

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

LEONARDO ARTHUR MOCELIN FORTES

**IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE TRECHOS VIÁRIOS COM POSSÍVEIS
INCONSISTÊNCIAS GEOMÉTRICAS USANDO RPAS E RECEPTOR GNSS:
ESTUDO DE CASO DA BR-101 KM 113 AO KM 115**

Maceió

2021

LEONARDO ARTHUR MOCELIN FORTES

**IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE TRECHOS VIÁRIOS COM POSSÍVEIS
INCONSISTÊNCIAS GEOMÉTRICAS USANDO RPAS E RECEPTOR GNSS:
ESTUDO DE CASO DA BR-101 KM 113 AO KM 115**

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao colegiado do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof.^a Dra. Andressa Ka Yan Ng

Maceió

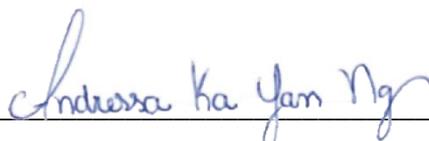
2021

Folha de Aprovação

AUTOR: LEONARDO ARTHUR MOCELIN FORTES

Identificação e análise de trechos viários com possíveis inconsistências geométricas usando RPAS e receptor GNSS: estudo de caso da BR-101 km 113 ao km 115. Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao colegiado do curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil e aprovado em 24 de maio de 2021.

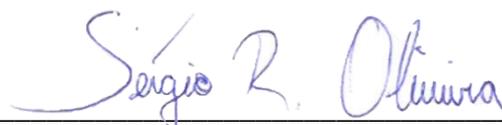


Prof.^a Dra. Andressa Ka Yan Ng (Orientadora)
Universidade Federal de Alagoas

Banca Examinadora:



Prof. Dr. Alexandre Lima Marques da Silva (Examinador Interno)
Universidade Federal de Alagoas



Prof. Msc. Sérgio Roberto de Oliveira (Examinador Externo)
Instituto Brasileiro de Educação Continuada

Dedico este trabalho aos meus pais Saul e Elaine, às minhas avós Paula (in memoriam) e Nair, e ao Apollo (in memoriam).

AGRADECIMENTO

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer a Deus pela força para nunca desistir das minhas metas e dos meus sonhos.

Agradeço aos meus pais Elaine Mocelin e Saul dos Santos Fortes, ao meu irmão Alexandre Ricardo Mocelin Fortes e ao meu tio Cezar Colussi, por serem uma família incrível e por proporcionarem todo o suporte, força, sacrifício, paciência, amor, dedicação e carinho, não foi uma estrada fácil, mas graças a vocês eu consegui chegar até aqui.

Gostaria de agradecer também à minha orientadora, professora Dra. Andressa Ka Yan Ng, pela paciência, suporte, empatia e disposição, sempre sendo muito solícita em todos os momentos que eu precisei de ajuda. Tenho certeza que escolhi a melhor orientadora possível.

Agradeço aos professores Dr. Alexandre Lima Marques da Silva e Msc. Sérgio Roberto de Oliveira, pela atenção e pelas valiosas sugestões e contribuições para o trabalho.

Um agradecimento especial ao meu amigo Roberto Agra Plácido Junior, quem permitiu a realização desse trabalho, realizando todo o levantamento de forma gratuita.

Não poderia deixar de agradecer aos irmãos que a vida me deu: Luiz Gustavo, Ckewsyon Souza, Fabio Seiji, Italo Matheus e Victor Romero, vocês tornam essa jornada da vida mais leve.

Agradeço também a todos os amigos verdadeiros em quem posso sempre confiar, inclusive os que a UFAL me proporcionou, em especial: André Bernacchi, Arthur Vangasse, Carlos Henrique, Gilberto Lucas, Danilo Freitas, Lucas França, Rafael Alencar, João Eduardo, Taynan Moraes, Artur Brasil, Ricardo Lima e Yuri.

Também agradeço a todos profissionais da COHIDRO que me ensinaram muito: professor Jerônimo Leoni, Fernando Carvalho, Danilo Barros, Luís Tavares, Luis Eduardo, Franklin Galindo e Klayson Moraes.

Agradeço ao professor Daniel Sérgio Presta García por ter disponibilizado o *software* SAEPRO, sendo muito solícito e atencioso.

Por fim, agradeço à Daniela Sandes Accioly pelo companheirismo, apoio, carinho, compreensão, paciência, e por ter estendido a mão todas as vezes que eu precisei de ajuda, até mesmo nesse estudo, então com certeza eu devo essa conquista também a você.

Ninguém vai bater mais forte do que a vida. Não importa como você bate e sim o quanto aguenta apanhar e continuar lutando; o quanto pode suportar e seguir em frente. É assim que se ganha.

Rocky Balboa

RESUMO

FORTES, Leonardo Arthur Mocelin. **Identificação e análise de trechos viários com possíveis inconsistências geométricas usando RPAS e receptor GNSS: estudo de caso da BR-101 km 113 ao km 115**. 2021. 123 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas. Maceió, 2021.

