

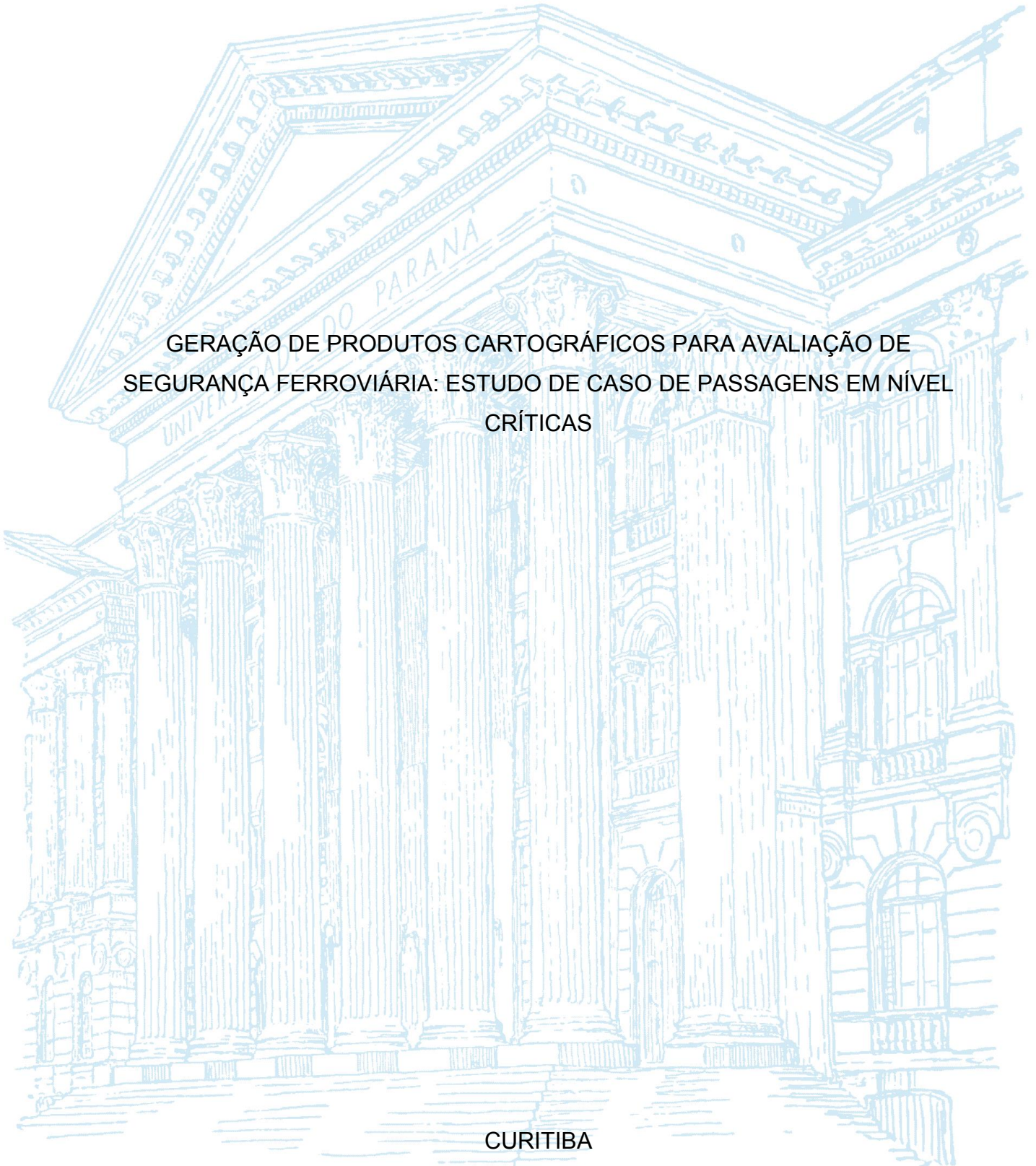
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ISABELLA ALVES COSTA

GERAÇÃO DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS PARA AVALIAÇÃO DE
SEGURANÇA FERROVIÁRIA: ESTUDO DE CASO DE PASSAGENS EM NÍVEL
CRÍTICAS

CURITIBA

2023



ISABELLA ALVES COSTA

GERAÇÃO DE PRODUTOS CARTOGRÁFICOS PARA AVALIAÇÃO DE
SEGURANÇA FERROVIÁRIA: ESTUDO DE CASO DE PASSAGENS EM NÍVEL
CRÍTICAS

Trabalho de conclusão de curso apresentada ao curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da terra, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Orientador: Prof. Dr. Luis Augusto Koenig Veiga

Profa. Ma. Anelise Schmitz

Eng. Pedro Henrique Steindorf Pessotto

CURITIBA

2023



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências da Terra
Engenharia Cartográfica e de Agrimensura

TERMO DE APROVAÇÃO

ISABELLA ALVES COSTA

A CARTOGRAFIA COMO FERRAMENTA PARA A ANÁLISE DE ACIDENTES NAS LINHAS
FÉRREAS

O Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Setor de Ciências da Terra da Universidade Federal do Paraná, foi APROVADA como requisito à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Cartográfica e de Agrimensura.

Prof. Dr. Luís Augusto Koenig Veiga
Orientador(a) – Departamento de Geomática, UFPR

Prof. Dr. Jorge Tiago Bastos
Departamento de Transportes, UFPR

Prof.ª Dr.ª Ana Paula Baungarten Kersting
Departamento de Geomática, UFPR

Curitiba, 14 de fevereiro de 2023.

Dedico este estudo aos meus pais, meus pilares.

AGRADECIMENTOS

Ao meu pai, que me apoia, me incentiva e me instiga, sempre dizendo que sou capaz de fazer o que quiser.

A minha mãe, meu principal apoio, que me conforta, sempre dizendo que tudo vai dar certo.

Ao meu parceiro, que me apoiou e auxiliou em todas as etapas desse estudo.

Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela parceria incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo de todo o período de tempo em que me dediquei a este trabalho.

Aos orientadores, por sanar minhas centenas de dúvidas, por toda a paciência e pelos aprendizados que me permitiram realizar este estudo.

Aos colaboradores da Rumo, que me auxiliaram e apoiaram durante a realização deste estudo.

Nascer sabendo é uma limitação porque obriga a apenas repetir e, nunca, a criar, inovar, refazer, modificar. Quanto mais se nasce pronto, mais refém do que já se sabe e, portanto, do passado; aprender sempre é o que mais impede que nos tornemos prisioneiros de situações que, por serem inéditas, não saberíamos enfrentar. (Mario Sergio Cortella, 2000)

RESUMO

Os cruzamentos rodoferroviários são áreas sensíveis, que necessitam de análises aprofundadas para tomada de decisão, uma vez que são áreas mais propícias a acidentes de trânsito. Este estudo tem como objetivo analisar e avaliar a segurança nos cruzamentos rodoferroviários, com foco na sinalização, visibilidade, além de analisar os possíveis motivos que levam os pedestres a realizarem a travessia por passagens irregulares. A análise foi realizada em cinco passagens em nível classificadas como críticas de acordo com o programa de segurança ferroviária em áreas urbanas de (2011), que foram objeto de análises geoespaciais, que incluíram a verificação da disposição de postes de iluminação pública, visibilidade e sinalização, de acordo com a regulamentação vigente. Adicionalmente, duas passagens em nível irregulares de pedestres foram avaliadas, por meio de: levantamento tridimensional em campo, gerando modelo digital do terreno, e análise de entorno, verificando a disposição dos empreendimentos (polos geradores de viagens) próximos às passagens em nível irregular de pedestre, comprimentos dos percursos, a área de abrangência do polo e a disponibilidade de transporte público. Os resultados indicam que, devido a desconformidade da sinalização e iluminação com as normas vigentes, bem como a ampla utilização das passagens em nível irregulares em função da redução da distância do percurso, a melhor solução é a construção de um contorno ferroviário.

Palavras-chave: Cruzamento rodoferroviário; Acidentes; Segurança; Sinalização; Visibilidade; PROSEFER;

ABSTRACT

Road-rail intersections are sensitive areas that require in-depth analysis for decision making, since they are the areas most prone to traffic accidents. This study aims to analyze and evaluate safety at railway crossings, with a focus on signage, visibility, and to analyze the possible reasons why pedestrians cross through irregular crossings. The analysis was carried out at five level crossings classified as critical according to railway safety program in urban areas (2011), which were the subject of geospatial analyses, which included the verification of the arrangement of public lighting posts, visibility and signaling, according to current regulations. Additionally, two irregular pedestrian level crossings were evaluated, through: three-dimensional field survey, generating a digital terrain model, and analyzing the surroundings, verifying the disposition of developments (trip generator poles) near the irregular pedestrian level crossings, lengths of the routes, the scope of the pole area and the availability of public transportation. The results indicate that due to the nonconformity of signage and lighting with current standards, as well as the widespread use of irregular level crossings due to the reduction of the route distance, the best solution is the construction of a railway bypass.

Keywords: highway-railroad. accidents. safety. signaling. visibility. proofer.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE COM VEÍCULO EM MOVIMENTO.....	27
FIGURA 2. TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE COM VEÍCULO NA LINHA DE PARADA.	28
FIGURA 3. ETAPAS DO ESTUDO.	34
FIGURA 4. MAPA DA LOCALIZAÇÃO DO TRECHO ESTUDADO.	36
FIGURA 5. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS PN'S CRITICAS, SEGUNDO O PROSEFER (2011 APUD CASTORINO, 2014).	38
FIGURA 6. IMAGEM DE SATÉLITE DAS PN'S CRÍTICAS, SEGUNDO O PROSEFER (2011 APUD CASTORINO, 2014).	39
FIGURA 7. FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES PRÁTICAS REALIZADAS NO ESTUDO.	40
FIGURA 8. FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES SEGMENTADO PELA ETAPA DO ESTUDO.	41
FIGURA 9. POSIÇÕES DA ESTAÇÃO DURANTE O LEVANTAMENTO NA PNP01.	47
FIGURA 10. POSIÇÕES DA ESTAÇÃO DURANTE O LEVANTAMENTO NA PNP01.	48
FIGURA 11. DEMONSTRAÇÃO DA ORIENTAÇÃO DAS NUUVENS DE PONTOS. .	49
FIGURA 12. OPERAÇÃO GRÁFICA REALIZADA PELO ALGORITMO DO FILTRO CSF.	50
FIGURA 13. REPRODUÇÃO DOS CASOS DA NBR5101 - ILUMINAÇÃO PÚBLICA (PROCEDIMENTO) DE 2012.	52
FIGURA 14. VARIÁVEIS DO TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE PARA O VEÍCULO EM MOVIMENTO.	54
FIGURA 15. VARIÁVEIS DO TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE PARA VEÍCULO PARADO.	55
FIGURA 16. REPRESENTAÇÃO DA SINALIZAÇÃO PN01.	58
FIGURA 17. REPRESENTAÇÃO DA SINALIZAÇÃO PN02.	59
FIGURA 18. REPRESENTAÇÃO DA SINALIZAÇÃO NA PN03.	61
FIGURA 19. REPRESENTAÇÃO DA SINALIZAÇÃO NA PN04.	62
FIGURA 20. REPRESENTAÇÃO DA SINALIZAÇÃO NA PN05.	63

FIGURA 21. MAPA DE RELEVO DAS PN'S CRÍTICAS, SEGUNDO PROSEFER (2011 APUD CASTORINO, 2014).....	66
FIGURA 22. REPRESENTAÇÃO DA POSIÇÃO DOS VÉRTICES DOS TRIÂNGULOS DE VISIBILIDADE DA PN02.....	67
FIGURA 23. REPRESENTAÇÃO DO TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE NA PN02.	68
FIGURA 24. REPRESENTAÇÃO DA POSIÇÃO DOS VÉRTICES DOS TRIÂNGULOS DE VISIBILIDADE DA PN03.....	69
FIGURA 25. REPRESENTAÇÃO DO TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE NA PN03.	70
FIGURA 26. REPRESENTAÇÃO DA POSIÇÃO DOS VÉRTICES DOS TRIÂNGULOS DE VISIBILIDADE DA PN04.....	71
FIGURA 27. REPRESENTAÇÃO DO TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE NA PN04.	72
FIGURA 28. REPRESENTAÇÃO DA POSIÇÃO DOS POSTES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA, SEGUNDO A NBR5101 (2012), PARA A PN01.	73
FIGURA 29. REPRESENTAÇÃO DA POSIÇÃO DOS POSTES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA, SEGUNDO A NBR5101 (2012), PARA A PN02,	74
FIGURA 30. REPRESENTAÇÃO DA POSIÇÃO DOS POSTES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA, SEGUNDO A NBR5101 (2012), PARA A PN03.	75
FIGURA 31. REPRESENTAÇÃO DA POSIÇÃO DOS POSTES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA, SEGUNDO A NBR5101 (2012), PARA A PN04.	76
FIGURA 32. REPRESENTAÇÃO DA POSIÇÃO DOS POSTES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA, SEGUNDO A NBR5101 (2012), PARA A PN05.	77
FIGURA 33. MAPA DE CALOR E DE CLUSTER DOS ACIDENTES FERROVIÁRIOS EM CURITIBA, DE 2016 A 2022.....	78
FIGURA 34. MAPA DE CALOR POR NATUREZA DOS ACIDENTES FERROVIÁRIOS OCORRIDOS EM CURITIBA, DE 2016 A 2022.....	79
FIGURA 35. MAPA DE CLUSTER DOS ACIDENTES FERROVIÁRIOS OCORRIDOS EM CURITIBA, DE 2016 A 2022.....	80
FIGURA 36. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS PN'S E PNP'S IRREGULARES ANALISADAS NESTE ESTUDO.....	81
FIGURA 37. ACIDENTES FERROVIÁRIOS POR BAIRRO.....	82
FIGURA 38. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS PNP'S IRREGULARES LEVANTADAS E ESTUDADAS.....	83
FIGURA 39. REPRESENTAÇÃO DA PNP DO BAIRRO CAJURU.....	83
FIGURA 40. REPRESENTAÇÃO DA PNP DO BAIRRO UBERABA.	84

FIGURA 41. MODELO DIGITAL DO TERRENO DA PNP01 - VISTA 01.....	85
FIGURA 42. MODELO DIGITAL DO TERRENO DA PNP01 - VISTA 02.....	85
FIGURA 43. MODELO DIGITAL DO TERRENO DA PNP02 - VISTA 01.....	86
FIGURA 44. MODELO DIGITAL DO TERRENO DA PNP02 - VISTA 02.....	87
FIGURA 45. MODELO DIGITAL DO TERRENO DA PNP02 - VISTA 03.....	88
FIGURA 46. MAPA COM PIORES CENÁRIOS DE TRAJETOS NA ÁREA DE ABRÂNGENCIA DO CMEI CONJUNTO MERCÚRIO E MAPA COM AS LINHAS DE ÔNIBUS QUE CRUZAM A ÁREA DE ABRÂNGENCIA DO CMEI CONJUNTO MERCÚRIO.	90
FIGURA 47. MAPAS COM PIORES CENÁRIOS DE TRAJETOS NA ÁREA DE ABRÂNGENCIA DOS CMEI'S ANA PROVELLER, PROFESSORA TERUKO BELTRÃO E DR. FRANCISCO CUNHA PEREIRA FILHO.	91
FIGURA 48. MAPA COM AS LINHAS DE ÔNIBUS QUE CRUZAM A ÁREA DE ABRÂNGENCIA DOS CMEI'S ANA PROVELLER, PROFESSORA TERUKO BELTRÃO E DR. FRANCISCO CUNHA PEREIRA FILHO.	92
FIGURA 49. MAPA COM PIORES CENÁRIOS DE TRAJETOS NA ÁREA DE ABRÂNGENCIA DA ESCOLA MUNICIPAL IRATI E MAPA COM AS LINHAS DE ÔNIBUS QUE CRUZAM A ÁREA DE ABRÂNGENCIA DO ESCOLA MUNICIPAL IRATI.....	94
FIGURA 50. MAPAS COM PIORES CENÁRIOS DE TRAJETOS NA ÁREA DE ABRÂNGENCIA DAS ESCOLAS MUNICIPAIS MICHEL KHURY E RACHEL MADER GONÇALVES.	95
FIGURA 51. MAPA COM AS LINHAS DE ÔNIBUS QUE CRUZAM A ÁREA DE ABRÂNGENCIA DAS ESCOLAS MUNICIPAIS MICHEL KHURY E RACHEL MADER GONÇALVES.	96
FIGURA 52. MAPA COM PIORES CENÁRIOS DE TRAJETOS NA ÁREA DE ABRÂNGENCIA DA UNIDADE DE SAÚDE SÃO DOMINGOS E MAPA COM AS LINHAS DE ÔNIBUS QUE CRUZAM A ÁREA DE ABRÂNGENCIA DA UNIDADE DE SAÚDE SÃO DOMINGOS.	97
FIGURA 53. MAPA COM PIORES CENÁRIOS DE TRAJETOS NA ÁREA DE ABRÂNGENCIA DA UNIDADE DE SAÚDE LOTIGUAÇU E MAPA	

COM AS LINHAS DE ÔNIBUS QUE CRUZAM A ÁREA DE
ABRÂNGENCIA DA UNIDADE DE SAÚDE LOTIGUAÇU.....98

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - SINALIZAÇÃO VERTICAL.	29
QUADRO 2 - SINALIZAÇÃO HORIZONTAL.....	30
QUADRO 3 – ABREVIATURA DAS PN’S E PNP’S ESTUDADAS.	45
QUADRO 4 – INTERVALOS DE ALTITUDE APLICADOS NA SIMBOLOGIA DE CADA PN.	51
QUADRO 5. CASOS DE RECOMENDAÇÃO DA POSIÇÃO DAS LUMINÁRIAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA SEGUNDO A NBR5101 (2012).....	53
QUADRO 6 – PARÂMETROS DE ENTRADA NAS EQUAÇÕES DE CÁLCULO DO TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE.	53
QUADRO 7 – INFORMAÇÕES EXTERNAS APLICADAS AO CÁLCULO DO TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE.	54
QUADRO 8 – VALORES OBTIDOS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DAS EQUAÇÕES DO TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE.	56
QUADRO 9 – DISPOSIÇÃO DE SINALIZAÇÕES HORIZONTAIS E VERTICAIS NA PN01.	59
QUADRO 10 – DISPOSIÇÃO DE SINALIZAÇÕES HORIZONTAIS E VERTICAIS NA PN02.	60
QUADRO 11 – DISPOSIÇÃO DE SINALIZAÇÕES HORIZONTAIS E VERTICAIS NA PN03.	61
QUADRO 12 – DISPOSIÇÃO DE SINALIZAÇÕES HORIZONTAIS E VERTICAIS NA PN04.	63
QUADRO 13 – DISPOSIÇÃO DE SINALIZAÇÕES HORIZONTAIS E VERTICAIS NA PN05.	64

LISTA DE ABREVIATURAS OU SIGLAS

ANBT	- Associação brasileira de normas técnicas
CMEI	- Centro municipal de ensino infantil
CNT	- Confederação nacional de transportes
CTB	- Código de trânsito brasileiro
DNIT	- Departamento nacional de infraestrutura de transportes
IMU	- Unidade de medida inercial
NBR	- Norma técnica brasileira
PGV	- Polo gerador de viagem
PN	- Passagem em nível
PNATRANS	- Plano nacional de redução de mortes e lesões no trânsito
PNP	- Passagem em nível de pedestre
PROSEFER	- Programa nacional de segurança ferroviária em áreas urbanas
RMS	- Rumo malha sul
SIG	- Sistema de informação geográfica
SMOP	- Secretaria municipal de obras públicas
MBST	- Manual brasileiro de sinalização de trânsito
NBR	- Norma brasileira
UBS	- Unidade básica de saúde
URBS	- Urbanização de Curitiba
UTM	- Universal transversa de Mercator

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 OBJETIVOS	16
1.1.1 Objetivo geral	17
1.1.2 Objetivos específicos.....	17
1.2 JUSTIFICATIVA	17
2 REVISÃO DE LITERATURA	19
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO	19
2.2 MODAL FERROVIÁRIO	20
2.3 BRASIL E FERROVIAS.....	21
2.4 CRUZAMENTOS E ACIDENTES	22
2.5 NBR 5101 – ILUMINAÇÃO PÚBLICA (ABNT, 2012)	26
2.6 NBR - 7613 – VIA FÉRREA - TRAVESSIA RODOVIÁRIA - DETERMINAÇÃO DO GRAU DE IMPORTÂNCIA E MOMENTO DE CIRCULAÇÃO (ABNT, 2020)	26
2.7 MANUAL BRASILEIRO DE SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO – VOLUME IX	28
2.8 PROSEFER – PROGRAMA DE SEGURANÇA FERROVIÁRIA EM ÁREAS URBANAS	32
3 METODOLOGIA	34
3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA	35
3.2 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	36
3.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	40
3.4 LIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	41
3.5 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS	42
3.5.1 Equipamentos e ferramentas	42
3.5.2 Softwares	42
3.5.3 Dados coletados.....	43
3.6 PROCEDIMENTOS.....	45
3.6.1 Obtenção das coordenadas dos acidentes ferroviários.....	45
3.6.2 Levantamento tridimensional das PNP's irregulares	46
3.6.3 Processamento 3D das nuvens de ponto	48
3.6.3.1 Geração da modelagem tridimensional do terreno a partir da nuvem de pontos	49

3.6.3.2 Geração da representação das PNPs irregulares a partir da nuvem de pontos	50
3.6.4 Produtos gerados no QGIS	50
3.6.4.1 Sinalização	50
3.6.4.2 Relevos nas PNs críticas	51
3.6.4.3 Disposição e distribuição dos equipamentos de iluminação pública nas PNs críticas	51
3.6.4.4 Triângulo de visibilidade	53
3.6.4.5 Análise dos polos geradores de viagens próximos as PNPs críticas	56
3.6.5 Navegação tridimensional em 360° da PNP próxima ao KM108	57
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS	58
4.1 SINALIZAÇÃO DAS PNs CRÍTICAS	58
4.2 RELEVOS DAS PNs CRÍTICAS	65
4.3 TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE DAS PNs CRÍTICAS	67
4.4 DISPONIBILIDADE DE POSTES DE ILUMINAÇÃO NAS PNs CRÍTICAS	73
4.5 DEFINIÇÃO DAS PNPs IRREGULARES	78
4.6 MODELO DIGITAL DE TERRENO DAS PNPs IRREGULARES	84
4.7 ANÁLISE DE POLOS GERADORES DE VIAGENS DO ENTORNO	89
4.7.1 Centros municipais de ensino infantil	89
4.7.2 Escolas municipais	93
4.7.3 Unidade básica de saúde	97
4.8 PRODUTOS VIRTUAIS GERADOS	99
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	100
REFERÊNCIAS	103

1 INTRODUÇÃO

No século XIX, as ferrovias foram introduzidas no Brasil para melhorar o transporte de grandes quantidades de carga, especialmente em rotas de longa distância. Com um custo e consumo energético baixo, as ferrovias experimentaram uma ampla expansão, crescendo de 9.500 quilômetros para 29.000 quilômetros entre os anos de 1889 e 1930 (Conselho Nacional De Trânsito, 2021).

A ampliação da malha ferroviária e rodoviária, tanto em áreas urbanas como rurais, geraram pontos críticos, de contato entre os dois modos de transporte, as passagens em nível (PNs). Devido ao fato de cada modal apresentar especificidades e lógica próprias, as PNs são consideradas pontos sensíveis, que necessitam de instrumentos de segurança em seu entorno, de forma a evitar acidentes. No Brasil existem 3.375 PNs nos 15.000 quilômetros de malha ferroviária, das quais 279 foram classificadas como críticas, equivalendo a 1 PN a cada 4,4 quilômetros de ferrovia (CNT, 2015).

De acordo com o Painel CNT de Transporte Ferroviário (2023), houve um total de 692 acidentes ferroviários em 2022. Destes, 246 ocorreram na concessionária RMS, que opera em quatro estados do Brasil. Este número representa um aumento de 2% em relação aos 682 acidentes registrados em 2021. Além disso, a capital paranaense, Curitiba, registrou 40 acidentes ferroviários em 2021, o que equivale a cerca de 6% do total de acidentes na Malha Sul, que tem cerca de 6.586 quilômetros de extensão.

A importância de medidas de segurança eficientes no transporte ferroviário é reforçada pelos dados apresentados. É crucial que sejam implementadas medidas que possam prevenir futuros acidentes e garantir a segurança de todos envolvidos. É necessário realizar análises cuidadosas e manter atualizações regulares dessas medidas para garantir que as condições da malha ferroviária sejam constantemente monitoradas e corrigidas de acordo com as necessidades.

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos do trabalho são classificados em geral e específicos, sendo detalhados a seguir.

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa foi analisar as passagens em nível (PNs), com ênfase no levantamento e avaliação da infraestrutura viária presente em cruzamentos ferroviários regulares e irregulares.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos foram:

- Identificar duas passagens de pedestres em nível irregulares com maior número de acidentes ferroviários no município de Curitiba;
- Realizar o levantamento tridimensional das passagens de pedestres em nível irregulares identificadas no tópico acima, gerando produtos passíveis de análises espaciais;
- Mapear as passagens em nível classificadas como críticas, segundo PROSEFER¹ (2011 apud Castorino, 2014), de Curitiba;
- Analisar disposição dos dispositivos de segurança das passagens em nível críticas de Curitiba;
- Analisar os conflitos viários, quanto a disposição de empreendimentos (polos geradores de viagens) próximos as passagens de pedestres em nível irregular.

1.2 JUSTIFICATIVA

A análise da segurança ferroviária é uma ferramenta crucial para garantir a segurança no transporte ferroviário. Ela permite identificar pontos críticos na malha ferroviária e tomar medidas corretivas para melhorar a segurança. Esta análise inclui a avaliação de fatores importantes para a segurança, tais como a visibilidade, sinalização e comportamento humano. Além disso, a análise de passagens em nível

¹ DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRA-ESTRUTURA DE TRANSPORTES. **Relatório Executivo do Programa Nacional de Segurança Ferroviária em Áreas Urbanas – PROSEFER**. Brasília-DF: DNIT, 2011.

também fornece informações para o planejamento e gestão da malha ferroviária, aprimorando a infraestrutura, desempenho e eficiência do transporte ferroviário.

A segurança dos cruzamentos rodoferroviários também é crucial para garantir a integridade das pessoas que transitam no local. Portanto, é importante visitar periodicamente a análise da segurança destes cruzamentos, pois as condições das vias e outros fatores podem mudar com o tempo. Uma abordagem integrada e uma constante revisão das condições são necessárias para garantir a segurança dos cruzamentos rodoferroviários. Em resumo, a análise da segurança ferroviária é uma ferramenta valiosa que contribui para garantir a segurança e eficiência do transporte ferroviário no Brasil.

O PNATRANS – Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito, criado em 2018 com o objetivo de implementar ações para redução de mortes e lesões no trânsito, é sustentado por pilares que segmentam áreas de atuação do plano. O pilar 2 disserta a respeito a vias seguras, no qual se leva em consideração parâmetros como: geometria da via, classificação das vias, limites de velocidade, impulsionando a elaboração de manuais técnicos que contribuam para implementação de sistemas seguros (Ministério da infraestrutura, 2021).

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO

Em sua concepção, as ferrovias foram vistas como uma alternativa ou complemento ao transporte hidroviário. Segundo Fair e William (1959), as primeiras ferrovias inglesas, como a Stockton and Darlington (1825), foram construídas para facilitar o transporte de carvão, evitando os cursos sinuosos rios Tees. Já a Liverpool & Manchester Railways (1830) era para transportar passageiros e cargas em geral, acabando com a exclusividade do transporte hidroviário de carvão. Nos Estados Unidos da América, as primeiras ferrovias, majoritariamente, eram de pequena extensão e complementavam o transporte hidroviário dominante, atendendo alguns centros comerciais.

No Brasil, a Lei Feijó, promulgada em 1835, autorizou a criação de companhias para construir uma "estrada de ferro da Capital do Império para Minas Gerais, Rio Grande do Sul e Bahia", com privilégios de uso garantido por 40 anos (LANNA, 2012). De acordo com Velasco Lima e Souza (1998), as atividades de transporte ferroviário de carga no Brasil podem ser divididas em três fases históricas: a instalação das primeiras ferrovias no século XIX, financiadas por empresas internacionais com garantias de taxas de retorno atraentes do governo brasileiro; a nacionalização gradual das ferrovias brasileiras no século passado; e a terceira fase, atual, é a devolução da malha e operação ferroviária para os investidores privados através de arrendamento por 30 anos. A maior expansão das ferrovias brasileiras ocorreu no período da República Velha (1889-1930), quando a malha ferroviária passou de cerca de 9.500 km para cerca de 29.000 quilômetros.

De acordo com Silveira (2002), as regiões agroexportadoras (principalmente áreas tropicais e com topografia plana) contaram com sistemas ferroviários que formaram corredores de exportação. Esses traçados ferroviários geralmente tinham uma direção interior-litoral (sistema longitudinal). Já no Sul do país (com clima temperado, topografia mais acidentada e vales férteis) se estabeleceu a pequena produção mercantil e os principais núcleos produtores (produção principalmente para o mercado interno) foram melhor atendidos pelas ferrovias (sistema radial). As ferrovias no Sul desempenharam a função de agrupar (várias ferrovias e trechos regionais) e exportar (através da Estrada de Ferro São Paulo-Rio Grande) sua produção, inicialmente para o mercado consumidor em crescimento no Sudeste, nas

áreas urbanas e industrializadas e, em segundo lugar, para o próprio mercado do Sul e para a exportação.

2.2 MODAL FERROVIÁRIO

Devido à sua extensão territorial considerável, o Brasil tem a necessidade de contar com diferentes modos de transporte para atender às necessidades de transporte de passageiros e cargas. Com uma área total de 8.516.037 quilômetros quadrados (IBGE, 2021), é imprescindível utilizar várias opções de transporte para cobrir todo o território e garantir a conectividade entre as diferentes regiões do país. Isso inclui desde o transporte rodoviário, ferroviário e hidroviário, até o transporte aéreo, cada um com suas particularidades e adequado para diferentes tipos de cargas e distâncias. Segundo BALLOU (1995), o transporte ferroviário é um meio lento para transportar matérias primas ou manufaturados de baixo valor agregado, em longas distâncias, com uma distância média de viagem de 850 Km e velocidade média de 32 quilômetros por hora.

Rodrigues (2004) e Freitas et al. (2004) mencionam vantagens como a adequação para longas distâncias e grande quantidade de cargas, crescimento econômico voltado para as exportações, produção agrícola interiorizada, baixo custo no trajeto, baixo consumo energético e estoque em trânsito.

Entretanto, o transporte ferroviário também apresenta desvantagens, como alto investimento inicial, altos custos fixos, baixa flexibilidade e necessidade de via própria e exclusiva. Além disso, a grande dispersão geográfica do país, dificuldade de acesso às linhas férreas e a necessidade de manutenção constante dos ativos devido às intempéries, são pontos críticos deste modo de transporte. Apesar disso, o transporte ferroviário ainda é considerado um meio importante para o desenvolvimento econômico do país, especialmente no transporte de cargas de longa distância (NUNES, 2012).

2.3 BRASIL E FERROVIAS

De acordo com Lima e Pasin (1999), o transporte ferroviário no Brasil nunca alcançou a representatividade obtida em outros países de grande extensão territorial. A sua participação na produção de transporte no país, medida pela tonelada quilômetro útil, variou entre aproximadamente 20% e 23% nas décadas de 80 e 90. Segundo Fiocca (2005), o Brasil é essencialmente rodoviarista, já que a matriz de transportes está dividida em 24% ferroviário, 14% aquaviário e 62% rodoviário. O transporte aéreo e dutoviário para movimentação de cargas não apresentam participações significativas. Segundo Freitas et al. (2004), para o transporte acima de 500 quilômetros o modo rodoviário mostra-se antieconômico.

Vilaça (2005) relata que, para melhorar a competitividade de transporte, as concessionárias de transporte ferroviário estão fazendo investimentos, resultando na participação das ferrovias na matriz de transportes passando de 19% em 1997 para 24% em 2004.

Villar e Marchetti (2006) relatam que o número de acidentes ferroviários tem sido reduzido desde 1992 no Brasil, porém os acidentes ferroviários, como atropelamento e choque de automóveis, não diminuem na mesma intensidade que os acidentes ocorridos por motivo da via permanente e/ou equipamentos. Segundo DNIT (2003), a via permanente abrange toda a linha férrea, os edifícios, as linhas telegráficas, etc.

Figueiredo (2001) relata que, para conseguir a concessão da malha ferroviária, as concessionárias assumiram metas de produção de transporte e redução do número de acidentes, e precisam investir na recuperação, ampliação e modernização dos bens arrendados. Segundo Pires (2002), o índice de acidentes mede a segurança operacional do transporte ferroviário indicando a qualidade do serviço oferecido e é usado como meta de desempenho nos contratos de concessão ferroviária. Segundo Lang (2007), no período de 1997 a 2005, houve uma redução de 56% do índice passando de 75,5 para 32,9 acidentes por milhão de trens x km no Brasil.

