individuais (Índice de Condição para cada grupo, IC), para representar cada grupo de defeito, e global (Índice de Condição Estrutural Global, ICEG), para representar a condição global da via. Para definir a condição da via, tanto no modelo geométrico quanto nos estruturais, foram criadas escalas de classificação da via em muito boa, boa, regular e ruim (nos modelos estruturais é adicionada a classificação “muito ruim”). Também foram criadas tabelas com atividades de M&R recomendadas.

A fim de melhorar os sistemas de gerenciamento da via permanente, muitos pesquisadores incorporaram SIG's em modelos de gerenciamento. Baria (2015) desenvolveu um sistema de gerência de pavimentos aplicado a via permanente metroferroviária auxiliado por um SIG. O autor buscou a avaliação da infraestrutura da via permanente dos sistemas de transporte público urbano sobre trilhos, que foi alcançada com a utilização de um SGP aliado a um SIG e a um banco de dados relacional que suporta operações geográficas. Além disso, o trabalho também sugere um conjunto de indicadores de manutenção da via permanente que sejam acordados entre todos os operadores de transporte público urbano sobre trilhos no Brasil. Segundo Shyr (1993) *apud* Baria (2015), a vida útil de uma infraestrutura é determinada por dois índices: o nível de desgaste e a taxa de fadiga. Os defeitos de fadiga devem ser detectados e removidos a fim de prevenir a ocorrência de acidentes graves, como descarrilamentos. O mecanismo deste defeito é objeto de constante pesquisa no meio acadêmico e a sua predição não tem um nível razoável de acerto. Esses dois fenômenos físicos responsáveis pela degeneração do sistema desempenham importante papel na definição das políticas de manutenção, mas é importante que ambos os componentes sejam avaliados tanto em conjunto como individualmente. A visão sistêmica associada a avaliação individual de cada um desses índices é útil na definição das regras que direcionam o plano de manutenção e renovação de um pavimento ferroviário.

3.4 Monitoramento de estruturas com o uso de imagens e aplicações de Sistemas de Informações Geográficas (SIG's) em transportes

Porto *et al.* (2014) realizaram um cadastro ferroviário em trechos de ferrovias num raio de 150 km de Belo Horizonte, que possibilitou a caracterização da situação atual e a viabilidade do uso da malha ferroviária existente para transporte de passageiros sobre trilho. O levantamento em campo consistiu de inspeção de imagens obtidas por equipamentos que geram imagens 360° (câmera de visão esférica *lady bug*). Também foi utilizada uma filmadora Sony Full HD e uma câmera Sony de alta resolução com Sistema de

Posicionamento Global (GPS) integrado. Foi desenvolvido um sistema computacional para o cadastro dos eventos detectados nas imagens, que possibilita cadastrar os mesmos (definidos no sistema de banco de dados e detectados nas imagens), caracterizá-los e descrevê-los com dados alfa-numéricos, que estão ligados aos respectivos quadros de imagem do filme onde estes estão localizados. Além disso, esse sistema armazena e gerencia a ligação dessas informações com as imagens no banco de dados, bem como permite a extração automática de relatórios (com dados, imagens e mapa de localização) dos eventos por trecho. Com o auxílio do equipamento de visão esférica montado em veículo ferroviário, equipes percorreram os trechos ferroviários com o objetivo de levantar as condições operacionais das vias e seus entornos. Para os trechos operacionais e alguns trechos não operacionais foram feitas as filmagens em 360° georreferenciadas, enquanto que para outros trechos não operacionais (em função da dificuldade de acesso à linha) os pesquisadores percorreram os trechos de automóvel ou motocicleta, fazendo o registro com câmera Sony Full HD. Para esse segundo caso, o cadastro foi feito de forma criteriosa e as imagens tiveram como objetivo principal quantificar e qualificar os principais eventos (erosões, vandalismo, invasão da faixa de domínio, etc.). Os resultados obtidos mostraram os problemas a serem corrigidos e as necessidades e características das vias avaliadas. Foi possível realizar a inspeção de toda a via sem a presença do engenheiro ferroviário *in loco*. A Figura 10 mostra o sistema de cadastro de eventos desenvolvido.

Figura 10 – Sistema de cadastro ferroviário



(a) Imagem georreferenciada

(b) cadastro de eventos em sistema de banco de dados

Fonte: Porto *et al.* (2014).

Guler, Akad e Ergun (2004) transferiram para o ambiente de um SIG (*MapInfo Professional*) informações da rede de Ferrovias do Governo da Turquia (*Turkish State Railways*), tais como: estações, segmentos, tráfego, acidentes e ações de manutenção e renovação. Uma base de dados foi desenvolvida e a análise foi realizada. O intuito do trabalho

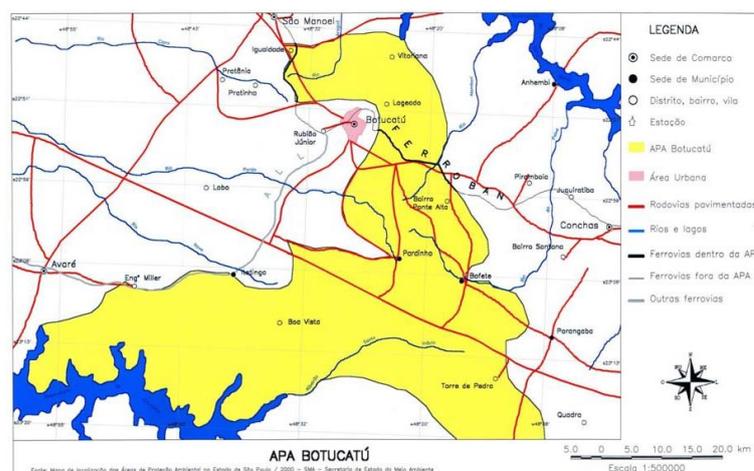
era utilizar essa ferramenta no sistema de gerenciamento de ativos da infraestrutura. Devido a transferência de todos os dados relacionados à rede ser um sistema muito complexo, os dados de uma seção do percurso contidos em várias bases de dados e sistemas de gerenciamento de ativos foi transferida para a base de dados do SIG para ser usada na análise da condição do percurso e para propósitos de planejamento de ações. Esses dados contêm dados gerais, dados de *layout* e operacionais, dados de infraestrutura e superestrutura, medidas da geometria, inspeções e outras medições, históricos de ações e dados de mapas da rede ferroviária na base do segmento em análise. A rede foi dividida em segmentos de acordo com os dados característicos do percurso, sendo estes segmentos considerados homogêneos. Características como inclinações, curvas, tipos de materiais e suas idades foram as que especialmente afetaram o comprimento dos segmentos de análise. Além desses dados, a existência de estruturas como túneis, condições climáticas e naturais do solo da rede ferroviária foram transferidas para o SIG. Informações gráficas gravadas das medições da geometria do trilho feita por carros controle também foram tratadas e incorporadas ao SIG. Com a disponibilidade de todas essas informações em uma base de dados, os gerentes podem planejar e preparar estratégias de curto e longo prazos em um sistema de gerenciamento de ativos. O SIG pode ser usado para localizar um evento ou um ativo e a sua relação ou proximidade a outro evento ou ativo, o que pode ser um fator crítico que conduza a decisões a respeito do *design*, construção ou manutenção da ferrovia.

Ngunyi, Mundia e Gchari (2017) determinaram um traçado ideal para uma ferrovia de bitola padrão (de Mombasa a Nairobi, no Quênia) utilizando sensoriamento remoto e SIG. Os fatores para o roteamento ideal foram uso do solo, geologia, declividade, mapas topográficos e camadas de SIG relacionadas à hidrologia e rede de transportes. Foi aplicado um questionário para especialistas e profissionais para que fosse atribuída a importância relativa de vários fatores na determinação do traçado de menor custo. Esse questionário foi utilizado para atribuição de pesos para as variáveis usando Análise de Múltiplos Critérios (ADMC) e Processo de Hierarquia Analítica (AHP). Com isso, foi desenvolvido um modelo que incorpora o comprimento da rota e os fatores identificados para gerar o caminho ótimo. Um SIG foi utilizado para a modelagem espacial, análise e sobreposição de dados. Regras foram criadas no modelo para minimizar o cruzamento com estradas, rios, pantanais, terras agricultáveis, floresta, parques de jogos e reservas e para maximizar em áreas de baixa inclinação, terra desnuda e, preferencialmente, solos arenosos, mas evitar rochas duras, solos argilosos, altas inclinações e áreas densamente povoadas. Foram obtidos traçados ótimos do ponto de vista da engenharia, do ambiente e de ambos, que

foram comparados. O resultado mostrou um caminho 90 km mais longo para a análise ótima puramente ambiental comparada à puramente baseada em engenharia. Isso mostra que o uso de SIG em planejamento de rotas ótimas pode fornecer um forte embasamento para a tomada de decisão sobre traçados ótimos.

Charlier e Júnior (2004) propõem a utilização de um SIG para a delimitação das áreas suscetíveis aos danos causados pela atividade ferroviária. A elaboração dos mapas tem sua importância ligada ao processo de caracterização ambiental nas regiões que recebem influência do transporte ferroviário, uma vez que permite a delimitação espacial do meio compartilhado e, conseqüentemente, a incorporação de informações geográficas e ambientais essenciais ao gerenciamento da atividade perante as suscetibilidades do meio. A Figura 11 mostra um exemplo de mapa com a demarcação de locais aonde a ferrovia interfere com Áreas de Preservação Ambiental (APA's).

Figura 11 – Mapa temático com demarcação de trechos de malha ferroviária interferentes com APA's



Fonte: Charlier e Júnior (2004).

Ferreira e Castelo Branco (2016) propuseram o uso de ferramentas de georreferenciamento para avaliação subjetiva de pavimentos rodoviários urbanos. O trabalho tinha como principal objetivo caracterizar o estado atual dos pavimentos encontrados nas vias da cidade de Fortaleza com a apresentação do uso de ferramentas de georreferenciamento. Para realizar essa caracterização, 4.700 km de vias da cidade foram analisadas utilizando imagens fornecidas pelo *software Google Earth*. As informações obtidas a partir das imagens foram o tipo de via, o tipo de pavimento e a extensão de cada trecho avaliado. Além disso, com o uso da ferramenta *Street View* do *Google Earth*, também foram coletados dados, de

forma amostral, do estado de superfície do revestimento asfáltico para os tipos de via com maior volume de tráfego. Foi possível a identificação de diversos defeitos, como panelas, remendos de panelas, trincas longitudinais e transversais, etc. O trabalho obteve como resultado a percentagem de vias pavimentadas na cidade, a percentagem de vias cujo revestimento é asfáltico e a frequência de defeitos do tipo remendo por quilômetro. Dessa forma, a realização desse trabalho possibilitou a obtenção de dados relevantes de maneira simples e econômica que podem auxiliar no processo de planejamento das ações que precisam ser realizadas para melhorar o estado das vias da cidade. A Figura 12 mostra os defeitos detectados nos pavimentos asfálticos da cidade de Fortaleza.

Figura 12 - Detecção de defeitos em pavimentos rodoviários por ferramenta de georreferenciamento



Fonte: Ferreira e Castelo Branco (2016).

Ainda com relação ao monitoramento de estruturas através do uso de imagens, Malesa *et al.* (2010) utilizaram a técnica de Correlação de Imagens Digitais (CID) para monitoramento de estruturas de engenharia civil. Os deslocamentos horizontais e verticais de uma ponte ferroviária durante a passagem de uma locomotiva e de um trem foram monitorados por sensores de CID modificados (locais, de maior acurácia, e globais). Os resultados obtidos da análise têm caráter e valores semelhantes aos obtidos pelo Método dos Elementos Finitos (MEF) para a ponte, apesar de algumas diferenças entre alguns dos pontos monitorados terem sido observadas quando da comparação entre os dois métodos e do fato de

os deslocamentos horizontais serem muito pequenos para serem devidamente detectados pelos sensores de CID globais.

Oliveira (2010) realizou o monitoramento de estruturas (viga e passarela de pedestres), que é feito habitualmente por meio de sensores (como acelerômetros e defletômetros), através do processamento de imagens obtidas por filmagens. Bons resultados foram obtidos quando comparados aos resultados obtidos pelos métodos tradicionais. No entanto, alguns cuidados devem ser tomados quando da utilização do método, pois este apresenta certas limitações, que podem ser eliminados com o uso de equipamentos adequados e devida atenção na realização dos ensaios. Segundo a citada autora, este método é de fácil aplicação e de baixo custo quando comparado a outros métodos.

Yella, Dougherty e Gupta (2009) utilizaram imagens para detecção automática de defeitos em componentes da via férrea, a saber: dormentes e placas de apoio. Foram obtidas imagens digitais de ambos os lados de dormentes e foi adotado um reconhecimento de padrões para classificar a condição do dormente em boa ou ruim, para que com isso fosse alcançada a automação do processo. Técnicas apropriadas de análise de imagens foram aplicadas e características relevantes, como número de rachaduras em um dormente, comprimento médio e abertura média da rachadura e a condição da placa de apoio de metal foram determinadas. A junção de características foi proposta para integrar as características obtidas de cada lado para a etapa de classificação. O efeito do uso de diferentes classificadores foi testado e comparado e os resultados obtidos desses experimentos foram encorajadores, com uma precisão de 90%. Dessa forma, o desempenho obtido pelo método desenvolvido pelos autores é competitivo quando comparado àquele realizado pelo operador humano.

Franca (2017) propôs a inspeção automática de dormentes utilizando técnicas de processamento de imagens, reconhecimento de padrões, fusão de características e heurísticas. O trabalho apresenta como objetivos contabilizar e inventariar os tipos de dormentes presentes em cada trecho ferroviário, identificar a condição dos dormentes nos trechos de análise e gerar um relatório com as informações necessárias à atuação da manutenção da via permanente. As imagens da ferrovia foram obtidas por veículos ferroviários e os bancos de imagens são compostos de 32.917 imagens reais, de onde se pode ver parcialmente os dormentes, que são de madeira ou de aço. Outros elementos da ferrovia, como os trilhos e elementos de fixação, que também aparecem nas imagens, ajudaram a identificar a posição dos dormentes, que também foram analisados quanto a estarem ou não aparentes (oclusos pelo lastro ou visíveis). Após essa identificação, o tipo dos dormentes é determinado pela

avaliação da textura de sua superfície exposta e pela classificação dos demais dormentes na imagem. Finalmente, é feita a avaliação de defeitos nos dormentes pela procura de características dos defeitos mais comuns.