De acordo com a Associação Nacional dos Transportadores Ferroviários² (2010 apud LOPES, 2012), as referências internacionais preconizam o índice de acidentes variando de oito a 13 acidentes por milhão de trens x km. Mesmo com essa redução, o índice brasileiro ainda se encontra em torno de três vezes superior ao recomendado. Portanto, é necessário que as concessionárias continuem investindo em melhorias na infraestrutura e segurança operacional para alcançar os níveis desejados de segurança e qualidade de serviço. Além disso, o governo deve também investir em políticas públicas para aprimorar a infraestrutura e segurança ferroviária no país, garantindo assim um transporte ferroviário seguro e competitivo.

2.4 CRUZAMENTOS E ACIDENTES

Devido a construções de vias férreas realizadas sem planejamento adequado no passado, existem atualmente muitas interseções de trilhos com ruas e estradas no país. Essas interseções, conhecidas como passagens em nível (PN's), representam pontos fixos de risco de acidente no transporte ferroviário de cargas (WOSNIACKI, 2014). Isso ocorre porque os modos ferroviário e rodoviário possuem especificidades e lógicas próprias, e as PNs são consideradas pontos sensíveis e críticos que precisam de maior segurança e melhorias no entorno para evitar acidentes com potencial de letalidade (Conselho Nacional De Trânsito, 2021).

Em relação aos problemas decorrentes desses conflitos gerados pelas interseções rodoferroviárias, o artigo 10 do Decreto nº1.832, de 4 de março de 1996 (BRASIL, 1996) priorizou a construção de PNs diferentes das linhas férreas, permitindo cruzamentos no mesmo nível apenas em situações excepcionais. Além disso, o decreto define a necessidade de eliminação gradativa das interseções rodoferroviárias em nível e estabelece que o responsável pela via mais recente deve garantir as obras e instalações necessárias para o cruzamento, visando a segurança no local. No entanto, ainda é possível observar um grande número de cruzamentos rodoferroviários com PNs, o que os torna potenciais geradores de acidentes.

² Associação Nacional de Transporte Ferroviário. **Plano Estratégico para o desenvolvimento do setor de transporte ferroviário de cargas. Brasil nos Trilhos**. Brasília. CD Rom 7 arquivos, 123MB, 2006.

De acordo com a ABNT (2010), uma PN é uma classificação alternativa para travessia em nível destinada ao trânsito rodoviário, de pedestres ou de animais. Já o CTB (1997), define PN como todo cruzamento de nível entre uma via e uma linha férrea ou trilho de bonde com pista própria.

Segundo Carmo e Campos (2009), devido à grande quantidade de PNs no Brasil, é difícil realizar estudos detalhados sobre as ocorrências de acidentes e disponibilizar recursos para melhorar todas elas. Por esse motivo, é necessário estabelecer uma atuação prioritária, levando em conta as condições físicas e os riscos de acidentes, determinado por meio de equações matemáticas dos índices da PNs.

De acordo com a Pesquisa CNT das Ferrovias (2015), existem 3.375 PNs na malha ferroviária concedida ao transporte de carga, ou seja, aproximadamente uma a cada 4,4 quilômetros de ferrovia, das quais 1.856 estão situadas em áreas urbanas e 1.519 estão situadas em áreas rurais, dentre estas, 279 foram classificadas como críticas e necessitam de atuação prioritárias. A concessionária do transporte de cargas da malha sul detém 42% do total de PNs em todo o país, aproximadamente 4.500, distribuídas em 6.586 quilômetros de malha, nos Estados do Sul, conforme informações fornecidas pela Concessionária Malha Sul (PIRES, 2003).

De acordo com WOSNIACKI (2014), cruzamento rodoferroviário em nível, é a interseção entre dois modais de transporte que diferem tanto nas características físicas de seus traçados quanto operacionalmente. No transporte ferroviário, esses cruzamentos representam pontos de risco de acidente devido à diferença entre os veículos envolvidos, uma vez que abalroamentos e atropelamentos geralmente são de grande gravidade e podem causar vítimas. Apesar de o Código de Trânsito Brasileiro estabelecer que os veículos que se deslocam sobre trilhos têm preferência de passagem (Lei nº 9.503/97, Art. 29, XII). As PNs ainda são locais com alta concentração de acidentes na malha ferroviária e, por isso, é necessário aprimorar a normatização, especialmente quanto à sinalização (Conselho Nacional De Trânsito, 2021).

De acordo com Carmo, Campos e Guimarães (2007) a existência de PNs representa um risco elevado para a segurança no transporte ferroviário, devido ao maior tempo de inércia para a parada total das composições ferroviárias, mesmo com uma frequência inferior quando comparadas a outros modais viários, porém o

índice de gravidade é bem expressivo, resultando em grande perda de vidas, ferimentos e danos materiais. Isso implica em sofrimento de pessoas, aumento de encargos para a sociedade, ônus com o pagamento de indenizações às vítimas ou seus familiares e deterioração da imagem da empresa.

Os trens, tanto de carga quanto de passageiros, possuem uma grande capacidade de transporte devido ao seu peso elevado, tanto próprio quanto do transportado. Isso faz com que esses veículos possuam uma significativa inércia, ou seja, uma resistência a mudanças na velocidade, seja na aceleração ou desaceleração (Conselho Nacional De Trânsito, 2021).

Segundo a Resolução ANTT nº 1.431/2006, é considerado acidente ferroviário a ocorrência que, com a participação direta de veículo ferroviário, provoca danos a este, a pessoas, a outros veículos, a instalações, a obras-de-arte, à via permanente, ao meio ambiente e a animais (desde que ocorraparalisação do tráfego). Não é considerado acidente ferroviário a ocorrência que envolva a colisão de veículo ferroviário com cadáver exposto na via férrea.

De acordo com Carmo, Campos e Guimarães (2007), diversos fatores podem contribuir para a ocorrência de acidentes em PNs. Esses fatores incluem fatores físicos relacionados à área do cruzamento, fatores operacionais do tráfego rodoviário e ferroviário e fatores comportamentais relacionados à maneira como motoristas e pedestres reagem às condições encontradas. Para avaliar a segurança dessas passagens, os autores listam parâmetros constantes em bibliografias anteriores, tais como: tipo de rodovia, número de faixas, condições de pavimento, volume do tráfego rodoviário, trânsito de pedestres, velocidade máxima autorizada na rodovia, iluminação, distância de visibilidade de parada, número de linhas, volume de tráfego ferroviário, histórico de acidentes e rampa.

De acordo com Rudin-Brown et al. (2011), as PNs podem ser divididas em dois tipos: ativas e passivas. As PNs ativas possuem dispositivos ativos de proteção, enquanto as passivas não possuem esses dispositivos. Por outro lado, Evans (2011) apresenta uma classificação diferente, dividindo as PNs em controladas, automáticas e passivas. As PNs controladas são aquelas em que a abertura e o fechamento da passagem dos trens ou veículos são feitos por funcionários da ferrovia. Já as PNs automáticas possuem dispositivos que detectam a aproximação do trem e assim fecham ou liberam a passagem. Por fim, as PNs passivas não

possuem dispositivos que avisam a aproximação do trem, sendo necessária a vigilância dos motoristas.

Os elementos de proteção passiva incluem sinalização vertical (placas) e horizontal (marcas no chão) e dispositivos auxiliares como tachas, cilindros delimitadores e gradis. Já os elementos de proteção ativa incluem sinais manuais, sonoros e luminosos, semáforos, cancelas e bandeiras, que podem ser acionados manualmente ou automaticamente (WOSNIACKI, 2014).

Os estudos sugerem que as paradas controladas apenas por sinalização passiva estão associadas a uma maior incidência de acidentes e violações em comparação com as equipadas com sinalização ativa. Um estudo realizado pelo Centro de Pesquisas de Acidentes da Universidade Monash, na Austrália, comparou a eficácia e a percepção subjetiva dos motoristas em relação aos dispositivos de controle de PNs, como luzes intermitentes associadas às cancelas, semáforo ou apenas placa de parada de veículos. O estudo mostrou que das 25 violações observadas, 14 foram no cruzamento com sinalização passiva (RUDIN-BROWN et. al., 2012). Esses dados concordam com a simulação anterior, onde 40% dos motoristas desrespeitaram as paradas controladas apenas por sinal, de acordo com Lenné et. al. (2011) e essas paradas, de acordo com Raub (2006), estão associadas a uma taxa mais elevada de mortalidade em acidentes.

A medida de proteção conhecida como cancela automática é uma tecnologia que, em princípio, seria a mais adequada para solução em passagens de nível críticas. No entanto, essas cancelas são muito suscetíveis a vandalismo, furtos de baterias e roubo de outros materiais de valor econômico. Isso foi relatado por alguns municípios do país que implantaram sinalização rodoviária ativa (com cancela automática) em interseções com ferrovias, como é o caso de Curitiba, no Paraná (WOSNIACKI, 2014). De acordo com Urbanização de Curitiba³ (2007) apud Wosniacki (2014), as 32 cancelas implantadas foram vandalizadas e com roubo das hastes de alumínio, e de equipamentos em geral (componentes eletrônicos, baterias automotivas especialmente).

³ Palestra sobre a "Sinalização e Segurança no Transporte Ferroviário: A experiência de Curitiba" proferida por Rogério Falcão, Chefe de Setor do Controle de Tráfego em Área da URBS de Curitiba (PR), no 2º Seminário de Sinalização e Segurança no Transporte Ferroviário em 14 de agosto de 2007.

2.5 NBR 5101 – ILUMINAÇÃO PÚBLICA (ABNT, 2012)

De acordo com a NBR 5101 (ABNT, 2012) – Iluminação pública - Procedimento, que estabelece requisitos para iluminação de vias públicas, propiciando a segurança ao tráfego de pedestre e de veículos, os cruzamentos devem ser iluminados, de modo a permitirem identificação da existência de um cruzamento, presença ou não de trem no cruzamento e reconhecimento de objetos ou veículos não iluminados, já próximos ou não do cruzamento com a ferrovia.

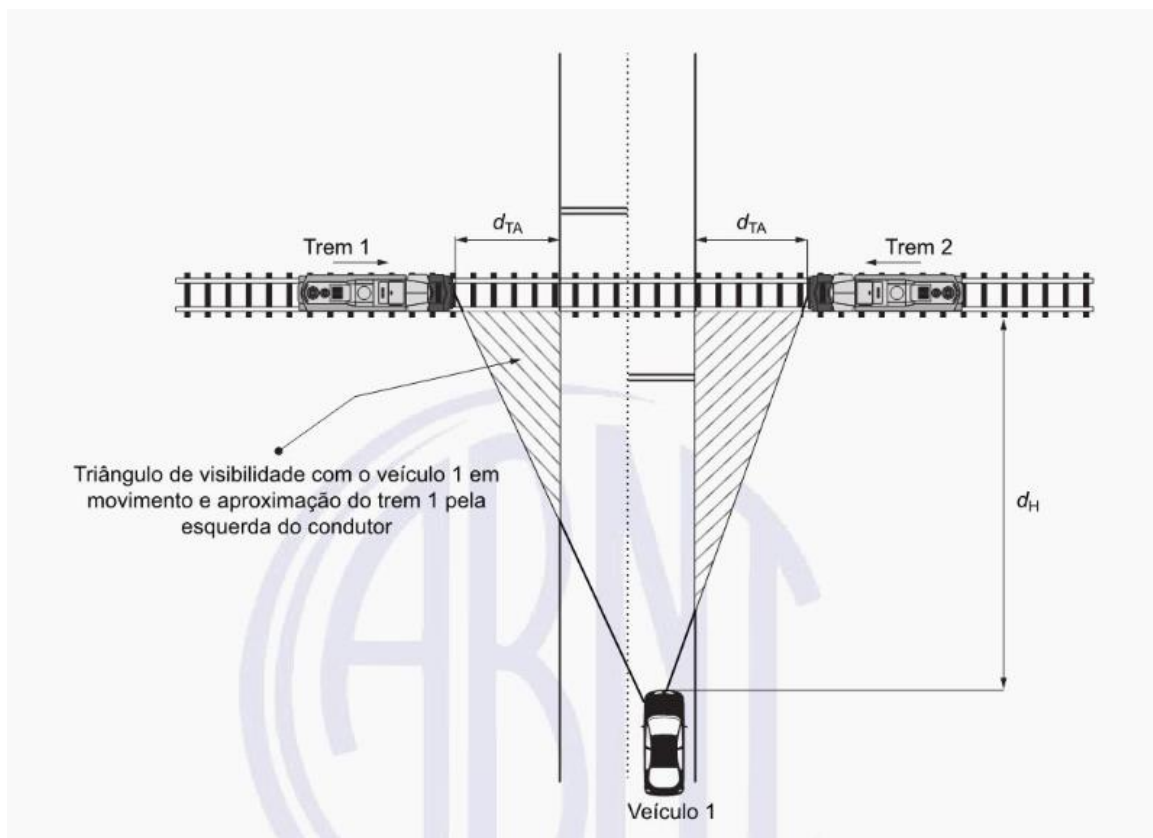
O princípio geral a ser seguido na seleção das luminárias e na escolha das suas posições, quanto à iluminância, em lux, sobre a área do leito da ferrovia, recomenda que a dimensão longitudinal da via iluminada, antes do cruzamento, em metros, seja numericamente igual à velocidade máxima, em quilômetros por hora, permitida aos veículos nas proximidades do cruzamento (ABNT, 2012).

2.6 NBR - 7613 – VIA FÉRREA - TRAVESSIA RODOVIÁRIA - DETERMINAÇÃO DO GRAU DE IMPORTÂNCIA E MOMENTO DE CIRCULAÇÃO (ABNT, 2020)

O triângulo de visibilidade fornece ao motorista do veículo rodoviário a capacidade de ver um trem se aproximando de uma passagem à nível (PN), independentemente de estar à esquerda ou à direita. Os cálculos do triângulo de visibilidade são importantes para determinar se a sinalização da PN deve ser ativa ou passiva. A PN precisa atender aos requisitos mínimos do triângulo de visibilidade. Se não atender, é necessário verificar a possibilidade de fazer ajustes, como mudar as velocidades máximas permitidas e/ou remover obstáculos à visibilidade (ABNT, 2020).

Existem dois casos para a aplicação do triângulo de visibilidade: o caso A, quando o veículo está se aproximando da PN em movimento, e o caso B, quando o veículo está parado. No caso A (figura 1), o motorista deve ter visibilidade para determinar se o trem está se aproximando e realizar uma parada segura (ABNT, 2020).

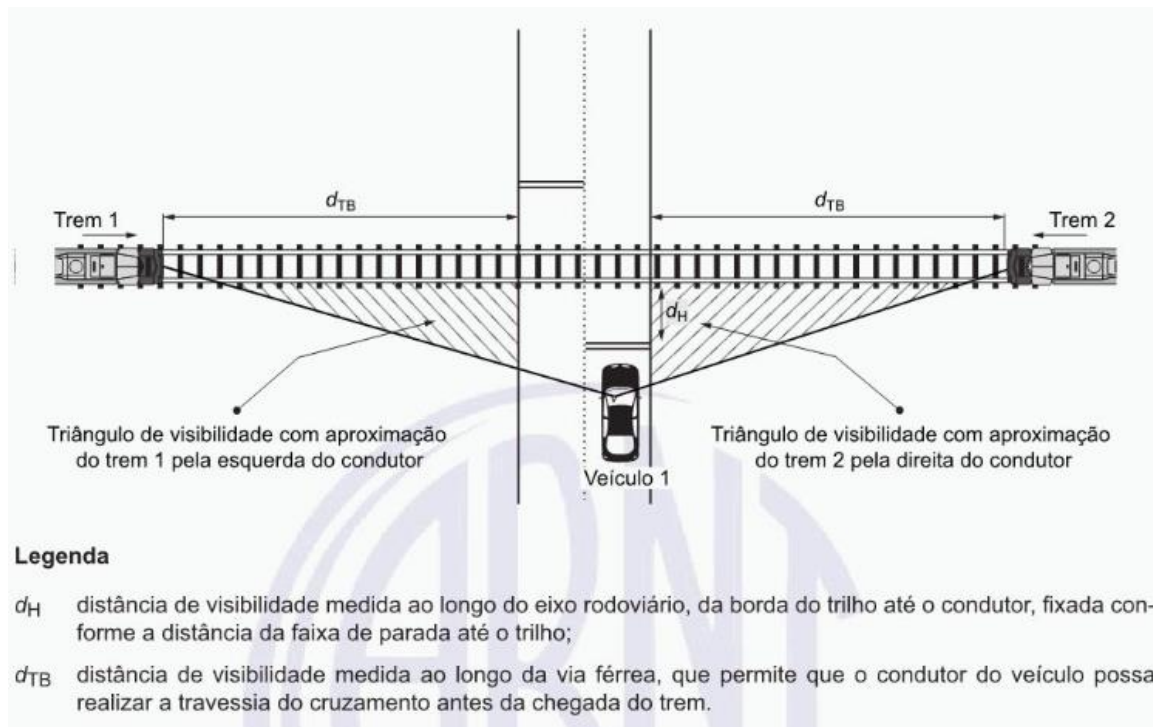
FIGURA 1. TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE COM VEÍCULO EM MOVIMENTO.



FONTE: ABNT (2020).

No caso B, o veículo está estacionado na faixa de parada da passagem de nível (figura 2). O motorista precisa ter visão clara em ambos os lados da via férrea para garantir que não há aproximação de trens e ter tempo suficiente para acelerar e sair da travessia antes da chegada do trem, mesmo se ele entrar no campo de visão do motorista depois de já ter iniciado a travessia (ABNT, 2020).

FIGURA 2. TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE COM VEÍCULO NA LINHA DE PARADA.



FONTE: ABNT (2020).

2.7 MANUAL BRASILEIRO DE SINALIZAÇÃO DE TRÂNSITO – VOLUME IX

Neste tópico são apresentadas as normativas a respeito de sinalização de cruzamento rodoferroviário, expressa no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (Conselho Nacional De Trânsito, 2021).

A sinalização vertical inclui sinais colocados em placas fixadas em postes verticais e direcionados aos usuários da via (Quadro 1). Os sinais de regulamentação informam os usuários da via sobre condições, proibições, obrigações e restrições. Os sinais de advertência alertam sobre condições perigosas na via ou nas proximidades. Já os sinais educativos fazem parte da sinalização de indicação e transmitem mensagens educativas para reforçar normas de trânsito e comportamento seguro (Conselho Nacional De Trânsito, 2021).

QUADRO 1 - SINALIZAÇÃO VERTICAL.

Figuras (Conselho Nacional De Trânsito, 2021)	Legenda
	Sinal A-41
	Sinal R-1
	Placa "Olhe e escute"
	Sinal A-39

FONTE: A autora (2023) com base em Conselho Nacional De Trânsito (2021).

O sinal A-41 é usado para avisar o motorista sobre o cruzamento da via rodoviária com uma via ferroviária em nível. De acordo com o Volume II do MBST (Conselho Nacional De Trânsito, 2021), esse sinal deve ser usado sempre que houver um cruzamento rodoferroviário em nível. O sinal deve estar presente em todos os tipos de equipamentos de proteção de PN e deve ser colocado em um suporte vertical a 3,60 m do eixo da via, juntamente com outros sinais e dispositivos de proteção da PN. O sinal A-41 é parte do grupo de sinais de "Interferência de transporte" e consiste em duas partes: a cruz, que representa o cruzamento, e um elemento subjacente em forma de "T" invertido, que indica o número de linhas férreas atravessadas pela via rodoviária. Esse elemento deve conter o número de linhas no topo e a palavra "LINHA" (ou "LINHAS") na parte inferior (Conselho Nacional De Trânsito, 2021).

O sinal R-1 é usado para indicar aos condutores que precisam parar seu veículo antes de entrar ou cruzar a via/pista ou, em caso de cruzamentos rodoviário-ferroviários, antes de cruzar a via férrea. De acordo com o Volume I do MBST (Conselho Nacional De Trânsito, 2021), o sinal deve ser usado em situações como passagens em nível não semaforizadas e, também em passagens semaforizadas,

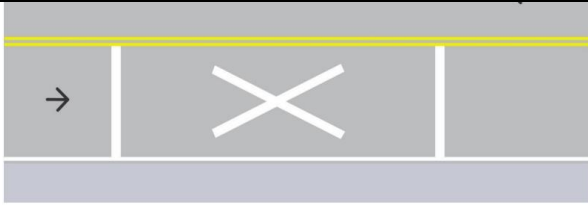
para garantir a parada em caso de falha na sinalização luminosa. O sinal deve estar presente em todos os tipos de equipamento de proteção da via. Quanto a sua posição, ele deve ser fixado em um suporte vertical, junto com outros sinais e dispositivos de proteção, a uma distância de 3,60 m do eixo da via férrea (Conselho Nacional De Trânsito, 2021).

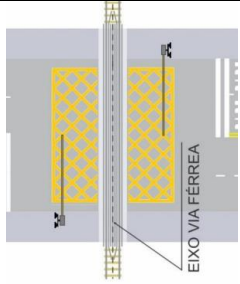
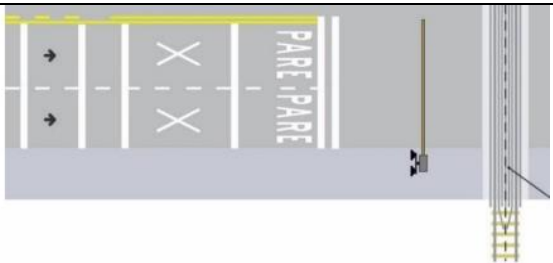

A placa "OLHE ESCUTE" é usada para reforçar a atenção dos motoristas no trânsito, especialmente em locais críticos. Ela os adverte para olhar para a via férrea em ambos os sentidos e estar atento a possíveis avisos sonoros, como buzinas. Deve ser usada sempre que houver um cruzamento rodoferroviário, mesmo se a passagem em nível for semafórica, para garantir a atenção dos motoristas. A placa deve estar presente em todos os equipamentos de proteção da PN e ser fixada em um suporte vertical a uma distância de 3,60 m do eixo da via férrea (Conselho Nacional De Trânsito, 2021).

O sinal A-39 é utilizado para alertar os condutores sobre a existência de um cruzamento de nível entre uma via rodoviária e uma via férrea, e da presença de uma barreira (cancela). De acordo com o volume IV do MBST (Conselho Nacional De Trânsito, 2021), esse sinal é obrigatório em todos os tipos de equipamentos de proteção em PN que não possuam barreira, incluindo 1, 2a, 3a, 3b, 3c, 4a e 4b. É importante destacar que a presença desse sinal é fundamental para garantir a segurança dos condutores que trafegam pelas vias.

Por outro lado, a sinalização horizontal compreende os símbolos, letreiros e marcas que são colocados na superfície da pista de tráfego (Quadro 2). Estes elementos fornecem informações aos usuários para que eles possam tomar ações adequadas de segurança e fluidez, sem precisar desviar o olhar da via (Conselho Nacional De Trânsito, 2021).

QUADRO 2 - SINALIZAÇÃO HORIZONTAL.

Figuras (Conselho Nacional De Trânsito, 2021)	Legenda
	<p>Símbolo de cruzamento rodoferroviário</p>

 <p>EIXO VIA FERREA</p>	<p>Marcação de área de conflito</p>
	<p>Linha de estímulo de redução de velocidade</p>
	<p>Legenda 'PARE'</p>

FONTE: A autora (2023).

De acordo com o volume IV do MBST (Conselho Nacional De Trânsito, 2021), a Marcação de Cruzamento Rodoferroviário (MCF) é uma forma de sinalização que alerta o condutor sobre a aproximação de um cruzamento em nível com uma via férrea e indica onde o veículo deve parar. Ela consiste em uma Linha de Retenção (LRE) e um Retângulo de Advertência. A LRE marca o local onde o veículo deve parar e o Retângulo de Advertência é uma área com duas linhas transversais e duas longitudinais que se estendem à frente da linha de retenção, com um espaçamento de 15 metros. Dentro do retângulo está inscrito o Símbolo Indicativo de Cruzamento Rodoferroviário.

O Símbolo de Cruzamento Rodoferroviário, conhecido como "Cruz de Santo André", é um aviso no pavimento que indica a aproximação de uma interseção com ferrovia. Ele é composto por uma cruz dentro de um retângulo de advertência, e forma juntamente com a linha de retenção a Marcação de Cruzamento Rodoferroviário. Este símbolo é obrigatório em todos os cruzamentos rodoferrviários e deve ser acompanhado dos sinais A-41, A-39 (sem cancela) ou A-

40 (com cancela), conforme a presença ou ausência de cancela (Conselho Nacional De Trânsito, 2021).

A Marcação de Área de Conflito (MAC) avisa o motorista sobre uma área da pista em que não é permitido parar o veículo. Ela é usada para fortalecer a proibição de parada ou estacionamento na pista quando necessário, a critério do projetista (Conselho Nacional De Trânsito, 2021).

As Linhas de Estímulo à Redução de Velocidade, conforme descrito no volume IV do MBST (Conselho Nacional De Trânsito, 2021), são linhas paralelas que, quando posicionadas em distâncias cada vez menores, criam um efeito visual que incentiva o motorista a reduzir a velocidade do carro de acordo com o limite desejado. Elas podem ser usadas, por exemplo, perto de cruzamentos rodoferroviários, mas não devem ser usadas excessivamente para preservar sua eficácia.

As legendas são combinações de letras e números aplicados no pavimento para avisar os motoristas sobre as condições específicas de uma via. A legenda "PARE", em particular, é usada como reforço do sinal R-1 de Parada Obrigatória em todos os tipos de equipamentos de proteção da PN (Conselho Nacional De Trânsito, 2021).

2.8 PROSEFER – PROGRAMA DE SEGURANÇA FERROVIÁRIA EM ÁREAS URBANAS

A concessionária, que é uma empresa privada, tem como prioridade os investimentos produtivos em detrimento dos investimentos sociais, mesmo que esses últimos possam resultar em algum ganho operacional. Isso ocorre porque é mais difícil mensurar os ganhos operacionais dos investimentos sociais. A tendência natural do investidor privado é buscar a rentabilidade, enquanto os investimentos sociais ficam geralmente a cargo do poder público PROSEFER (2011 apud CASTORINO, 2014).

Para abordar esses impactos, foi criado o Programa de Segurança Ferroviária (PROSEFER) em 2008. O objetivo do PROSEFER é elaborar estudos para contribuir com a redução dos impactos decorrentes das interferências entre ferrovias e equipamentos urbanos e rurais. Isso inclui obras como sinalização, viadutos, pontes e contornos ferroviários, bem como obras de melhoria das atuais condições de

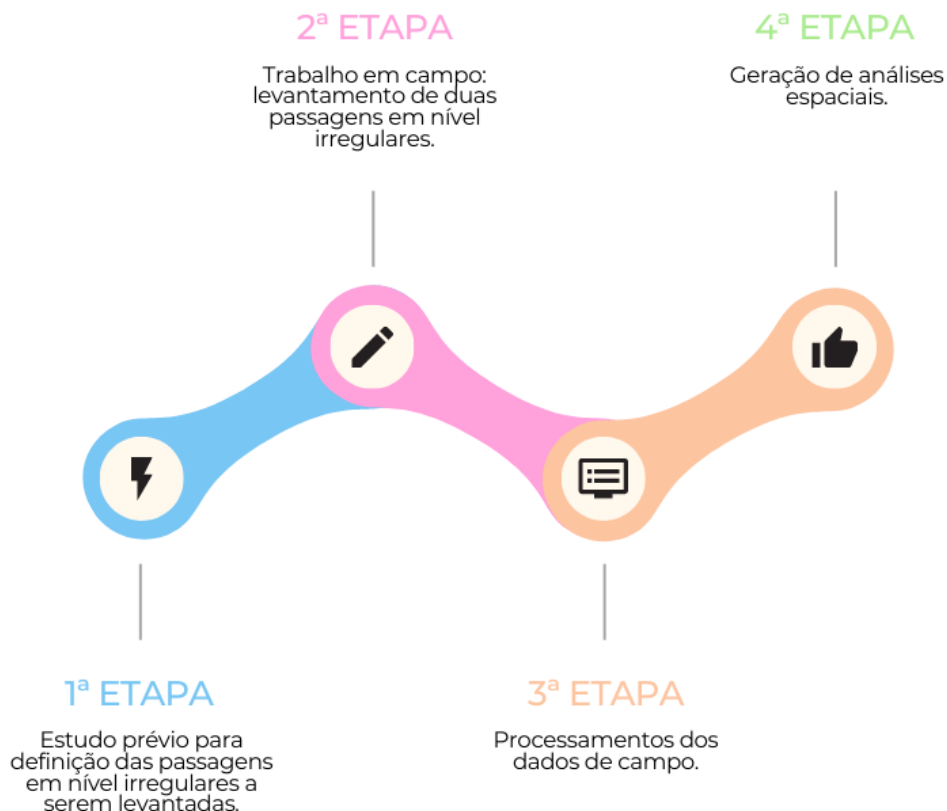
segurança de travessias, como passagens de nível e locais com ocupação da faixa de domínio em áreas urbanas (BRASIL, 2010).

Foram cadastradas 207 passagens em nível no corredor 5 (Maringá – Apucarana – Ponta Grossa – Curitiba – Paranaguá), sendo 89 PN's urbanas, 74 PN's rurais e 44 PNP's. Das 89 PN's urbanas, 32 foram consideradas críticas pelo PROSEFER e 5 estão situadas em Curitiba. Entretanto, para efeitos desse relatório da PROSEFER, foram consideradas apenas as passagens de nível localizadas nos municípios com mais de 100.000 habitantes. O PROSEFER elaborou estudos e informações para os órgãos de governo para planejar ações e intervenções nos locais identificados, visando minimizar os riscos decorrentes das operações ferroviárias para as comunidades vizinhas PROSEFER (2011 apud CASTORINO, 2014).

3 METODOLOGIA

Este trabalho foi dividido em quatro etapas (figura 3): primeira etapa – levantamento de dados de acidentes e mapeamento dos pontos com maior quantidade de acidentes ferroviários de natureza abalroamento e atropelamento em Curitiba; segunda etapa – levantamento tridimensional das Passagens em Nível de Pedestres (PNPs) irregulares com maior número de acidentes em Curitiba; terceira etapa – processamento dos dados do levantamento tridimensional realizado em campo; e quarta etapa – elaboração de produtos, como mapas, representações e modelos espaciais.

FIGURA 3. ETAPAS DO ESTUDO.



FONTE: A autora (2023).

Na primeira etapa da pesquisa, foram requisitadas informações sobre acidentes ferroviários junto à concessionária da malha sul. Em seguida, esses dados foram classificados de acordo com a localização do acidente (Curitiba) e seu tipo (abalroamento e atropelamento). Com os dados selecionados a partir de filtros

inseridos na planilha, foi desenvolvido um *plugin* em linguagem *Python* para a georreferenciamento dos quilômetros ferroviários. Por fim, foram gerados mapas que representam a ocorrência de acidentes nesses locais.

Com o auxílio dos mapas de acidentes, foi identificada a primeira passagem em nível de pedestre (PNP) irregular com o maior número de acidente, localizada no bairro Cajuru. Na segunda passagem em nível, que foi escolhida devido ao alto fluxo de pedestres no Uberaba, foi realizado o levantamento tridimensional das duas PNPs utilizando um *laser scanner* posicionado em várias áreas.

Na segunda fase, as nuvens de pontos coletadas em campo foram processadas. Foi feita uma limpeza dos dados, retirando os pedestres e o trem, e, em seguida, foi gerado um modelo tridimensional do terreno e uma planta do local. Algoritmos foram utilizados para extrair os pontos de terreno das nuvens de pontos, produzindo o modelo digital do terreno.

Na terceira etapa do estudo, foram investigadas as normas que regulam os cruzamentos ferroviários. Para isso, foram consultadas as referências existentes sobre o assunto e realizado o mapeamento das passagens críticas, seguindo as diretrizes estabelecidas pelo PROSEFER (2011 apud Castorino, 2014).

A quarta fase do estudo foi a geração de produtos cartográficos para as PNs. Para isso, foram consideradas as normas da NBR 5101 (ABNT, 2012) e da NBR 7613 (ABNT, 2020), que recomendam disposições de postes de iluminação pública e cálculo de triângulos de visibilidade, respectivamente, além do modelo digital de terreno e da sinalização. Esses mapas permitiram visualizar e compreender a relação entre as normas, o terreno e a sinalização dos cruzamentos rodoferroviários.

Ainda na quarta etapa deu-se a geração de produtos cartográficos para as passagens nível de pedestre irregulares, avaliando a presença de polos geradores de viagens em sua proximidade.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa tem uma abordagem descritiva, visando compreender os fatores que geram alto índice de acidentes nos cruzamentos ferroviários.

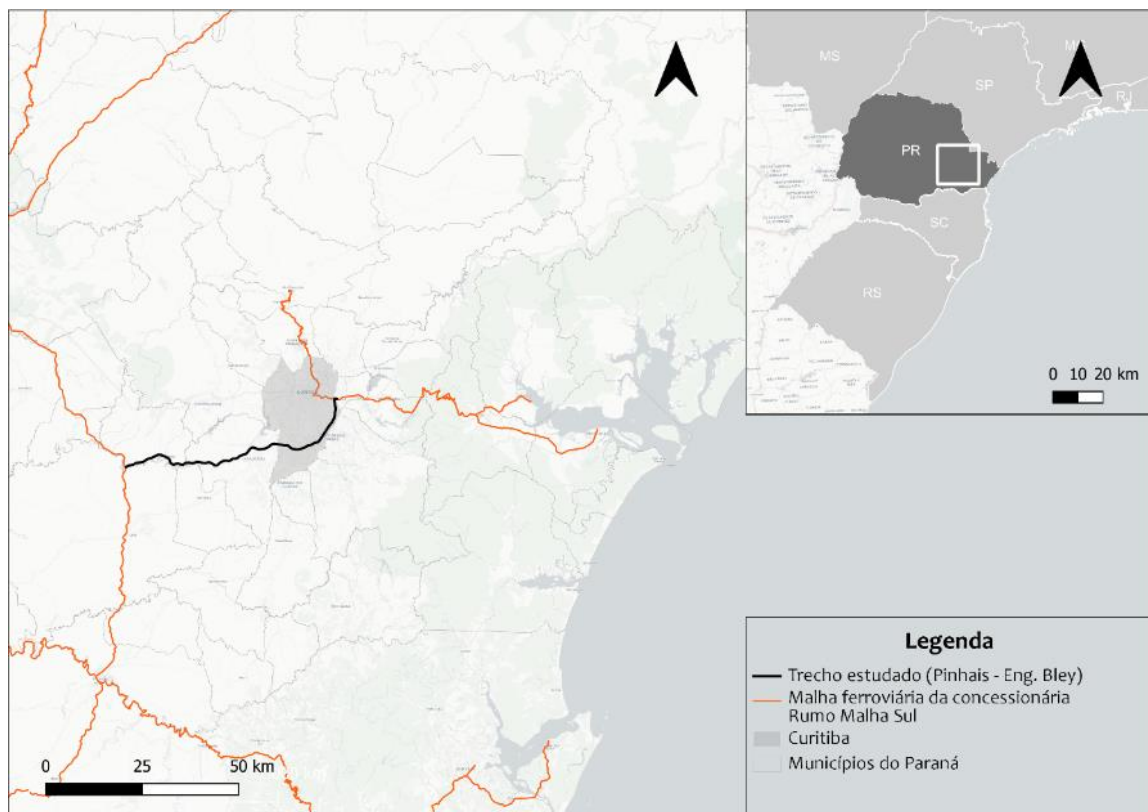
Para isso, foi elaborado um estudo aprofundado, que incluiu as quatro etapas supracitadas que caracterizam uma pesquisa descritiva. A pesquisa tem

natureza qualitativa, pois examina evidências baseadas em dados que contém aspectos da infraestrutura ao redor dos cruzamentos rodoferroviários para compreender um fenômeno da realidade. Bem como tem o caráter quantitativo, pois avalia o número de acidentes rodoferroviários com a finalidade de realizar a escolha da área crítica de estudo.

3.2 DEFINIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo foi realizado no ramal ferroviário denominado Pinhais - Engenheiro Bley, operado pela concessionária Rumo Malha Sul, como pode ser visto na figura 4. Este trecho está situado no Corredor 5, que vai de Maringá, Apucarana, Ponta Grossa, Curitiba e Paranaguá. O principal objetivo desse corredor é escoar a produção agrícola do norte do Paraná e parte do extremo oeste de São Paulo para o porto de Paranaguá. No entanto, no trecho Curitiba-Paranaguá existe um gargalo para operações ferroviárias devido ao seu traçado antigo e que atravessa a Serra do Mar PROSEFER (2011 apud CASTORINO, 2014).

FIGURA 4. MAPA DA LOCALIZAÇÃO DO TRECHO ESTUDADO.



FONTE: A autora (2023).

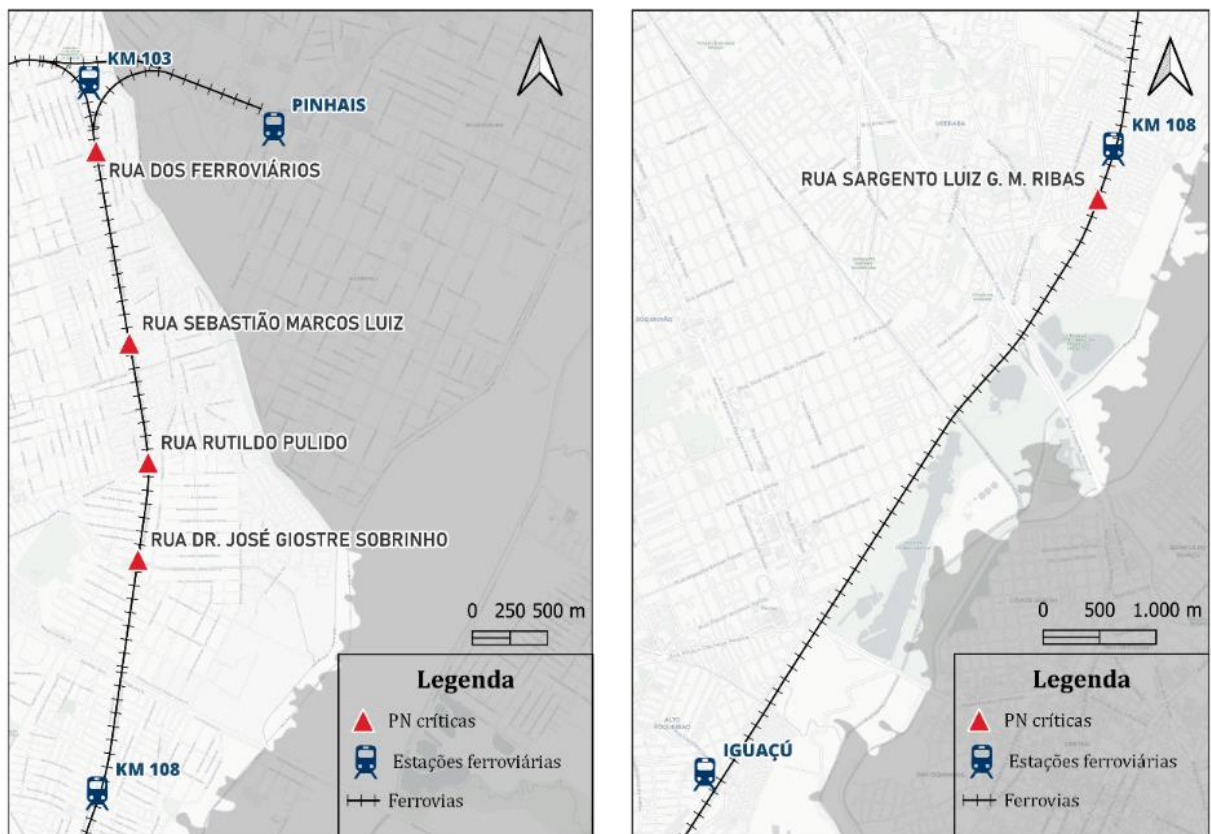
A partir dos dados analisados acima, foram definidas cinco PNs críticas do PROSEFER (2011 apud CASTORINO, 2014) e duas PNPs irregulares, as quais estão situadas:

- a) PNP no bairro Cajuru, no cruzamento com a Rua Darcy Jungles, mais precisamente no KM 105+369 da subdivisão Pinhais – Engenheiro Bley.
- b) PNP no bairro Uberaba, no cruzamento com a Rua Senador Alo Guimarães, no KM 107+993 do ramal Pinhais – Engenheiro Bley, próxima ao pátio do KM 108.
- c) PN no cruzamento com a Rua dos Ferroviários no Bairro Cajuru em Curitiba. Precisamente no KM 104+446 do ramal Pinhais – Engenheiro Bley.
- d) PN no cruzamento com a Rua Sebastião Marcos Luiz no Bairro Cajuru em Curitiba. Precisamente no KM 105+134 do ramal Pinhais – Engenheiro Bley.
- e) PN no cruzamento com a Rua Rutildo Polido no Bairro Cajuru em Curitiba. Precisamente no KM 106+345 do ramal Pinhais – Engenheiro Bley.
- f) PN no cruzamento com a Rua Dr. Jose Giostre Sobrinho no Bairro Cajuru em Curitiba. Precisamente no KM 107+721 do ramal Pinhais – Engenheiro Bley.
- g) PN no cruzamento com a Rua Sargento Luiz G. M. Ribas no Bairro Uberaba em Curitiba. Precisamente no KM 109+663 do ramal Pinhais – Engenheiro Bley.

De acordo com o PROSEFER (2011 apud Castorino, 2014), existem atualmente 80 PNs na capital paranaense, e 5 delas se encontram em estado crítico, possuindo como interseção: Rua Luis G. Martins Ribas, Rua Thomas David Borges, Rua Rutildo Pulido, Rua José Giostre Sobrinho e Rua Dos Ferroviários. A figura 5 apresenta as PNs citadas por Castorino (2014) e estudadas nesta pesquisa. Pode-se notar que as nomenclaturas das vias dos cruzamentos diferem das analisadas, uma vez que as vias presentes no PROSEFER dispõem de letras trocadas, bem como não expressam a nomenclatura da via que intercepta o cruzamento.

Todas as passagens mencionadas possuem sinalização passiva, ou seja, há apenas indicação de que existe uma ferrovia cortando a rua, deixando a decisão de passar ou esperar a cargo do motorista. A única exceção é na Rua Sargento Luiz Gonzaga Martins Ribas, em que não há sinalização alguma, justificando sua classificação como PN crítica (BALEN et al., 2020).

FIGURA 5. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS PN'S CRITICAS, SEGUNDO O PROSEFER (2011 APUD CASTORINO, 2014).



FONTE: A autora (2023).

A imagem de satélite apresentada na figura 6 permite uma visão detalhada das cinco áreas consideradas críticas, permitindo a visualização da infraestrutura ao seu redor e do comportamento da sinalização. Isso é importante para entender como essas áreas estão sendo afetadas e como a sinalização está sendo utilizada para conduzir o tráfego de maneira segura e eficiente.

FIGURA 6. IMAGEM DE SATÉLITE DAS PN'S CRÍTICAS, SEGUNDO O PROSEFER (2011 APUD CASTORINO, 2014).



FONTE: A autora (2023).

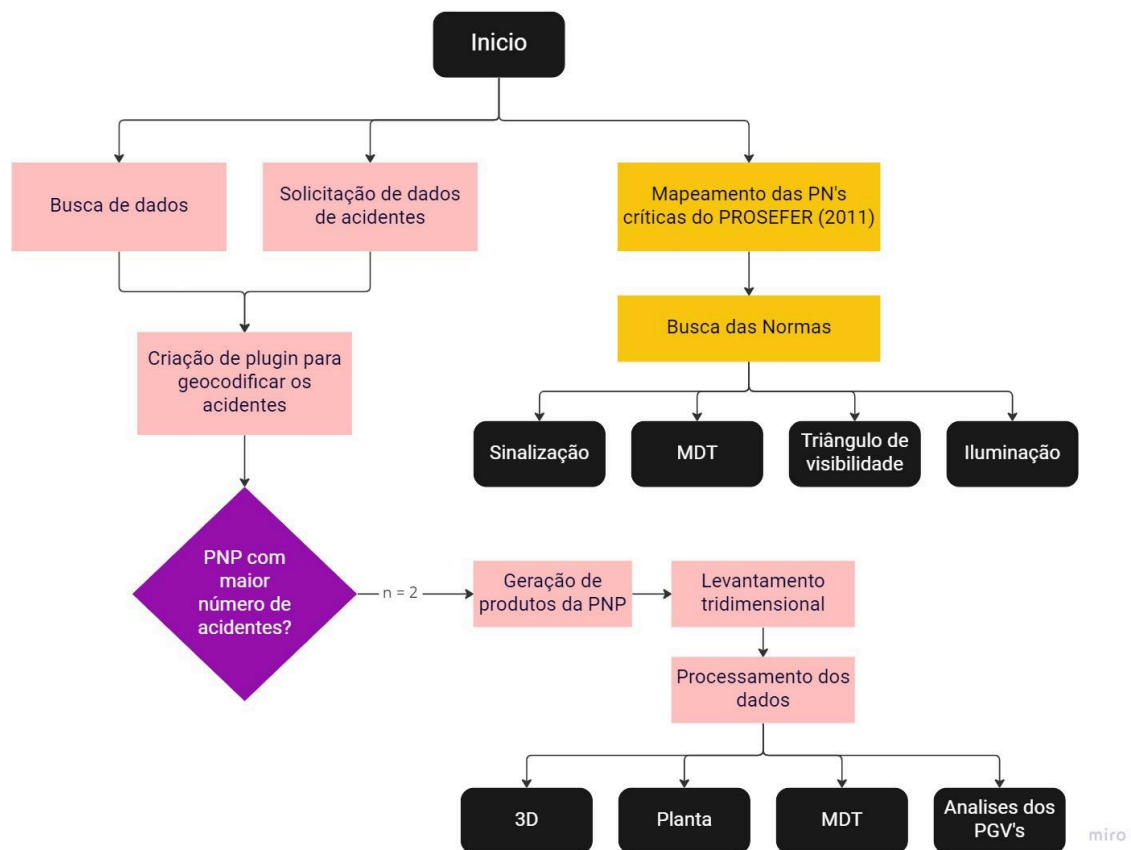
Além das PNs críticas mencionadas anteriormente, foram definidas duas PNPs irregulares para complementar as análises.

3.3 DELINEAMENTO DA PESQUISA

Conforme já mencionado, esta pesquisa foi realizada em quatro etapas, de acordo com sua finalidade. A figura 7 apresenta o fluxograma das atividades realizadas para obtenção e tratamento dos dados, dividindo-se em dois fluxos paralelos: análise das passagens em nível críticas e análises das passagens em nível de pedestres irregulares.

As cores expressam o tipo de ação, a cor preta simboliza os produtos, a cor laranja expressa as atividades realizadas para o estudo das PNs críticas. As atividades vinculadas ao estudo das PNPs estão simbolizadas com a cor rosa. E a tomada de decisão está expressa pela cor roxa.

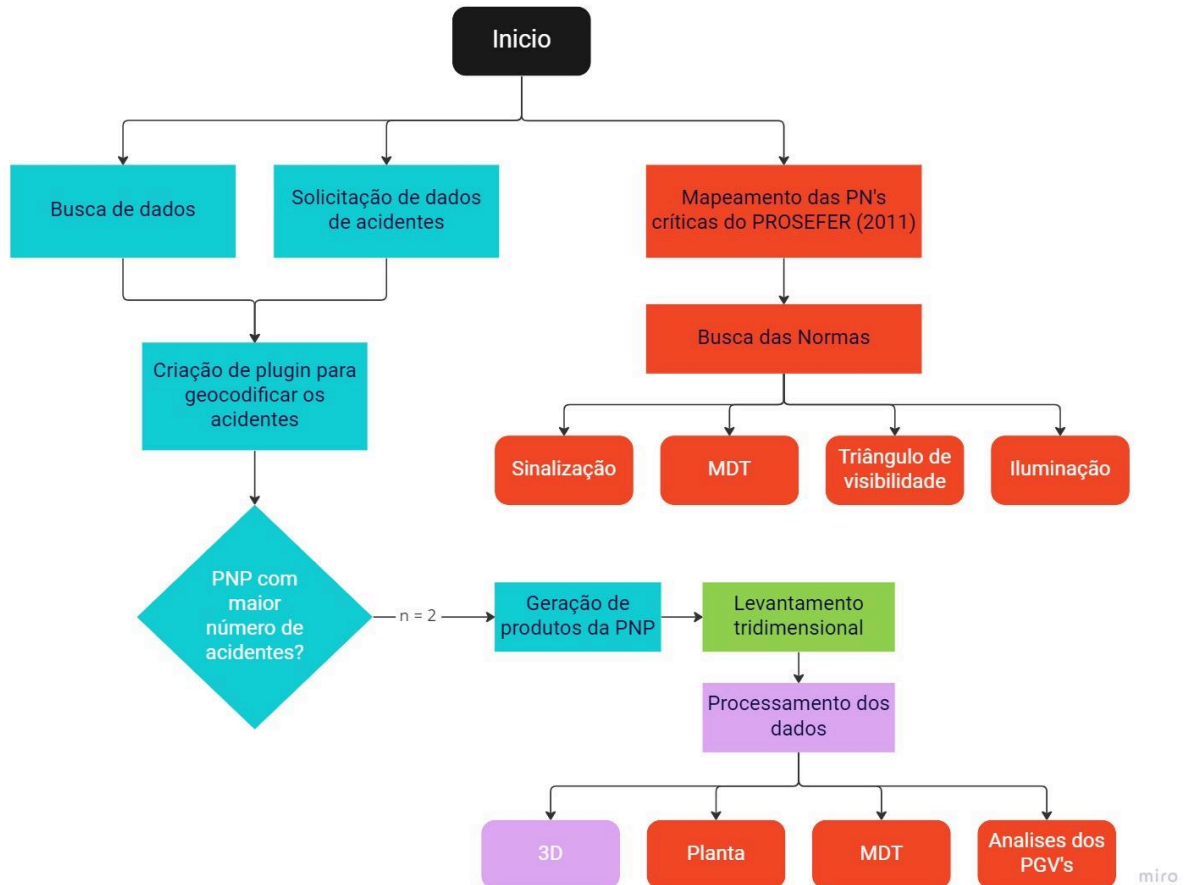
FIGURA 7. FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES PRÁTICAS REALIZADAS NO ESTUDO.



FONTE: A autora (2023).

O fluxograma apresentado na figura 8, apresenta as atividades colorizadas de acordo com a etapa do estudo: primeira etapa: azul; segunda etapa: verde; terceira etapa: roxo; quarta etapa: vermelho;

FIGURA 8. FLUXOGRAMA DE ATIVIDADES SEGMENTADO PELA ETAPA DO ESTUDO.



FONTE: A autora (2023).

3.4 LIMITAÇÃO DA PESQUISA

Definiu-se como área de estudo a capital paranaense para que fosse possível realizar o levantamento tridimensional em campo apenas das PNP's irregulares. Além disso, os levantamentos tridimensionais geraram arquivos pesados, dificultando o processamento e demanda grande quantidade de tempo para realização de produtos, o que restringiu o estudo de outros pontos críticos ou outras análises mais aprofundadas.

O estudo limitou-se às análises de cinco PNs críticas presentes em Curitiba PROSEFER (2011 apud Castorino, 2014), não foram consideradas outras PNs presentes em Curitiba, devido à dificuldade na realização de levantamento de dados, mapeamento e geração de produtos.

3.5 MATERIAIS E PROCEDIMENTOS

Os materiais do estudo podem ser divididos em trabalho de campo, processamento de dados e geração das análises espaciais.

3.5.1 Equipamentos e ferramentas

No trabalho em campo – momento em que foi realizado o levantamento de nuvens de pontos tridimensionais nas PNs irregulares – foram utilizados os seguintes materiais:

- a) Leica BLK360 – *laser scanner* terrestre, utilizado para realizar o levantamento de pontos tridimensionais.
- b) Tablet Apple – equipado com *software Cyclone Field*, foi utilizado para definição das configurações do levantamento.
- c) Cone – foram levados dois cones de base circular na cor alaranjada com o objetivo de manter um espaçamento entre os transeuntes e os equipamentos no momento do levantamento, evitando que os mesmos fossem submetidos a atropelamento.
- d) EPIs – para o levantamento em campo foram utilizados equipamentos de proteção individual, como capacete, perneira, bota, colete, óculos e abafador, com a finalidade de manter a segurança no momento do levantamento.

3.5.2 Softwares

No processamento dos dados gerados em campo e análises espaciais, foram utilizados os seguintes softwares:

- a) Ciclone Register 360 – *software* de registro, georreferenciamento e manipulação de nuvens de pontos de pontos.
- b) Cloud Compare – *software* de processamento de nuvens de pontos tridimensionais.
- c) QGIS – aplicativo de sistema de informação geográfica de código aberto.
- d) Pyzo – *IDE* Python, ambiente de programação integrado da linguagem de programação *Python*.

3.5.3 Dados coletados

Além disso para etapa de análises espaciais foram coletados dados descritos a seguir:

- a) Pontos de ônibus – feições pontuais em formato json, disponibilizado pela URBS – Urbanização de Curitiba, a partir da solicitação de informações para Prefeitura Municipal de Curitiba, atualizado em 2021;
- b) Linhas de ônibus – feições lineares em formato json, disponibilizado pela URBS – Urbanização de Curitiba, a partir da solicitação de informações para Prefeitura Municipal de Curitiba, atualizado em 2021;
- c) Acidentes ferroviários – planilha contendo informações referentes ao tipo de acidente, data, horário, entre outros. Disponibilizado pela concessionária Rumo Logística, do ano de 2016 até o ano de 2022.
- d) PNs críticas – feições pontuais em formato shapefile gerados manualmente com auxílio do PROSEFER (2011 apud Castorino, 2014).
- e) PNPs irregulares – feições pontuais em formato shapefile gerados manualmente através da base cartográfica do OSM.
- f) Vias – feições lineares em formato shapefile, que representam as vias “regulares” disponibilizada na plataforma online do IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano, atualizado em 2022. Disponível em: <https://ippuc.org.br/geodownloads/geo.htm>.
- g) Iluminação – planilha contendo as coordenadas dos equipamentos de iluminação pública dispostos no município de Curitiba, bem como

potência das lâmpadas, disponibilizado pelo SMOP, por meio da solicitação de informações para Prefeitura Municipal de Curitiba, atualizado em 2019;

- h) Modelo digital do terreno – *raster* que engloba o município de Curitiba, possui tamanho do pixel igual a 50 centímetros. Disponível na plataforma Geocuritiba do IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano, atualizado em 2019.
- i) Escolas Municipais, CMEI, Unidade de saúde, Unidade de pronto atendimento – feições pontuais no formato shapefile, que representam a posição dos equipamentos urbanos, disponível na plataforma online do IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano, atualizados em 2022. Disponível em: <https://ippuc.org.br/geodownloads/geo.htm>.
- j) Área de abrangência US – feição em forma de polígono no formato shapefile, que representam a área de abrangência das unidades básica de saúde, disponível na plataforma online do IPPUC – Instituto de Pesquisa e Planejamento Urbano, atualizados em 2022. Disponível em: <https://ippuc.org.br/geodownloads/geo.htm>.
- k) Estações ferroviárias – feições pontuais no formato KML, que representa a posição aproximada das estações ferroviárias da Rumo Logística, disponibilizado pela Rumo Logística.
- l) Trechos ferroviários – feições lineares em formato shapefile, que representa as linhas ferroviárias brasileiras, disponibilizada pelo Ministério da Infraestrutura, atualizado em 2020.
- m) País, Cidades, Estados e divisas de bairro – feições em forma de polígono em formato shapefile, disponibilizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/malhas-territoriais.html>.
- n) Imagens equiretangulares – imagens extraídas do levantamento realizado com o laser scanner, formada a partir de imagens tiradas do mesmo ponto em um ângulo de 360°.
- o) Base cartográfica CartoDB, Open Street Map e Google Satélites – bases disponíveis em formato *raster* no QGIS.

3.6 PROCEDIMENTOS

Para facilitar a citação das passagens em nível, de pedestres ou veículos, determinou-se as nomenclaturas dispostas no quadro 3 para cada passagem.

QUADRO 3 – ABREVIATURA DAS PN'S E PNP'S ESTUDADAS.

Nomenclatura	Cruzamento
PN01	Rua dos Ferroviários
PN02	Rua Sebastião Marcos Luiz
PN03	Rua Rutildo Polido
PN04	Rua Dr. José Gostre Sobrinho
PN05	Rua Sargento Luiz G. M. Ribas
PNP01	Rua Antônio de Oliveira x Rua Darcy Jungles
PNP02	Rua Senador Alo Guimarães x Rua Ivo Tonetti

FONTE: A autora (2023).

Todos os mapas gerados nesse estudo estão referenciados e projetados no sistema SIRGAS2000 – fuso 22S.

3.6.1 Obtenção das coordenadas dos acidentes ferroviários.

Os dados de acidentes (formato de planilha) possuíam um total de trezentos e dezesseis ocorrências em Curitiba de 2016 a 2022. A coluna referente a sua localização está expressa pelo quilômetro ferroviário, impossibilitando o processo de geocodificação com ferramentas existentes – geocodificam informações baseadas no nome da rua.

Devido aos problemas mencionados, tornou-se necessária a criação de um algoritmo para geocodificação de quilômetros ferroviários. No pyzo criou-se uma função que, a partir da camada em formato shapefile dos ramais ferroviários que interceptam ou estão dentro de Curitiba, determina a quilometragem inicial, quilometragem final dentro do município e o comprimento do trecho.

Com isso, obtem-se dados puramente matemáticos, porém o comprimento do trecho ferroviário era superior ao quilômetro inicial subtraído do quilômetro final, devido a isso, foi realizada a injeção de 2 pontos – para cada trecho, de quilometragem conhecida para obtenção de melhor qualidade de posicionamento

dos marcos quilométricos. Dessa forma, obteve-se os marcos quilométricos dos trechos presentes em Curitiba.

Em seguida realizou-se uma varredura da planilha de acidentes, para cada ocorrência foi extraída a posição do quilômetro ferroviário de acordo com os marcos quilométricos. Porém, devido a distância entre os marcos quilométricos serem inferiores ou superiores a um quilômetro, foi extraída a posição de acordo com percentuais, ou seja, se a ocorrência estava situada no km 105+500, extraiu-se as coordenadas do ponto central entre o km 104 e km 105.

3.6.2 Levantamento tridimensional das PNP's irregulares

O trabalho em campo foi realizado no dia dezessete de novembro de dois mil e vinte dois (17/11/2022), com a finalidade de realizar uma varredura tridimensional das superfícies que representam as PNP irregulares escolhidas na primeira etapa do estudo. A etapa de campo pode ser subdividida em duas – levantamento tridimensional da PNP irregular situada nas coordenadas no sistema UTM – Zona 22S (681.140,2 e 7.182.399,8) e levantamento tridimensional da PNP irregular situada nas coordenadas no sistema UTM – Zona 22S (680.828,3 e 7.179.842,4), próxima ao pátio do quilômetro 108 do trecho Engenheiro Bley - Pinhais.

O *laser scanner* possui um alcance máximo de 60 metros, quando não há obstrução, ou seja, é possível obter pontos em um raio de 60 metros ao redor do equipamento. Porém para obtenção de melhor resolução espacial e prevenção de zonas de oclusão devido a obstruções não perceptíveis, utilizou-se sobreposição mínima de 50% nas nuvens de pontos geradas. Além disso, o equipamento foi configurado para captura de imagens em 360° durante o levantamento, com objetivo de texturizar a nuvem de pontos no processamento.

A primeira etapa do levantamento iniciou-se as nove horas e cinquenta minutos do período da manhã. Antes de iniciar o levantamento da PNP verificou-se a presença de estruturas identificáveis – edificações com janelas e altura distintas, no raio de 60 metros do local do levantamento, necessárias para realização da mesclagem das nuvens de pontos, uma vez que o equipamento gera nuvens de pontos de sistema de coordenada arbitrário. Neste levantamento percebeu-se que a

ferrovia está situada a aproximadamente dois metros acima do nível da via, logo tornou-se necessário posicionar o equipamento nas duas margens da ferrovia, devido a variação do relevo que causou oclusão das feições na margem oposta. O equipamento foi posicionado de acordo com a figura 9.

FIGURA 9. POSIÇÕES DA ESTAÇÃO DURANTE O LEVANTAMENTO NA PNP01.



FONTE: A autora (2023).

A segunda etapa do levantamento iniciou-se as 10 horas e 55 minutos do período da manhã. Ao realizar a busca por estruturas identificáveis, notou-se a existência de um muro de aproximadamente dois metros e meio de altura, nas margens das ferrovias que interceptam a PNP irregular do KM108, além dos trilhos da ferrovia e de segmentos de escadas. Assim como no primeiro levantamento, a ferrovia estava cerca de 2 metros acima do nível da calçada, tornando necessário posicionar o *laser scanner* nas duas margens da ferrovia. O equipamento foi posicionado de acordo com a figura 10.

FIGURA 10. POSIÇÕES DA ESTAÇÃO DURANTE O LEVANTAMENTO NA PNP01.



FONTE: A autora (2023).

Pode-se notar que os espaçamentos entre as posições das estações nas duas PNPs são inferiores a 30 metros, uma vez que as obstruções e relevos não propiciavam a visualização da face da linha férrea.

O levantamento foi realizado por uma equipe composta por docentes da UFPR – Luis Augusto Koenig Veiga e Anelise Schmitz, colaboradores da concessionária – Pedro S. Pessotto, André Santos Franco e Isabella Alves Costa. Os colaboradores da área de segurança patrimonial foram responsáveis por garantir a segurança da equipe e dos equipamentos durante o período do levantamento.

3.6.3 Processamento 3D das nuvens de ponto

Após a extração das nuvens de pontos geradas em campo, a partir do software Cyclone Register 360, no qual também foi realizado o registro das nuvens de pontos (figura 11), utilizou-se as estruturas identificáveis, mencionadas no item

anterior, para realizar a transformação entre o referencial do equipamento na primeira posição e o referencial das demais posições, aplicaram-se translações de forma manual, sobrepondo os pontos homólogos de cada nuvem de pontos. Em seguida, as demais posições foram utilizadas como referência para melhorar a acurácia do registro. Não foi necessária a aplicação de matrizes de rotação, uma vez que o equipamento utilizado possuía IMU – unidade de medida inercial.

FIGURA 11. DEMONSTRAÇÃO DA ORIENTAÇÃO DAS NUVENS DE PONTOS.



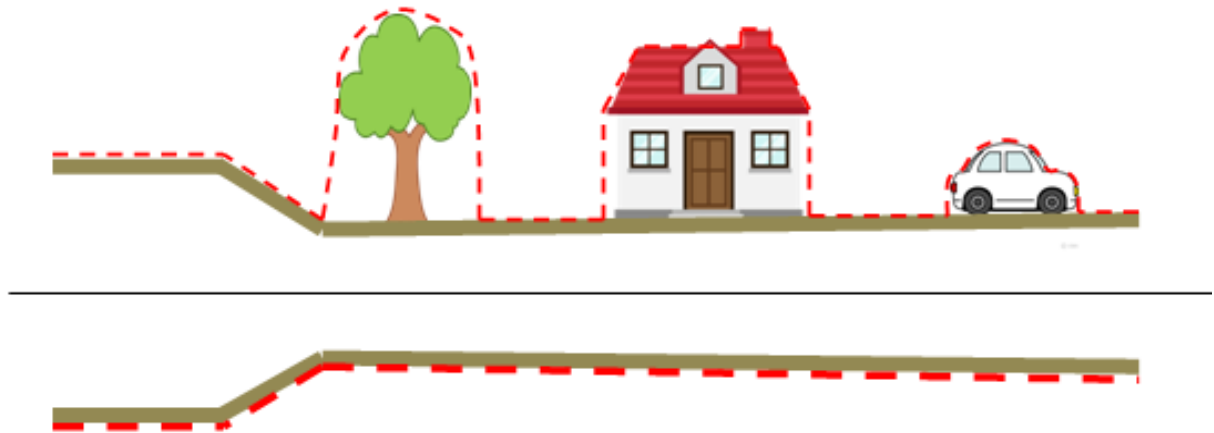
FONTE: A autora (2023).

Devido ao alto fluxo de pessoas no local do levantamento, tornou-se necessária a realização da limpeza das nuvens de pontos – realizada no software Autodesk Recap 360° e refinada no software CloudCompare.

3.6.3.1 Geração da modelagem tridimensional do terreno a partir da nuvem de pontos

A geração do modelo digital de terreno se deu no software CloudCompare, no qual utilizou-se a extensão “CSF Filter”, responsável pela extração dos pontos do terreno em nuvens de pontos, removendo as superfícies.

FIGURA 12. OPERAÇÃO GRÁFICA REALIZADA PELO ALGORITMO DO FILTRO CSF.



FONTE: Leticia Saez Tavares (2023).

Como mostra a figura 12, o filtro CSF – *Cloth simulation filtering*, utiliza um algoritmo, baseado na técnica “*cloth simulation*”, que inverte a nuvem de pontos, de forma que a mesma fique de ponta cabeça, em seguida aplica um “pano” sobre a nuvem, extraíndo os pontos do solo.

3.6.3.2 Geração da representação das PNPs irregulares a partir da nuvem de pontos

A representação das PNPs irregulares, foram realizadas por meio da vetorização manual das feições presentes nas ortoimagens das PNPs extraídas do processamento das nuvens de pontos. As representações foram desenhadas de forma a manter sua orientação em relação ao norte. Além disso, utilizou-se o software AutoCAD, devido a facilidade na utilização do software.

3.6.4 Produtos gerados no QGIS

3.6.4.1 Sinalização

As figuras referentes a sinalização das PNs críticas foram desenhadas, em escala, no software AutoCAD 2020. A análise de sinalização foi realizada com auxílio da ferramenta Street View do Google Maps, o qual permite navegação com

vistas panorâmicas de 360° (atualizado em 2019). As sinalizações também foram projetadas no AutoCAD. O equipamento utilizado possui uma câmara 360°, de onde também é possível extrair estas informações.

3.6.4.2 Relevância nas PNs críticas

Para análise altimétrica do local utilizou-se a camada *raster* do modelo digital de terreno georreferenciada. Foram definidas 15 classes e colorizado pelo método de classificação, intervalos iguais – divide a amostra em 15 classes de intervalos iguais. Para cada passagem em nível crítica foi utilizada a mesma simbologia, porém com intervalo de valores distintos para cada cor, expressando a realidade de cada PN, uma vez que possuem altitudes diferentes. Os intervalos estão expressos no quadro 4.