Alguns outros trabalhos têm sido desenvolvidos no intuito de automatizar a detecção de defeitos ou reconhecimento de características em linhas de ferro. Zhang *et al.* (2014) propuseram um método automático para a detecção e classificação de fendas no monitoramento da segurança em um túnel de metrô. Wang, Z. e Wang, S. (2015) realizou um trabalho para detecção de defeitos em elementos de fixação de trilhos baseado em visão mecânica. Karakose, Yaman e Akin (2016) propuseram a detecção de AMV's e seus tipos através do processamento de imagens obtidas por um veículo teste (a ser aplicado em um sistema em tempo real) a fim de diagnosticar precocemente as falhas nessas passagens e evitar acidentes.

4 MATERIAIS E MÉTODO

Nesta seção, primeiramente é apresentado o trecho em estudo, com a descrição das suas características e dados referentes à sua operação. Logo após, é explicado como a coleta das imagens e o georreferenciamento do trecho foram realizados. Em seguida, são mostrados os dados relativos à prospecção de defeitos em dormentes, fornecidos pela empresa que concedeu o trecho para estudo, bem como é explicado o método de cálculo para chegar aos resultados apresentados na planilha que contém estes dados. A Seção 4.4 é dedicada a explicar quais são os eventos detectados através das imagens e posteriormente analisados. Por fim, a Seção 4.5 contém a explicação acerca das estruturas da ferrovia que são analisadas com base nas imagens e apresenta os trechos com diferentes estados de conservação, que também foram analisados.

4.1 Trecho ferroviário

O presente trabalho tem como objeto de estudo um trecho pertencente à Ferrovia Transnordestina Logística (FTL), cuja malha é mostrada na Figura 13(a). Essa empresa foi criada originalmente com o nome de Companhia de Ferro do Nordeste, em 1998, a partir a concessão da malha ferroviária do Nordeste, pertencente à Rede Ferroviária Federal S/A (RFFSA), ao controle privado. A malha, em operação atualmente, liga os portos de Itaqui (São Luís/MA), Pecém (São Gonçalo do Amarante/CE) e Mucuripe (Fortaleza/CE), passando também pelo estado do Piauí. Com a implantação da nova ferrovia, que se encontra em fase de construção e vai ligar os estados de Piauí, Ceará e Pernambuco, os acessos ferroviários aos demais estados que compõem a malha da FTL serão reestabelecidos. Os principais produtos escoados através desta malha são: derivados de petróleo, coque de petróleo, contêineres, cimento, farinha de trigo, celulose, fertilizantes, produtos siderúrgicos, minério de ferro, ferro gusa, clínquer e calcário. A ferrovia possui bitola métrica, os dormentes utilizados são de madeira e a taxa de dormentação é de um dormente a cada 60 cm, aproximadamente.

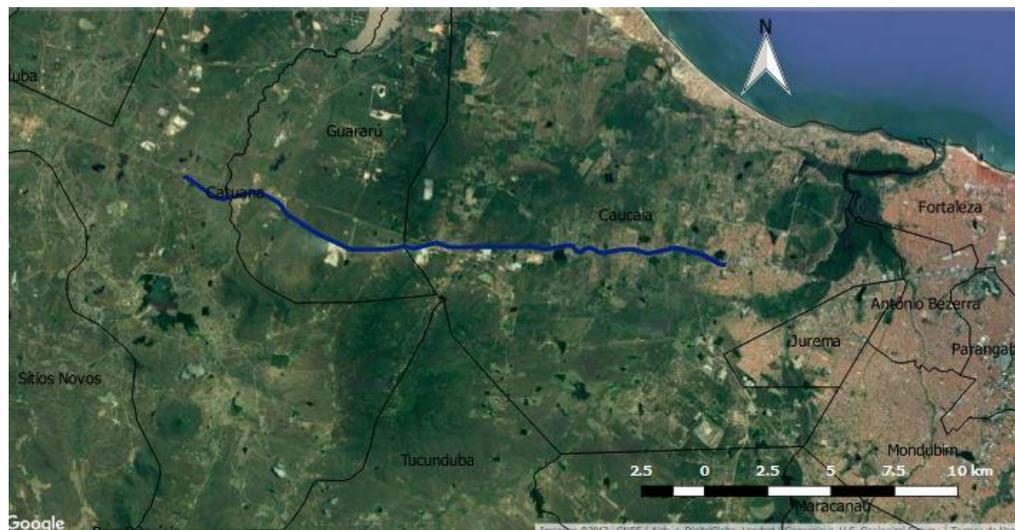
O trecho em estudo, que foi concedido pela empresa em função da disponibilidade de veículo ferroviário no local e dos profissionais da FTL que acompanharam a coleta, é compreendido entre os marcos quilométricos (km's) 43 e 20, totalizando 23 km de ferrovia, ambos próximos ao município de Caucaia, na Região Metropolitana de Fortaleza (RMF). Os principais produtos transportados no trecho são produtos siderúrgicos, cimento, clínquer, contêineres e coque. As locomotivas que o percorrem são GM, ALCO e U10; os vagões são

do tipo fechado, *hopper* e plataforma; e os trens possuem, em média, 1 km de extensão. O limite máximo de toneladas transportadas é de 16,5 toneladas por eixo e a velocidade média desse trecho é de, aproximadamente, 14 km/h. A Figura 13(b) apresenta o referido trecho.

Figura 13 – (a) Malha da FTL e (b) trecho de estudo



(a) Malha da FTL



(b) Trecho de estudo

Fonte: (a) Adaptado de Ministério dos Transportes (2017) e (b) Elaborado pela autora (2017).

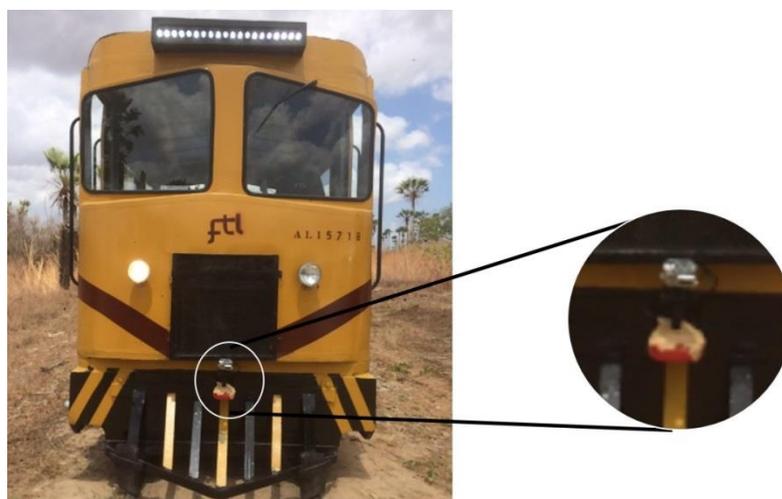
4.2 Coleta de imagens e georreferenciamento do trecho

A detecção de defeitos através das imagens, por si só, não seria eficiente se não houvesse indicação do local de sua ocorrência. Dessa forma, foi necessário realizar o georreferenciamento do trecho juntamente com a coleta das imagens. Devido à ausência de dispositivo capaz de atender a ambos os propósitos de uma só vez, a coleta das imagens e o

georreferenciamento do trecho foram realizados por dispositivos diferentes, uma câmera e um aparelho GPS, respectivamente. Posteriormente, ambas as informações foram sincronizadas, conforme método explicado nesta seção.

Para implantação do método que se objetiva testar neste trabalho, foram coletados vídeos do trecho com o auxílio de uma câmera GoPro Hero 3+, que foi fixada ao veículo ferroviário ALI 5710 com um suporte do tipo ventosa e fita adesiva, como mostrado na Figura 14. Esta câmera fornece uma gravação em alta definição (*High Definition*, HD), que possibilita boa visualização, mas com certas limitações, dos elementos da ferrovia. A velocidade do veículo na coleta das imagens foi, em média, de 20 km/h.

Figura 14 - Veículo ALI 5710 com câmera acoplada



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Com o uso de um dispositivo GPS (Garmin GPSmap 62), todo o caminho foi georreferenciado. Este aparelho foi utilizado para auxiliar na localização de pontos importantes para o estudo (passagens de nível, marcos quilométricos, pontilhões, subtrechos com diferentes condições de conservação, etc.), bem como para que se possa localizar os defeitos que serão explorados na análise dos dados. Foi pedido ao funcionário da FTL, encarregado de acompanhar a equipe de realização deste trabalho, para que o mesmo apontasse, no decorrer do percurso, locais considerados com bom estado de conservação, ruim e muito ruim, pois uma comparação detalhada entre estes é feita neste trabalho. Para que se pudesse obter as coordenadas dos pontos de interesse nos vídeos, foi feita uma sincronização entre a hora em um relógio comum e a hora fornecida pelo GPS. Assim, é possível, a partir da hora de início da gravação e do tempo decorrido no vídeo, verificar nas coordenadas fornecidas pelo GPS a localização em um dado instante. Para a marcação dos pontos

relevantes, utilizou-se função do GPS que grava as coordenadas a qualquer instante com um simples clique no botão “*mark*”. As informações pertinentes a cada ponto marcado foram anotadas para que durante a análise fosse possível identificar cada ponto referido. A tabela com o posicionamento georreferenciado do trecho se encontra no Apêndice A. Vale ressaltar que o GPS fornece as coordenadas do trecho a cada intervalo de cerca de 20 segundos, fazendo-se necessária a interpolação de coordenadas para determinar a posição aproximada a cada segundo de vídeo.

4.3 Coleta de dados de prospecção e critérios de substituição de dormentes da FTL

A FTL forneceu uma planilha eletrônica, que se encontra no Anexo A, com dados relativos à prospecção de dormentes no trecho estudado. Esta planilha contém informações como: o km's inicial e final de cada segmento, o elemento em planta (curva ou tangente) de cada segmento, o raio das curvas, a classe do segmento (varia com o raio, conforme mostrado na Tabela 2), sua extensão e os dados de prospecção propriamente ditos, que são a quantidade de dormentes rachados em junta, em linha corrida (fora da junta) e de dormentes inexistentes. As informações foram obtidas por inspeção visual realizada pelos técnicos da empresa que fazem parte das Turmas de Manutenção e Correção (TMC), que são equipes de funcionários divididas por área de atuação e que são encarregadas de fazer a vistoria dos trechos a eles destinados. Foram coletados dados relativos a dormentes com defeito em sequência. A empresa informou que a prospecção foi realizada pela última vez entre os meses de agosto de dezembro de 2015.

Tabela 2 - Classes dos trechos de acordo com raio das curvas

Classe	Raio (m)
1	<129
2	129<r<350
3	r≥350
4	∞

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Para substituição de dormentes, a empresa segue a resolução nº 2748 – Transportes de Produtos Perigosos - da ANTT (2008), que trata dos procedimentos a serem adotados pelas Concessionárias de Serviços Públicos de Transporte de Cargas, durante o

transporte de produtos perigosos. Esta norma estabelece o estado aceitável para os principais elementos da via permanente. Para os dormentes, os limites são os seguintes:

Para os trechos em curva, entre dois dormentes inservíveis deve haver, no mínimo, três dormentes bons em sequência, e as taxas de dormentes inservíveis deve ser:

- a) 20% para curvas com raio maior ou igual a 350 metros;
- b) 15% para curvas com raio maior que 250 metros e menor que 350 metros; e
- c) 10% para curvas com raio menor ou igual a 250 metros.

A Tabela 3 apresenta os dados referentes às porcentagens de dormentes a substituir e à quantidade de dormentes inservíveis. A FTL utiliza esses dois critérios para planejar as intervenções de substituição de dormentes e juntas no trecho. Eles são calculados de formas diferentes e a quantidade de dormentes aplicada depende do cenário econômico da empresa e da urgência da manutenção.

Tabela 3 - Prospecção de dormentes realizada em 2015 pela FTL

Km inicial	Km final	Extensão (m)	Dormentes a substituir					
			Inexisten-tes	Jun-tas	Linha corrida	To-tal	% Subst	% Dorm. Inserv
20,000	20,320	320	-	8	24	32	6,0	21
20,320	20,695	375	5	27	55	82	13,2	80
20,695	20,888	193	2	7	11	18	5,6	50
20,888	22,141	1253	2	64	126	190	9,1	39
22,141	22,403	262	-	22	35	57	13,1	43
22,403	23,242	839	-	59	137	196	14,1	63
23,242	23,637	395	4	27	15	42	6,4	41
23,637	23,808	171	2	10	16	26	9,2	69
23,808	24,073	265	5	13	16	29	6,6	46
24,073	24,429	356	5	20	34	54	9,2	56
24,429	24,621	192	-	5	8	13	4,1	27
24,621	25,101	480	3	29	42	71	8,9	56
25,101	25,483	382	-	21	32	53	8,4	44
25,483	25,588	105	4	11	6	17	9,8	56
25,588	26,037	449	4	24	32	56	7,5	43
26,037	26,086	49	5	3	2	5	6,2	43
26,086	26,426	340	2	38	48	86	15,2	40
26,426	26,512	86	-	24	7	31	21,8	65
26,512	26,785	273	1	27	74	101	22,3	48
26,785	27,643	858	4	52	118	170	11,9	61
27,643	27,824	181	3	12	10	22	7,3	42
27,824	27,986	162	2	10	18	28	10,4	69
27,986	28,182	196	5	9	18	27	8,3	62
28,182	31,428	3246	119	163	187	350	6,5	51
31,428	31,654	226	7	16	9	25	6,7	45
31,654	31,870	216	11	21	12	33	9,2	55
31,870	32,136	266	6	19	31	50	11,3	49

Km inicial	Km final	Extensão (m)	Dormentes a substituir					
			Inexisten-tes	Jun-tas	Linha corrida	To-tal	% Subst	% Dorm. Inserv
32,136	32,844	708	14	66	33	99	8,4	41
32,844	33,060	216	7	9	13	22	6,1	42
33,060	33,222	162	8	9	5	14	5,2	47
33,222	33,508	286	9	9	4	13	2,7	41
33,508	33,906	398	12	15	27	42	6,4	50
33,906	34,030	124	5	8	2	10	4,9	48
34,030	35,382	1352	148	66	68	134	6,0	39
35,382	35,578	196	5	12	0	12	3,7	26
35,578	35,592	14	19	3	1	4	17,4	78
35,590	36,776	1186	-	25	5	30	1,5	21
36,776	36,997	221	-	11	17	28	7,7	68
36,997	38,225	1228	20	61	88	149	7,3	53
38,225	38,487	262	9	27	2	29	6,7	44
38,487	38,646	159	2	17	4	21	8,0	50
38,646	39,031	385	5	26	3	29	4,5	38
39,031	39,551	520	9	45	34	79	9,2	57
39,551	40,083	532	12	34	14	48	5,4	47
40,083	41,123	1040	17	89	81	170	9,8	53
41,123	41,648	525	16	40	10	50	5,7	43
41,648	43,114	1466	15	132	113	245	10,1	56

Fonte: Adaptado de Ferrovias Transnordestina Logística (2015).