QUADRO 4 – INTERVALOS DE ALTITUDE APLICADOS NA SIMBOLOGIA DE CADA PN.

Cruzamento	Intervalos (m)
PN1	877,014 – 878,668
PN2	876,114 – 878,776
PN3	876,114 – 880,210
PN4	876,808 – 880,268
PN5	874,472 – 890,350

FONTE: A autora (2023).

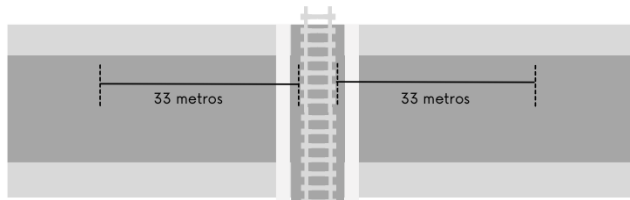
3.6.4.3 Disposição e distribuição dos equipamentos de Iluminação pública nas PNs críticas

As análises de iluminação das PNs críticas foram realizadas no software QGIS 3.28, no qual foi realizada a geocodificação dos campos referentes as coordenadas em WGS-84 da camada, de equipamentos de iluminação pública, no formato de planilha, disponibilizado pelo SMOP.

Em seguida, utilizando como referência a NBR 5101 – Iluminação pública (ABNT, 2012), a qual apresenta recomendações de seis casos de posicionamento dos postes de iluminação pública em cruzamentos ferroviários (figura 13).

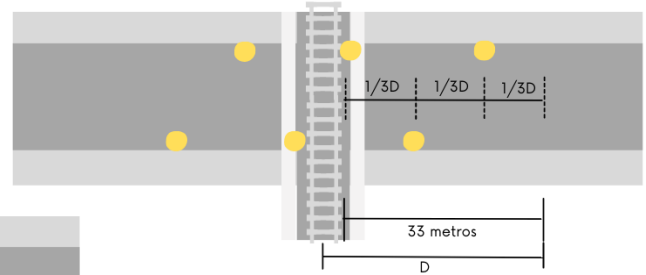
FIGURA 13. REPRODUÇÃO DOS CASOS DA NBR5101 - ILUMINAÇÃO PÚBLICA (PROCEDIMENTO) DE 2012.

A. Iluminação necessária nas áreas tracejadas

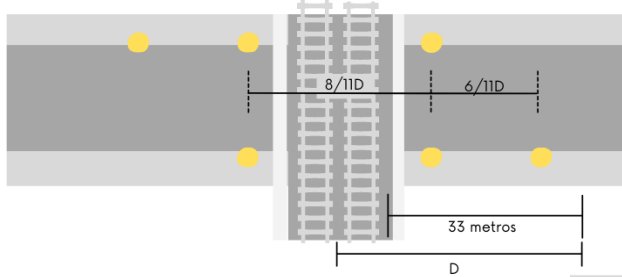


Distância dependente do n° de trilhos

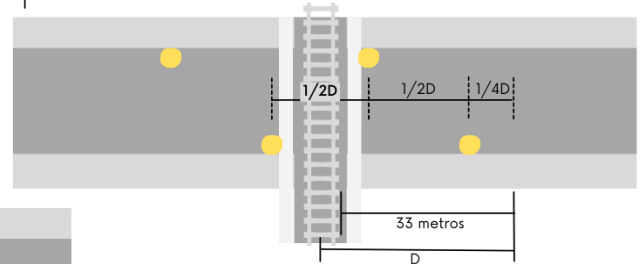
B. Posições preferenciais com seis luminárias.



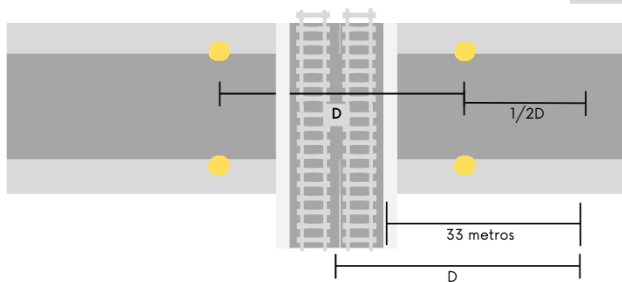
C. Posições alternativas com seis luminárias.



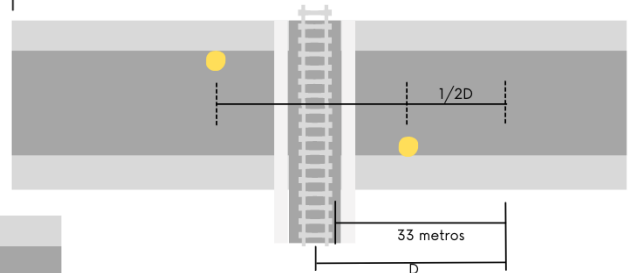
D. Posições alternativas com quatro luminárias.



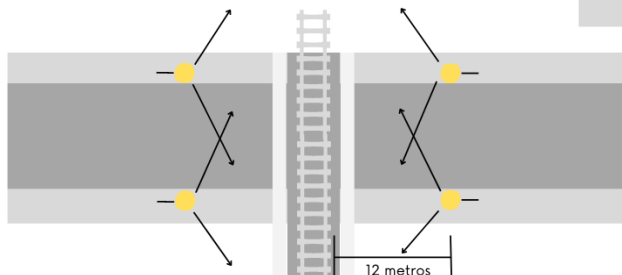
E. Posições alternativas com quatro luminárias.



F. Posições alternativas com duas luminárias.



G. Luminárias com dispositivos contra ofuscamento de motoristas.



Se for necessário iluminação adicional nas proximidades o trem, recomenda-se este arranjo de luminárias.

FONTE: Adaptado NBR5101 (2023).

Para realização das análises de iluminação pública, determinou-se o valor da bitola igual a um metro. Gerou-se linhas com distâncias descritas no quadro 5.

QUADRO 5. CASOS DE RECOMENDAÇÃO DA POSIÇÃO DAS LUMINÁRIAS DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA SEGUNDO A NBR5101 (2012).

Casos	Distâncias
Caso A	33,5 m
Caso B	11,83 m; 23,13 m; 34,43 m
Caso C	12,18 m; 18,27 m
Caso D	8,38 m; 25,13 m; 29,31 m
Caso E	16,75 m
Caso F	16,75 m
Caso G	12,5 m

FONTE: A autora (2023).

3.6.4.4 Triângulo de visibilidade

A NBR7613 (ABNT, 2020) determina parâmetros detalhados para realização do cálculo do triângulo de visibilidade com veículo parado e em movimento. As constantes da equação estão representadas no QUADRO 6.

QUADRO 6 – PARÂMETROS DE ENTRADA NAS EQUAÇÕES DE CÁLCULO DO TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE.

Parâmetros	Explicação	Valores
A	Constante de conversão para metros	0,278
b	Constante de conversão para metros	0,039
t	Tempo de reação do condutor	2,50 s
a	Taxa de desaceleração do veículo	3,40 m/s ²
de	Distância da frente do veículo até o ponto de visão do motorista	2,40 m
L	Comprimento do veículo rodoviário	20 m
j	Soma dos tempos de percepção	2 s
W	Bitola da linha férrea	1 m
Vg	Máxima velocidade do veículo partindo do repouso	2,70 m/s
a1	Aceleração do veículo partindo do repouso	0,45 m/s ²
da	Distância que o veículo trafega enquanto acelera até a máxima velocidade em primeira marcha.	8,10 m

FONTE: Adaptado NBR 7613 de 2020 (2023).

Além das constantes presentes na norma, o cálculo exige informações como: distância de parada – distância entre a sinalização de parada e o eixo da linha férrea, velocidade do veículo e velocidade do trem, dispostas no QUADRO 7.

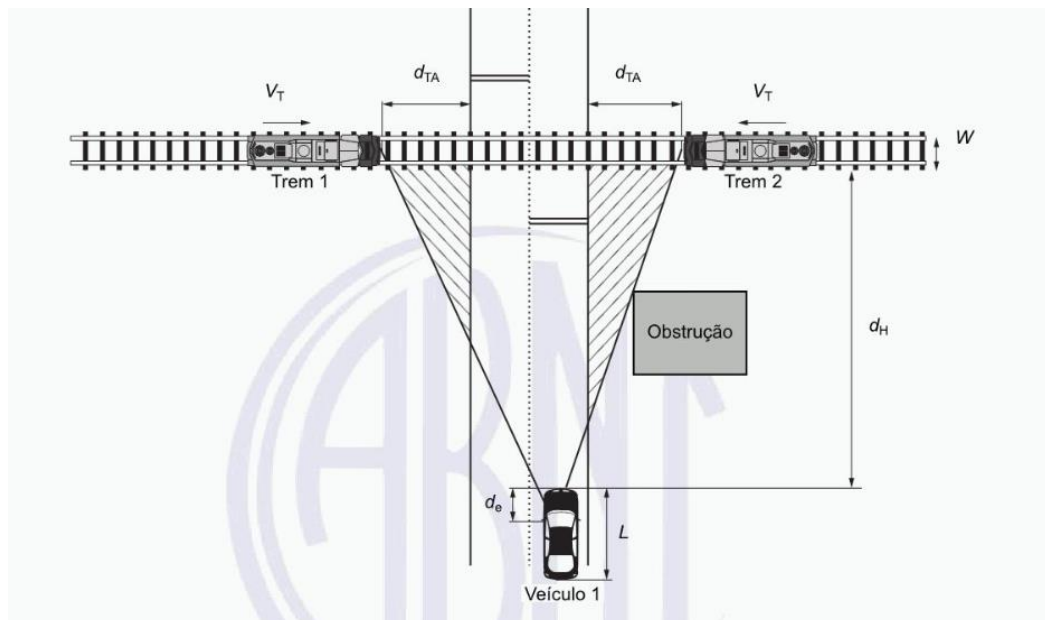
QUADRO 7 – INFORMAÇÕES EXTERNAS APLICADAS AO CÁLCULO DO TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE.

Cruzamento	Distância de parada		Velocidade do veículo	Velocidade do trem
PN1	3,5 metros	3,5 metros	40 km/h	Sem informação
PN2	3,5 metros	2,5 metros	40 km/h	30 km/h
PN3	8,7 metros	7,5 metros	40 km/h	30 km/h
PN4	5,5 metros	5,5 metros	40 km/h	30 km/h
PN5	Não tem	Não tem	40 km/h	Sem informação

FONTE: A autora (2023).

Não foram encontradas informações a respeito da velocidade do trem para PN1 e PN5. Além disso, nas imagens de satélites analisadas, não se encontrou sinalização horizontal de parada na PN5. Além disso, calculou-se o triângulo de visibilidade com veículo em movimento, representado na figura 14.

FIGURA 14. VARIÁVEIS DO TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE PARA O VEÍCULO EM MOVIMENTO.



FONTE: ABNT (2020).

As variáveis D_h e D_{ta} representam, a distância de visibilidade medida ao longo do eixo rodoviário, entre a borda do trilho até o condutor e a distância de visibilidade medida ao longo da via férrea, que permite que o condutor do veículo

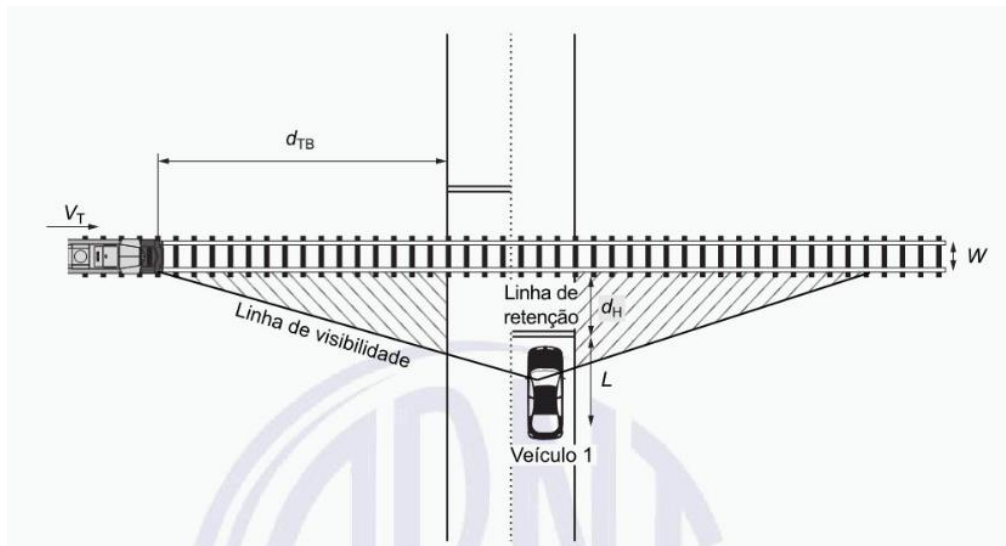
possa realizar a travessia do cruzamento antes da chegada do trem (ABNT, 2020). Os cálculos dessas variáveis estão descritos nas equações 1 e 2.

$$d_H = A * V_v * T + \frac{B * V_v^2}{a} + D + d_e \quad (1)$$

$$d_{TA} = \frac{V_T}{V_V} \left[(A) * V_V * t + \frac{B * V_V^2}{a} + 2D + L + W \right] \quad (2)$$

Em seguida realizou-se o cálculo do triângulo de visibilidade com o veículo parado (figura 15).

FIGURA 15. VARIÁVEIS DO TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE PARA VEÍCULO PARADO.



FONTE: ABNT (2020).

A variável D_h e D_{tb} são dadas pela distância de visibilidade medida ao longo do eixo rodoviário, da borda do trilho até o condutor, fixada conforme a distância da faixa de parada até o trilho e distância de visibilidade medida ao longo da via férrea, que permite que o condutor do veículo possa realizar a travessia do cruzamento antes da chegada do trem (ABNT, 2020). O cálculo da variável D_{tb} está descrito na equação 3.

$$d_{TB} = 0,278 * V_T \left(\frac{V_G}{\partial_1} + \frac{L + 2 * D + W - d_a}{V_G} + J \right) \quad (3)$$

Com isso, obtiveram-se os valores expressos no quadro 8 para cada PN.

QUADRO 8 – VALORES OBTIDOS ATRAVÉS DA APLICAÇÃO DAS EQUAÇÕES DO TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE.

Cruzamento	Dh		Dta		Dtb	
PN2	51,05	52,05	45,11	55,61	122,01	128,19
PN3	56,05	57,25	61,61	63,41	152,90	160,31
PN4	54,05	54,05	58,61	58,61	140,54	140,54

FONTE: Adaptado NBR7613 de 2012 (2023).

A partir dos softwares QGIS 3.28 e AutoCAD, foram geradas representações do triângulo de visibilidade, nas quais os triângulos de visibilidade para o veículo em movimento foram desenhados em forma poligonal, enquanto no triângulo de visibilidade para o veículo parado, pontuou-se apenas os vértices, devido o estreitamento do triângulo, dificultando a visualização.

3.6.4.5 Análise dos polos geradores de viagens próximos as PNPs críticas

Os PGVs analisados foram escolas municipais, centro municipal de ensino infantil e unidades básicas de saúde no entorno. Eles foram considerados, pois na visita em campo os pedestres que circulavam pelas passagens em nível tinham, em sua grande maioria, origem ou destino estes três principais pontos. Para analisar as escolas municipais e CMEI's utilizou-se o polígono de *voronoi*, que consiste em um modelo de análise que permite o estudo das áreas de influência de pontos de interesse definidas por suas posições em relação ao conjunto de dados. O princípio é que estas manchas não sejam compostas pela simples distribuição euclidiana, mas sejam deformadas pela influência do meio e pela massa de seus pontos geradores (MOURA, 2009). Por fim, esses polígonos foram nomeados como “área de abrangência” e são envoltos pelos seus respectivos polos gerados de viagens. Já para analisar as unidades básicas de saúde, utilizou-se a camada espacial da área de abrangência das UBS, disponibilizada na plataforma online do IPPUC.

Em seguida, foram traçados os trajetos mais longos, que atravessam a linha férrea, entre as extremidades das áreas de abrangência e o PGV. Posteriormente, foram adicionadas ao SIG, as camadas referentes aos pontos de ônibus e linhas de ônibus dispostos na área de abrangência.

3.6.5 Navegação tridimensional em 360° da PNP próxima ao KM108

A partir de imagens equirretangulares, extraídas do levantamento por *laser scanner*, criou-se uma navegação 360° na PNP irregular do Uberaba na plataforma Lapentor. Foram criadas e posicionadas 10 cenas da área do levantamento, iniciando-se Rua Guilherme Walter Lowry até a ponte disposta que dá na Rua Olindo Caetani. As cenas foram linkadas unitariamente, até que todas as cenas se conectassem, levando em consideração a possibilidade de visibilidade do local da próxima cena.

Em seguida criou-se o *widget*, que é o elemento de interação gráfica, para visualização de imagens e vídeos capturadas no dia do levantamento que demonstram a passagem irregular de pedestres no local. Além disso, as imagens e vídeos foram, majoritariamente, adicionados de forma com que a perspectiva do vídeo fosse a mesma da posição de visualização do mesmo.

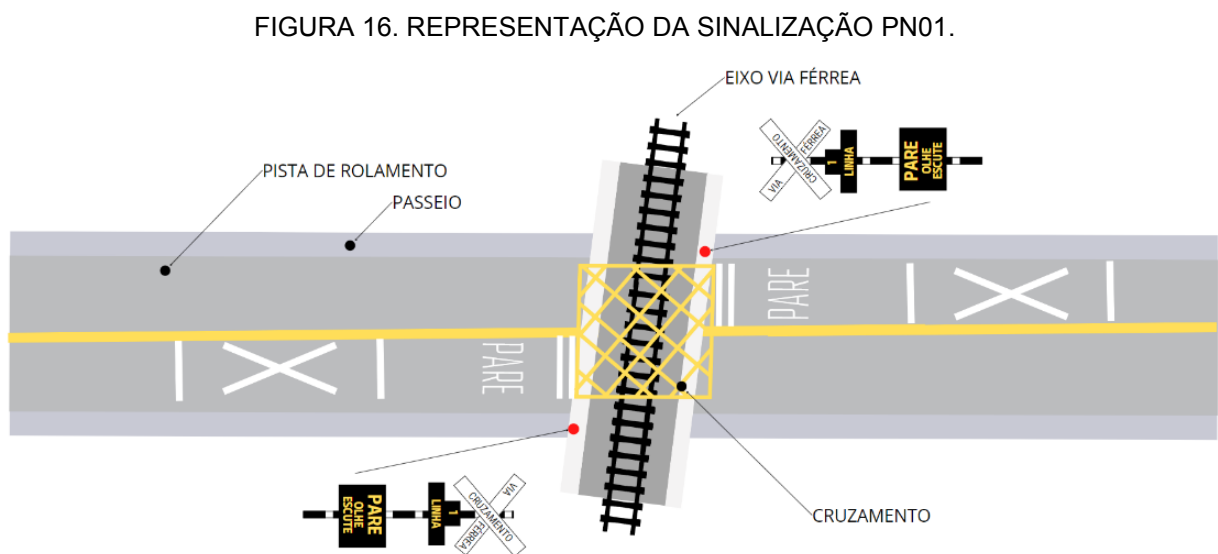
4 APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS

4.1 SINALIZAÇÃO DAS PNS CRÍTICAS

Todos os pontos de vista e propostas expostas neste tópico, são baseadas no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (Conselho Nacional De Trânsito, 2021), com o objetivo de evitar quaisquer possíveis confusões para o leitor.

Com base na análise da sinalização, foram criadas representações que apresentam a sinalização vertical e horizontal de cada PN crítica. Estas representações estão ilustradas nas figuras a seguir e fornecem uma visão clara e detalhada da sinalização presente em cada passagem.

A figura 16 apresenta a PN01, na qual é possível observar a presença de sinalizações verticais e horizontais. Estas sinalizações incluem todas aquelas consideradas obrigatórias, porém, algumas apresentam irregularidades no que diz respeito aos espaçamentos.



FONTE: A autora (2023).

A marcação de cruzamento rodoferroviário (MCF) apresenta duas linhas transversais ao longo do eixo da pista de rolamento. No entanto, não atende às especificações técnicas, na qual o espaçamento ideal entre as linhas é de 15 metros, mas na situação avaliada, esse espaçamento é de apenas 6,70 metros.

Em relação as sinalizações verticais A-41 e R-1, a distância entre elas e o eixo ferroviário é de aproximadamente 3,45 metros na margem esquerda e 2,40

metros na margem direita, não atendendo às disposições da norma, que requer uma distância mínima de 3,6 metros.

O quadro 9 apresenta um resumo das sinalizações previstas na norma, incluindo informações sobre sua necessidade e sua conformidade com a PN01.

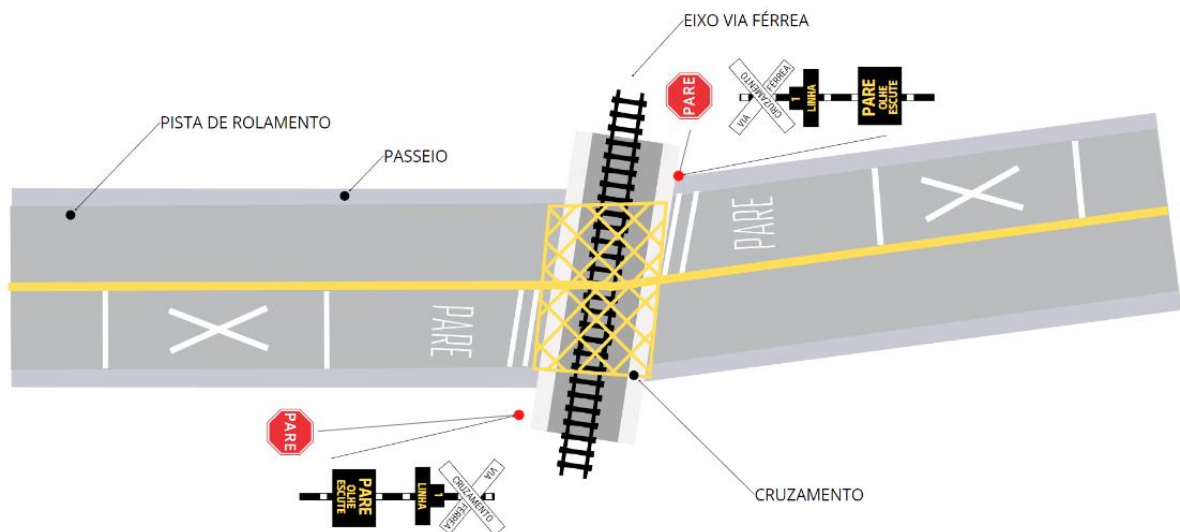
QUADRO 9 – DISPOSIÇÃO DE SINALIZAÇÕES HORIZONTAIS E VERTICAIS NA PN01.

Componentes da sinalização	Obrigatório	Presente
Sinalização horizontal - MAC	Não	Sim
Sinalização horizontal - LRV	Não	Não
Sinalização horizontal - MCF	Sim	Irregular
Sinalização horizontal - SIF	Sim	Sim
Sinalização horizontal - LFO-3	Não	Não
Sinalização horizontal - PARE	Sim	Sim
Sinalização vertical - A-41	Sim	Sim
Sinalização vertical - R-1	Sim	Irregular
Sinalização vertical - Placa “Olhe e escute”	Sim	Sim
Sinalização vertical - A-39	Sim	Não

FONTE: Adaptado Conselho Nacional De Trânsito (2023).

A figura 17 ilustra a sinalização da PN02, contendo sinalizações verticais e horizontais. Embora inclua todas as sinalizações necessárias de acordo com o Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (Conselho Nacional De Trânsito, 2021), algumas apresentam discrepâncias em relação aos espaçamentos previstos pela norma.

FIGURA 17. REPRESENTAÇÃO DA SINALIZAÇÃO PN02.



FONTE: A autora (2023).

A marcação de cruzamento rodoferroviário possui espaçamento entre as linhas de 11 metros, inferior aos 15 metros recomendados pelas normas técnicas. Adicionalmente, as sinalizações verticais A-41 e R-1 não estão posicionadas de acordo com a norma, com espaçamento de 2,8 metros na margem esquerda, inferior ao mínimo de 3,6 metros exigido pela norma.

O quadro 10 apresenta de forma sucinta as informações a respeito das sinalizações da PN02, com referência a norma, incluindo informações sobre sua obrigatoriedade.

QUADRO 10 – DISPOSIÇÃO DE SINALIZAÇÕES HORIZONTAIS E VERTICAIS NA PN02.

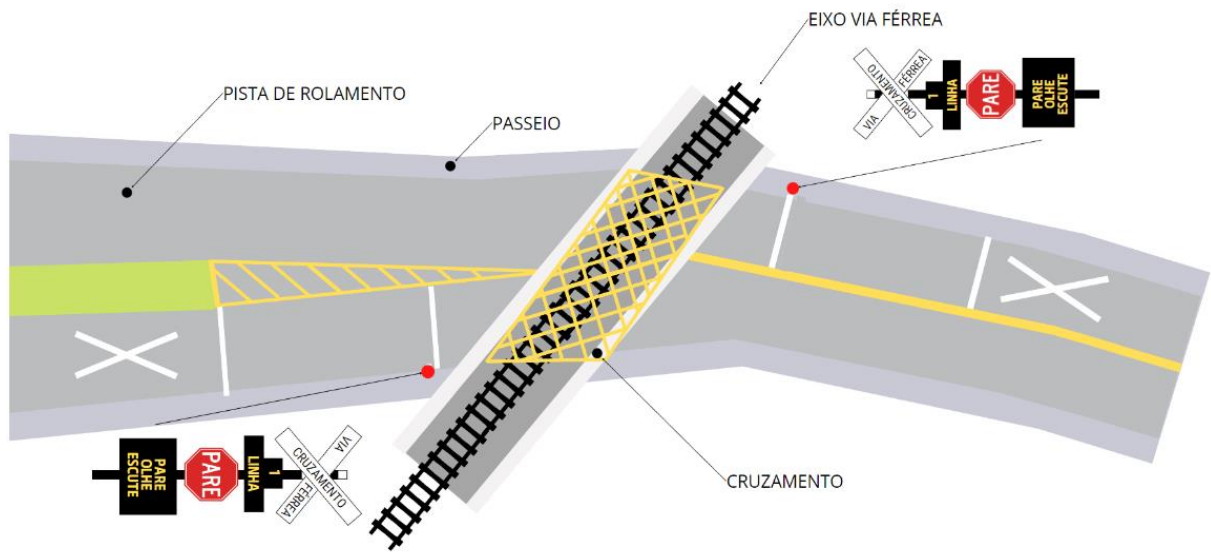
Componentes da sinalização	Obrigatório	Presente
Sinalização horizontal - MAC	Não	Sim
Sinalização horizontal - LRV	Não	Não
Sinalização horizontal - MCF	Sim	Irregular
Sinalização horizontal - SIF	Sim	Sim
Sinalização horizontal - LFO-3	Não	Não
Sinalização horizontal - PARE	Sim	Sim
Sinalização vertical - A-41	Sim	Sim
Sinalização vertical - R-1	Sim	Irregular
Sinalização vertical - Placa "Olhe e escute"	Sim	Sim
Sinalização vertical - A-39	Sim	Sim

FONTE: Adaptado Conselho Nacional De Trânsito (2023).

Diferente do que ocorre na sinalização das outras passagens em nível, a PN02 dispõe de sinalização ativa, ou seja, possui semáforos, dispostos em ambas as direções da via, os quais estão acoplados ao sinal A-39.

A figura 18 apresenta a sinalização da PN03, que inclui tanto sinalizações verticais como sinalizações horizontais, no entanto, existem discrepâncias em relação às especificações estabelecidas pela norma quanto aos espaçamentos dessas sinalizações em relação ao eixo da linha férrea.

FIGURA 18. REPRESENTAÇÃO DA SINALIZAÇÃO NA PN03.



FONTE: A autora (2023).

Na ilustração da PN03, é possível identificar a ausência da sinalização horizontal "PARE", que é utilizada como complemento ao sinal R-1 e é considerada obrigatória de acordo com a norma. Esta sinalização horizontal é importante para reforçar o sinal R-1 e garantir a segurança no trânsito. Além disso, a passagem não apresenta o sinal A-39, sendo obrigatório em todas as PNs que não possuem barreiras.

O QUADRO 11 apresenta uma síntese de sinalizações descritas pela norma, incluindo detalhes sobre sua necessidade em relação a PN03.

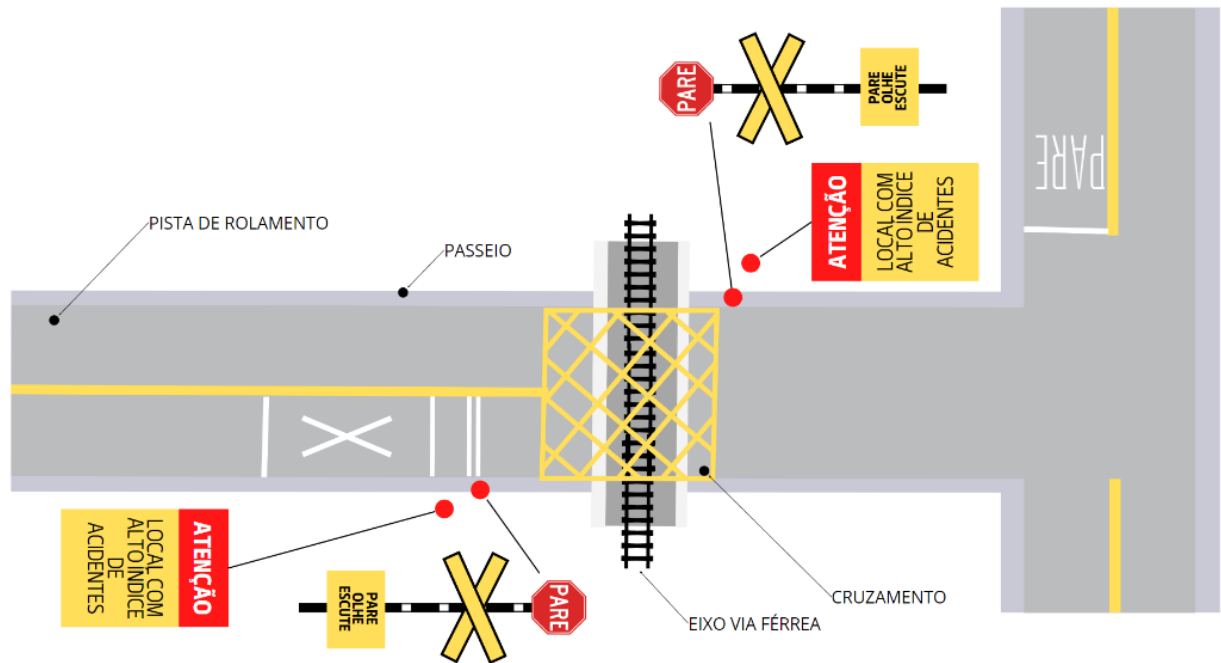
QUADRO 11 – DISPOSIÇÃO DE SINALIZAÇÕES HORIZONTAIS E VERTICAIS NA PN03.

Componentes da sinalização	Obrigatório	Presente
Sinalização horizontal - MAC	Não	Sim
Sinalização horizontal - LRV	Não	Não
Sinalização horizontal - MCF	Sim	Sim
Sinalização horizontal - SIF	Sim	Sim
Sinalização horizontal - LFO-3	Não	Não
Sinalização horizontal - PARE	Sim	Não
Sinalização vertical - A-41	Sim	Sim
Sinalização vertical - R-1	Sim	Sim
Sinalização vertical - Placa "Olhe e escute"	Sim	Sim
Sinalização vertical - A-39	Sim	Não

FONTE: Adaptado Conselho Nacional De Trânsito (2023).

A figura 19 exhibe a sinalização da PN04, que possui ambos os tipos de sinalização, vertical e horizontal. Contudo, são observadas desconformidades com as especificações estabelecidas na norma, quanto ao espaçamento regulamentado.

FIGURA 19. REPRESENTAÇÃO DA SINALIZAÇÃO NA PN04.



FONTE: A autora (2023).

A marcação de cruzamento rodoferroviário não segue as especificações definidas pela norma (espaçamento mínimo de 15 metros), com espaçamento entre as linhas medindo cerca de 11 metros.

A sinalização horizontal "PARE", que é considerada obrigatória pela norma, serve como complemento ao sinal R-1, não está presente na área. Além disso, a sinalização vertical obrigatória A-39 não está presente, sendo obrigatória em todas as PNs sem barreiras de proteção.

O quadro 12 apresenta de forma concisa as sinalizações presentes no Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito (Conselho Nacional De Trânsito, 2021), juntamente com informações a respeito de sua necessidade em relação a PN04.