Para determinar a quantidade de dormentes a substituir inservíveis, são coletadas, em linha corrida, as sequências (que variam de 1 a 15) de dormentes rachados ou podres, além de serem observadas quantas juntas têm um e/ou dois dormentes rachados. Com isso, calcula-se a taxa de dormentes inservíveis, conforme Equação 1:

$$\%D_i = \frac{[(1xS_1 + 2xS_2 + 3xS_3 + \dots + nxS_n) + (1xJ_1 + 2xJ_2)]}{D_e} \quad (1)$$

Onde:

$\%D_i$: porcentagem de dormentes inservíveis;

S_1 : número de sequências com um dormente rachado ou podre;

S_2 : número de sequências com dois dormentes rachados ou podres;

S_3 : número de sequências com três dormentes rachados ou podres;

S_n : número de sequências com n dormentes rachados ou podres;

J_1 : número de juntas com um dormente rachado;

J_2 : número de juntas com dois dormentes rachados;

D_e : número de dormentes existentes.

A taxa de dormentes a substituir é calculada a partir da Equação 2:

$$\%D_S = \left[\frac{(1xJ_1 + 2xJ_2 + D_{ln})}{D_e} \right] \quad (2)$$

Onde:

$\%D_S$: porcentagem de dormentes a substituir;

D_{ln} : total de dormentes a substituir na linha corrida;

J_1 : número de juntas com um dormente rachado;

J_2 : número de juntas com dois dormentes rachados;

D_e : número de dormentes existentes no trecho considerado.

O total de dormentes a substituir (D_{ln}) é calculado de acordo com a classe do trecho. A seguir, são apresentadas as Equações 3, 4, 5 e 6, utilizadas para obter o valor de D_{ln} para as classes 1, 2, 3 e 4, respectivamente.

$$D_{l1} = (S_2 + S_3) + (S_4 + S_5)x2 + (S_6 + S_7)x3 + (S_8 + S_9)x4 \\ + (S_{10} + S_{11})x5 + (S_{12} + S_{13})x6 + (S_{14} + S_{15})x7 \quad (3)$$

Onde:

D_{l1} : número de dormentes a substituir em uma linha corrida de um trecho classe 1;

S_n : número de sequências com n dormentes rachados ou podres;

$$D_{l2} = (S_3 + S_4 + S_5) + (S_6 + S_7)x2 + (S_8 + S_9 + S_{10})x3 + (S_{11} + S_{12} + S_{13})x4 \\ + (S_{14} + S_{15})x5 \quad (4)$$

Onde:

D_{l2} : número de dormentes a substituir em uma linha corrida de um trecho classe 2;

S_n : número de sequências com n dormentes rachados ou podres;

$$D_{l3} = (S_4 + S_5 + S_6 + S_7) + (S_8 + S_9 + S_{10} + S_{11})x2 + (S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{15})x3 \quad (5)$$

Onde:

D_{l3} : número de dormentes a substituir em uma linha corrida de um trecho classe 3;

S_n : número de sequências com n dormentes rachados ou podres;

$$D_{l4} = (S_4 + S_5 + S_6 + S_7) + (S_8 + S_9 + S_{10} + S_{11}) \times 2 + (S_{12} + S_{13} + S_{14} + S_{15}) \times 3 \quad (6)$$

Onde:

D_{l4} : número de dormentes a substituir em uma linha corrida de um trecho classe 4;

S_n : número de sequências com n dormentes rachados ou podres.

A partir dos dados fornecidos pela FTL, mapas temáticos com indicações das condições de todo o percurso analisado serão gerados, de acordo com o percentual de dormentes a substituir e de dormentes inservíveis. Os mapas fornecem uma visualização da situação existente com a utilização de uma legenda de cores, que indica os percentuais encontrados para os critérios analisados. Além disso, esses mapas podem ser utilizados como ferramenta para tomada de decisão com relação a escolha de estratégias de manutenção.

4.4 Detecção de eventos

A avaliação do trecho através das imagens obtidas foca nos eventos possíveis de serem visualizados através das imagens e cuja ocorrência na via prejudica a circulação dos trens e/ou capacidade de suporte da mesma. Os eventos mencionados são: contaminação do lastro pela carga (Figura 15) ou colmatação pela presença de solo (Figura 16), para os quais são sugeridos níveis de severidade; presença de vegetação, que pode estar fortemente presente ou medianamente presente, conforme semelhança com a Figura 17 (a e b); presença de lixo em grandes quantidades, como ocorre na Figura 18; localidades com potencial para a ocorrência de erosão (Figura 19); e invasão à faixa de domínio (Figura 20).

Figura 15 – Lastro contaminado pela carga



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 16 – Lastro colmatado por solo



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 17 – Presença de vegetação na via permanente



(a) fortemente



(b) medianamente presente

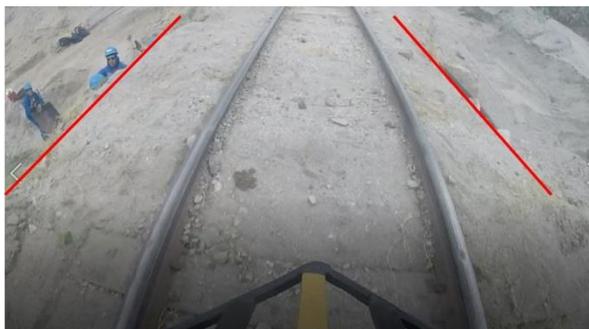
Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 18 – Presença de lixo na via em grande quantidade



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 19 – Local apontado como com potencial para a ocorrência de erosão



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 20 – Invasão à faixa de domínio



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Para auxiliar no cômputo da ocorrência dos eventos no trecho, detectados a partir dos vídeos coletados, criou-se uma tabela no formato da Figura 21, que se encontra completa no Apêndice B. Esta tabela toma como exemplo a planilha empregada para levantamento do estado de superfície, de pavimentos rodoviários flexíveis e semi-rígidos, pela norma DNIT 006/2003. Para preenchimento da tabela citada deve ser marcado um “x” na linha referente ao evento detectado e, no caso da ocorrência de colmatagem no lastro, anota-se o número referente à severidade (proposta na seção 5.4) deste defeito. Deve ser anotado também o tempo de vídeo decorrido, de modo que seja possível obter as coordenadas dos eventos, conforme explicado na seção 4.2. Ao final do preenchimento da tabela, é possível montar um mapa abrangendo todos os eventos detectados nas imagens, a fim de verificar quais são os locais aonde ações determinadas pela gerência devem ser realizadas com maior urgência.

Figura 21 – Exemplo de tabela para cômputo dos defeitos encontrados no trecho

	Tempo no vídeo					
Defeitos						
Lastro	Colmatado pela carga					
	Contaminado (nível de severidade)					
Vegetação	Fortemente presente					
	Razoavelmente presente					
Lixo	Fortemente presente					
Erosão	Potencial p/ erosão					
Faixa de domínio	Invasão acentuada					

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

4.5 Pontilhões, Passagens de Nível (PN) e subtrechos com diferentes severidades

Do total de 23 km filmados, alguns subtrechos são escolhidos a fim de que seja feita uma análise minuciosa segundo a severidade que apresenta, podendo ser baixa, média ou alta. Esta análise tem o objetivo de verificar se há heterogeneidade no estado de conservação do trecho, pois caso haja, a identificação de locais com maior urgência de intervenções é mais trivial. Para isso, foram escolhidos três pontos apontados pelo profissional experiente que presenciou a coleta, que possuíam os diferentes níveis de severidade. Além disso, estruturas consideradas muito importantes do ponto de vista operacional e da segurança (e cuja visualização pelas imagens permite uma boa análise), como é o caso dos pontilhões e das PN's (normais e clandestinas), também foram analisados. Pontilhões são estruturas cuja finalidade é possibilitar a travessia da ferrovia sobre pequenos cursos d'água (Figura 22). As PN's são locais aonde há interseção, no mesmo nível, entre a ferrovia e um caminho ou estrada (Figura 23). Por fim, para possibilitar a realização do diagnóstico da situação geral do trecho, é realizada uma análise com base nos mapas temáticos gerados a partir da planilha de prospecção da FTL e nos demais mapas gerados a partir da detecção, pelas imagens, da ocorrência de eventos no trecho.

Figura 22 – Pontilhão



Fonte: ABPF – Regional Sul de Minas (2012).

Figura 23 – Passagem de Nível



Fonte: Circula Seguro [2017?].

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 Análise de subtrecho com severidade baixa, média e alta

Com o objetivo de constatar as diferentes condições de conservação existentes na ferrovia, foram escolhidos alguns locais em subtrechos considerados bom, ruim e muito ruim para serem comparados entre si. Como foi marcado no GPS apenas para o ponto inicial onde o trecho foi considerado bom, ruim ou muito ruim (baixa, média ou alta severidade), para cada uma destas condições foram analisados 10 segundos de vídeo, a fim de garantir que as extensões de via analisadas fossem aproximadamente iguais. Tendo como referência a taxa de dormentação, que é de 60 cm, estima-se que a extensão percorrida nesse tempo de 10 segundos é de, aproximadamente, 42 m.

Para realizar a comparação entre as diferentes condições consideradas na análise, critérios como a maior sequência de dormentes rachados, deslocados e faltando, a presença de dormentes rachados em juntas, a contaminação do lastro, a presença de vegetação e o afrouxamento dos pregos (ou grampos) de fixação foram analisados. A Tabela 4 apresenta os resultados encontrados para os três cenários.

Tabela 4 - Configuração de defeitos para as três condições diferentes encontradas no trecho avaliado

Defeitos	Situação do trecho		
	Boa	Ruim	Muito ruim
Maior sequência de dormentes estragados	1	3 (2x)	4
Maior sequência de dormentes deslocados	3	3 (2x)	3
Maior sequência de dormentes faltando	1	-	2
Presença de dormentes estragados nas juntas	-	1	1
Situação da colmatação	Pontual	-	Contínua

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Para o trecho considerado bom, os defeitos encontrados foram bem mais leves do que aqueles encontrados para os outros dois cenários. Antes e após cada dormente ruim, sempre havia um bom, de modo que não houve sequência de mais de 1 dormente considerado estragado. A mesma situação aconteceu para os trechos com dormentes faltando, cuja maior sequência encontrada também foi 1. A qualidade dos dormentes nas juntas também pode ser considerada apropriada, uma vez que estes, quando apresentavam fendas, estas não se localizavam próximas à região de fixação, ou seja, o dormente estava adequadamente fixado e sua

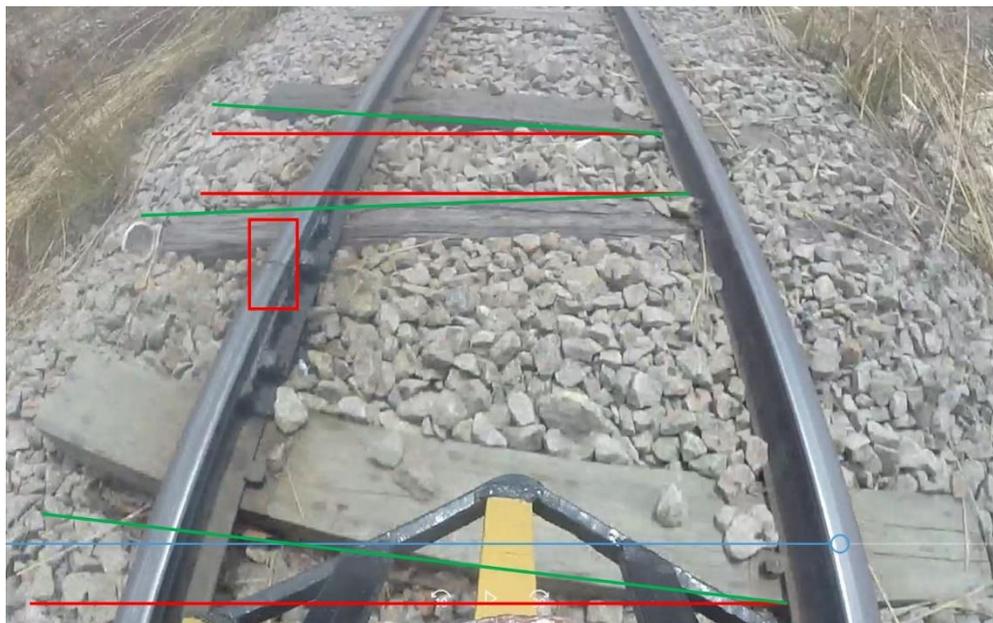
capacidade de suporte foi considerada adequada, como mostra a Figura 24. O local onde o lastro estava colmatado era bem pontual, ficando claro que o material fino (visualmente areia) foi depositado ali por ação humana para alguma finalidade específica, como a travessia de objetos, por exemplo. Essa observação é importante para que não se constate, erroneamente, que a colmatagem ali observada reflete a ineficiência no sistema de drenagem, o que poderia ocasionar o carreamento de finos por uma extensão bem maior, nem tampouco reflete o bombeamento de finos provenientes do subleito com a passagem do material rodante, pois se a situação fosse essa, não seria esperado uma ocorrência tão pontual desse defeito. Por fim, outro defeito observado foi o desenquadramento de 3 dormentes consecutivos, próximos a uma junta, cuja folga era praticamente inexistente, o que pode ter sido causado pela dilatação, e conseqüente caminhamento, dos trilhos, que arrastaram consigo os dormentes próximos, configurando o desenquadramento constatado. A Figura 25 mostra a sequência de dormentes deslocados e o pequeno espaço entre os trilhos na junta.

Figura 24 – Fendas de dormente situado na junta e suas fixações



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 25 – Desenquadramento de dormente e junta de dilatação



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

No trecho considerado ruim, para os 10 segundos analisados, conforme mostrado na Tabela 4, a maior sequência de dormentes deslocados (desenquadrados) e estragados foi de 3 dormentes, ambas sequências, ou seja, de 3 dormentes estragados e de 3 dormentes desenquadrados, aparecendo duas vezes (indicado por 2x na Tabela 4). Outro defeito observado foi a presença de um dormente ruim e de um dormente deslocado em juntas. Não foram observados dormentes faltando nem lastro colmatado. Além dos defeitos tabelados, também foi observado que havia parafusos frouxos em alguns dormentes. A Figura 26 mostra alguns defeitos encontrados nesse trecho considerado ruim.

Figura 26 - Principais defeitos encontrados no trecho considerado ruim



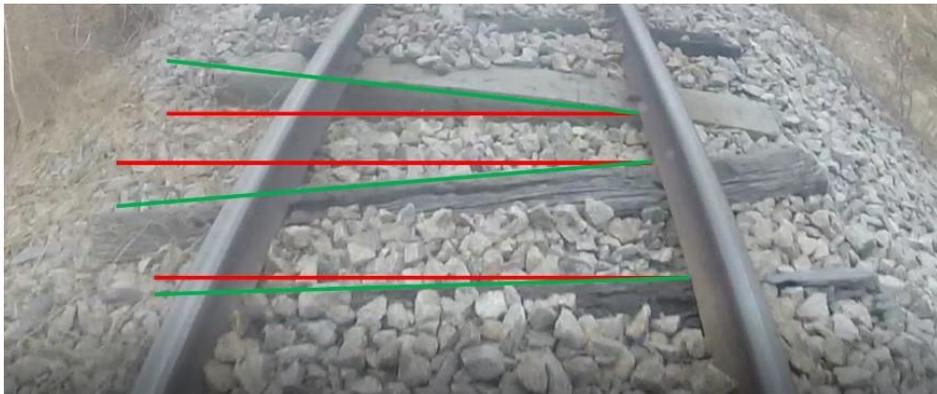
(a) Dormente desenquadrado em junta



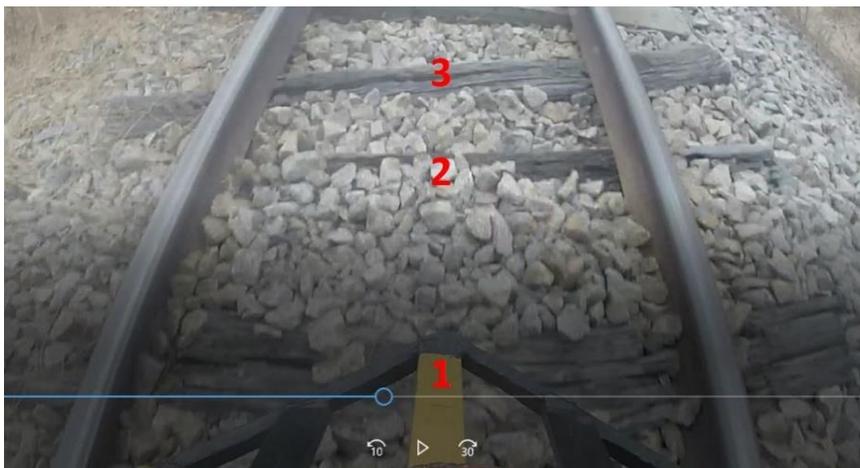
(b) Dormente ruim localizado em junta



(c) Parafuso frouxo



(d) Sequência de 3 dormentes desenquadrados



(e) Sequência de 3 dormentes estragados

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

O trecho muito ruim apresentou uma sequência de 4 dormentes estragados, sendo a mais alta dentre as 3 situações analisadas. Esse mesmo trecho também apresentou sequência máxima 3 dormentes deslocados, assim como os trechos bom e ruim e, no quesito dormentes faltando em sequência, a sequência máxima encontrada foi de 2 dormentes, a maior dentre as três situações analisadas. Alguns dormentes apresentaram fixações frouxas, o que pode refletir no fato do trecho não fornecer boas condições de rolamento para o material rodante, que trepida de forma mais intensa na região, contribuindo para o afrouxamento dos elementos de fixação. Assim como no trecho considerado ruim, há dormente ruim localizado em junta, o que se sabe ser mais crítico do ponto de vista da segurança, uma vez que as juntas são elementos sensíveis da ferrovia e que oferecem mais riscos aos descarrilamentos se comparado às regiões de linha corrida. Quanto ao lastro deste este trecho, encontrou-se uma região onde a colmatação ocorre intensamente, de forma contínua, ao longo de alguns metros. A presença de vegetação foi um fator comum aos trechos nas três situações, embora no trecho muito ruim esta tenha aparecido com maior frequência e no meio dos trilhos, enquanto que para os trechos considerados bom e ruim a vegetação praticamente existia no lastro, mas na região exterior aos trilhos. A Figura 27 mostra os principais defeitos encontrados no trecho considerado muito ruim.

Figura 27 – Principais defeitos encontrados no trecho considerado muito ruim



(a) Sequência de 2 dormentes faltando

(b) Pregos de fixação frouxos



(c) Dormente ruim localizado em junta

(d) Lastro colmatado. Nota-se a presença de solo e a ausência de brita



(e) Sequência de 4 dormentes estragados

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

5.2 Análise de pontilhões

Para início da análise, escolheram-se os pontilhões, por existirem no trecho 14 dessas estruturas, atravessando cursos d'água. A partir da análise do vídeo, os defeitos mais visíveis foram observados, como a presença de dormentes deslocados, rachados e/ou a ausência de dormentes. Como o objetivo da análise é caracterizar essas estruturas, o critério utilizado foi a ocorrência de defeitos nos dormentes ali presentes, como um reflexo do panorama geral de cada pontilhão. Para que se houvesse uma padronização do diagnóstico dessas estruturas, foram criados níveis de severidade, de acordo com os defeitos apresentados. A Tabela 5

mostra os níveis de severidade sugeridos e a sua respectiva legenda. Tabela 6 mostra a caracterização feita para todos os pontilhões do trecho.

Tabela 5 - Níveis de severidade para caracterização de pontilhões

Nível de severidade	Legenda (defeitos apresentados por muitos dormentes)
0	Sem defeitos consideráveis
1	Deslocados ou rachados
2	Faltando
3	Mais de um dos defeitos citados acima
4	Mais de dois dos defeitos citados acima

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Tabela 6 - Análise dos pontilhões

Ponto	Coordenada (UTM)		Situação	Nível de severidade
	Longitude	Latitude		
1	517.004	9.589.743	Dormentes deslocados	1
2	517.612	9.589.741	Dormentes rachados, deslocados e faltando	4
3	518.377	9.589.918	Dormentes deslocados e faltando	3
4	520.521	9.588.629	Dormentes rachados e deslocados	3
5	522.437	9.587.671	1 dormente rachado e 1 deslocado	0
6	522.609	9.587.673	1 dormente deslocado	0
7	522.858	9.587.674	Dormentes deslocados e faltando	3
8	523.374	9.587.679	Dormentes deslocados e faltando	3
9	523.682	9.587.681	1 dormente deslocado	0
10	526.952	9.587.770	Sem dormentes deslocados e/ou faltando	0
11	528.726	9.587.775	Dormentes faltando	2
12	529.015	9.587.776	Dormentes rachados, deslocados e faltando	4
13	529.397	9587776	Dormentes rachados, deslocados e faltando	4
14	533.352	9587672	Dormentes rachados, deslocados e faltando	4

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

A partir da caracterização apresentada na Tabela 6, observa-se que as estruturas dos pontilhões se encontram com diferentes níveis de conservação, variando de estruturas que apresentam apenas 1 dormente com defeito a estruturas onde há dormentes estragados, deslocados e faltando. Aproximadamente 36% dessas estruturas apresentam nível de severidade 0 ou 1, ou seja, não apresentam defeitos consideráveis ou muitos dos seus dormentes apresentam-se deslocados ou rachados. Já os 64% restantes dessas estruturas apresentaram nível de severidade igual a 2, 3 ou 4, casos em que muitos dormentes estavam ausentes ou dois ou mais defeitos foram constatados simultaneamente em muitos dormentes

da estrutura. Um exemplo de pontilhão para cada nível de severidade é mostrado na Figura 28.

Figura 28 - Níveis de severidade para caracterização de pontilhões



(a) Severidade 0: 1 Dormente estragado



(b) Severidade 1: Dormentes deslocados e dormente rachado



(c) Severidade 2: Dormentes faltando



(d) Severidade 3: Dormentes deslocados e faltando

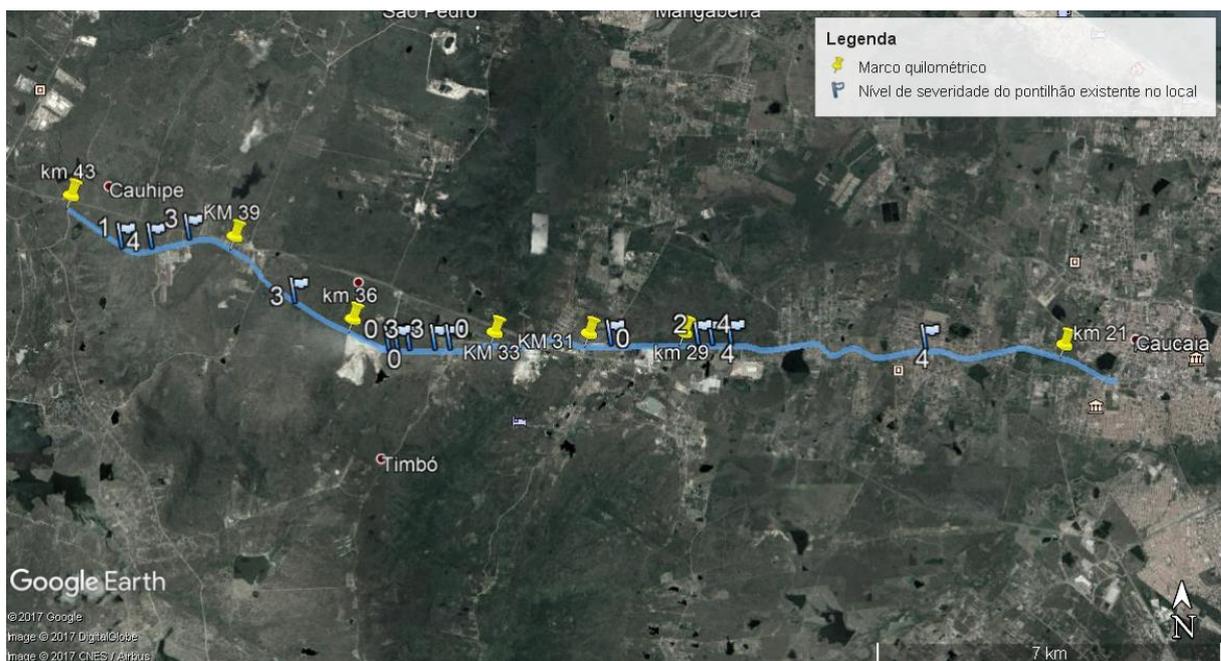


(e) Severidade 4: Dormentes rachados, deslocados e faltando

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Para que a condição dos pontilhões seja incorporada na análise geral do trecho, juntamente com os outros defeitos, a localização destas estruturas é mostrada no mapa da Figura 29. Além da indicação do nível severidade encontrado em cada pontilhão, alguns marcos quilométricos estão destacados neste mapa.

Figura 29 – Localização dos pontilhões e indicação da sua severidade



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Pela análise da Figura 29, percebe-se que dos 4 pontilhões que apresentaram níveis de severidade mais altos, 3 estão localizados entre os km's 29 e 21. Também foram observados pontilhões com severidade elevada, com valores de 3 e 4, entre os km's 43 e 39. Outro subtrecho que chamou a atenção por apresentar 2 pontilhões com nível de severidade 3 é o que fica compreendido pelos km's 36 e 33. Do ponto de vista do estado de conservação

destas estruturas, os locais citados são os que necessitam de intervenção com maior urgência, pois as condições neles encontradas são mais severas que nos demais.

5.3 Análise do estado de conservação das Passagens de Nível (PN's)

Outro elemento da ferrovia que foi analisado foram as PN's. No decorrer do percurso, foram encontradas 34 passagens, que foram georreferenciadas. Encontrou-se que, desse total de PN's presentes no caminho, 13 são do tipo normal e 21 do tipo clandestina. Por serem locais de interseção da ferrovia com os demais meios de transportes, as PN's são elementos delicados do ponto de vista da segurança. Nelas, devem existir sinalização apropriada, como placas ou sinais sonoros, de forma que os veículos ou as pessoas que pretendem atravessá-la, sejam avisados com certa antecedência que ali é um local de passagem de trens, que possuem prioridade de passagem nesses locais. É importante também que as PN's possuam ranhuras (indicadas na Figura 30a), que são contra-trilhos, que ficam interiores à bitola, que auxiliam na passagem dos veículos. A Figura 30 (a e b) mostra exemplos de PN normal e clandestina, respectivamente.