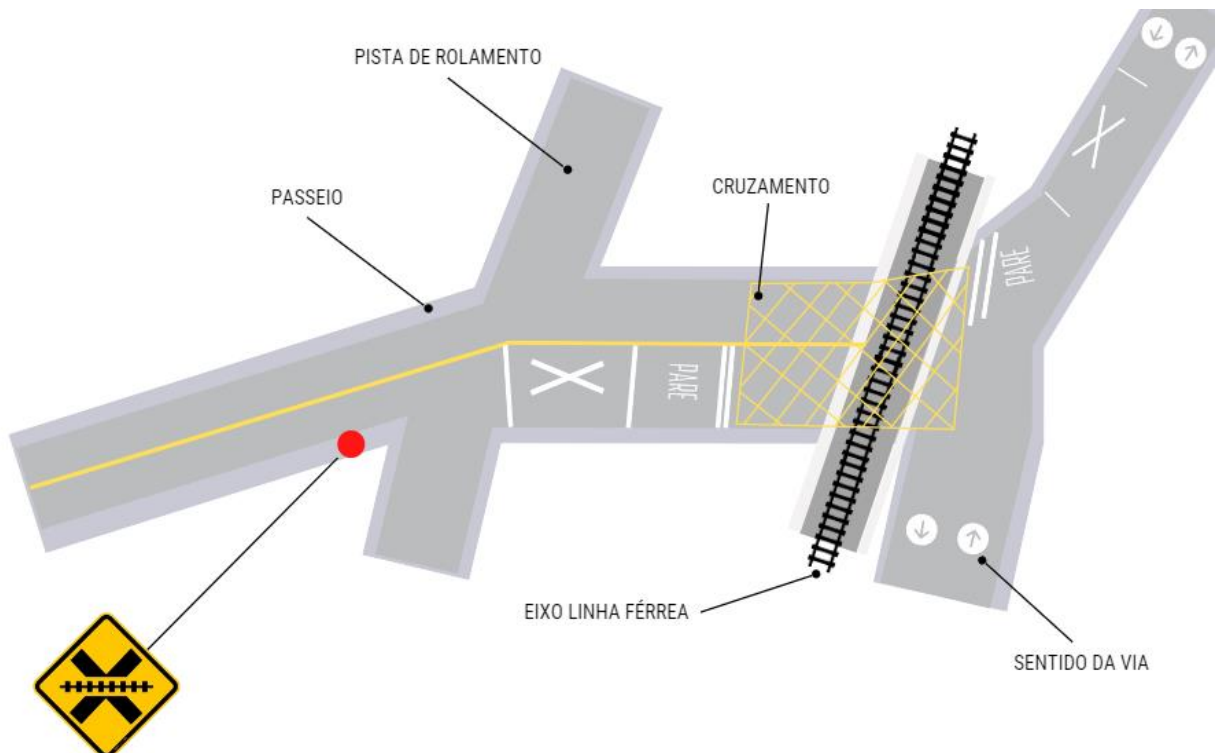
QUADRO 12 – DISPOSIÇÃO DE SINALIZAÇÕES HORIZONTAIS E VERTICAIS NA PN04.

Componentes da sinalização	Obrigatório	Presente
Sinalização horizontal - MAC	Não	Sim
Sinalização horizontal - LRV	Não	Não
Sinalização horizontal - MCF	Sim	Irregular
Sinalização horizontal - SIF	Sim	Sim
Sinalização horizontal - LFO-3	Não	Não
Sinalização horizontal - PARE	Sim	Não
Sinalização vertical - A-41	Sim	Sim
Sinalização vertical - R-1	Sim	Sim
Sinalização vertical - Placa “Olhe e escute”	Sim	Sim
Sinalização vertical - A-39	Sim	Não

FONTE: Adaptado Conselho Nacional De Trânsito (2023).

A figura 20 representa a sinalização da PN05, que dispõe de sinalizações verticais e horizontais. Contudo, verifica-se uma desconformidade entre essa sinalização e as especificações definidas pela norma.

FIGURA 20. REPRESENTAÇÃO DA SINALIZAÇÃO NA PN05.



FONTE: A autora (2023).

Na PN05, a sinalização presente não está em conformidade com a padronização estabelecida pelo Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito

(Conselho Nacional De Trânsito, 2021), e ainda é comprometida pela falta de sinalizações obrigatórias verticais.

É identificada a ausência dos sinais R-1 e da placa "Olhe e escute", que são essenciais para garantir a segurança no trânsito. Além disso, a falta da linha simples contínua (LFO-1) na margem direita do cruzamento impede a separação dos sentidos das vias.

O quadro 13 apresenta uma visão geral de diversas sinalizações definidas pela norma, incluindo dados sobre sua obrigatoriedade, em relação a PN05.

QUADRO 13 – DISPOSIÇÃO DE SINALIZAÇÕES HORIZONTAIS E VERTICAIS NA PN05.

Componentes da sinalização	Obrigatório	Presente
Sinalização horizontal - MAC	Não	Sim
Sinalização horizontal - LRV	Não	Não
Sinalização horizontal - MCF	Sim	Sim
Sinalização horizontal - SIF	Sim	Sim
Sinalização horizontal - LFO-3	Não	Não
Sinalização horizontal - PARE	Sim	Sim
Sinalização vertical - A-41	Sim	Sim
Sinalização vertical - R-1	Sim	Não
Sinalização vertical - Placa "Olhe e escute"	Sim	Não
Sinalização vertical - A-39	Sim	Sim

FONTE: Adaptado Conselho Nacional De Trânsito (2023).

Foi detectada a ausência da placa "pare" na PN05, o que pode resultar em graves acidentes, ferimentos ou até mesmo mortes. A placa "pare" é considerada uma das mais importantes sinalizações de segurança em cruzamentos rodoferroviários, pois alerta os condutores para pararem antes de atravessar a ferrovia e verificarem se não há trens chegando. Além disso, na PN05, foi verificada a falta da placa "Olhe e Escute", que pode aumentar a probabilidade de acidentes e tem como objetivo alertar os condutores para diminuírem a velocidade e prestarem atenção ao tráfego ferroviário e sinalização sonora.

Além disso, foi identificada a ausência de sinalização "cruzamentos rodoferroviários" nas passagens: PN01, PN03 e PN04, reforçando a importância da instalação dessas placas em todos os cruzamentos rodoferroviários.

As sinalizações horizontais e verticais em cruzamentos rodoferroviários são fundamentais para garantir a segurança de motoristas, pedestres e do tráfego ferroviário. Estas sinalizações devem ser claras, visíveis e a uma distância

adequada para alertar sobre a presença da ferrovia. Além disso, é importante que haja boa iluminação no local, para garantir a visibilidade da sinalização mesmo durante a noite. O objetivo dessas sinalizações é informar sobre a presença da linha férrea no local, indicar a posição da via férrea em relação à via de veículos e informar o comportamento esperado dos usuários naquele cruzamento.

Sem a devida sinalização, o risco de acidentes é significativamente maior, já que pessoas e veículos podem atravessar a ferrovia sem perceber a chegada de um trem. Portanto, é fundamental que os cruzamentos rodoferroviários sejam devidamente sinalizados para garantir a segurança de todos os envolvidos e prevenir acidentes.

4.2 RELEVO DAS PN'S CRÍTICAS

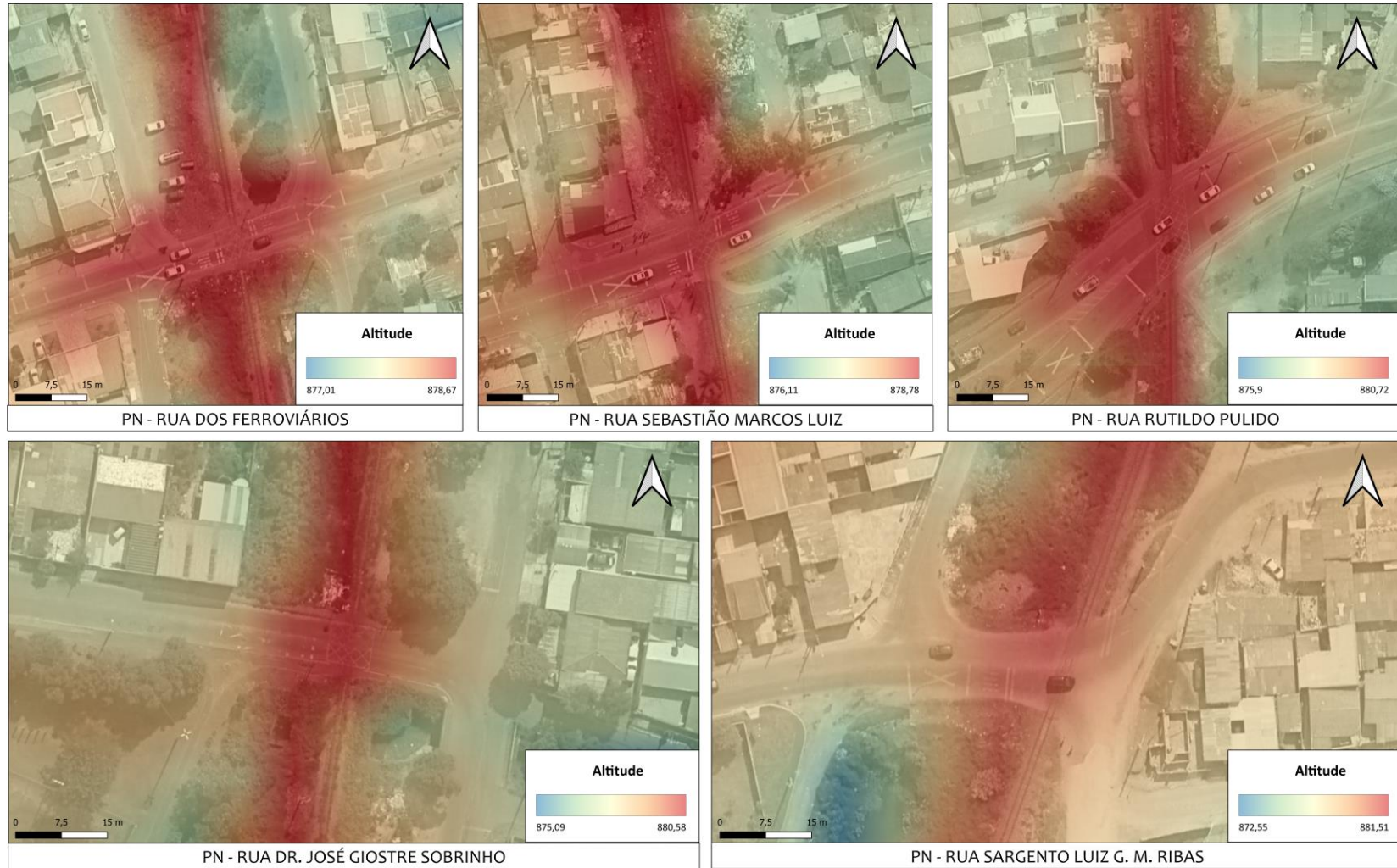
A figura 21 mostra o relevo nos cinco cruzamentos rodoferroviários analisados. Observa-se que todos apresentam a linha férrea situada em uma elevação superior, com uma diferença de nível máxima de até 2 metros em relação à via rodoviária.

O posicionamento elevado das ferrovias em cruzamentos rodoferroviários é crucial para a segurança. Isso permite uma visibilidade melhor da via férrea e do tráfego ferroviário, prevenindo acidentes. Além disso, a drenagem da água é facilitada, evitando a formação de poças e alagamentos, que podem causar danos a estrutura férrea, aumentando o risco de ocorrência de acidentes.

Também pode-se destacar que os veículos rodoviários, ao realizar a travessia nos cruzamentos rodoferroviários com maiores inclinações, tendem a reduzir a velocidade, reduzindo o risco de acidentes.

Além disso, pode-se utilizar os modelos digitais de terreno dos cruzamentos rodoferroviários para análises de visibilidade, considerando-se curvas verticais, curvas horizontais, combinações de curvas, entre outros.

FIGURA 21. MAPA DE RELEVO DAS PN'S CRÍTICAS, SEGUNDO PROSEFER (2011 APUD CASTORINO, 2014).



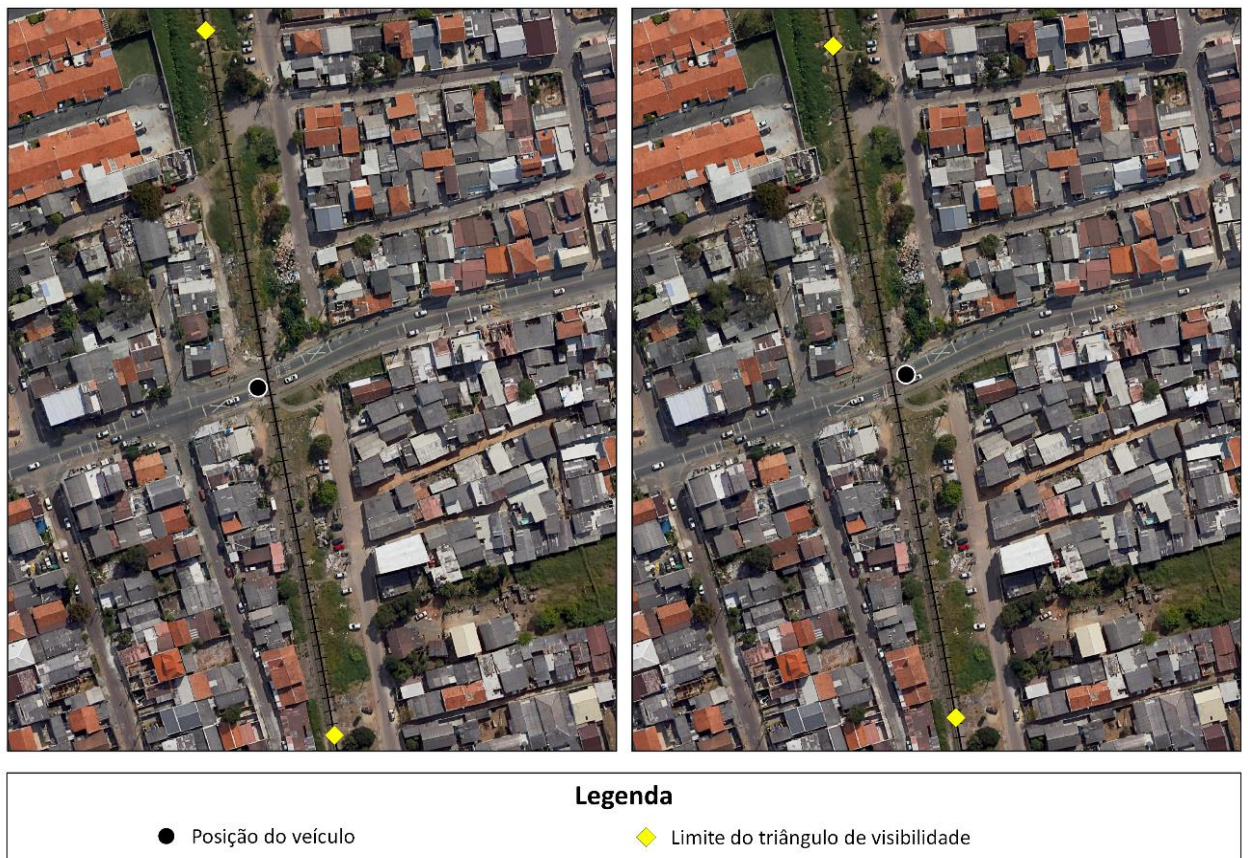
FONTE: A autora (2023).

4.3 TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE DAS PN'S CRÍTICAS

O cálculo e a representação do triângulo de visibilidade para um carro em movimento e parado foram efetuados nas PN02, PN03 e PN04, devido à falta de dados das demais PNs.

A análise do triângulo de visibilidade para um veículo parado na PN02, como mostra a figura 22, revela que não há obstruções na linha de visão do motorista. As edificações e árvores estão situadas atrás da faixa de parada. No entanto, conforme mencionado anteriormente, as sinalizações verticais de parada obrigatória estão posicionadas a uma distância do eixo da linha ferroviária menor do que o previsto nas normas.

FIGURA 22. REPRESENTAÇÃO DA POSIÇÃO DOS VÉRTICES DOS TRIÂNGULOS DE VISIBILIDADE DA PN02.



FONTE: A autora (2023).

A análise do triângulo de visibilidade para um veículo em movimento na PN02, ilustrado na figura 23, aponta que as edificações atuam como obstáculos, impedindo que o motorista tenha visibilidade do trem à medida que se aproxima do cruzamento rodoferroviário.

Devido a presença de edificações o ângulo de visão do motorista foi reduzido em 69%, indo de aproximadamente 94° para 29° , para a margem direita e 74%, indo de aproximadamente 92° para 24° , para margem esquerda.

FIGURA 23. REPRESENTAÇÃO DO TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE NA PN02.



FONTE: A autora (2023).

Analisando o triângulo de visibilidade para um veículo parado na PN03, como mostra a figura 24, é evidente que, ao contrário da PN02, há obstáculos na visada do motorista em ambos os lados da ferrovia. As árvores estão posicionadas dentro do triângulo de visibilidade, tendo visibilidade maior na margem esquerda e visibilidade menor na margem direita, devido a densidade de árvores nesta região.

FIGURA 24. REPRESENTAÇÃO DA POSIÇÃO DOS VÉRTICES DOS TRIÂNGULOS DE VISIBILIDADE DA PN03.

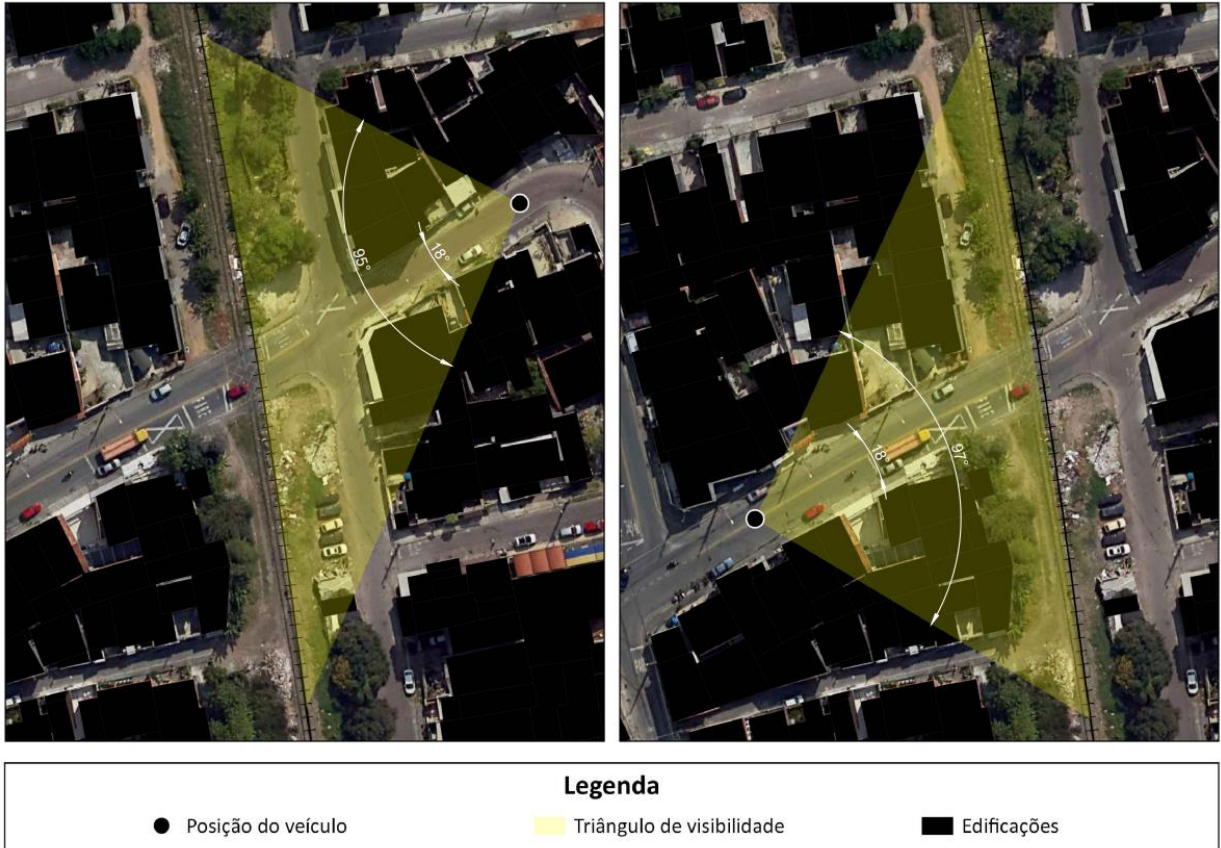


FONTE: A autora (2023).

A análise do triângulo de visibilidade para um veículo em movimento na PN03, mostrado na figura 25, indica que as edificações impedem que o motorista tenha visão do trem enquanto ele se aproxima do cruzamento rodoferroviário. Devido à presença de obstruções, o ângulo de visão foi significativamente reduzido em ambas margens da ferrovia.

A visibilidade em ambas as margens foi reduzida em cerca de 81%. O ângulo de visão do motorista diminuiu de aproximadamente 95° para 18° na margem direita da linha férrea, enquanto na margem esquerda ocorreu uma redução de 97° para 18° .

FIGURA 25. REPRESENTAÇÃO DO TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE NA PN03.



FONTE: A autora (2023).

A avaliação do triângulo de visibilidade para o veículo que está parado na PN04, conforme a figura 26, é possível verificar que não existem obstáculos temporários ou permanentes na linha de visão do condutor. Na margem esquerda do cruzamento rodoferroviário, não existem árvores que possam impedir a visão do condutor, diferentemente da margem direita que possui uma densidade alta de árvores que impede, que o condutor, tenha a visualização do trem.

FIGURA 26. REPRESENTAÇÃO DA POSIÇÃO DOS VÉRTICES DOS TRIÂNGULOS DE VISIBILIDADE DA PN04.

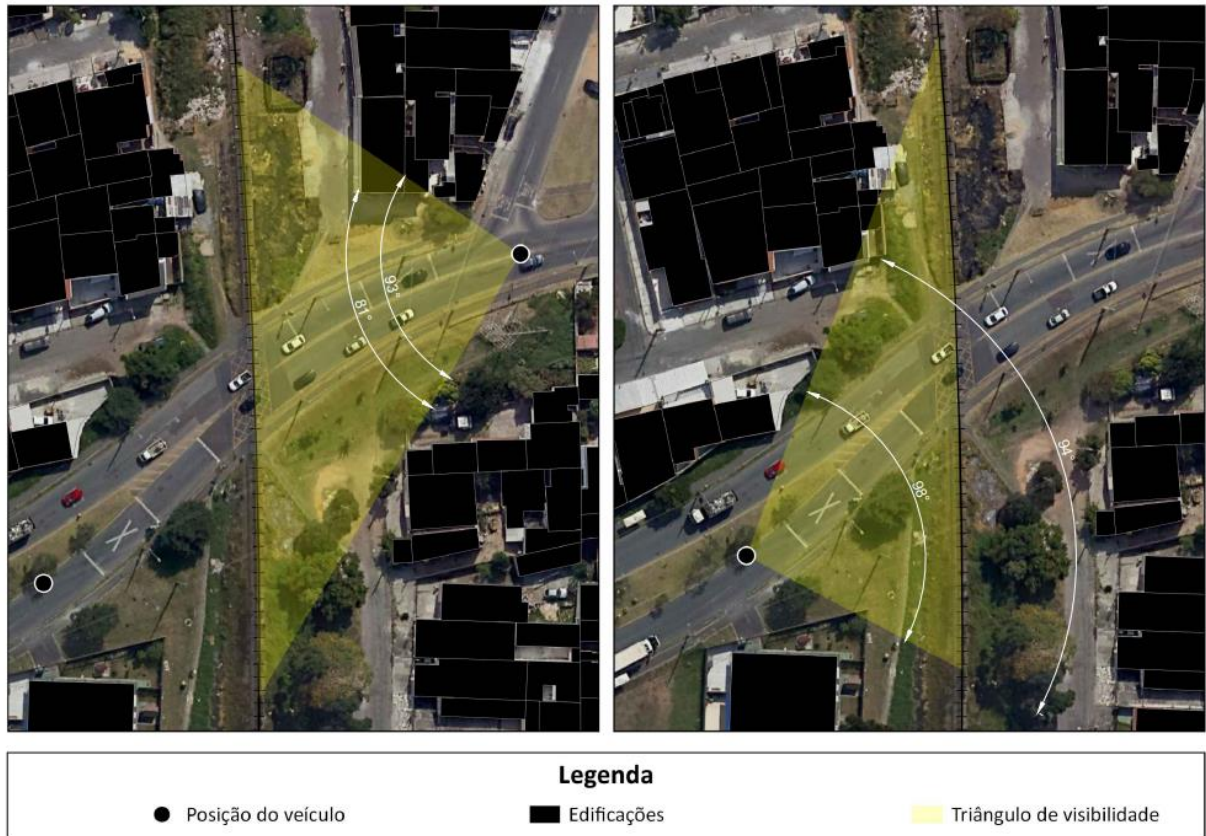


FONTE: A autora (2023).

A análise do triângulo de visibilidade para um veículo em movimento na PN04, mostrada na figura 27, aponta que as edificações impedem a visão do motorista do trem enquanto ele se aproxima do cruzamento rodoferroviário. A presença dessas obstruções resultou em uma significativa redução no ângulo de visão em ambas as margens da ferrovia.

Diferente dos outros casos, as obstruções presentes no interior do triângulo de visibilidade são menores. O ângulo de visão na margem direita foi reduzido em 13%, enquanto que na margem esquerda foi reduzido em 5%. A redução no ângulo de visão ocorreu de aproximadamente 93° a 81° na margem direita e de aproximadamente 98° a 93° na margem esquerda.

FIGURA 27. REPRESENTAÇÃO DO TRIÂNGULO DE VISIBILIDADE NA PN04.



FONTE: A autora (2023).

O triângulo de visibilidade é fundamental para a segurança do tráfego em cruzamentos rodoferroviários. As normas exigem que a construção e planejamento preservem a visibilidade adequada, evitando obstruções permanentes como edificações e árvores, porém em quase todas as PNs estudadas, foram construídas edificações, além da presença de árvores na área do triângulo de visibilidade do veículo em movimento, dificultando aos motoristas realizar a avaliação a situação de forma clara e tomar decisões seguras, antes de se aproximar da passagem em nível.

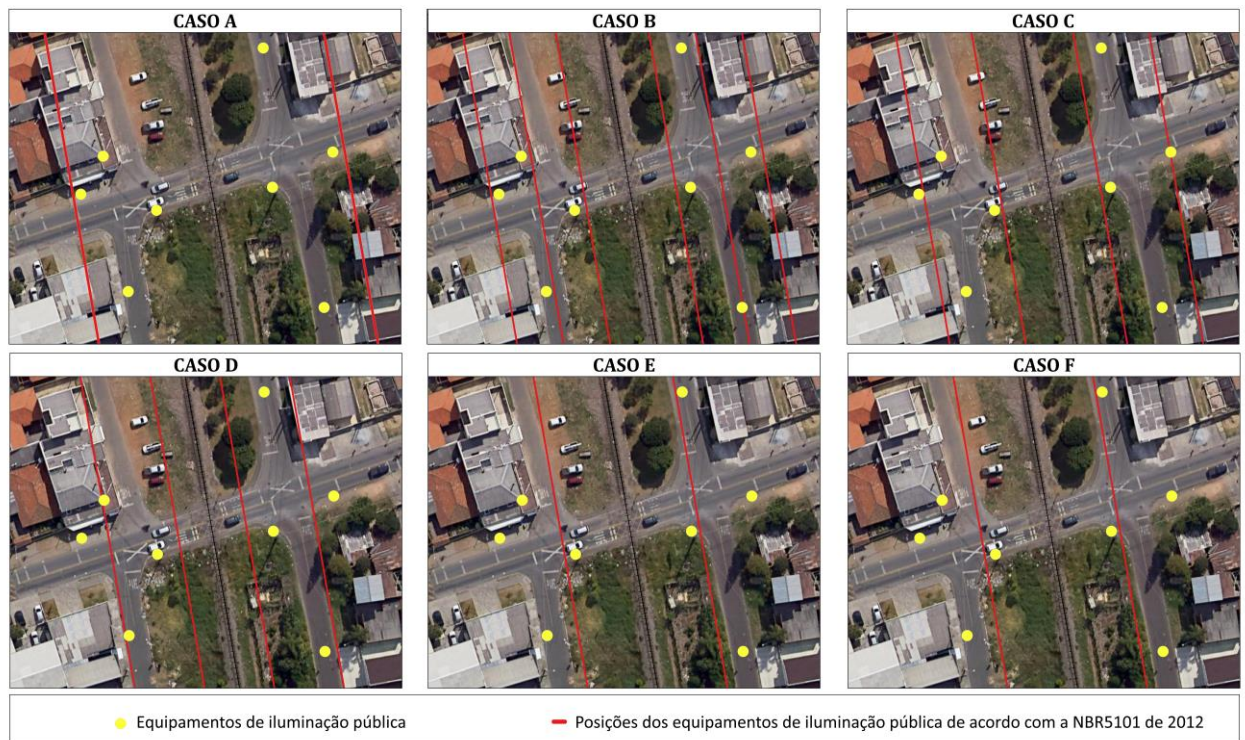
Além disso, quando há obstruções no campo de visão do condutor, a percepção visual é prejudicada, elevando o risco de acidentes. Devido à omissão da sinalização de tráfego, responsável por indicar a existência de uma interseção ferroviária e uma parada obrigatória, reduzindo o tempo de resposta do condutor.

4.4 DISPONIBILIDADE DE POSTES DE ILUMINAÇÃO NAS PN'S CRÍTICAS

Neste tópico, será abordado a disposição dos postes de iluminação pública das PNs críticas, nas quais as linhas vermelhas indicam a posição dos postes de iluminação pública, em cada caso em relação à norma NBR 5101 (ABNT, 2012). Para essa avaliação não se levou em consideração a posição exata das linhas.

Na figura 28, nota-se que a disposição dos postes de iluminação pública da PN01 se aplica somente na situação A da norma, na qual dispõe de duas luminárias posicionadas a cerca de 34 metros do eixo da linha férrea, situados em posições opostas em relação a pista de rolamento.

FIGURA 28. REPRESENTAÇÃO DA POSIÇÃO DOS POSTES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA, SEGUNDO A NBR5101 (2012), PARA A PN01.



FONTE: A autora (2023).

Ao avaliar a distribuição dos postes de iluminação pública, verifica-se a falta de iluminação na região noroeste do cruzamento ferroviário, tornando-a uma área escura e comprometendo a visibilidade.

Ao analisar a figura 29, pode-se constatar que a PN02 não atende a nenhum dos casos estabelecidos nas recomendações da norma. Apresentando uma zona de oclusão na região norte da passagem, devido à falta de luminárias, ainda que exista uma luminária na região nordeste, porém oclusa pela presença de vegetação.

FIGURA 29. REPRESENTAÇÃO DA POSIÇÃO DOS POSTES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA, SEGUNDO A NBR5101 (2012), PARA A PN02,

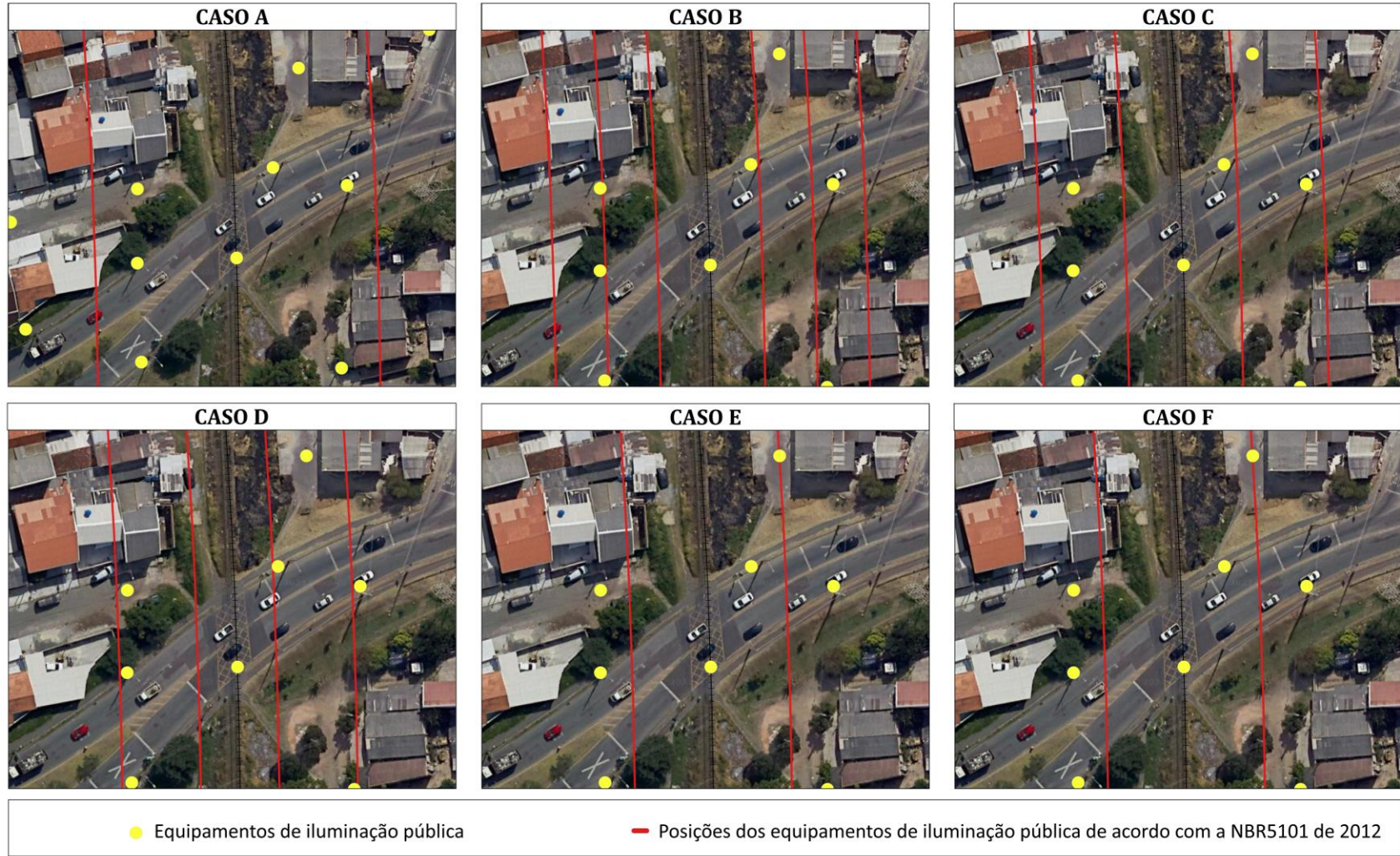


FONTE: A autora (2023).

Ao examinar a figura 30, observa-se que a PN03 não segue os padrões estabelecidos pela norma, porém se assemelha ao caso D, o qual apresenta uma disposição diagonal dos postes de iluminação pública, com dois equipamentos em cada lado da ferrovia e dois equipamentos em cada lado da pista de rolamento.

Ainda que a passagem não esteja em conformidade com a norma, a mesma apresenta boa iluminação, dispondo de luminárias distribuídas por toda sua região.

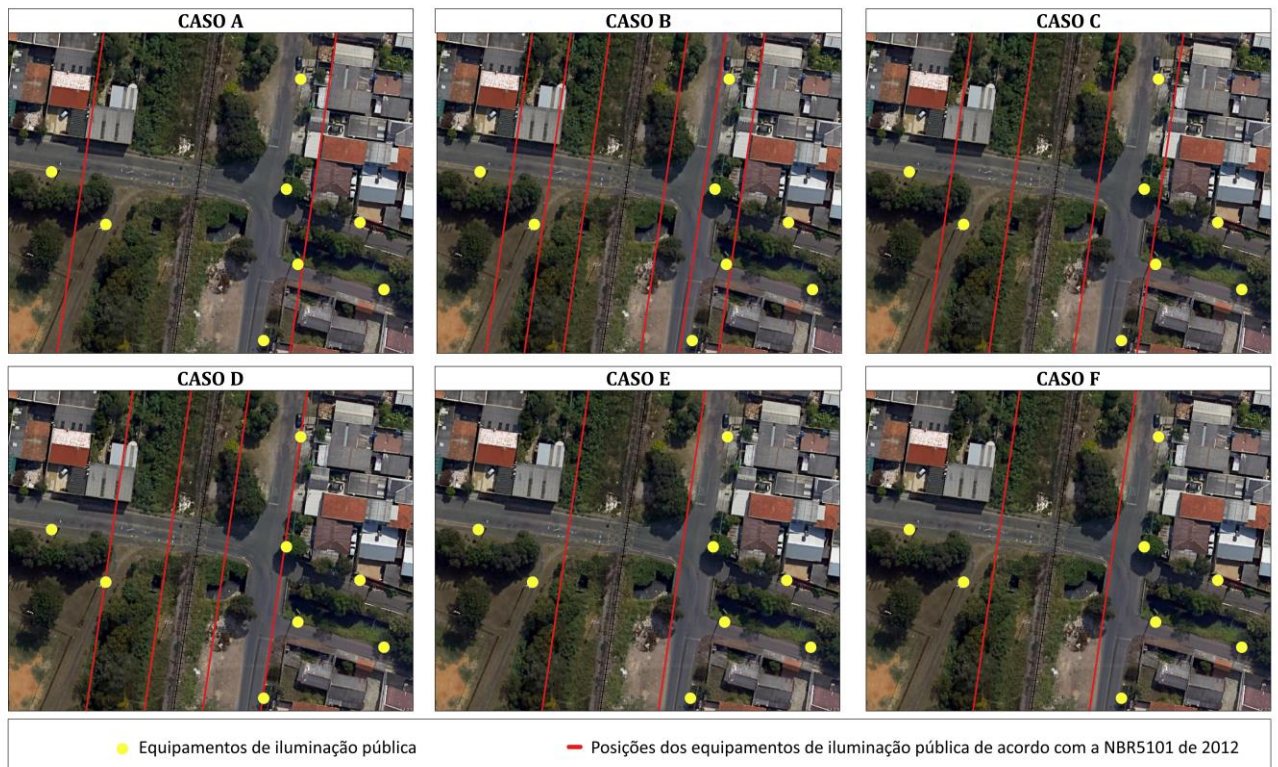
FIGURA 30. REPRESENTAÇÃO DA POSIÇÃO DOS POSTES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA, SEGUNDO A NBR5101 (2012), PARA A PN03.



FONTE: A autora (2023).

Ao avaliar a figura 31, verifica-se que a PN04 não segue nenhum dos padrões propostos pela norma. O poste de iluminação pública disposto na margem leste está situado atrás de vegetação, criando uma zona de oclusão na região norte do cruzamento rodoferroviário, além disso a luminária presente na margem oeste do cruzamento deveria estar posicionada no passeio. Deste modo, a região norte sofre grave oclusão, não sendo iluminada por nenhum equipamento.

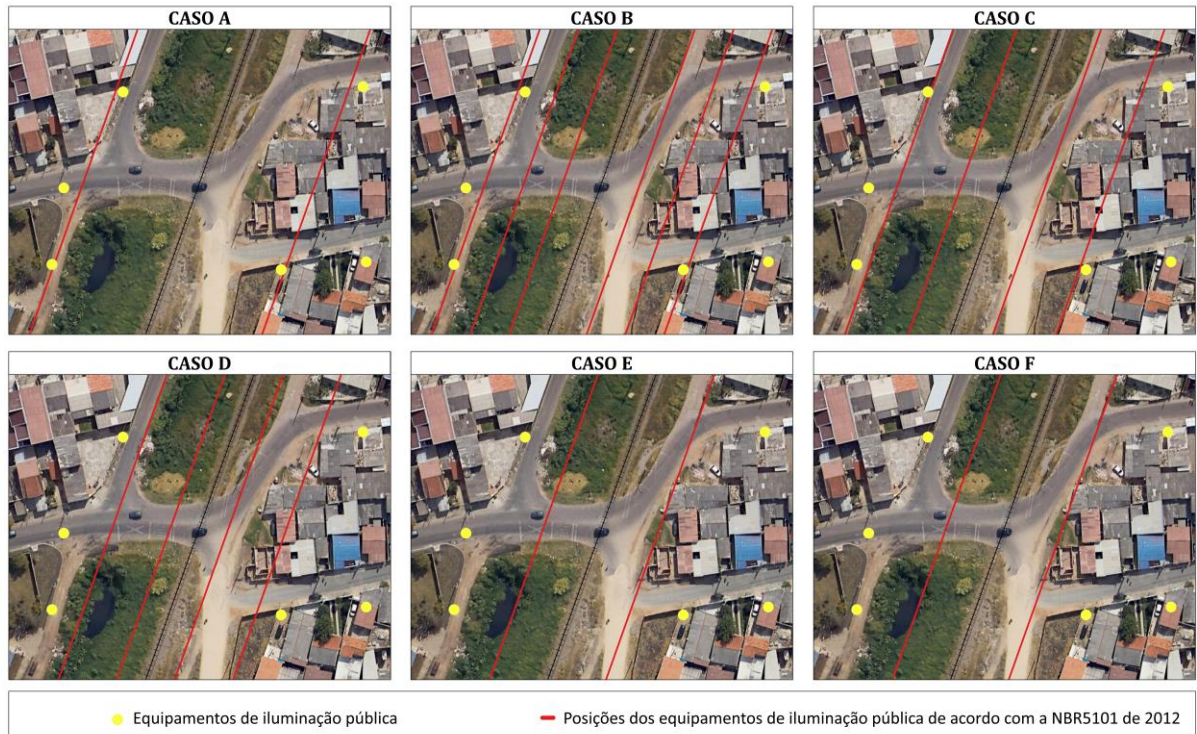
FIGURA 31. REPRESENTAÇÃO DA POSIÇÃO DOS POSTES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA, SEGUNDO A NBR5101 (2012), PARA A PN04.



FONTE: A autora (2023).

A PN05 ilustrada na figura 32, está de acordo com apenas o caso A da norma vigente, na qual apresenta a disposição de postes de iluminação em ambas as margens da ferrovia e em ambos os passeios da pista de rolamento. Ainda que esteja de acordo com a norma, este cruzamento possui oclusão na região leste, tendo em vista a existência de edificações que atuam como barreiras, dificultando a visibilidade.

FIGURA 32. REPRESENTAÇÃO DA POSIÇÃO DOS POSTES DE ILUMINAÇÃO PÚBLICA, SEGUNDO A NBR5101 (2012), PARA A PN05.



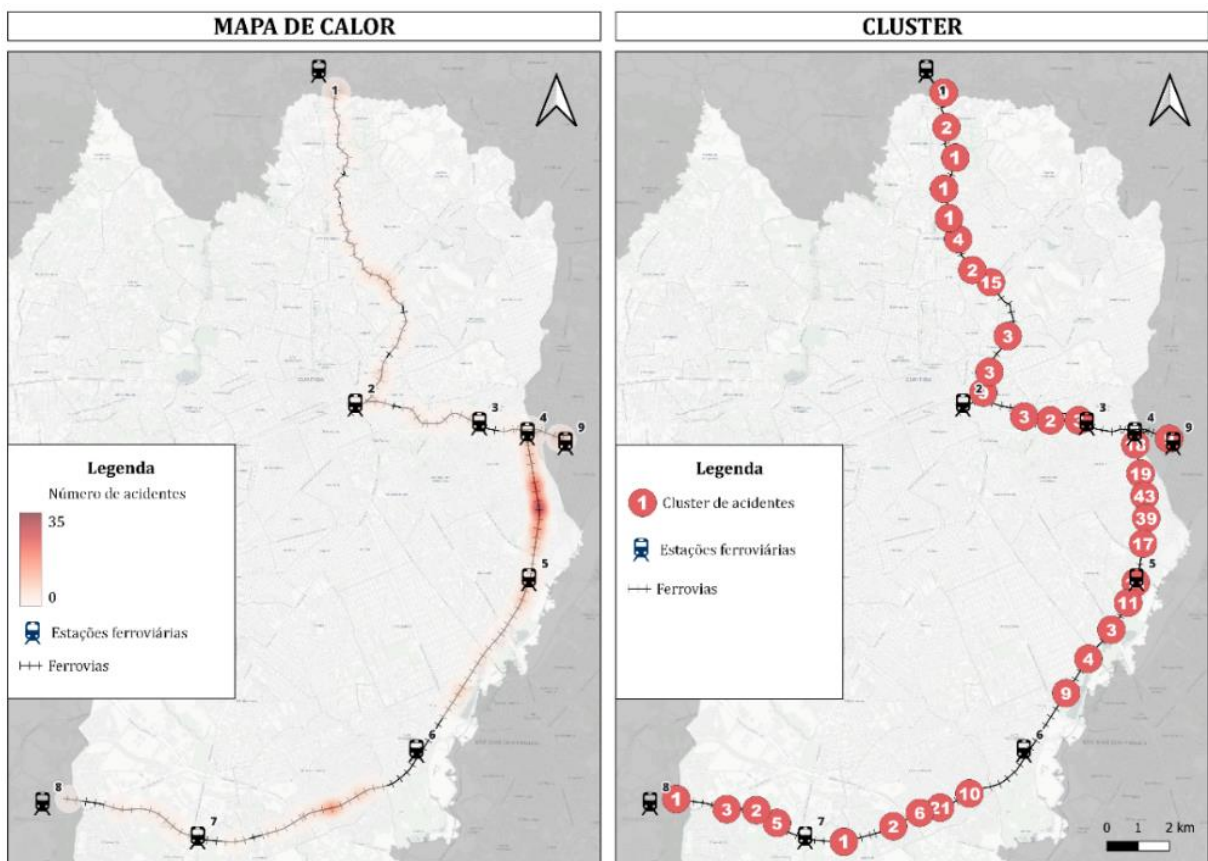
FONTE: A autora (2023).

A falta de iluminação pública adequada nas PNs críticas representa um grande risco para os cruzamentos rodoferroviários. De acordo com a NBR5101 (ABNT, 2012), a disponibilidade de postes de iluminação pública é fundamental para garantir a segurança das pessoas e dos veículos que trafegam pelos cruzamentos. A iluminação adequada melhora a visibilidade, especialmente durante períodos de baixa luminosidade, como a noite ou em condições climáticas adversas como neblina ou chuva. É importante destacar que a iluminação adequada também ajuda a garantir que os motoristas possam ver claramente a sinalização e outros obstáculos, o que é fundamental para garantir a segurança no cruzamento.

4.5 DEFINIÇÃO DAS PNPS IRREGULARES

Na figura 33, a distribuição dos acidentes ferroviários em Curitiba é apresentada para definição da área crítica de estudo, por meio da elaboração e percepção visual de dois tipos de mapas. O mapa de calor mostra a concentração de ocorrências por meio da intensidade de cor, enquanto o mapa de cluster exhibe grupos de acidentes. Ao avaliar estes mapas, é possível notar que as áreas com maior saturação no mapa de calor (a esquerda) e com maior número de ocorrências nos pontos no mapa de cluster (a direita) são aquelas com mais acidentes rodoferroviários.

FIGURA 33. MAPA DE CALOR E DE CLUSTER DOS ACIDENTES FERROVIÁRIOS EM CURITIBA, DE 2016 A 2022.



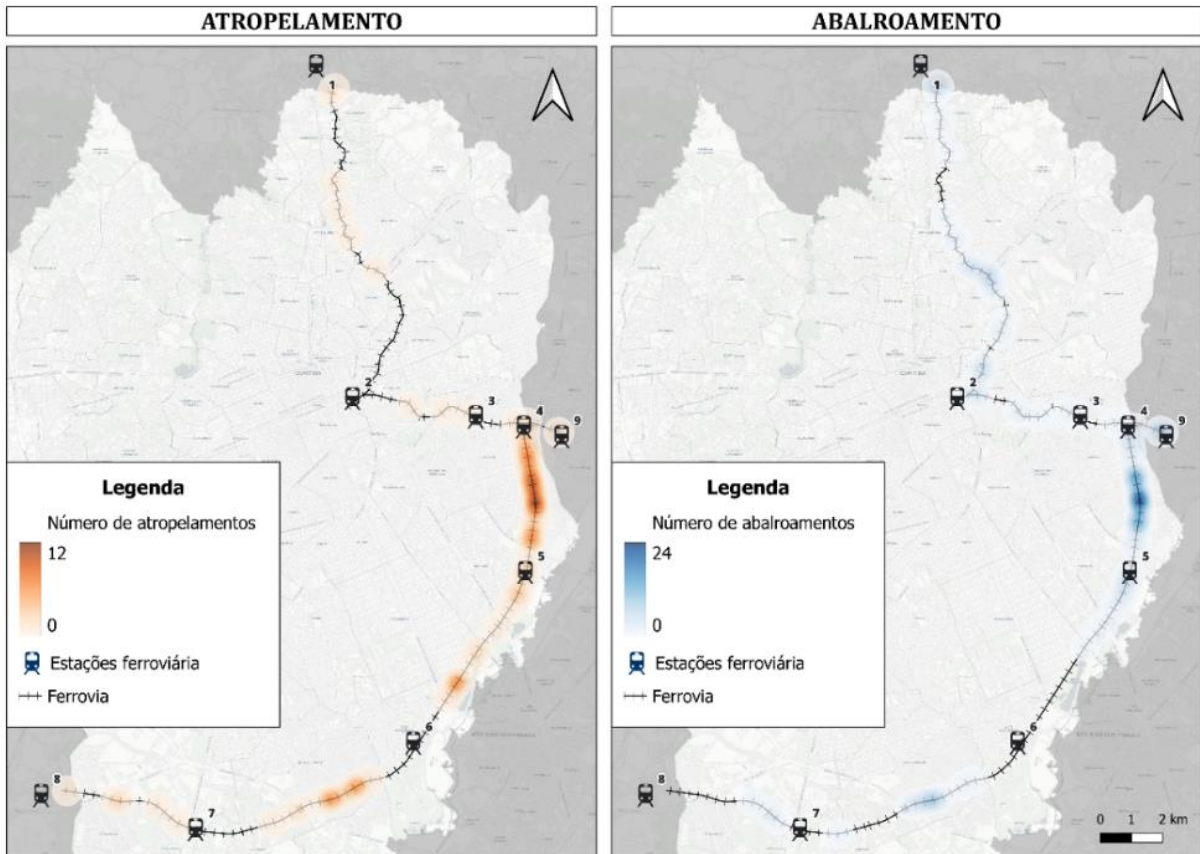
FONTE: A autora (2023).

As numerações das estações ferroviárias determinam sua nomenclatura, dadas por: 1 – Cachoeira do Bom Jesus, 2 – Curitiba, 3 – Teodoro Stresser, 4 – KM 103, 5 – KM 108, 6 – Iguaçu, 7 – Tatuquara, 8 – Araucária Terminal, 9 – Pinhais.

A análise da figura 33 indica que os acidentes de abalroamento e atropelamento possuem comportamentos distintos. O número de PNPs irregular é maior do que o número de PN de veículo irregular em Curitiba, tornando-se difícil identificar qual PNP apresenta o maior índice de acidentes. Isso se deve à grande quantidade de PNPs presentes nos bairros analisados, com espaçamentos menores do que um quilômetro.

Porém ao se observar o mapa da figura 34, percebe-se que ambos tipos de acidentes possuem maior ocorrência na região entre a estação ferroviária 4 – KM 103 e 5 – KM 108.

FIGURA 34. MAPA DE CALOR POR NATUREZA DOS ACIDENTES FERROVIÁRIOS OCORRIDOS EM CURITIBA, DE 2016 A 2022.

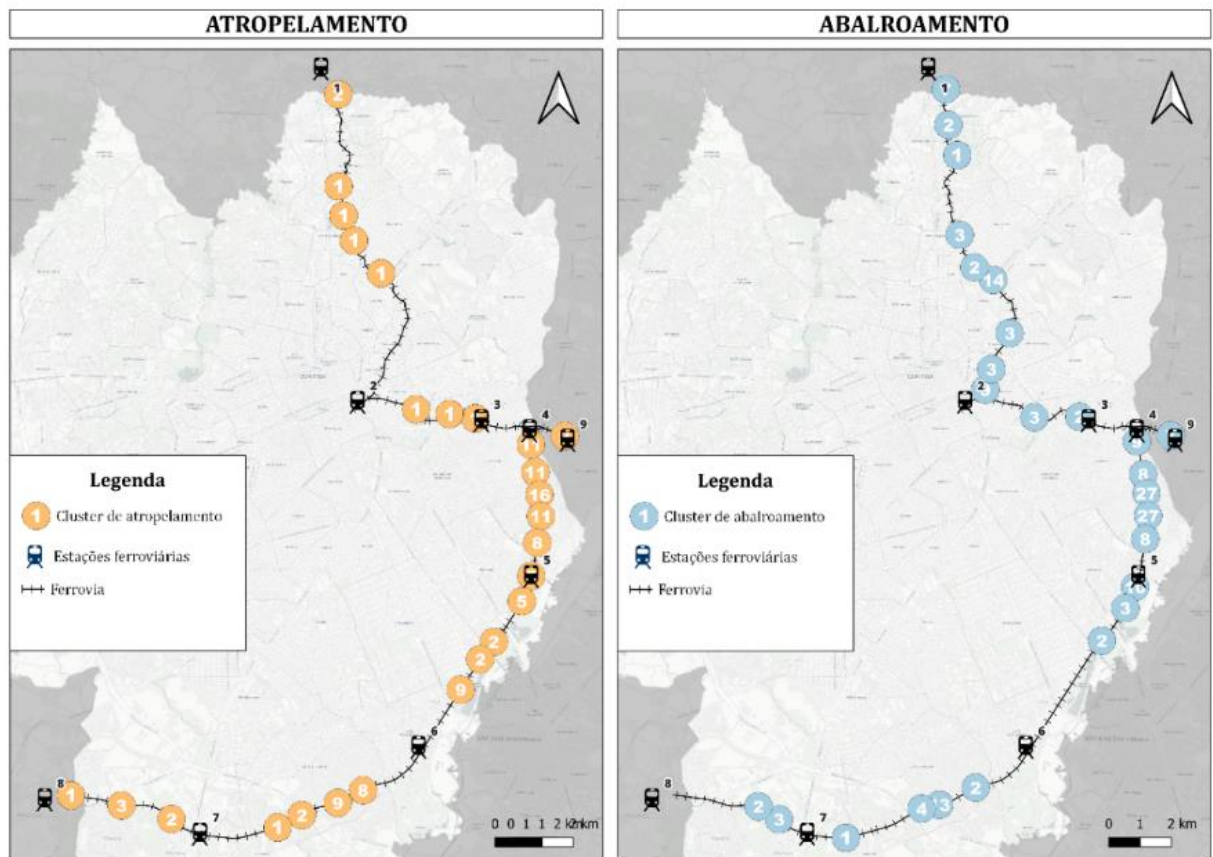


FONTE: A autora (2023).

O mesmo ocorre no mapa expresso na figura 35. Porém pode-se perceber que a distribuição se comporta de maneira diferente para os dois tipos de acidentes. Os acidentes de natureza abalroamento, ocorrem de forma mais concentrada, enquanto os acidentes de natureza atropelamento, ocorrem de forma mais esparsa,

uma vez que há dinâmica da travessia a pé pela ferrovia é mais fácil, permitindo que o pedestre atravesse em qualquer lugar, mesmo com altos níveis ou irregularidades no solo.

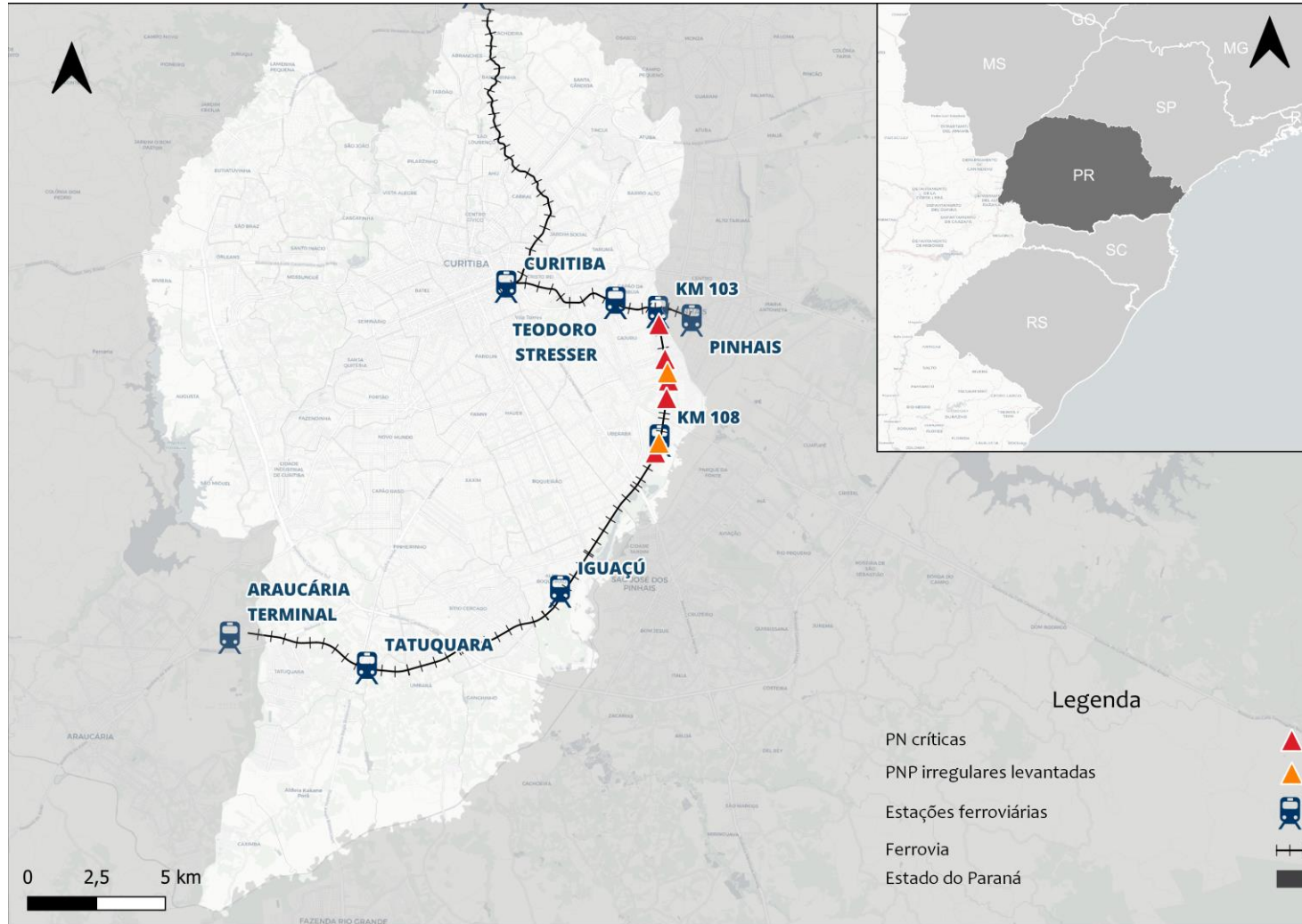
FIGURA 35. MAPA DE CLUSTER DOS ACIDENTES FERROVIÁRIOS OCORRIDOS EM CURITIBA, DE 2016 A 2022.



FONTE: A autora (2023).

Na figura 36 é possível visualizar o mapa de localização das PNs e PNPs de estudo, bem como a disposição da linha férrea e estações ferroviárias no município de Curitiba.

FIGURA 36. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DAS PN'S E PNP'S IRREGULARES ANALISADAS NESTE ESTUDO.

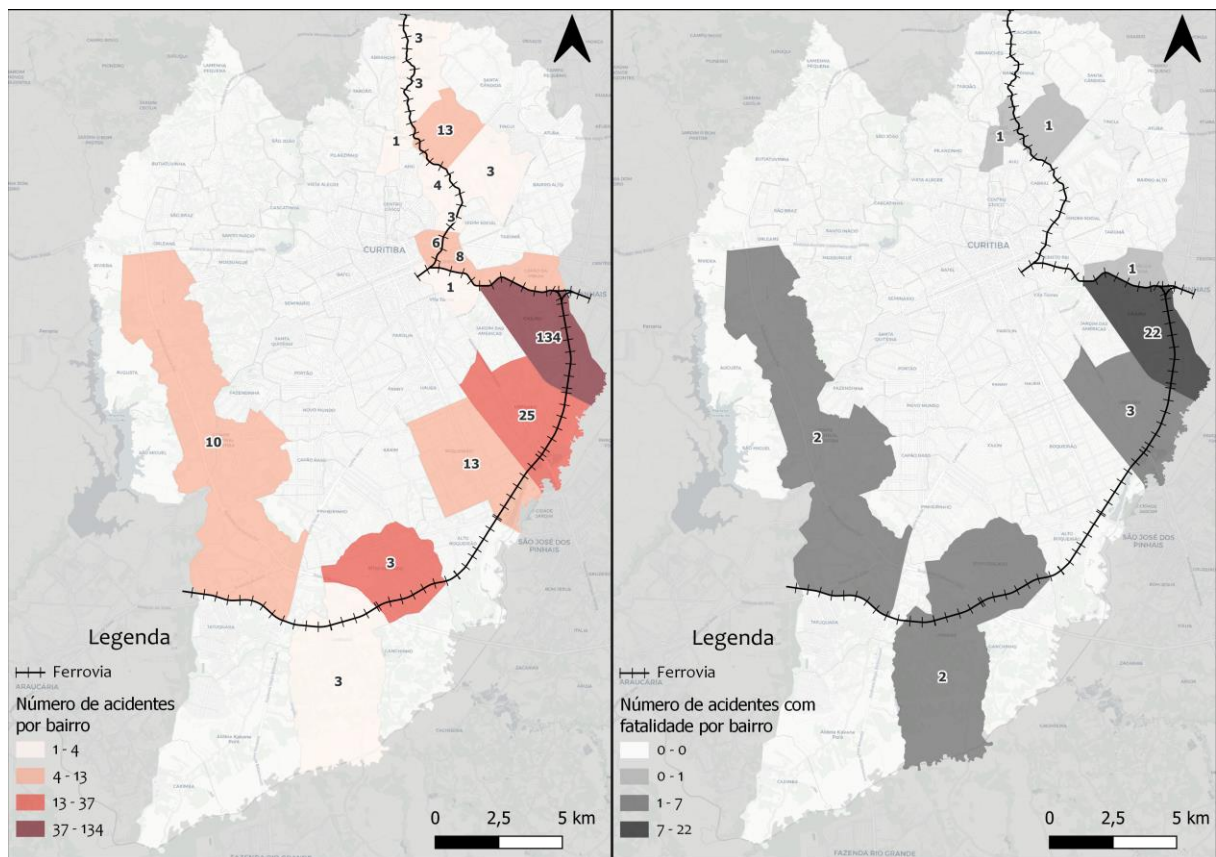


FONTE: A autora (2023).

Como pode ser visualizado na figura 37 à esquerda, o Cajuru, Uberaba são os bairros que dispõem do maior número de acidentes, além disso na figura 37, à direita pode-se visualizar os bairros que possuem o maior número de acidentes com morte, na qual novamente o Cajuru está em primeiro lugar.

Logo devido à alta quantidade de acidentes ocorridos nos bairros Cajuru e Uberaba, em Curitiba, foram selecionadas duas paradas não obrigatórias para a realização de levantamento e posterior análise (expressas na figura 38).

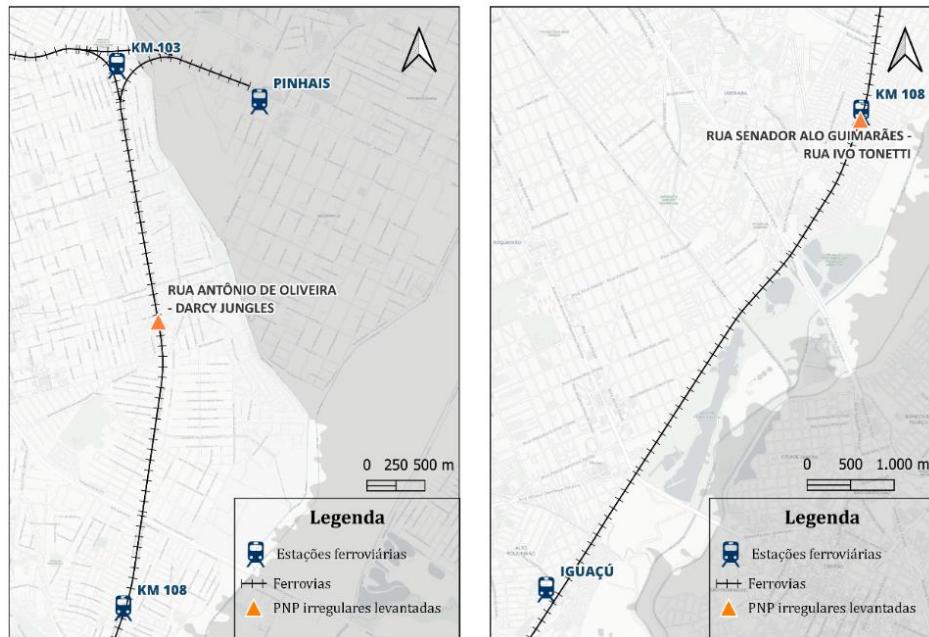
FIGURA 37. ACIDENTES FERROVIÁRIOS POR BAIRRO.



FONTE: A autora (2023).

A PNP localizada no bairro Cajuru foi escolhida devido ao alto número de acidentes na região, enquanto a PNP no bairro Uberaba foi selecionada com base na orientação dos colaboradores de segurança da concessionária, devido à sua melhor infraestrutura (dispondo de ponte e escada concretada) e maior fluxo de pessoas.