Figura 30 – Exemplos de passagens de nível (a) normal e com ranhuras e (b) clandestina



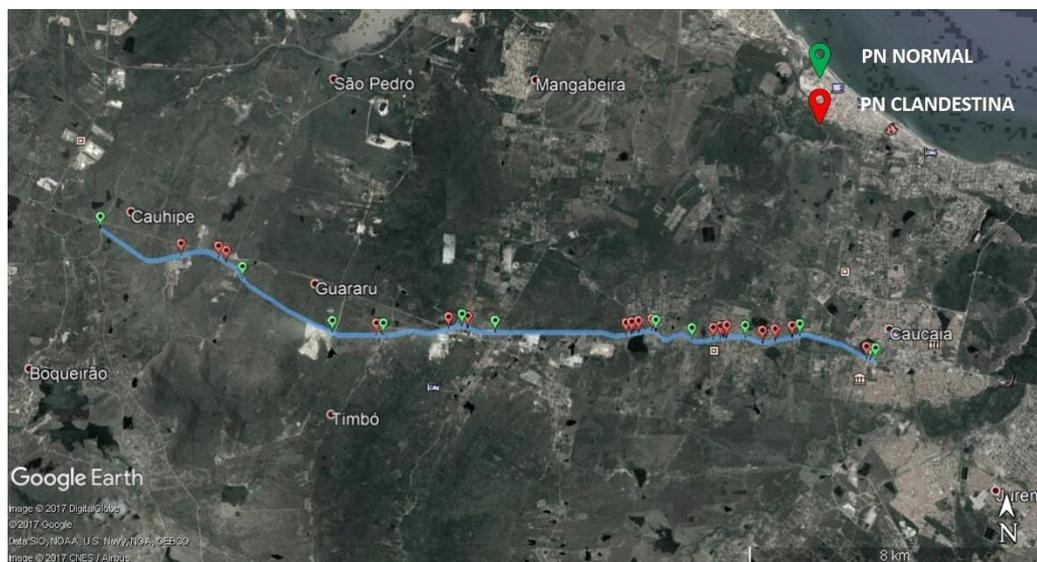
a) Passagem de Nível (PN) normal b) Passagem de Nível (PN) clandestina

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Constata-se que 38% das PN's são do tipo normal e 62% são do tipo clandestina. A existência de tantas PN's clandestinas no trecho, que chegam a ser maioria dentre o total de passagens encontradas, é mais um fator que aponta a precariedade do trecho em estudo. Por serem clandestinas, estas passagens oferecem risco adicional se comparado às PN's normais, que pelo menos, devem possuir ainda algum tipo de sinalização, embora se saiba que em algumas destas as placas podem não existirem mais. Para facilitar a identificação visual das PN'S, foi gerado um mapa com a indicação desses locais. A Figura 31 mostra a localização desses cruzamentos no trecho, indicando o tipo de PN encontrada. Analisando-se a mesma

figura, identifica-se a predominância de passagens clandestinas próximo à área urbana do município de Caucaia, que caracteriza um cenário crítico à segurança, já que as zonas urbanas são mais povoadas e, portanto, há maior número de travessia dos outros modos de transporte através das PN's.

Figura 31 – Passagens de Nível no trecho por tipo



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

A NBR 15680 (2009) determina que as vias públicas de acesso às PN devem apresentar pavimento asfáltico em pelo menos 40m para cada lado da linha férrea, com o objetivo de implantação da sinalização horizontal. Levando em consideração esta determinação da referida norma, faz-se um levantamento das condições das PN's normais em relação a este quesito. As condições encontradas são mostradas na Tabela 7.

Tabela 7 - Estado de conservação das PN's normais

PN	Estado de conservação
1	s/ pavimento asfáltico, c/ ranhuras
2	s/ pavimento asfáltico, s/ ranhuras
3	s/ pavimento asfáltico, quase s/ ranhuras aparentes
4	s/ pavimento asfáltico, c/ ranhuras
5	s/ pavimento asfáltico, s/ ranhuras
6	s/ pavimento asfáltico, s/ ranhuras

PN Estado de conservação

7	s/ pavimento asfáltico, s/ ranhuras, alagada
8	s/ pavimento asfáltico, c/ ranhuras
9	c/ pavimento asfáltico, c/ ranhuras
10	c/ pavimento asfáltico, c/ ranhuras
11	c/ ranhuras, pavimento asfáltico adjacente apresenta painelas
12	c/ pavimento asfáltico, s/ ranhuras, alagada
13	c/ pavimento asfáltico, c/ ranhuras, alagada

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Diante da caracterização da situação das PN's normais, percebe-se que somente 5 das 13 existentes possuem pavimento asfáltico. Esse fato que pode ser justificado pelo fato de nem todos os locais aonde os cruzamentos em nível acontecem serem vias públicas, de forma que somente nas proximidades do município de Caucaia as PN's são pavimentadas. Além disso, 5 PN's das 13 não apresentam ranhuras. As PN's asfaltadas apresentam o pavimento asfáltico bastante deteriorado (Figura 32a) e a formação de poças d'água (Figura 32b) nos buracos abertos no pavimento, evidenciando a ineficiência ou inexistência de drenagem no local. Dentre todas as PN's normais analisadas, 2 delas estavam visualmente adequadas à passagem dos veículos ferroviários. Em nenhuma passagem foi observada sinalização vertical.

Figura 32 – PN com (a) pavimento asfáltico deteriorado e (b) com problemas de drenagem



(a) PN com pavimento asfáltico deteriorado



(a) PN com água acumulada no pavimento

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

5.4 Situação geral do trecho com base nas imagens

O trecho em estudo foi diagnosticado com base em critérios visíveis pelas imagens coletadas e que se estendem por dimensões maiores do que vinte metros, aproximadamente – com exceção do defeito pontual de colmatação do lastro. Esses critérios são a colmatação do lastro, a invasão à faixa de domínio, a presença de vegetação, a contaminação do lastro pela carga transportada na via, a localização dos pontos com potencial para erosão e a presença de lixo na via. Foram identificados quatro estados de colmatação do lastro e, para auxiliar na visualização destes no mapa, foram sugeridos quatro níveis de severidade, ilustrados na Figura 33. Os locais de ocorrência dos defeitos no lastro com o respectivo nível de severidade foram mapeados e são mostrados, em parte (devido ao fato de a escala que mostra o trecho inteiro não possibilitar a visualização das pequenas extensões colmatadas), na Figura 34, que contém defeitos de lastro nos quatro níveis de severidade sugeridos. A localização das ocorrências de vegetação fortemente e medianamente (Figura 17) é mostrada na Figura 35 e as invasões à faixa de domínio são mostradas na Figura 36.

Figura 33 – Níveis de severidade sugeridos para o lastro



a) Nível 0: colmatação pontual

b) Nível 1: há solo visível entre a brita



c) Nível 2: Pouca brita visível ou dormentes não estão visíveis

d) Nível 3: Lastro e dormentes não visíveis

Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 34 – Subtrecho com indicação da ocorrência de defeitos no lastro e respectiva severidade



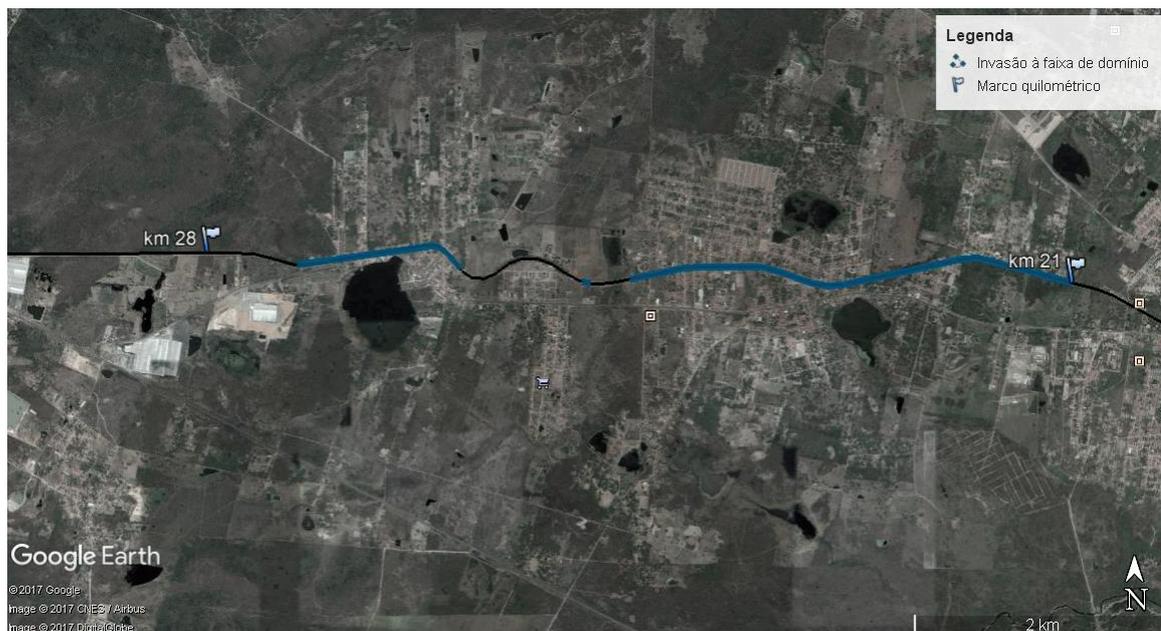
Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 35 – Indicação da ocorrência de vegetação



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 36 – Indicação da ocorrência de invasão à faixa de domínio



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

É possível perceber através das Figura 34, Figura 35 e Figura 36, que do km 21 ao km 28 a ferrovia possui graves problemas, pois neste subtrechos os defeitos e eventos encontrados ocorrem simultaneamente em vários pontos no decorrer deste percurso. Foram identificados nesta área defeitos no lastro em todos os níveis de severidade sugeridos, como mostrado na Figura 34, que variam de uma colmatação pontual, cuja ocorrência espera-se que comprometa menos a capacidade de suporte da via, à ocorrência de colmatação ao longo de uma extensão de mais de quatrocentos metros e onde nem o lastro nem os dormentes estavam aparentes, que corresponde ao nível de severidade 3. A presença de vegetação no trecho é muito acentuada, ocorrendo ao longo de quilômetros, conforme mostrado na Figura 35, que só mostra a ocorrência desse defeito quando a vegetação é encontrada em situações similares às mostradas na Figura 17, ou seja, com a via quase completamente preenchida por ela, apesar de estarem presentes em quase todo o trecho, porém de forma mais pontual. Quanto à invasão à faixa de domínio, observou-se, como era se de esperar, que essa começou a ocorrer à medida que a ferrovia se aproximava da cidade de Caucaia, já que o restante do trecho se encontra mais afastado da zona urbana. A situação quanto a este problema revela um cenário de grandes conflitos urbanos entre a ferrovia e a população que se instalou nas suas adjacências, pois a ocorrência de acidentes fica potencializada com a existência de atividades humanas às margens da via. Outro fato que é constatado é que a ocorrência das PN's clandestinas coincide com as áreas onde há invasão de faixa, o que é possível observar nas

Figura 31 e Figura 36. Para exemplificar a gravidade dessa invasão, tem-se o cenário apresentado na Figura 39 onde a calçada de uma casa que se encontra adjacente à ferrovia está distante menos de um metro desta.

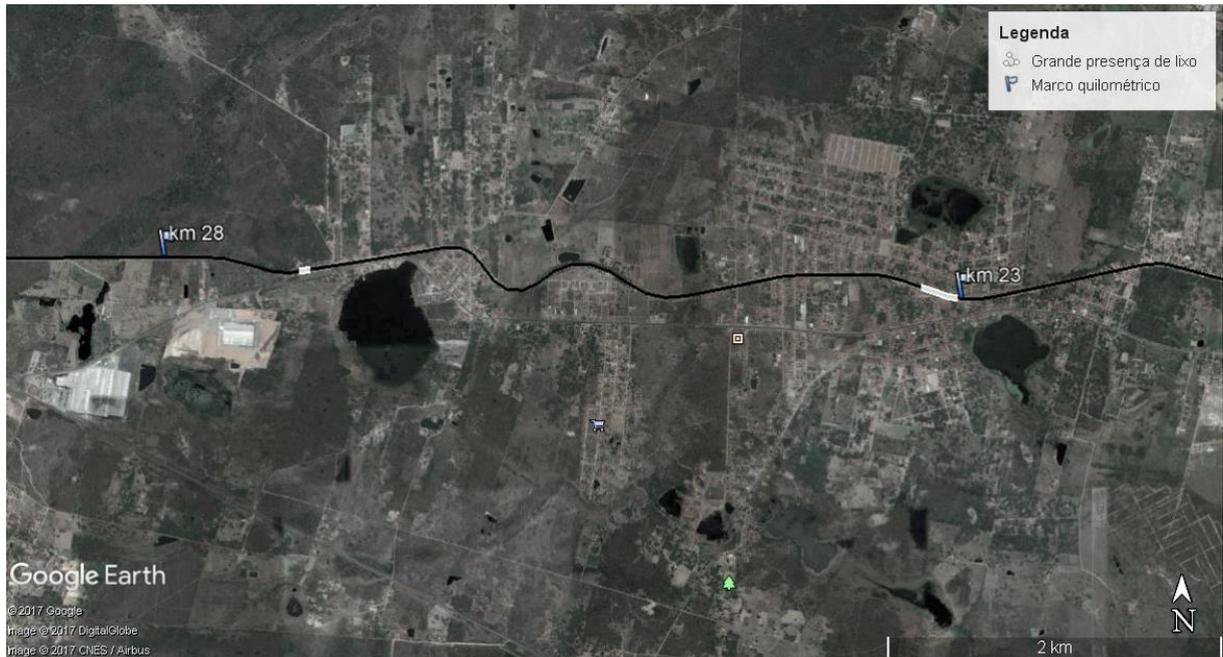
Outros eventos foram observados no decorrer do trecho, porém suas ocorrências se deram de forma localizada. A ocorrência de contaminação do lastro pela carga que passa no trecho é mostrada na Figura 38 e a ocorrência de lixo em grandes quantidades e no decorrer de extensões consideráveis (acima de 20 m) é mostrada na Figura 38. O evento apontado como erosão na Figura 37 representa o local mostrado em detalhe na Figura 19, já apresentada, que foi considerado como tendo potencial para a ocorrência de erosão, uma vez que a largura da plataforma é praticamente da mesma largura da via e há muita areia, não sendo visualizada a camada de lastro. Este local do trecho é um aterro, que pode ser erodido com a ação das águas da chuva, o que pode causar um desastre neste local.