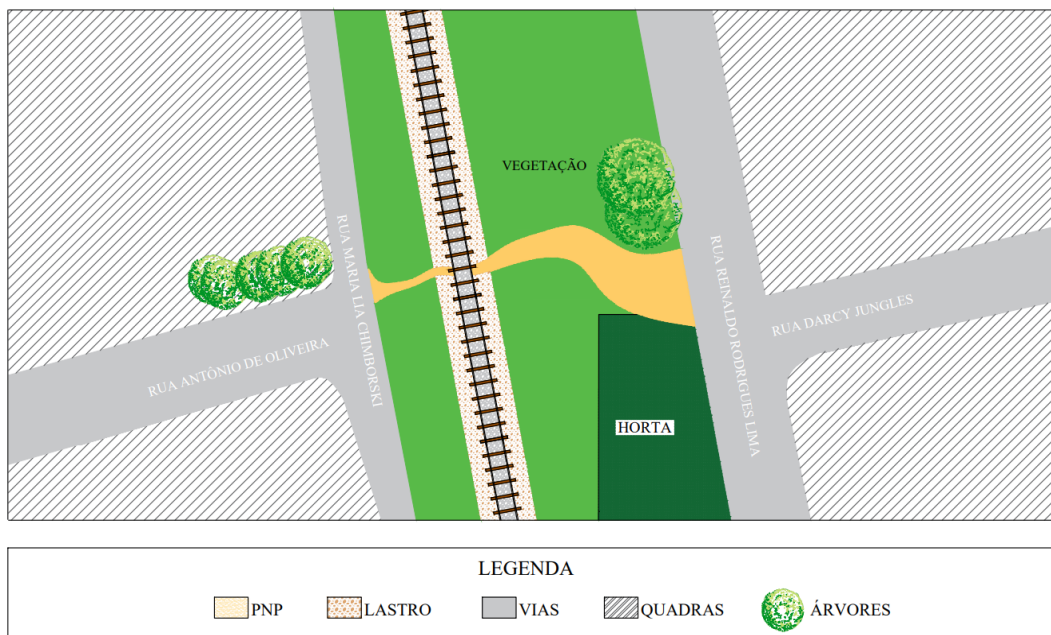
FIGURA 38. MAPA DE LOCALIZAÇÃO DOS PNP'S IRREGULARES LEVANTADAS E ESTUDADAS.



FONTE: A autora (2023).

A figura 39, demonstra uma representação da PNP do cruzamento da Rua Antônio de Oliveira e Rua Darcy Jungles. Nesta representação é possível verificar que a PNP irregular – passagem em nível de pedestre não oficiais, apresenta apenas uma linha férrea, além da presença de resíduos em suas duas margens.

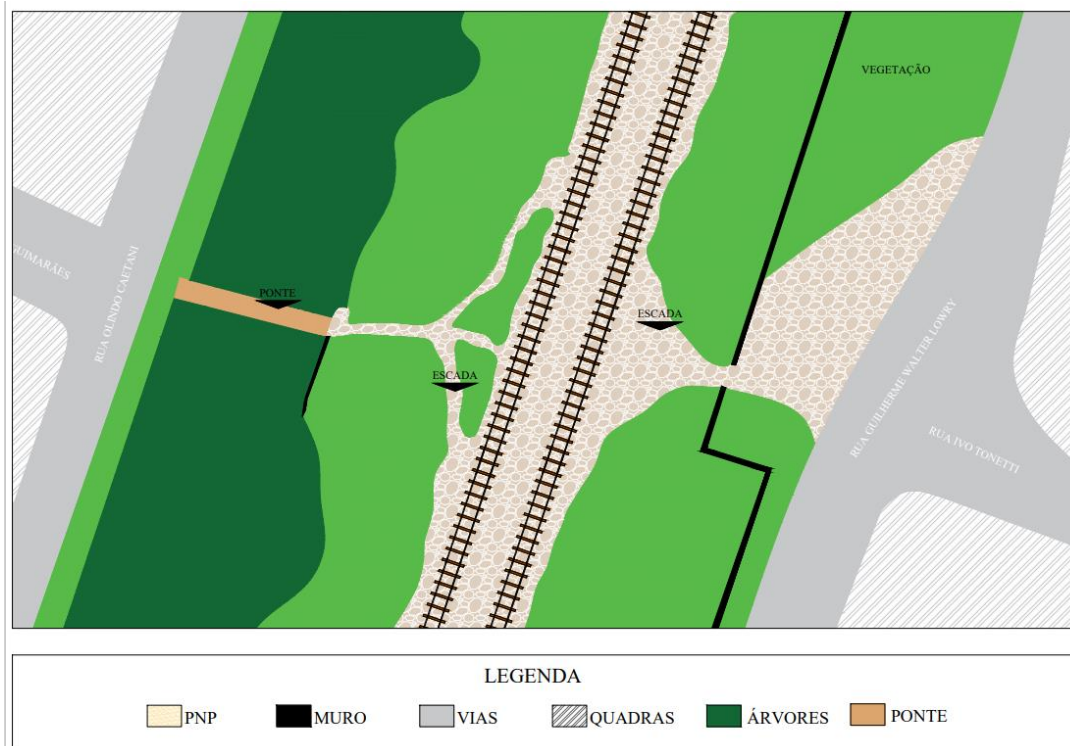
FIGURA 39. REPRESENTAÇÃO DA PNP DO BAIRRO CAJURU.



FONTE: A autora (2023).

A imagem apresentada na figura 40 mostra a PNP irregular, dispõe de uma ponte do cruzamento com a Rua Senador Alo Guimarães. É possível perceber que a passagem é cercada por muros em ambos os lados, e que existem duas linhas férreas presentes no local. Além disso, a margem oeste da PNP pode ser acessada por meio de uma ponte de madeira. Para auxiliar os pedestres, foram construídas calçadas nas duas margens da PNP, facilitando a subida até a ferrovia.

FIGURA 40. REPRESENTAÇÃO DA PNP DO BAIRRO UBERABA.



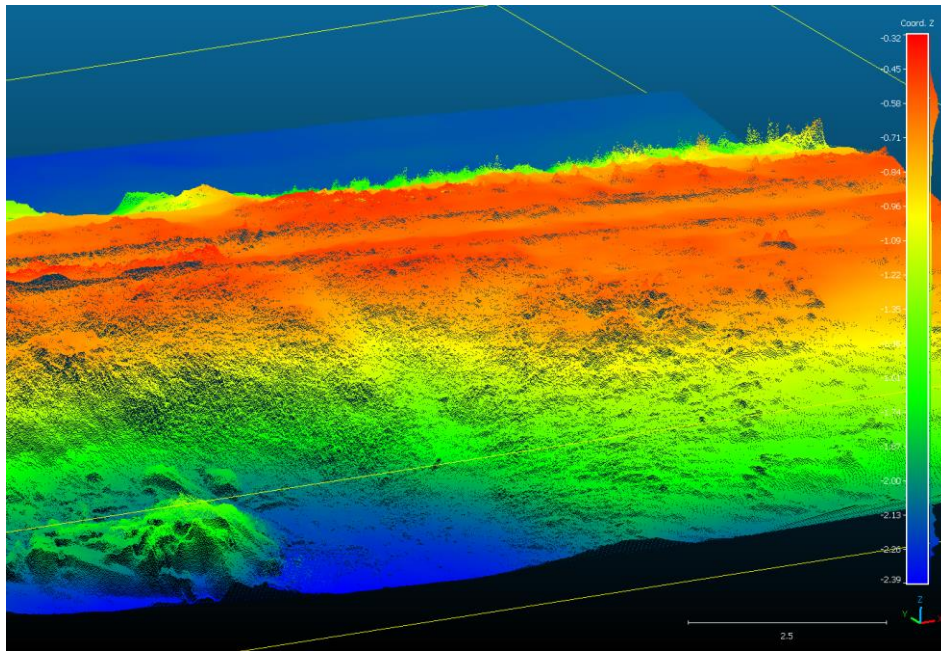
FONTE: A autora (2023).

Assim, delimitados os pontos críticos para o estudo, foram delineadas as demais etapas deste trabalho.

4.6 MODELO DIGITAL DE TERRENO DAS PNPS IRREGULARES

A representação tridimensional do terreno está apresentada nas imagens a seguir. Na figura 41, é possível ver a margem direita da PNP, nota-se que a ferrovia está situada em um nível mais elevado em relação à calçada da via paralela, além da inclinação acentuada da PNP, variando mais de 2 metros de altitude.

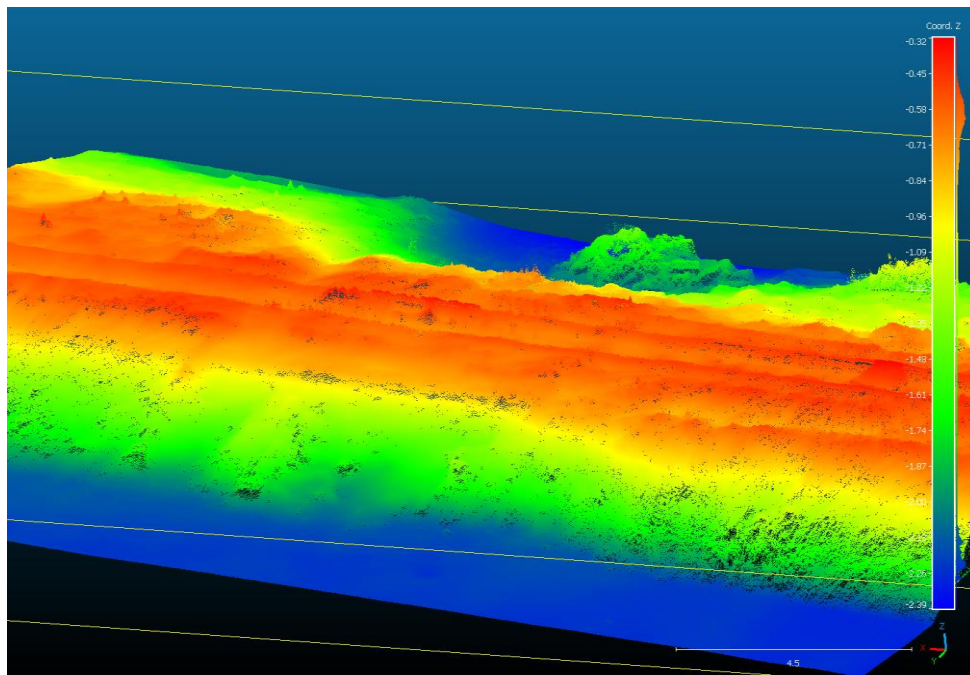
FIGURA 41. MODELO DIGITAL DO TERRENO DA PNP01 - VISTA 01.



FONTE: A autora (2023).

A figura 42 apresenta a margem esquerda da PNP, que apresenta uma inclinação suave, sem interrupções bruscas do terreno, mas ainda com variação de altitude de mais de 2 metros da calçada até a ferrovia.

FIGURA 42. MODELO DIGITAL DO TERRENO DA PNP01 - VISTA 02.



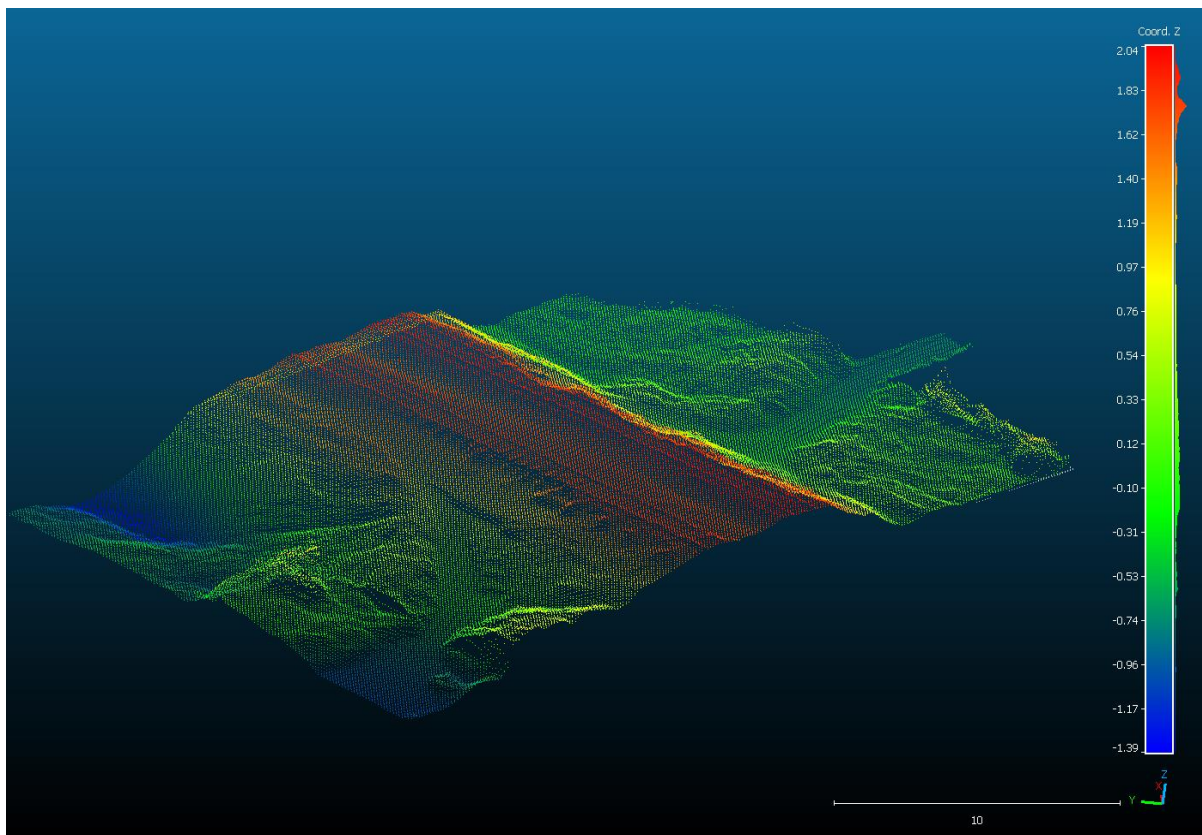
FONTE: A autora (2023).

A PNP em questão apresenta um alto desnível no terreno, possuindo cerca de 25 metros de extensão entre as margens, porém apenas 15 metros, desconsiderando a parte plana do terreno (passeios), com isso tem-se uma inclinação média e aproximada de 15°, tornando complicada a passagem de pedestres.

Além disso, o terreno possui obstáculos, como a presença de horta cercada na margem direita, árvores e pilhas de lixo nas duas margens. Durante a avaliação no local, constatou-se que a quantidade de pedestres era baixa, cerca de 5 pedestres (durantes o período do levantamento).

A modelagem tridimensional da PNP02 está retratada nas figuras 43, 44 e 45. Na imagem, é possível ver a PNP irregular perto do KM108, no bairro Uberaba. A PNP apresenta variação de altitude superior a 3 metros, com a ferrovia situada na parte mais elevada.

FIGURA 43. MODELO DIGITAL DO TERRENO DA PNP02 - VISTA 01.



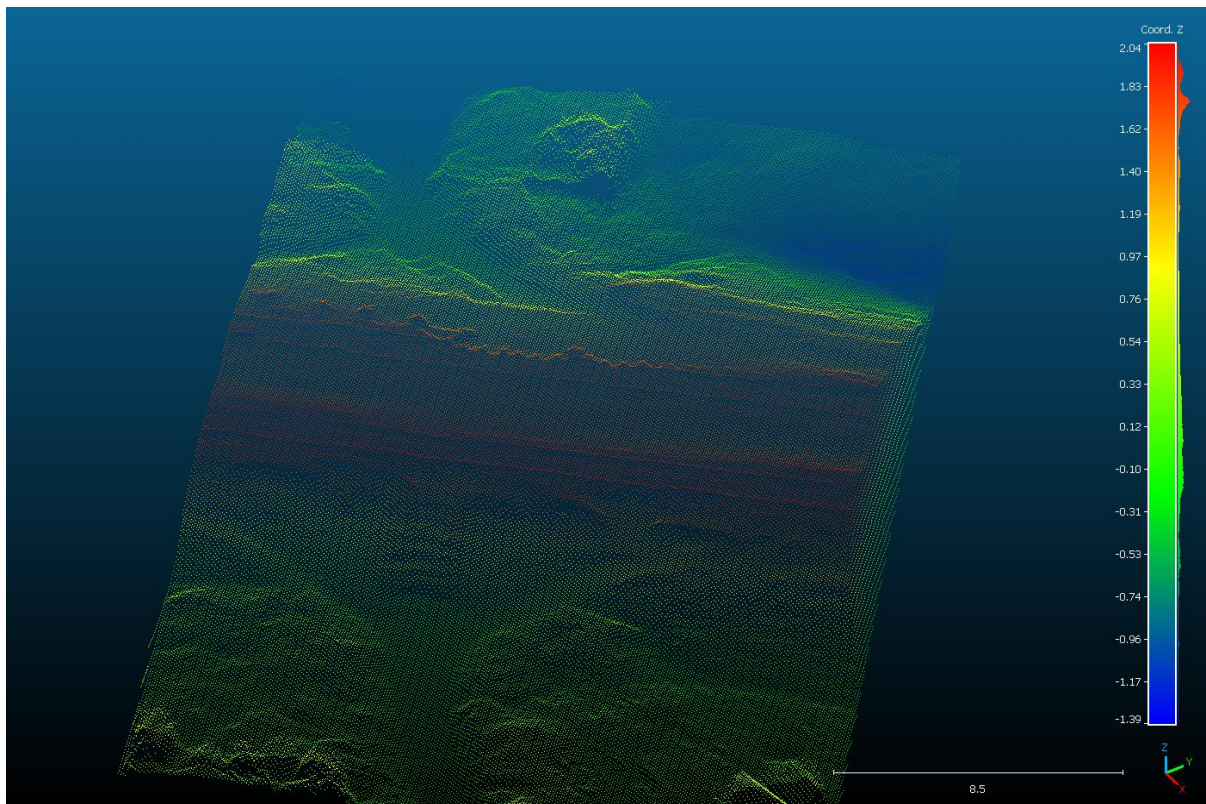
FONTE: A autora (2023).

As margens da PNP possuem escadas para ajudar os pedestres a subir e atravessar a passagem. No entanto, a margem esquerda, localizada ao sul da figura 44, apresenta uma inclinação menor do que a margem direita, localizada ao nordeste da

figura 43.

A PNP apresenta grande inclinação, com cerca de 50 metros de distância entre as margens. No entanto, se considerar apenas a distância percorrida pelo pedestre durante a subida, resulta uma distância de 7,5 metros em cada lado, o que equivale a uma inclinação média aproximada de 24° , dificultando a travessia de pedestres.

FIGURA 44. MODELO DIGITAL DO TERRENO DA PNP02 - VISTA 02.

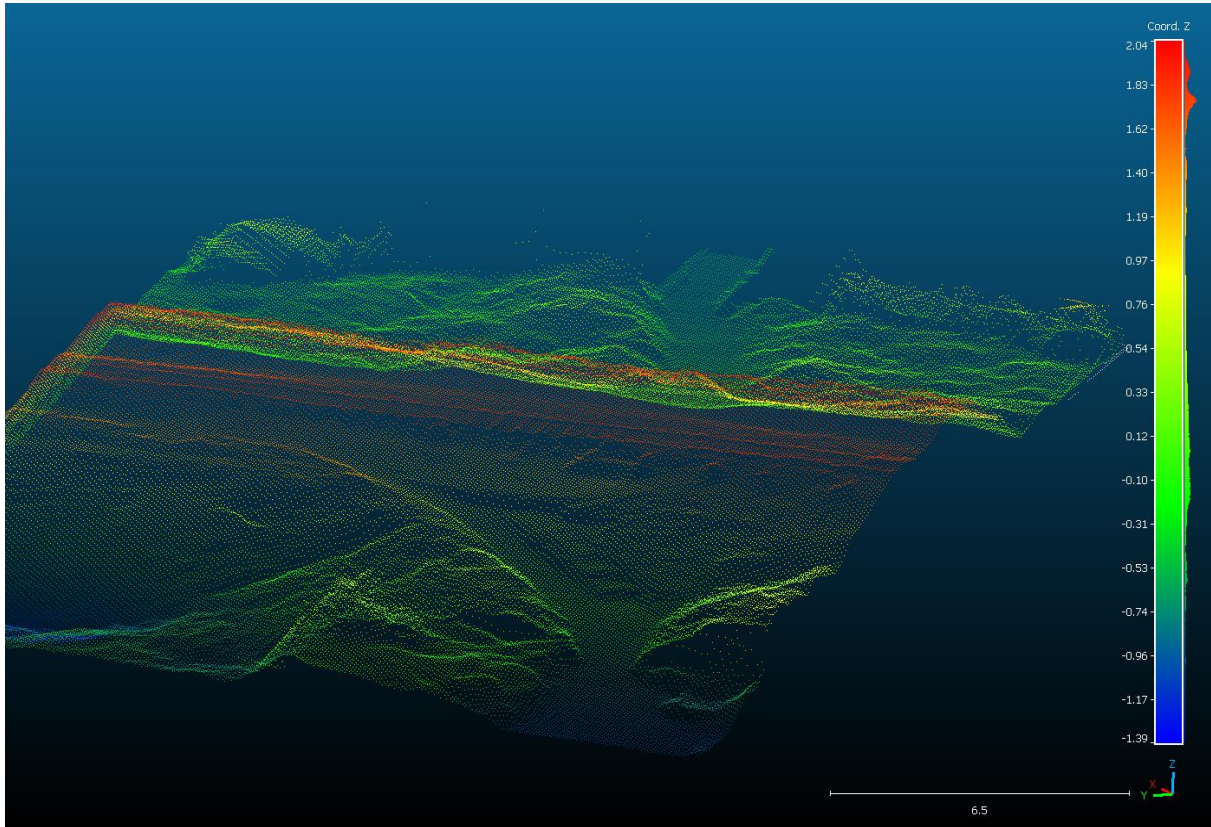


FONTE: A autora (2023).

A margem esquerda da passagem a nível existe uma ponte que permite acesso à Rua Olindo Caetani. Essa margem apresenta menos irregularidade, tendo uma superfície mais plana e, como resultado, oferece maior visibilidade ao pedestre. Em contraste, a margem direita é cercada por muros e apresenta um terreno ondulado, o que pode ser visto como obstáculo para a visibilidade da aproximação da locomotiva, prejudicando sua segurança ao atravessar a passagem.

A presença de vegetação cria uma falsa percepção de que o desnível entre as linhas férreas é menor do que realmente é. Na verdade, há um desnível decimétrico presente.

FIGURA 45. MODELO DIGITAL DO TERRENO DA PNP02 - VISTA 03.



FONTE: A autora (2023).

Durante o levantamento do local, constatou-se que a quantidade de pedestres que usavam a PNP era considerável, sendo a maioria estudantes do ensino fundamental ou médio. Supõe-se que a PNP irregular era utilizada por ser mais próxima que a passagem regular, localizada a aproximadamente 400 metros de distância. Além disso, a irregularidade do terreno, somada ao desnível, podem colocar em risco pedestres idosos, tendo em vista o histórico de ocorrência de queda de idosos e acidentes entre as linhas férreas.

Esse fato pode colocar em risco a segurança do pedestre, tendo em vista que a PNP apresenta diversos obstáculos, como a inclinação acentuada que pode causar:

- a) Instabilidade do corpo – uma inclinação acentuada pode causar instabilidade e desequilíbrio, especialmente em superfícies irregulares.
- b) Fadiga muscular - requer mais energia e esforço dos músculos das pernas, o que pode levar a fadiga muscular rapidamente.
- c) Problemas de equilíbrio – é mais difícil de manter em inclinações, especialmente para pessoas com condições que afetam a estabilidade, como idade avançada ou condições médicas.

4.7 ANÁLISE DE POLOS GERADORES DE VIAGENS DO ENTORNO

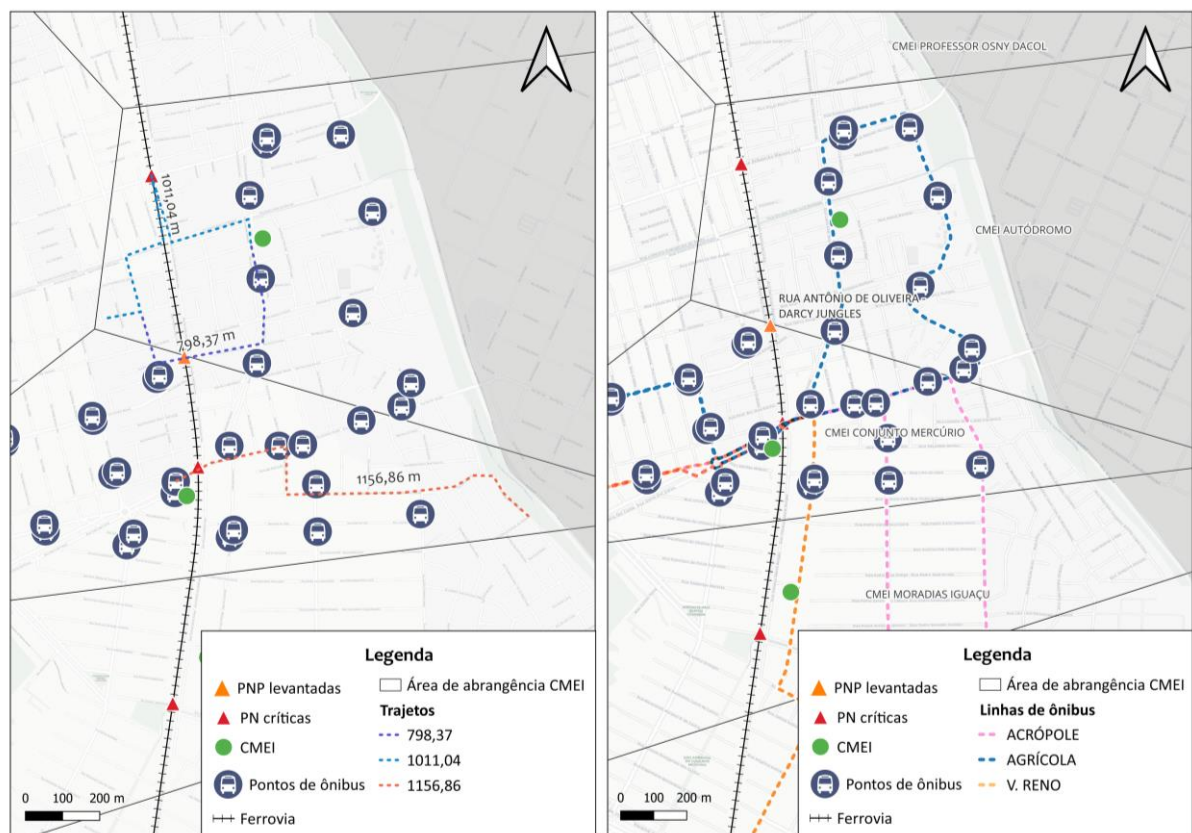
Durante a avaliação no local da PN02, notou-se um grande número de estudantes e mães com bebês de colo usando as passagens irregulares, inclusive com carrinhos de bebês. Como resultado, decidiu-se investigar mais a fundo para compreender como a localização geográfica de instituições educacionais impacta o tráfego de pedestres na passagem em nível irregular. Além disso, foi reportado por um pedestre que ele utilizava a passagem em nível irregular como meio de acesso à unidade básica de saúde devido a problemas de saúde que impediam sua capacidade de caminhar até a PN regular (distância mais curta). Em resposta a esta informação, decidiu-se avaliar as unidades básica de saúde para compreender como eles influenciam o tráfego de pedestres nas passagens em nível.

4.7.1 Centros municipais de ensino infantil

Inicialmente, foi avaliado o CMEI como polo gerador de viagens (PGV) na PNP01. O mapa à esquerda figura 46 mostra os trajetos mais distantes, isto é, as rotas com origem nas extremidades das áreas de abrangência até os CMEIs. Avaliou-se os Centro Municipal de Ensino Infantil Conjunto Mercúrio e Centro Municipal de Ensino Infantil Autódromo E verificou-se que independentemente da posição do pedestre na área de abrangência do CMEI Conjunto Mercúrio, o mesmo dispõe apenas de trajetos seguros, não sendo necessária a travessia na PNP irregular.

No caso do CMEI Autódromo, foram delimitadas duas rotas de saída de uma posição na extremidade da área de abrangência, passando pela PNP irregular (com cerca de 798 metros) e pela PN regular (PN04), com cerca de 1.011 metros, até o CMEI. O trajeto seguro é o mais longo, sendo necessário que o pedestre percorra 213 metros para realizar a travessia segura.

FIGURA 46. MAPA COM PIORES CENÁRIOS DE TRAJETOS NA ÁREA DE ABRÂNGENCIA DO CMEI CONJUNTO MERCÚRIO E MAPA COM AS LINHAS DE ÔNIBUS QUE CRUZAM A ÁREA DE ABRÂNGENCIA DO CMEI CONJUNTO MERCÚRIO.



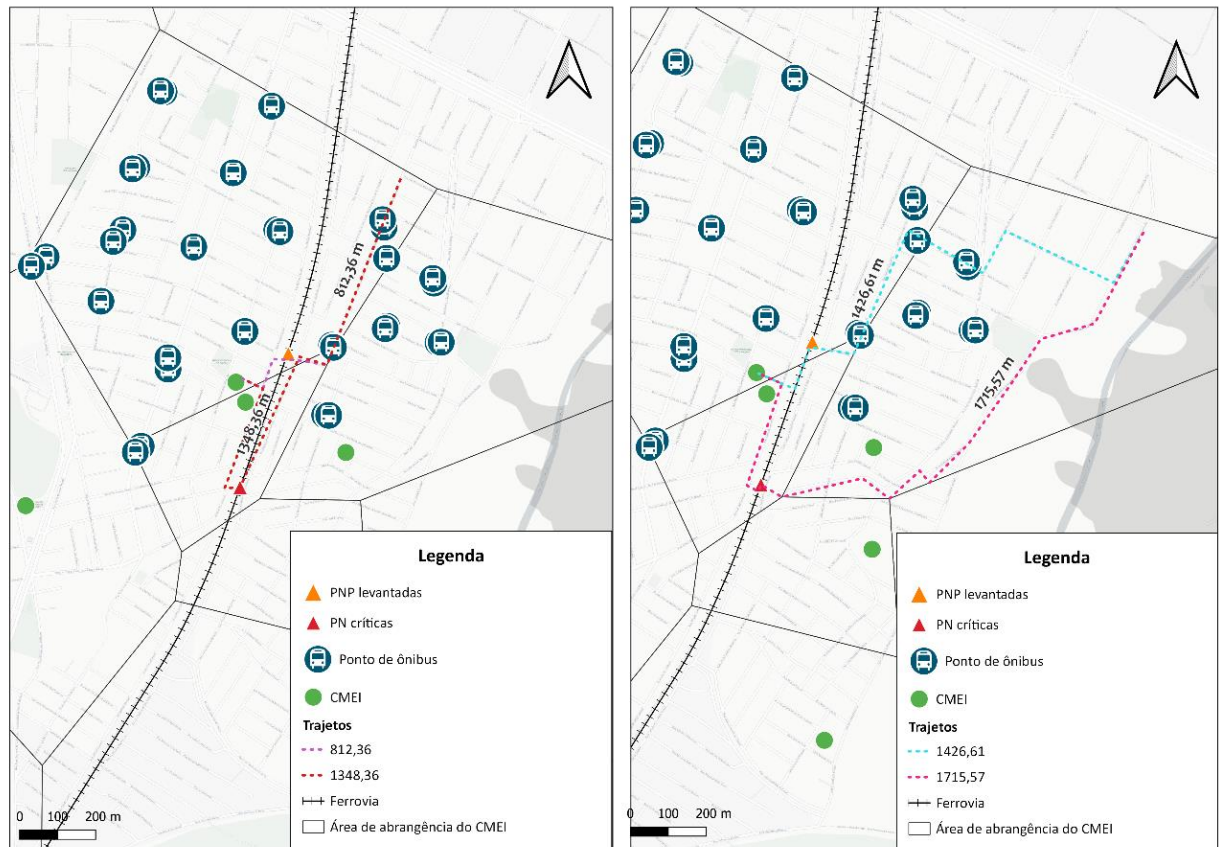
FONTE: A autora (2023).

O mapa na figura 46 à direita apresenta as linhas de ônibus na área de abrangência dos CMEIs analisados. É possível ver que, independentemente do ponto de partida do pedestre, não há necessidade de atravessar a PNP irregular, pois os pontos de ônibus estão distribuídos por toda a área e as linhas de ônibus atendem a todos eles, também cruzando a PN regular e passando pelo PGV.

Em seguida, foram avaliados os CMEIs na PNP02. Contendo três CMEIs: Ana Proveller, Professora Teruko Beltrão e Dr. Francisco Cunha Pereira Filho, que

foram analisados devido à sua proximidade com a PNP irregular. A figura 47 apresenta comparações entre os trajetos pela PNP irregular e pela PN regular (PN05), do CMEI até o ponto mais distante dentro da área de abrangência.

FIGURA 47. MAPAS COM PIORES CENÁRIOS DE TRAJETOS NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DOS CMEI'S ANA PROVELLER, PROFESSORA TERUKO BELTRÃO E DR. FRANCISCO CUNHA PEREIRA FILHO.



FONTE: A autora (2023).