Figura 37 – Ocorrência de eventos diversos no trecho avaliado



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 38 – Presença de lixo no trecho avaliado



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 39 – Situação crítica de invasão à faixa de domínio



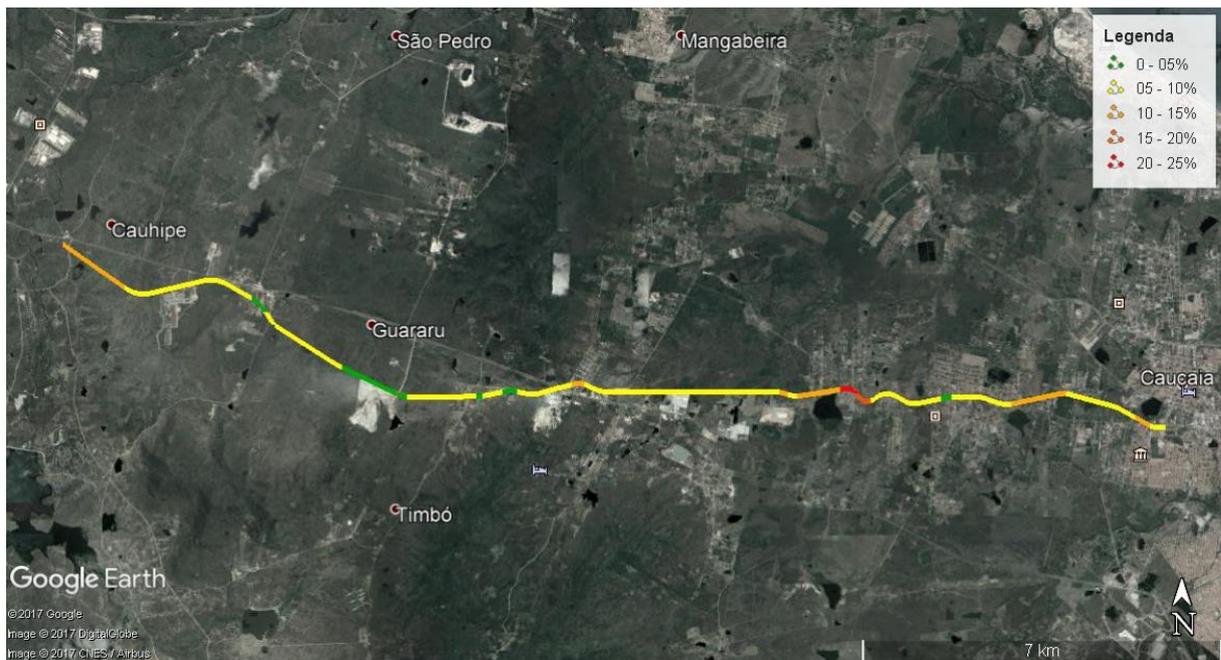
Fonte: Elaborado pela autora (2017).

A análise desenvolvida até esta seção foi realizada com a utilização das imagens coletadas em campo. Para que os dados da prospecção realizada pela FTL em 2015 sejam incorporados a esta análise, na próxima seção são gerados mapas temáticos que indicam as condições de cada segmento do trecho em análise com relação à porcentagem de dormentes a substituir e a porcentagem de dormentes inservíveis.

5.5 Mapa temático de defeitos em dormentes

De posse dos dados fornecidos pela planilha de prospecção da FTL, foram criados dois mapas temáticos, um relativo à percentagem de dormentes a substituir (Figura 40), de acordo com os critérios internos adotados pela empresa, e outro relativo à percentagem de dormentes inservíveis (Figura 41). Cada cor no mapa, representa uma faixa percentual da característica por ele representada, sendo estas faixas indicadas nas respectivas legendas de cada mapa. Para o critério de porcentagem de dormentes a substituir, foram criadas cinco faixas percentuais, enquanto que para o critério de dormentes inservíveis, foram criadas quatro faixas, conforme mostrado nos mapas. Os dados fornecidos pela FTL também são mostrados nos gráficos das Figura 42 e Figura 43.

Figura 40 – Mapa temático de dormentes a substituir



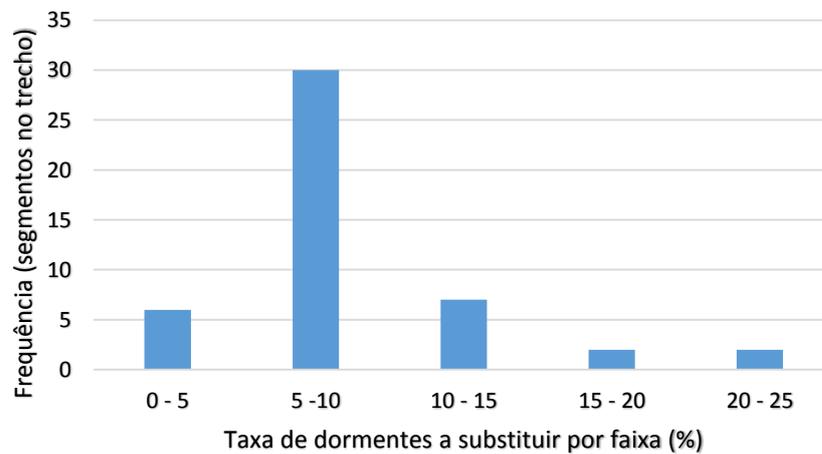
Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 41 – Mapa temático de dormentes inservíveis



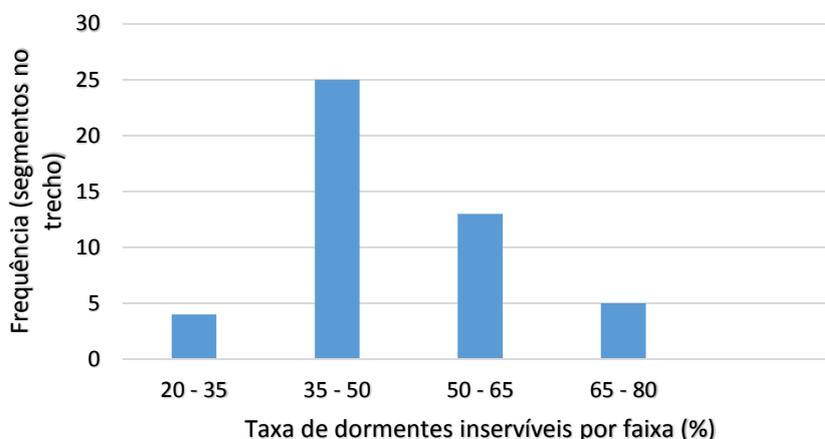
Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 42 – Quantidade de segmentos no trecho por faixa de porcentagem de dormentes a substituir



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

Figura 43 – Quantidade de segmentos no trecho por faixa de porcentagem de dormentes inservíveis



Fonte: Elaborado pela autora (2017).

O mapa apresentado pela Figura 40 mostra que, pelos critérios seguidos pela FTL, em algumas partes do trecho, substituições de até aproximadamente 25% dos dormentes ali existentes deveriam ser feitas. Já a Figura 41 mostra que a porcentagem de dormentes inservíveis chega a quase 80%. Apesar das porcentagens de dormentes inservíveis serem muito altas, a porcentagem de dormentes que é efetivamente substituída é bem mais baixa, pois como já foi citado anteriormente, a empresa adota critérios de priorização de maiores sequências de dormentes estragados, fazendo correções no sentido de diminuir as maiores sequências estragadas, em detrimento das sequências menos críticas. Por esta razão, o mapa da Figura 41 apresenta cores mais escuras em muitas partes do trecho. Como era de se esperar, frequentemente os trechos em tangente apresentam um maior número de defeitos se comparado aos trechos em curva, que oferecem mais riscos à ocorrência de descarrilamentos e, portanto, devem estar em melhores condições. Isso pode ser visto em ambos os mapas pela presença de cores mais escuras nas tangentes. Vale ressaltar que, quando os mapas foram produzidos, a posição de todos os segmentos foi estimada utilizando-se um marco quilométrico (km 43 + 000) de coordenadas conhecidas e a extensão de cada segmento, fornecida pela planilha de prospecção da FTL. Por esta razão, alguns segmentos encontram-se levemente defasados do elemento em planta que estes deveriam representar originalmente.

A partir da análise do gráfico apresentado na Figura 42, é possível perceber que dos 47 segmentos, classificados como tangentes e curvas, 30, que correspondem a 64% dos segmentos, apresentaram taxa de substituição entre 5 e 10%. Em seguida, tem-se que os segmentos com taxas de substituição situadas nas faixas de 10 a 15%, 0 a 5%, 15 a 20% e 20

a 25% representam respectivamente 15%, 13%, 2% e 2% do total de segmentos existentes no trecho. Já a partir da análise da Figura 43, tem-se que 53% dos segmentos apresentam taxa de dormentes inservíveis entre 30% e 35%, o que pode ser considerada uma taxa elevada. Além disso, constatou-se que a percentagem de segmentos com taxa de dormentes inservíveis acima de 50% é de 38%, o que quer dizer que 38% do total de curvas e tangente existentes no trecho apresentavam 50% dos seus dormentes inservíveis quando a prospecção foi realizada.

As altas porcentagens de dormentes a substituir e de dormente inservíveis indicam a urgência da necessidade de atuação da equipe manutenção. Defeitos em dormentes, como a ausência deles ou a existência de grandes sequências de dormentes estragados, causam problemas na via como a perda da capacidade estrutural, já que menos dormentes contribuirão com a atenuação das tensões transmitidas ao lastro (oriundas da passagem dos trens), cuja capacidade de suporte reduz precocemente devido a essa sobrecarga. Outra consequência dos defeitos em dormentes é a redução na eficiência da fixação do trilho, pois é nos dormentes que os elementos de fixação ficam cravados e, uma vez que os dormentes não ofereçam boas condições de fixação, o trilho terá maior liberdade de movimento (lateral, vertical e longitudinal), o que oferece grande riscos de descarrilamentos. Dessa forma, conclui-se que a operação da via é altamente prejudicada pela existência de defeitos em dormentes, pois as velocidades operacional e máxima ficam limitadas às condições da via e, por serem responsáveis por desempenhar todas as funções já citadas, os dormentes elementos precisam estar em boas condições.

É possível perceber pelas Figura 40 e Figura 41 que os trechos que apresentam mais dormentes com necessidade de substituição ou inservíveis estão localizados, principalmente, da metade do trecho, aproximadamente, até o município de Caucaia. Nesta região, a cor verde (que representa as menores faixas percentuais nos dois mapas) pouco aparece, enquanto que a cor vermelha (indicando as maiores faixas percentuais) aparece mais vezes em relação à outra metade do trecho, que apresenta situação inversa, ou seja, mais verde e menos vermelho. Portanto, conclui-se que a localização do trecho mais crítico do ponto de vista das condições dos dormentes coincide com aquela determinada pela análise das imagens coletadas em campo, baseada em diversos critérios. Dessa forma, conclui-se que a região do trecho que apresenta condições mais precárias está situada entre o km 31 e o km 21, nos quais foi identificada a maior ocorrência de defeitos do trecho em análise.

6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Para verificar as diferentes condições de conservação do trecho em estudo, foram analisados três subtrechos considerados bom, ruim e muito ruim. A comparação permitiu verificar que há certa heterogeneidade entre eles e, com isso, concluiu-se que a identificação, pelas imagens, de locais com maior necessidade de intervenções poderia ser realizada com certa facilidade. Com o intuito de verificar as condições do trecho foi criada uma tabela para computar a ocorrência de vários eventos, que são causadores de problemas na via, como a contaminação do lastro pela carga ou colmatção pela presença de solo, a presença de vegetação, a presença de lixo em grandes quantidades, localidades com potencial para a ocorrência de erosão e invasão à faixa de domínio. Estruturas cujas condições são de fundamental importância para a operação da via, como os pontilhões e as PN's, foram analisados. Os dados de prospecção da empresa foram utilizados para a criação de mapas temáticos que permitiram identificar onde as intervenções de substituição de dormentes eram mais urgentes.

Para auxílio na análise dos pontilhões encontrados no trecho em estudo, foram criados níveis de severidade. Estes, possibilitaram constatar que 36% dessas estruturas encontram-se em condições consideradas menos severas, enquanto que os 64% restantes apresentam severidades maiores. As PN's foram analisadas e mapeadas segundo o tipo, normal ou clandestina. Foi feita uma análise das condições de conservação das passagens do tipo normal, que revelou que apenas 2 dessas estruturas apresentam boas condições à passagem de trens e que nenhuma das PN's localizadas em vias públicas possuía sinalização horizontal. Apenas 5 PN's possuem pavimento asfáltico, sendo que na maioria destas o pavimento se encontra altamente deteriorado.

A criação dos mapas temáticos de dormentes a substituir e de dormentes inservíveis permitiu a visualização de maiores defeitos em tangente do que em curvas, o que era esperado devido aos maiores riscos que as curvas oferecem à operação. A análise destes mapas, que foram criados a partir da planilha de prospecção fornecida pela FTL possibilitou a identificação de trechos mais críticos que coincidiram com aqueles apontados pela análise das condições da ferrovia pelas imagens coletadas.

De uma forma geral, a região do trecho em estudo que apresentou mais problemas, sejam eles defeitos na superestrutura ou na infraestrutura ferroviária, está localizada entre o km 31 e o km 21, que já se encontra dentro da cidade de Caucaia. Concluiu-se que a utilização de imagens é uma ferramenta com grande potencial para o monitoramento da ferrovia, pois as imagens permitiram detectar defeitos na via e problemas causados pelas atividades realizadas pelos habitantes do entorno da ferrovia, já que os maiores problemas identificados estavam nas áreas mais povoadas. A utilização do georreferenciamento do trecho e dos pontos de interesse para o estudo foi muito importante, pois permitiu a criação de diversos mapas com as características que se desejou analisar. A sobreposição de defeitos através destes mapas foi imprescindível na determinação da região mais crítica do trecho, para onde os gestores da via poderiam alocar as ações de manutenção de forma prioritária.

Para trabalhos futuros, é sugerido a utilização do processamento digital de imagens para o reconhecimento automático de defeitos em elementos da superestrutura ferroviária. Com base na utilização de imagens também pode ser realizada tentativa de criação de índices como o IGG mas adaptado para o cenário das ferrovias. Outra sugestão que parece promissora é o desenvolvimento de um aplicativo que permita o registro automático dos eventos e defeitos encontrados na via, no ato de realização da coleta de imagens. Por fim, é sugerido que seja criada uma base de dados na qual seja possível armazenar todas as informações relativas às condições da via, juntamente com dados da sua respectiva localização.

REFERÊNCIAS

- ABPF – Regional Sul de Minas. **Pontilhão**. 2012. Disponível em: <<https://abpfsuldeminas.com/tag/linha-sao-sebastiao-do-rio-verde/>>. Acessado em: 06 dez. 2017.
- ASSOCIAÇÃO NACIONAL DOS TRANSPORTADORES FERROVIÁRIOS (2017) **Informações Gerais**. Disponível em <<http://www.antf.org.br/informacoes-gerais/>>. Acessado em: 18 abr. 2017.
- AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. **Resolução no 2748**. 12 de junho 2008. Disponível em <<http://www.antt.gov.br>>. Acesso em: 06/12/2017.
- BARIA, Igor (2015). **Sistema de Gerência de Pavimentos Aplicado a Via Permanente Metroferroviária Auxiliado por um sistema de Informações Geográficas**. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.
- BRINA, H.L. (1979). **Estradas de Ferro – 1º Volume – Via Permanente**. Ed. LTC. 211p. Rio de Janeiro.
- CHARLIER, F.; JÚNIOR, C. Q. 2004. **O SIG como Ferramenta para a Gestão Ambiental em uma Ferrovia**. Engevista, v.6, n.3, p. 25-35. Universidade Federal Fluminense, Niterói.
- CIRCULA SEGURO. **Travessia das Passagens de Nível e a Sinistralidade**. [2017?]. Disponível em: <<http://www.circulaseguro.pt/via-e-climatologia/travessia-das-passagens-de-nivel-e-a-sinistralidade>>. Acesso em: 06 dez. 2017.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE: **O Sistema Ferroviário Brasileiro**. Brasília, 2013.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE: **Plano CNT de Logística e Transporte 2014**. p. 32. Brasília. Disponível em: <<http://cms.cnt.org.br/Imagens%20CNT/PDFs%20CNT/Plano%20CNT%20de%20Log%20C3%20ADstica/Plano%20CNT%20de%20Transporte%20e%20Logistica%202014.pdf>>.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE: **Pesquisa CNT de Ferrovias**. Brasília, 2015.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (2003) **Norma DNIT 006/2003: Avaliação objetiva da superfície de pavimentos flexíveis e semi-rígidos - Procedimento**. Publicação: Diretoria de Planejamento e Pesquisa/IPR (Instituto de Pesquisas Rodoviárias). 10 p. Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES (2011) **Manual de Gerência de Pavimentos**. Publicação IPR – 745,. Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 189 p. Rio de Janeiro.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. 2015. **DNIT - Procedimentos de Inspeção de Materiais - PIM 01: Trilho para Linha Férrea**.

FERREIRA, W.L.G.; CASTELO BRANCO, V.T.F. (2016) **Proposição do Uso de Ferramentas de Georreferenciamento para Avaliação Subjetiva de Pavimentos Urbanos**. 45ª Reunião Anual de Pavimentação e 19º Encontro Nacional de Conservação Rodoviária. Brasília, DF.

FRANCA, A. S. 2017. **Identificação e Monitoramento de Dormentes de Ferrovias Usando Processamento de Imagens**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Brasil.

GULER, H.; AKAD, M.; ERGUN, M. (2004) **Railwat Asset Management System in Turkey: A GIS application**. FIG Working Week, Athens, Greece. DOI: 10.1109/ICSMC.2004.1401182

ILDEFONSO, J.S. (2013) **Proposta de um Sistema de Gerência para Vias Férreas Brasileiras**. Tese de Doutorado em Infraestrutura de Transportes. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

KARAKOSE, M.; YAMAN, O.; AKIN, E. (2016) **Processing on Railway Line and Use of Condition-Monitoring Approach**. Thirrd International Conference on Advanced Technology & Sciences (ICAT' 16). Konya, Turkey.

KLINCEVICIUS, M.G.Y. (2011) **Estudo de Propriedades, de Tensões e do Comportamento Mecânico de Lastros Ferroviários**. Dissertação de Mestrado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP.

MALESA, M.; SZCZEPANEK, D; KUJAWIŃSKA, M.; ŚWIERCZ, A.; KOŁAKOWSKI, P. 2010. **Monitoring of Civil Engineering Structures Using Digital Image Correlation Technique**. ICEM 14 – 14th International Conference on Experimental Mechanics. The European Physical Journal Web of Conferences, v.6. doi.org/10.1051/epjconf/20100631014.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL, 2016. **Transporte Ferroviário**. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/transporte-ferroviario.html>>. Acessado em 27 nov. 2017.

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

NBR 15680: Via férrea - Travessia Rodoviária - Passagem em nível pública - Requisitos de projeto. Rio de Janeiro, 2009.

NBR 7590: Trilho "Vignole". Rio de Janeiro, 2012.

NBR 7650: Trilho. Rio de Janeiro, 1982.

NGUNYI, J.; MUNDIA, C.; GACHARI, M. 2017. **Analysis of Standard Gauge Railway Using GIS and Remote Sensing**. American Journal of Geographic Information System. Dedan Kimathi University of Technology, Institute of Geomatics, GIS and Remote Sensing, Nyeri, Kenya. DOI: 10.5923/j.ajgis.20170602.02

OLIVEIRA, M. H. Z. (2010) **Aplicação de Técnicas de Processamento de Imagens ao Monitoramento do Comportamento Dinâmico de Estruturas**. Monografia. Curso de Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora, MG.

PEDRONI, P.G. (2008) **Análise de Falhas das Fraturas de Trilhos: o Caso da Ferrovia do Aço**. Monografia. Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, RJ.

PORTO, M. F.; NUNES, N. T. R.; RIBEIRO, E. L.; MIRANDA, L. C. J. 2014. **Metodologia de Cadastro Ferroviário por Filmagem em 360°**. 20ª Semana de Tecnologia Metroferroviária, Associação de Engenheiros e Arquitetos de Metrô - AEAMESP, São Paulo.

SELIG, E.T.; WATERS, J.M. (1994) **Track Geotechnology and Substructure Management**. Thomas Telford Services Ltd., Londres, 1994. 446 pp.

SEMPREBONE, P. S. 2006. **Desgaste em Trilhos Ferroviários - um Estudo Teórico**. Dissertação. Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas. Campinas, São Paulo.

UNITED NATIONS (2016). **State of Commodity Dependence**. United Nations Conference on Trade and Development (UNCTAD). Disponível em:
<<http://unctad.org/en/PublicationsLibrary/suc2017d2.pdf>>.

YELLA, S.; DOUGHERTY, M.; GUPTA, N. K.. (2009) **Condition monitoring of wooden railway sleepers**. Transportation Research Part C: Emerging Technologies. V. 17, Issue 1, p. 38-55. DOI:10.1016/j.trc.2008.06.002.

WANG, Z.; WANG, S. (2015) **Research of Method for Detection of Rail Fastener Defects Based on Machine Vision**. 4th International Conference on Mechatronics, Materials, Chemistry and Computer Engineering. Atlantic Press - Advances in Computer Science Research.
doi:10.2991/icmmcce-15.2015.547

ZHANG, W.; ZHANG, Z.; QI, D.; LIU, Y. (2014) **Automatic Crack Detection and Classification Method for Subway Tunnel Safety Monitoring**. Sensors - Open Access Journal.
DOI:10.3390/s141019307

APÊNDICE A – COORDENADAS DO TRECHO

Longitude	Latitude	Hora	Longitude	Latitude	Hora
515812	9590563	10:25:35	520054,7	9588929	10:40:55
515814	9590569	10:26:02	520158,3	9588863	10:41:18
515815	9590567	10:26:24	520248,5	9588806	10:41:41
515854	9590541	10:26:42	520335,4	9588750	10:42:02
515951	9590473	10:27:07	520433,9	9588686	10:42:24
516058	9590400	10:27:32	520544,3	9588615	10:42:48
516170	9590322	10:27:56	520663,4	9588540	10:43:14
516289	9590236	10:28:20	520751,4	9588484	10:43:33
516416	9590148	10:28:45	520844,9	9588422	10:43:55
516515	9590080	10:29:05	520949,5	9588355	10:44:18
516619	9590008	10:29:27	521075,3	9588280	10:44:44
516724	9589935	10:29:49	521201,6	9588219	10:45:08
516830	9589861	10:30:10	521324,1	9588160	10:45:32
516923	9589795	10:30:32	521434,1	9588109	10:45:54
517019	9589735	10:30:53	521542	9588058	10:46:16
517120	9589697	10:31:13	521666,3	9588000	10:46:43
517255	9589676	10:31:36	521715,6	9587976	10:47:02
517396	9589690	10:32:00	521723,5	9587973	10:47:19
517559	9589729	10:32:26	521725,5	9587975	10:47:53
517655	9589751	10:32:45	521724	9587973	10:48:36
517785	9589780	10:33:08	521723,6	9587973	10:49:16
517936	9589814	10:33:35	521726,5	9587972	10:49:55
518075	9589847	10:34:01	521756,5	9587957	10:50:12
518215	9589878	10:34:26	521826	9587922	10:50:34
518344	9589910	10:34:49	521919,2	9587878	10:50:59
518460	9589936	10:35:11	522012,7	9587834	10:51:23
518591	9589954	10:35:33	522087,9	9587798	10:51:42
518738	9589938	10:35:57	522206,5	9587742	10:52:11
518890	9589882	10:36:24	522275	9587710	10:52:31
519016	9589811	10:36:49	522285,5	9587706	10:52:43
519160	9589725	10:37:18	522283,7	9587705	10:53:08
519285	9589654	10:37:43	522265	9587712	10:53:31
519417	9589577	10:38:09	522256,1	9587718	10:53:53
519499	9589522	10:38:26	522208,3	9587736	10:54:24
519587	9589437	10:38:48	522200,5	9587740	10:54:42
519671	9589314	10:39:14	522199,9	9587740	10:55:15
519753	9589179	10:39:42	522194	9587743	10:55:45
519833	9589080	10:40:06	522200,3	9587744	10:56:18
519936	9589003	10:40:29	522199,1	9587742	10:56:49

Longitude	Latitude	Hora	Longitude	Latitude	Hora
522199,5	9587742	10:57:19	522187,8	9587750	11:11:35
522200,4	9587743	10:57:44	522189,1	9587748	11:11:53
522198,6	9587746	10:57:55	522185,1	9587751	11:12:14
522195,9	9587748	10:58:10	522187,8	9587750	11:12:39
522193,1	9587747	10:58:28	522188,1	9587751	11:13:06
522191,6	9587750	10:58:40	522186,9	9587750	11:13:32
522189,5	9587750	10:59:00	522192,1	9587748	11:13:52
522187,9	9587752	10:59:22	522191,8	9587747	11:14:07
522186,4	9587751	10:59:42	522196,3	9587746	11:14:21
522185,1	9587750	10:59:55	522198	9587747	11:14:38
522185,3	9587749	11:00:14	522192,5	9587749	11:14:53
522187,5	9587748	11:00:43	522189,3	9587750	11:15:08
522184,5	9587751	11:01:00	522190	9587748	11:15:23
522185,2	9587751	11:01:22	522195	9587741	11:15:38
522185,1	9587751	11:01:57	522198,2	9587742	11:16:01
522186,7	9587749	11:02:15	522197,9	9587742	11:16:37
522185,3	9587750	11:02:33	522198,3	9587741	11:17:28
522183,3	9587749	11:02:49	522197,7	9587741	11:18:17
522187,5	9587751	11:03:02	522198,7	9587740	11:19:02
522189,7	9587750	11:03:27	522199,3	9587740	11:19:48
522187,5	9587751	11:03:54	522200,1	9587740	11:20:34
522184,2	9587752	11:04:21	522205,8	9587739	11:21:21
522184,9	9587752	11:04:44	522205,2	9587740	11:22:03
522183,4	9587752	11:05:15	522198,9	9587741	11:22:48
522186,7	9587752	11:05:47	522198,1	9587741	11:23:32
522184,4	9587751	11:06:07	522200,2	9587741	11:24:20
522189,2	9587748	11:06:36	522200,4	9587741	11:24:59
522188,4	9587751	11:07:01	522197,8	9587743	11:25:47
522189	9587752	11:07:25	522198,8	9587741	11:26:31
522189,9	9587752	11:07:52	522197,6	9587741	11:27:12
522190,4	9587751	11:08:18	522198,2	9587741	11:27:47
522188,3	9587750	11:08:50	522198,9	9587741	11:28:31
522180,9	9587756	11:09:04	522200,5	9587741	11:29:14
522182,5	9587765	11:09:19	522200	9587741	11:29:56
522185,9	9587768	11:09:32	522200,6	9587741	11:30:38
522184,1	9587757	11:09:46	522200,2	9587741	11:31:22
522186,9	9587752	11:09:59	522200,8	9587741	11:32:07
522187,2	9587751	11:10:16	522200,1	9587740	11:32:53
522188,4	9587749	11:10:40	522198,8	9587740	11:33:38
522188,9	9587750	11:11:04	522198	9587739	11:34:24
522190,7	9587750	11:11:22	522199,6	9587739	11:34:47

Longitude	Latitude	Hora	Longitude	Latitude	Hora
522201,1	9587741	11:35:13	522199,6	9587741	12:01:28
522200,2	9587742	11:35:53	522199,1	9587741	12:02:09
522199,2	9587741	11:36:36	522197,6	9587740	12:02:50
522201,5	9587741	11:37:22	522197,5	9587737	12:03:36
522200,7	9587739	11:37:59	522200,3	9587737	12:04:18
522201	9587738	11:38:39	522198,5	9587738	12:05:06
522199,9	9587738	11:39:18	522197,8	9587738	12:05:51
522198	9587739	11:39:57	522197,6	9587737	12:06:35
522199,2	9587738	11:40:37	522198,7	9587737	12:07:18
522199,9	9587739	11:41:19	522198,4	9587739	12:08:00
522201,1	9587741	11:41:58	522199,7	9587738	12:08:45
522201,3	9587741	11:42:45	522199,7	9587736	12:09:30
522201	9587740	11:43:30	522202,2	9587737	12:10:12
522200,3	9587739	11:44:14	522202,2	9587738	12:10:48
522202,1	9587740	11:45:01	522202,1	9587738	12:11:28
522203,7	9587741	11:45:52	522202,7	9587738	12:12:11
522205	9587741	11:46:43	522198,9	9587739	12:12:52
522206,1	9587744	11:47:27	522199,6	9587739	12:13:27
522207,4	9587739	11:48:16	522200,3	9587737	12:14:03
522204,9	9587739	11:48:56	522198,1	9587740	12:14:48
522204	9587740	11:49:37	522197,5	9587741	12:15:22
522200,3	9587741	11:50:03	522199	9587738	12:16:04
522201,6	9587742	11:50:28	522199	9587739	12:16:42
522198,1	9587740	11:50:56	522196,7	9587738	12:17:17
522197,7	9587742	11:51:20	522196,2	9587739	12:17:56
522201,5	9587741	11:51:41	522196,7	9587739	12:18:27
522198,8	9587743	11:52:04	522195,1	9587739	12:19:03
522198,9	9587742	11:52:34	522197,1	9587738	12:19:38
522200,5	9587741	11:53:11	522196,6	9587739	12:20:15
522200,1	9587740	11:53:52	522195,8	9587739	12:20:53
522201,2	9587740	11:54:30	522198,4	9587738	12:21:24
522203,7	9587741	11:55:05	522197,2	9587738	12:21:55
522201,6	9587742	11:55:40	522200,1	9587738	12:22:26
522200,6	9587742	11:56:17	522199,2	9587737	12:22:56
522201,8	9587740	11:56:52	522199,4	9587738	12:23:29
522201	9587741	11:57:27	522198,7	9587739	12:23:58
522197,9	9587739	11:58:05	522197,8	9587739	12:24:32
522201,1	9587740	11:58:55	522197,4	9587738	12:25:05
522201,1	9587740	11:59:39	522198,6	9587737	12:25:40
522205,8	9587739	12:00:13	522198,2	9587738	12:26:19
522200,7	9587740	12:00:46	522197,2	9587736	12:26:56