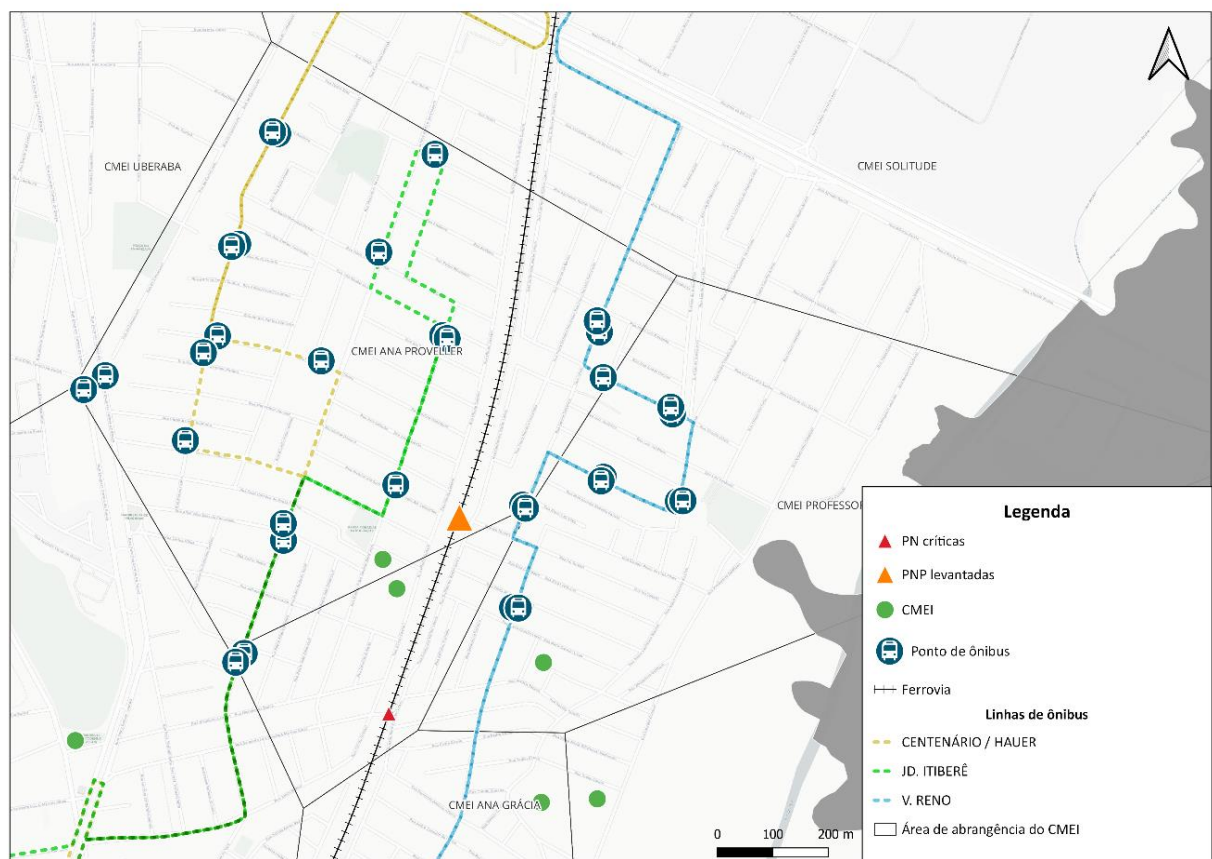
O mapa localizado à esquerda da figura 47 apresenta o percurso realizado por um pedestre com destino ao CMEI Ana Proveller. A análise indica que o trajeto passando pela PNP irregular tem uma extensão aproximada de 815 metros, enquanto o trajeto que evita a PNP irregular e segue pela PN regular tem uma distância aproximada de 1.350 metros. Conseqüentemente, é necessário que o pedestre percorra uma distância adicional de 535 metros para seguir o trajeto regular e efetuar a travessia de forma adequada.

O mapa localizado à direita da figura 47 apresenta o mesmo padrão descrito anteriormente. Se o pedestre optar por atravessar corretamente, utilizando a PN

regular, será necessário percorrer uma distância de 1.715 metros. Por outro lado, se o pedestre optar por cortar caminho pela passagem irregular, será possível percorrer uma distância de aproximadamente 1.425 metros, ou seja, percorrendo 290 metros a menos.

Considerando as grandes distâncias que os pedestres precisam percorrer para chegar ao PGV, o mapa na figura 48 apresenta as rotas de ônibus que atravessam a área de abrangência dos CMEIs analisados.

FIGURA 48. MAPA COM AS LINHAS DE ÔNIBUS QUE CRUZAM A ÁREA DE ABRANGÊNCIA DOS CMEI'S ANA PROVELLER, PROFESSORA TERUKO BELTRÃO E DR. FRANCISCO CUNHA PEREIRA FILHO.



FONTE: A autora (2023).

A análise da figura 48 revela a falta de infraestrutura de transporte público para atender a população nas áreas de abrangência dos CMEI's estudados, com apenas três linhas de ônibus disponíveis - Centenário/Hauer, Jd. Itiberê e V. Reno. E nenhuma dessas linhas passa pela PN regular, tornando inviável o uso do transporte público para realizar a travessia pela passagem nível regular. Para fazer uso do

transporte, seria necessário deslocar-se até o terminal de ônibus e pegar outro ônibus, resultando em um tempo de viagem excessivo. Dessa forma, o trajeto a ser percorrido através da PNP irregular torna-se mais rápido e efetivo para os moradores locais, em comparação ao uso do transporte público.

Além disso, a zona leste da área de abrangência do CMEI Professora Teruko Beltrão apresenta poucos pontos de ônibus, o que requer que o pedestre percorra distâncias significativas para chegar até o ponto de ônibus mais próximo.

4.7.2 Escolas municipais

Ao avaliar os PGV's: escolas municipais para a PNP01, considerando apenas a Escola Municipal Irati. O mapa na figura 49, à esquerda, mostra as rotas com origem nas extremidades das áreas de abrangência até a escola municipal. Verificou-se que, independentemente da posição do pedestre na área de abrangência do PGV, há apenas rotas consideradas seguras, não sendo necessário atravessar a PNP irregular. Foram delimitados dois trajetos para a análise, passando pela PNP irregular – com cerca de 1.160 metros, e pela PN regular – com cerca de 1.070 metros, até a escola. O trajeto seguro é o mais curto e não requer passagem pela PNP irregular.

FIGURA 49. MAPA COM PIORES CENÁRIOS DE TRAJETOS NA ÁREA DE ABRÂNGENCIA DA ESCOLA MUNICIPAL IRATI E MAPA COM AS LINHAS DE ÔNIBUS QUE CRUZAM A ÁREA DE ABRÂNGENCIA DO ESCOLA MUNICIPAL IRATI.



FONTE: A autora (2023).

O mapa na figura 49, à direita, exibe as linhas de ônibus na área de abrangência da Escola Municipais Irati. Observa-se que, independentemente do local de origem do pedestre, não é necessário atravessar a PNP irregular, pois os pontos de ônibus estão espalhados por toda a região e as linhas de ônibus cobrem todos eles, incluindo a PN04 para chegar até o PGV.

Na etapa seguinte, avaliou-se a disposição das escolas municipais próximas a PNP02, que dispõe de duas escolas municipais - Miguel Khury e Rachel Mader Gonçalves - foram escolhidas para análise devido à sua proximidade com a PNP irregular. A figura 50 apresenta uma comparação entre os trajetos pela PNP irregular e pela PN regular, partindo da escola municipal até o ponto mais distante dentro da área de abrangência.

FIGURA 50. MAPAS COM PIORES CENÁRIOS DE TRAJETOS NA ÁREA DE ABRANGÊNCIA DAS ESCOLAS MUNICIPAIS MICHEL KHURY E RACHEL MADER GONÇALVES.



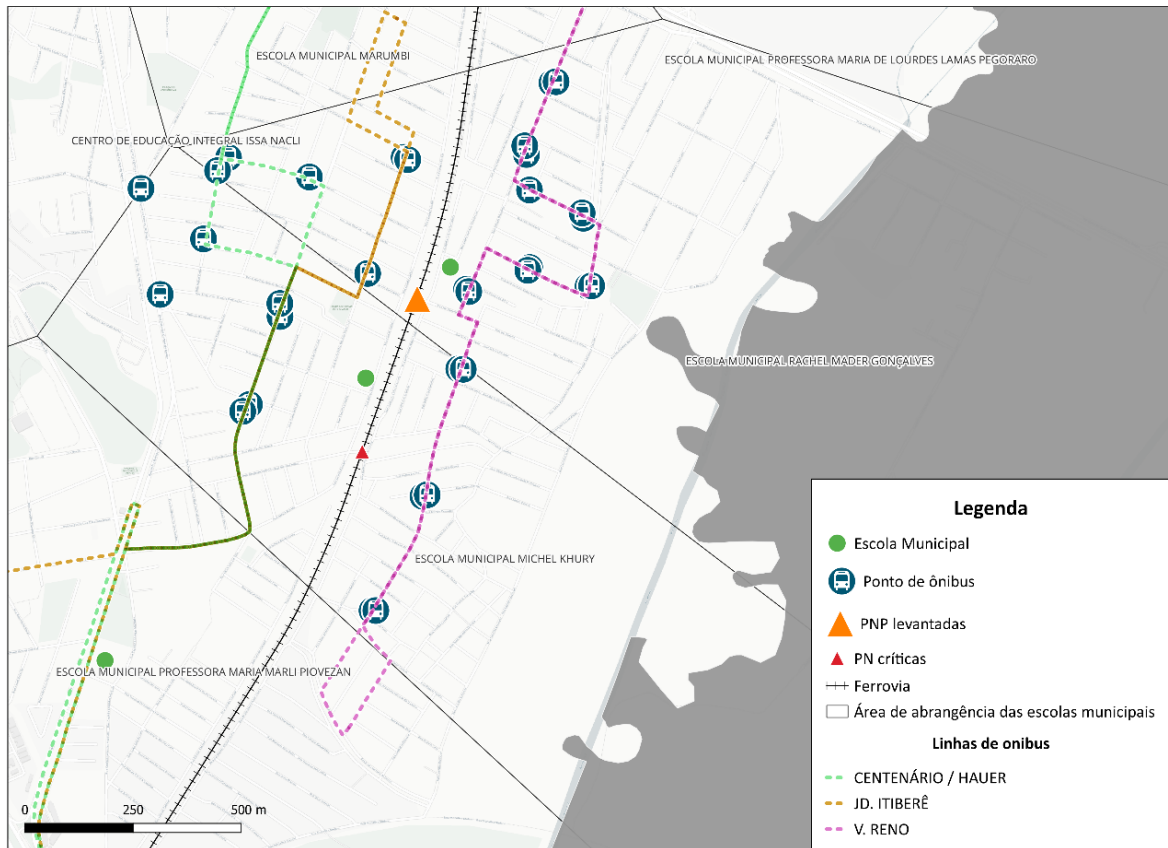
FONTE: A autora (2023).

O mapa exibido na figura 50, à esquerda, ilustra o percurso percorrido por um pedestre para chegar à Escola Municipal Michel Khury. De acordo com a análise dos dados, o trajeto que passa pela PNP irregular tem uma extensão de aproximadamente 460 metros, enquanto o caminho que segue pela PN regular tem uma distância aproximada de 500 metros. Isso significa que o pedestre precisa percorrer 40 metros a mais para seguir o trajeto regular, o que não representa um esforço significativo.

O mapa na figura 50, à direita, apresenta o mesmo padrão de trajeto que foi descrito anteriormente. Caso o pedestre opte por atravessar a ferrovia corretamente, utilizando a PN regular, será necessário percorrer uma distância de 1.285 metros. Por outro lado, se o pedestre atravessar a ferrovia de forma irregular, irá percorrer uma distância de aproximadamente 558 metros, percorrendo 727 metros a menos, quando realiza a travessia irregular. Nesse caso, se o pedestre realizar a travessia

corretamente, o tempo de viagem é mais custoso, já que é necessário percorrer mais de duas vezes a distância comparada à travessia irregular.

FIGURA 51. MAPA COM AS LINHAS DE ÔNIBUS QUE CRUZAM A ÁREA DE ABRÂNGÊNCIA DAS ESCOLAS MUNICIPAIS MICHEL KHURY E RACHEL MADER GONÇALVES.



FONTE: A autora (2023).

Como observado na análise anterior, a região leste da PNP02 apresenta falta de infraestrutura de transporte público para atender às populações nas áreas de abrangência das escolas municipais avaliadas, com apenas três linhas de ônibus disponíveis - Centenário/Hauer, Jd. Itiberê e V. Reno, que são ilustradas na figura 51. Nenhuma dessas linhas passa pela PN05, tornando o uso do transporte público inviável para a travessia da passagem nível regular. Para utilizar o transporte público, seria necessário se deslocar até o terminal de ônibus e pegar outro ônibus, resultando em um tempo de viagem prolongado. Portanto, o trajeto percorrido pela PNP irregular torna-se mais viável comparado ao uso do transporte público.

4.7.3 Unidade básica de saúde

Analizou-se o polo gerador de viagens: Unidade Básica de Saúde na PNP01. O mapa à esquerda na figura 52 mostra os maiores trajetos, isto é, as rotas com origem nas extremidades das áreas de abrangência do PGV e destino na Unidade Básica de Saúde São Domingos.

Foram traçadas duas rotas que com origem nas extremidades da área de cobertura: uma passando pela PNP irregular, com cerca de 1.620 metros de comprimento, e outra pela PN regular, com cerca de 1.212 metros, até o UBS. A rota mais segura e curta é através da PN regular, sem a necessidade de passar pela PNP irregular. Portanto, independentemente da posição inicial do pedestre na área de cobertura da UBS, as rotas seguras são sempre as mais curtas, evitando-se a travessia da PNP irregular.

FIGURA 52. MAPA COM PIORES CENÁRIOS DE TRAJETOS NA ÁREA DE ABRÂNGENCIA DA UNIDADE DE SAÚDE SÃO DOMINGOS E MAPA COM AS LINHAS DE ÔNIBUS QUE CRUZAM A ÁREA DE ABRÂNGENCIA DA UNIDADE DE SAÚDE SÃO DOMINGOS.

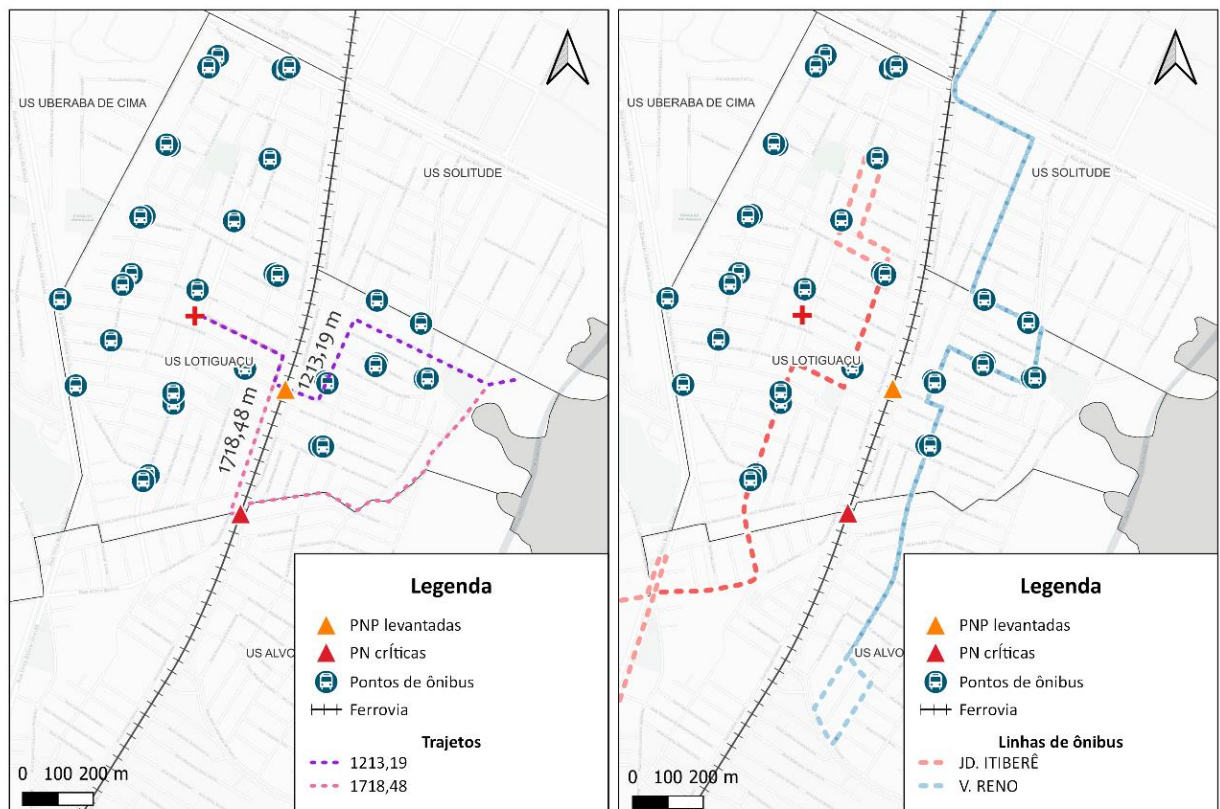


FONTE: A autora (2023).

O mapa apresentado figura 52, na direita, ilustra as linhas de transporte público na área de cobertura da Unidade Básica de Saúde São Domingos. É evidenciado que, independentemente do ponto de origem do pedestre, não é preciso fazer a travessia na PNP irregular, pois os pontos de ônibus estão dispostos em toda a área, e as linhas de ônibus cobrem todos eles, incluindo a travessia pela PN regular e passagem pelo PGV.

Na PNP02 foi analisada apenas a Unidade Básica de Saúde Lotiguaçu. O mapa na figura 53 indica a falta de infraestrutura de transporte público na região leste da PNP02. As linhas de ônibus disponíveis (Centenário/Hauer, Jd. Itiberê e V. Reno) não passam pela PN regular, tornando a viagem por transporte público inviável. Para chegar à UBS, os pedestres precisariam fazer uma viagem excessivamente longa, se locomovendo até o terminal e, posteriormente, pegando outro ônibus, tornando a travessia pela PNP irregular uma opção mais viável.

FIGURA 53. MAPA COM PIORES CENÁRIOS DE TRAJETOS NA ÁREA DE ABRÂNGENCIA DA UNIDADE DE SAÚDE LOTIGUAÇU E MAPA COM AS LINHAS DE ÔNIBUS QUE CRUZAM A ÁREA DE ABRÂNGENCIA DA UNIDADE DE SAÚDE LOTIGUAÇU.



FONTE: A autora (2023).

Ao analisar o mapa a esquerda na figura 53, foram identificadas duas rotas com origem na extremidade da área de abrangência da UBS, a primeira percorrendo a PNP irregular, com cerca de 1.210 metros, e a segunda atravessando a PN05 regular, com aproximadamente 1.720 metros, até o destino final, a UBS. A diferença entre os dois trajetos é de 510 metros, favorecendo o trajeto através da PNP irregular. No entanto, o trajeto seguro e regular requer uma distância percorrida 42% maior do que a do trajeto irregular, tornando-o menos atrativo.

4.8 PRODUTOS VIRTUAIS GERADOS

O resultado do caminhamento tridimensional elaborado nesta pesquisa pode ser visualizado por meio do link :-> <https://app.lapentor.com/sphere/pnp-do-km108>.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao realizar análises nas passagens em nível críticas em Curitiba, foi verificado que a malha ferroviária é operada pela concessionária Rumo Malha Sul. A maioria dos acidentes em cruzamentos rodoferroviários acontece no ramal Pinhais - Engenheiro Bley, especificamente no bairro Cajuru, que possui quatro das cinco passagens nível críticas de Curitiba. Essas passagens nível concentram cerca de 46% dos acidentes ocorridos em Curitiba entre 2016 e 2022, incluindo acidentes de tipo abalroamento (45%) e atropelamento (32%).

Do total de 80 passagens em nível em Curitiba, 5 são consideradas críticas, e dessas, 4 apresentam sinalização passiva: 1 contempla a sinalização adequada às normas, enquanto 3 contém todos equipamentos de segurança dispostos na referida norma, mas com espaçamentos irregulares e 1 não apresenta sinalização vertical. Em outras palavras, quatro das cinco passagens em nível críticas não possuem sinalização adequada, o que dificulta a identificação dos motoristas de que se trata de um cruzamento com ferrovia e reduz o tempo de reação em caso de necessidade de frenagem do veículo.

No quesito de visibilidade, voltada a análise do relevo, todas as PNs apresentam posicionamento elevado em relação as vias urbanas, facilitando a verificação da chegada do trem. Porém ao analisar os triângulos de visibilidade de 3 PNs, verifica-se a presença de obstruções permanentes, como edificações e árvores, que diminuem a visibilidade do condutor, principalmente nas passagens em nível dos cruzamentos: Rua Sebastião Marcos Luiz – redução de cerca de 65° do raio de visibilidade, e Rua Rutildo Polido – redução de aproximadamente 77° do raio de visibilidade.

Ainda na verificação da visibilidade, notou-se que apenas 2 passagens em nível possuíam disposição de equipamentos de iluminação pública de acordo com as normas, e que as disposições eram atendidas com a aceitação de um erro de até 2 metros. E 1 PN não apresentava postes de iluminação pública em sua margem direita, dificultando a visibilidade da sinalização presente.

A passagem em nível da Rua Sebastião Marcos Luiz é considerada a melhor em termos de infraestrutura entre as passagens em nível avaliadas, devido à sua adequada sinalização e a presença de semáforos para controlar o tráfego, apesar da

disposição dos postes de iluminação não estar de acordo com as normas estabelecidas. Diferentemente da passagem em nível do cruzamento Rua Sargento Luiz G. M. Ribas, classificada com a pior infraestrutura, uma vez que não apresenta sinalização vertical e nem postes de iluminação nas proximidades da margem leste.

As passagens em nível de pedestre irregulares analisadas possuíam diversos obstáculos: pilhas de lixo, vegetação alta e entulhos, além dos desníveis acentuados, com inclinações variando de 15° a 24°, tornando a processo de subida árduo e perigoso, uma vez que, o trajeto causava instabilidade devido à falta de equilíbrio e fadiga muscular, se tornando ainda mais árduo para pessoas com idade avançada ou com problemas de mobilidade.

Os polos gerados de viagens próximos a PNP do cruzamento Rua Antônio de Oliveira com a Rua Darcy Jungles, apresentam cenários distintos de acordo com sua natureza. No caso do CMEI Conjunto Mercúrio não há necessidade de realizar o trajeto irregular, uma vez que o trajeto regular é mais curto, diferentemente do CMEI Autódromo, no qual o pedestre deve andar um trajeto cerca de 21% mais longo para realizar a travessia segura. Já no caso da Escola Municipal Irati, o trajeto mais atrativo no quesito distância é o regular, uma vez que há uma redução de 100 metros na distância utilizando-o. No caso da Unidade Básica de Saúde São Domingos, para o pedestre percorrer o trajeto regular precisa caminhar cerca de 25% a mais do que percorreria no trajeto irregular. Apesar disso, as áreas de abrangência desta PNP apresentam boa infraestrutura de transporte público, contendo linhas de ônibus que atravessam para outro lado da ferrovia e boa distribuição de pontos de ônibus.

Já nos polos geradores e viagens próximos a PNP do cruzamento Rua Senador Alo Guimarães com a Rua Ivo Tonetti. Dos três CMEIs de ensino, dois apresentavam como mais curtos os trajetos irregulares, reduzindo de 17% a 40% o percurso em relação ao trajeto mais longo. O mesmo ocorre para as duas escolas municipais, as quais apresentam os trajetos irregulares, cerca de 8% a 57% mais curtos que os trajetos regulares. Assim como no UBS, que apresenta uma redução de 30% realizando a travessia pelo trajeto irregular. Além disso, nesta PNP não há uma boa disposição de pontos de ônibus, bem como, de linhas de ônibus que levem os pedestres até o outro lado da linha férrea.

Nos dois casos, majoritariamente, o caminho mais curto é passando pela travessia irregular, em alguns casos andando cerca de 100 metros a mais, e em

outros o pedestre deve percorrer o dobro da distância do trajeto. Este fato aliado a desinformação são os principais responsáveis pela realização das travessias em passagens irregulares.

Com a finalidade de mitigar os problemas causados pelas passagens em nível consideradas críticas e prioritária, propôs-se soluções como readequação da sinalização, construção de passagens em desnível ou contornos (CNT, 2015). No caso de Curitiba, recomenda-se a construção de um contorno ferroviário.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7613**: Via férrea – Travessia rodoviária – Momento de circulação, grau de importância e índice de criticidade. Rio de Janeiro: ABNT, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11542**: Via férrea - Travessia - Identificação. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5101**: Iluminação pública - Procedimentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2012.

BALEN, J. et al. **Conflitos ferroviários em passagens em nível: uma Abordagem dos casos críticos em Curitiba, PR**. Curitiba, 2020.

BALLOU, R. H. **Logística empresarial**. São Paulo: Atlas, 1993. 388 p. ISBN 9788522408740.

BRASIL, **CÓDIGO DE TRÂNSITO BRASILEIRO**. Lei nº 9.503, DE 23 DE SETEMBRO DE 1997.

CARMO, R. C.; CAMPOS, V. B. G. **Indicador de Nível de segurança para passagens de nível**. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, Vitória, 2009. Disponível em: http://www.ime.eb.br/~webde2/prof/vania/pubs/2009-2010/ANPET-2009-PASSAGEM_DE_NIVEL.pdf. Acesso em: 6 fev. 2023.

CARMO, R. C.; CAMPOS, V. B. G.; GUIMARÃES, J. E. **Procedimento para avaliação da segurança de passagens de nível**. Associação Nacional de Pesquisa e Ensino em Transportes, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: <http://redpgv.coppe.ufrj.br/index.php/pt-BR/producao-da-rede/artigos-cientificos/2007-1/337-passagem-em-nivel-avseguranca-anpet-2007/file>. Acesso em: 6 fev. 2023.

CASTORINO, A. B. **Proposições para solução de conflitos ferroviários urbanos**. Brasília, 2014. Disponível em: <https://antt-hml.antt.gov.br/documents/860252/862902/Relatório+-+Proposições+para+Solução+de+Conflitos+Ferrovíarios+Urbanos.pdf/b2e23d86-1fd9-aca4-fe32-14bfdf2ea31?t=1591908848470>. Acesso em: 6 fev. 2023.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de Ferrovias 2009**. Brasília. CNT, 2009.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Pesquisa CNT de Ferrovias 2015**. Brasília. CNT, 2015.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Painel CNT do Transportes - Ferroviário 2023**. Brasília. CNT, 2023. Disponível em: <https://www.cnt.org.br/painel-cnt-transporte-ferroviario>. Acesso em: 6 fev. 2023.

CONSELHO NACIONAL DE TRÂNSITO. **Manual Brasileiro de Sinalização de Trânsito: Cruzamentos Rodoferroviários**. 2022. 118 p. v. XI. Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/arquivos-senatran/docs/copy_of__09__MBST_Vol._IX__Cruzamentos_Rodoferroviarios.pdf. Acesso em: 6 fev. 2023.

EVANS, A. W. **Fatal accidents at railway level crossings in great britain 1946-2009**. Accident Analysis and Prevention, London, ed. 43, p. 1837-1845, 2011.

FAIR, M. L.; WILLIAMS, E. W. **Economics of transportation**. New York: Harper & Brother Publishers. New York, 1959.

FENNER, D. **Railway signaling**. 3rd IET Professional Development Course on Railway Electrification Infrastructure and Systems, United Kingdom, 2007.

FIGUEIREDO, B. **Transporte ferroviário: situação atual e perspectivas**. Revista de Política Agrícola - Ano X - NO 02 - Abr - Mai - Jun - 2001, [s. l.], p. 39-43, 2001. Disponível em: <https://seer.sede.embrapa.br/index.php/RPA/article/viewFile/642/594>. Acesso em: 6 fev. 2023.

FIOCCA, D. **BNDES: Infra-estrutura e desenvolvimento**. Fórum Nacional, Rio de Janeiro, ed. 17, 2005. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/6928>. Acesso em: 6 fev. 2023.

FREITAS, A. S.; MIRANDA, Dagoberto S.; MARQUES, José C. C.; RODRIGUES, Norberto; SANTOS, Robson G. **Operador de Transporte Multimodal**. Seminário da disciplina Modais de Transporte do curso Logística com ênfase em Transportes. Santos, p. 72, 2004.

GODDARD, E. **Overview of signalling and train control systems**. Institution of Engineering and Technology Professional Development Course on Electric Traction Systems, Manchester, ed. 9, 2006.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Área territorial - brasil, grandes regiões, unidades da federação e municípios**. IBGE, 2021. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/organizacao-do-territorio/estrutura-territorial/15761-areas-dos-municipios.html?=&t=acesso-ao-produto>. Acesso em: 6 fev. 2023.

LANG, A. E. **As ferrovias no brasil e avaliação econômica de projetos: uma aplicação em projetos ferroviários**. 2007. Dissertação (Mestrado em transportes) - Universidade de Brasília, Brasília, 2007. Disponível em: https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/2388/1/2007_AlineEloyseLang.pdf. Acesso em: 6 fev. 2023.

LANNA, A. L. D. **Ferrovias no Brasil, 1870-1920**. História Econômica & História de Empresas, [s. l.], 2012.

LENNÉ, M. G. **Driver behaviour at rail level crossings: Responses to flashing lights, traffic signals and stop signs in simulated rural driving**. Applied ergonomics, ano 548, v. 42, n. 4, p. 554, 2011. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/17004>. Acesso em: 6 fev. 2023.

LIMA, E. T.; PASIN, J. A. B. **Regulação no Brasil: colocando a competitividade nos trilhos**. REVISTA DO BNDES, Rio de Janeiro, v. 6, n. 12, p. 169-193, 1999. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/17004>. Acesso em: 6 fev. 2023.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. **PNATRANS – Plano Nacional de Redução de Mortes e Lesões no Trânsito**. 2018. Disponível em: <https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/assuntos/transito/pnatrans#:~:text=O%20Plano%20Nacional%20de%20Redução, no%20Trânsito%20da%20Organização%20das>

MINISTÉRIO DO TRABALHO E EMPREGO. **Guia de análise de acidentes de trabalho**. 2010. Disponível em: [https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/escola/e-biblioteca/guia-de-analise-de-acidentes-ano-2010.pdf/@@download/file/Guia%20de%20An%C3%A1lise%20de%20Acidentes%20\(ano%202010\).pdf](https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/composicao/orgaos-especificos/secretaria-de-trabalho/inspecao/escola/e-biblioteca/guia-de-analise-de-acidentes-ano-2010.pdf/@@download/file/Guia%20de%20An%C3%A1lise%20de%20Acidentes%20(ano%202010).pdf). Acesso em: 6 fev. 2023.

NUNES, C. **Utilização de métodos de análise de falhas em um sistema de sinalização ferroviária**. 2012. Monografia (Curso de especialização em transporte ferroviário de cargas) - Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <https://transportes.ime.eb.br/etfc/monografias/MON053.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2023.

PIRES, D. S. **Identificação dos acidentes no modal ferroviário de cargas num ramal de Santa Catarina: uma abordagem logística**. 2003. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Engenharia De Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/84962/226109.pdf>. Acesso em: 6 fev. 2023.

PIRES, F. **Os avanços do transporte ferroviário de carga no Brasil após as privatizações: uma análise segundo a perspectiva de usuários, prestadores de serviço e governo**. 2002. Disponível em: <https://www.ilos.com.br/web/os-avancos-do-transporte-ferroviario-de-carga-no-brasil-apos-as-privatizacoes-uma-analise-segundo-a-perspectiva-de-usuarios-prestadores-de-servico-e-governo/>. Acesso em: 6 fev. 2023.

RAUB, R. A. **Examination of Highway-Rail Grade Crossing Collisions Over 10 Years in Seven Midwestern States**. ITE journal, v. 76, n. 4, p. 16-26, 2006.
AGÊNCIA NACIONAL DE TRANSPORTES TERRESTRES. Resolução 1431: Procedimentos para comunicação de acidentes ferroviários. Brasília:ANTT,2006).

RODRIGUES, J. A. C. **Crescimento do Transporte Ferroviário de Cargas no Brasil e seu Reflexo na Indústria**. XXXV Seminário de Fusão, Refino e Solidificação dos Metais e V Seminário de Fundição – Amsted Maxion Fundição e Equipamentos Ferroviários S.A. Salvador, 2004.

RUDIN-BROWN, C. M. et al. **Effectiveness of traffic light vs. boom barrier controls at road-rail level crossings: a simulator study**. *Accident. Analysis and Prevention*, [s. l.], 2012.

SILVEIRA, M. R. **A importância econômica das ferrovias para o Brasil**. *Revista dos Transportes Públicos - ANTP*. São Paulo, v. 24, n. 95, p. 55-70, 2002.

VELASCO, L. O. M.; LIMA, O. T.; SOUZA, R. M. A. T. **Ferrovias: Privatização e Regulação**. Informe Infra-estrutura BNDES, Rio de Janeiro, 1998. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/15274/3/Informe%20Infra-estrutura%20n.%2034%20maio%201999_Ferrovias-%20privatização%20e%20regulação.PDF. Acesso em: 6 fev. 2023.

VILAÇA, R. **Importância do setor ferroviário no cenário logístico e econômico do País**. *Jornal Fique por Dentro da CNT*. 2005.

VILLAR, L. B.; MARCHETTI, D. S. **Dimensionamento do potencial de investimentos**. Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://web.bndes.gov.br/bib/jspui/handle/1408/2430>. Acesso em: 6 fev. 2023.

WOSNIACKI, G. G. **Estudo de métodos para avaliação da segurança em passagem em nível e de alternativas de proteção**. 2014. Monografia (ESPECIALIZAÇÃO EM ENGENHARIA DE SEGURANÇA DO TRABALHO) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014. Disponível em: http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/17719/2/CT_CEEST_XXVI_2014_15.pdf. Acesso em: 6 fev. 2023.