Longitude	Latitude	Hora	Longitude	Latitude	Hora
522197,3	9587738	12:27:38	525396,3	9587859	12:45:29
522197,2	9587738	12:28:23	525405,9	9587860	12:45:41
522198,3	9587739	12:29:01	525403,3	9587854	12:46:15
522197,4	9587739	12:29:40	525408	9587856	12:46:55
522198,6	9587739	12:30:16	525404,1	9587857	12:47:27
522198,8	9587737	12:30:45	525414,8	9587858	12:48:01
522198,6	9587737	12:31:26	525462,7	9587868	12:48:17
522197,5	9587737	12:31:56	525577,1	9587899	12:48:39
522198	9587737	12:32:37	525740	9587939	12:49:09
522196,8	9587739	12:33:11	525788,4	9587940	12:49:23
522197,5	9587740	12:33:47	525863,7	9587921	12:49:40
522197,3	9587740	12:34:22	525965,9	9587876	12:49:59
522199,7	9587738	12:34:48	526111,7	9587811	12:50:25
522231,2	9587724	12:35:05	526256,8	9587768	12:50:50
522267,6	9587711	12:35:22	526399,4	9587767	12:51:12
522280,7	9587707	12:35:48	526563,5	9587768	12:51:38
522282,9	9587707	12:36:06	526700,6	9587768	12:52:01
522292,5	9587704	12:36:30	526806,4	9587769	12:52:19
522348,7	9587684	12:36:49	526965,2	9587770	12:52:44
522432,6	9587671	12:37:06	527115,2	9587770	12:53:09
522524,3	9587672	12:37:23	527251,2	9587770	12:53:31
522683,4	9587673	12:37:49	527391	9587771	12:53:53
522837,7	9587674	12:38:13	527535,9	9587772	12:54:15
522968	9587675	12:38:34	527730	9587774	12:54:44
523147,3	9587677	12:39:02	527854,9	9587773	12:55:03
523264,1	9587678	12:39:21	527990,4	9587772	12:55:28
523408,7	9587678	12:39:44	528130,9	9587772	12:55:51
523538,2	9587679	12:40:05	528301,8	9587773	12:56:16
523649,9	9587681	12:40:25	528460,5	9587772	12:56:41
523832,7	9587683	12:40:54	528625,3	9587773	12:57:07
523962,5	9587704	12:41:15	528747,9	9587774	12:57:27
524120	9587737	12:41:41	528862,8	9587776	12:57:45
524259,6	9587767	12:42:04	529005,7	9587776	12:58:06
524388,2	9587790	12:42:25	529146,4	9587777	12:58:28
524516,9	9587789	12:42:47	529322,7	9587777	12:58:55
524648,6	9587760	12:43:10	529459,4	9587777	12:59:16
524790,8	9587726	12:43:34	529640,8	9587772	12:59:42
524917,2	9587724	12:43:57	529783,7	9587736	13:00:03
525039,1	9587757	12:44:20	529951,2	9587688	13:00:29
525182,3	9587797	12:44:46	530051	9587685	13:00:47
525319,5	9587835	12:45:12	530057,3	9587686	13:00:56

Longitude	Latitude	Hora	Longitude	Latitude	Hora
530058	9587687	13:01:32	534625,2	9587620	13:15:49
530085,5	9587691	13:01:48	534772,4	9587652	13:16:15
530162,4	9587703	13:02:08	534913	9587683	13:16:40
530267,4	9587720	13:02:28	535033,8	9587709	13:17:02
530368,1	9587735	13:02:48	535133,3	9587730	13:17:20
530520	9587760	13:03:15	535242,9	9587737	13:17:41
530665,3	9587784	13:03:40	535361,3	9587710	13:18:04
530832,1	9587810	13:04:08	535467,2	9587679	13:18:26
530969,4	9587834	13:04:32	535600,3	9587645	13:18:51
531066,7	9587829	13:04:51	535738,7	9587609	13:19:15
531126	9587797	13:05:07	535838,4	9587580	13:19:32
531180,9	9587736	13:05:26	535941,8	9587552	13:19:50
531252,6	9587639	13:05:50	536049,3	9587526	13:20:07
531330,4	9587586	13:06:07	536171,4	9587493	13:20:26
531426,7	9587579	13:06:23	536287,2	9587448	13:20:44
531511,6	9587616	13:06:38	536416	9587377	13:21:06
531621,1	9587696	13:07:00	536536,6	9587311	13:21:28
531719	9587732	13:07:17	536660,3	9587241	13:21:51
531834,8	9587731	13:07:37	536774,4	9587179	13:22:13
531947,7	9587692	13:07:57	536861,1	9587129	13:22:32
532043,9	9587629	13:08:18	536953,8	9587084	13:22:53
532161	9587561	13:08:39	537021,7	9587070	13:23:08
532278,8	9587535	13:08:58	537101,7	9587067	13:23:25
532409,4	9587546	13:09:17	537157,5	9587068	13:23:42
532533	9587571	13:09:38	537161,8	9587068	13:23:57
532693,1	9587602	13:10:04	537163,4	9587067	13:24:22
532834,8	9587632	13:10:28	537162,7	9587067	13:24:41
532971,7	9587660	13:10:53	537165,3	9587065	13:25:10
533093	9587670	13:11:16	537164,1	9587067	13:25:37
533225,3	9587671	13:11:40	537163,1	9587068	13:26:03
533380,3	9587673	13:12:07	534625,2	9587620	13:15:49
533497,4	9587673	13:12:26	534772,4	9587652	13:16:15
533592,5	9587664	13:12:44	534913	9587683	13:16:40
533701,6	9587634	13:13:03	535033,8	9587709	13:17:02
533836,5	9587586	13:13:25	535133,3	9587730	13:17:20
533972,1	9587539	13:13:48	535242,9	9587737	13:17:41
534077,9	9587524	13:14:07	535361,3	9587710	13:18:04
534185,3	9587530	13:14:27	535467,2	9587679	13:18:26
534294,4	9587550	13:14:47	535600,3	9587645	13:18:51
534412,6	9587576	13:15:09	535738,7	9587609	13:19:15
534517,5	9587597	13:15:29	535838,4	9587580	13:19:32

Longitude	Latitude	Hora
535941,8	9587552	13:19:50
536049,3	9587526	13:20:07
536171,4	9587493	13:20:26
536287,2	9587448	13:20:44
536416	9587377	13:21:06
536536,6	9587311	13:21:28
536660,3	9587241	13:21:51
536774,4	9587179	13:22:13
536861,1	9587129	13:22:32
536953,8	9587084	13:22:53
537021,7	9587070	13:23:08
537101,7	9587067	13:23:25
537157,5	9587068	13:23:42
537161,8	9587068	13:23:57
537163,4	9587067	13:24:22
537162,7	9587067	13:24:41
537165,3	9587065	13:25:10
537164,1	9587067	13:25:37
537163,1	9587068	13:26:03
535838,4	9587580	13:19:32
535941,8	9587552	13:19:50
536049,3	9587526	13:20:07
536171,4	9587493	13:20:26
536287,2	9587448	13:20:44
536416	9587377	13:21:06
536536,6	9587311	13:21:28
536660,3	9587241	13:21:51
536774,4	9587179	13:22:13
536861,1	9587129	13:22:32
536953,8	9587084	13:22:53
537021,7	9587070	13:23:08
537101,7	9587067	13:23:25
537157,5	9587068	13:23:42
537161,8	9587068	13:23:57
537163,4	9587067	13:24:22
537162,7	9587067	13:24:41
537165,3	9587065	13:25:10
537164,1	9587067	13:25:37
537163,1	9587068	13:26:03
535941,8	9587552	13:19:50
536049,3	9587526	13:20:07
536171,4	9587493	13:20:26

TABELA PROPOSTA PARA CÔMPUTO DOS EVENTOS NO TRECHO

	Hora	13:04:12	13:04:26	13:04:41	13:04:45	13:04:54	13:05:11	13:05:23	13:05:45	13:06:05	13:06:41	13:07:29	13:07:35	13:07:44
Localização	Latitude													
	Longitude													
Defeitos														
Lastro	Contaminado pela carga													
	Colmatado		3	2	1	3	2	3	2		0	0		1
Vegetação	Fortemente presente												x	
	Razoavelmente presente	x	x	x	x	x	x	x	x	x				x
Lixo	Fortemente presente						x							
Erosão	Potencial p/ erosão													
Faixa de domínio	Invasão acentuada													

	Hora	13:07:51	13:07:59	13:07:54	13:08:14	13:00:36	13:08:42	13:09:53	13:10:02	13:09:42	13:10:18	13:10:35	13:10:40	13:10:50
Localização	Latitude													
	Longitude													
Defeitos														
Lastro	Contaminado pela carga													
	Colmatado	2	1		1			0	0		2	3	1	1
Vegetação	Fortemente presente													
	Razoavelmente presente			x										
Lixo	Fortemente presente													
Erosão	Potencial p/ erosão													
Faixa de domínio	Invasão acentuada					x	x			x				

ANEXO A – PLANILHA DE PROSPECÇÃO DA FTL

Km inicial	Km final	Elemento planta	Raio (m)	Classe Segmento	Extensão (m)	Dormentes existentes	Juntas				Juntas amasadas
							Total juntas	2 dorm bons	1 dorm rachado	2 dorm rachados	
20,000	20,320	C1	337	2	320	531	5		2	3	
20,320	20,695	T2		4	375	622	17		7	10	
20,695	20,888	C2	625	3	193	320	6		5	1	
20,888	22,141	T3		4	1.253	2.079	34		4	30	
22,141	22,403	C3	312	2	262	434	13		4	9	
22,403	23,242	T4		4	839	1.392	34		9	25	
23,242	23,637	C4	595	3	395	655	17		7	10	
23,637	23,808	T5		4	171	283	7		4	3	
23,808	24,073	C5	520	3	265	439	8		3	5	
24,073	24,429	T6		4	356	590	12		4	8	
24,429	24,621	C6	480	3	192	318	4		3	1	
24,621	25,101	T7		4	480	796	17		5	12	
25,101	25,483	C7	312	2	382	634	15		9	6	
25,483	25,588	T8		4	105	174	7		3	4	
25,588	26,037	C8	260	2	449	745	19		14	5	
26,037	26,086	T9		4	49	81	2		1	1	
26,086	26,426	C9	168	1	340	564	28		18	10	
26,426	26,512	T10		4	86	142	14		4	10	
26,512	26,785	C10	176	1	273	453	18		9	9	
26,785	27,643	T11		4	858	1.424	32		12	20	
27,643	27,824	C11	271	2	181	300	7		2	5	
27,824	27,986	T12		4	162	268	7		4	3	
27,986	28,182	C12	543	3	196	325	7		5	2	
28,182	31,428	T13		4	3.246	5.388	115		67	48	
31,428	31,654	C13	378	3	226	375	11		6	5	
31,654	31,870	T14		4	216	358	13		5	8	
31,870	32,136	C14	265	2	266	441	16		13	3	
32,136	32,844	T15		4	708	1.175	39		12	27	
32,844	33,060	C15	304	2	216	358	8		7	1	
33,060	33,222	T16		4	162	268	7		5	2	
33,222	33,508	C16	500	3	286	474	7		5	2	

ANEXO A – PLANILHA DE PROSPECÇÃO DA FTL

Km inicial	Km final	Elemento planta	Raio (m)	Classe Segmento	Extensão (m)	Dormentes existentes	Juntas				Juntas amassadas
							Total juntas	2 dorm bons	1 dorm rachado	2 dorm rachados	
33,508	33,906	T17		4	398	660	12		9	3	
33,906	34,030	C17	568	3	124	205	7		6	1	
34,030	35,382	T18		4	1.352	2.244	53		40	13	
35,382	35,578	C18	480	3	196	325	9		6	3	
35,578	35,592	T19		4	14	23	2		1	1	
35,590	36,776	T1		4	1.186	1.968	24		23	1	
36,776	36,997	C1	1785	3	221	366	9		7	2	
36,997	38,225	T2		4	1.228	2.038	44		27	17	
38,225	38,487	C2	480	3	262	434	18		9	9	
38,487	38,646	T3		4	159	263	11		5	6	
38,646	39,031	C3	520	3	385	639	20		14	6	
39,031	39,551	T4		4	520	863	30		15	15	
39,551	40,083	C4	694	3	532	883	27		20	7	
40,083	41,123	T5		4	1.040	1.726	55		21	34	
41,123	41,648	C5	543	3	525	871	30		20	10	
41,648	43,114	T6		4	1.466	2.433	86		40	46	

21	14	15	4		1										8	9	5	14	5	47%	125,00	269	5,2
76	34	8	3	1											9	9	4	13	3	41%	194,00	475	2,7
58	39	16	13	4	4	2		2							12	15	27	42	6	50%	327,00	661	6,4
32	10	10	2												5	8	2	10	5	48%	98,00	206	4,9
170	99	41	32	9	2	7	5	1	1	2					148	66	68	134	6	39%	872,00	2244	6,0
44	9	4													5	12	0	12	4	26%	86,00	325	3,7
2	3	1	1												19	3	1	4	17	78%	18,00	23	17,4
132	72	28	5													25	5	30	2	21%	405,00	1969	1,5
35	41	14	8	8	1											11	17	28	8	68%	248,00	367	7,6
155	121	65	31	20	13	12	4	2							20	61	88	149	7	53%	1089,00	2038	7,3
59	25	16	2												9	27	2	29	7	44%	192,00	435	6,7
21	18	12	1	1	1	1									2	17	4	21	8	50%	132,00	264	8,0
73	36	20	3												5	26	3	29	5	38%	243,00	639	4,5
70	53	36	16	7	8	1	1								9	45	34	79	9	57%	491,00	863	9,2
103	62	33	14												12	34	14	48	5	47%	416,00	883	5,4
132	88	49	38	18	9	6	5								17	89	81	170	10	53%	922,00	1726	9,8
104	45	32	9	1											16	40	10	50	6	43%	371,00	872	5,7
134	133	94	54	24	22	9	2								15	132	113	245	10	56%	1361,00	2434	10,1