Este trabalho buscou identificar e analisar um trecho rodoviário com possíveis problemas geométricos. A identificação foi realizada com base no banco de dados de acidentes da Polícia Rodoviária Federal e em uma metodologia adaptada do programa PARE do Ministério dos Transportes, a partir do uso da Unidade Padrão de Severidade (UPS) e da filtragem dos tipos de acidentes que podem ter origem devido a problemas geométricos de rodovia, sendo eles: (i) capotamento, (ii) colisão com objeto em movimento, (iii) colisão com objeto estático, (iv) colisão traseira, (v) saída de leito carroçável e (vi) tombamento. Esse procedimento forneceu o trecho compreendido entre os km 113 e 115 da BR-101. Para a análise desse segmento da rodovia foi necessário o levantamento das características geométricas viárias, realizado por meio do uso de dois equipamentos: (i) o receptor de Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS), utilizado nos modos de Posicionamento por Ponto Preciso (PPP) e Posicionamento Cinemático em Tempo Real (RTK), e (ii) o Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (RPAS), com base nos pontos de apoio. Os dados obtidos no levantamento foram processados no *software* Agisoft Metashape, o qual gerou um produto cartográfico com escala 1:1000 categoria “B”, segundo o Padrão de Exatidão Cartográfica – Produtos da Cartografia Digital (PEC-PCD). Através do produto cartográfico e dos *softwares* AutoCAD Civil 3D e SAEPRO, foi realizada a análise da geometria da rodovia, onde foram encontrados parâmetros fora dos critérios estabelecidos pelo DNIT, como: (i) inconsistências na largura da pista de rolamento, (ii) trechos de acostamento com largura menor que a largura mínima em norma, (iii) uma curva com raio inferior ao mínimo estabelecido em norma que considera uma velocidade diretriz de 60 km/h, (iv) um trecho com uma rampa de inclinação maior que o aceito em norma e que se estende por uma grande distância (1,2 km), e (v) várias curvas com sucessões na Zona IV, ou seja, que não são recomendáveis do ponto de vista de conforto aos motoristas. Desta forma, foi possível utilizar da metodologia proposta neste trabalho para mapear segmentos rodoviários com problemas geométricos.

Palavras-chave: RPAS. GNSS. SAEPRO. Segurança Viária. Geometria rodoviária.

ABSTRACT

FORTES, Leonardo Arthur Mocelin. **Identification and analysis of road sections with possible geometric inconsistencies using UAV and GNSS receiver: case study from BR-101 km 113 to km 115.** 2021. 123 pp. Undergraduate dissertation (Graduation in Civil Engineering) – Center of Technology of Federal University of Alagoas. Maceió, 2021.

This paper sought to identify and analyze a road section with possible geometric issues. The identification was made based in the Federal Highway Police accident database and an adapted methodology of Ministério de Transporte's "PARE" program, using the Standard Unit of Severity (UPS) and filtering the types of accidents that may have originated due to issues on the geometric design of highway, such as: (i) overturning, (ii) collision with moving object, (iii) collision with static object, (iv) rear collision, (v) carriageway exit and (vi) tipping. This procedure provided the section between the kilometers 113 and 115 of BR-101. For the analysis of this highway's section it was necessary to survey the road geometric design characteristics, made by the use of two tools: (i) the Global Navigation Satellite System (GNSS) receiver, used in the modes of Precise Point Positioning (PPP) and Real-Time Kinematic Positioning (RTK), and (ii) the Unmanned Aerial Vehicle (UAV), based on the ground control points. The data obtained in the survey were processed in the Agisoft Metashape software, which generated a cartographic product with a 1:1000 scale category "B", according to the Cartographic Accuracy Standard – Digital Cartography Products (PEC-PCD). Through the cartographic product and the softwares AutoCAD Civil 3D and SAEPRO, it was made the analysis of the highway's geometric design, where parameters were found outside the criteria established by DNIT, such as: (i) inconsistencies in the width of the carriageway, (ii) sections of shoulder stretches with less than expected width according to standard minimum width, (iii) a road curve with less than expected radius according to standard minimum radius which consider an operating speed of 60 km/h, (iv) a road section with a larger than standard slope that stretches for a long distance (1.2 km), and (v) many successive curves at Zone IV, in other words, not recommendable from the point of view of comfort for drivers. Therefore, it was possible to utilize the methodology proposed in this writing to map road segments with geometric design issues.

Keywords: UAV. GNSS. SAEPRO. Geometric design of highways. Road traffic injuries.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Década de ação pela segurança no trânsito.....	19
Figura 2 - Países com os maiores números de mortes por acidentes de trânsito registrados em 2016	20
Figura 3 - Acidentes de trânsito registrados pela PRF em Alagoas de 2012 a 2018.....	22
Figura 4 - Fluxograma das etapas do estudo	25
Figura 5 - Fatores contribuintes nos acidentes de trânsito.....	27
Figura 6 - Exemplo de traçado em planta de rodovia.....	34
Figura 7 - Exemplo de traçado em perfil de rodovia.....	35
Figura 8 - Exemplo de seção transversal de rodovia.....	35
Figura 9 - Principais elementos da curva horizontal circular simples.....	41
Figura 10 - Curva horizontal circular composta.....	43
Figura 11 – Curva horizontal circular reversa	44
Figura 12 - Clotóide.....	45
Figura 13 - Curva horizontal com transição	46
Figura 14 - Critérios desejáveis para raios de curvas sucessivas	47
Figura 15 - Curva vertical parabólica simples de 2° grau	48
Figura 16 – Elementos da seção transversal.....	50
Figura 17 - Equipamento GNSS.....	53
Figura 18 - Precisão do PPP em função do tempo de rastreamento.....	54
Figura 19 - Arranjo do método RTK convencional.....	55
Figura 20 - Multirotor à esquerda e asa fixa à direita.....	56
Figura 21 – Alvo artificial (a) e alvo natural (b)	57
Figura 22 - Interface SAEPRO.....	58
Figura 23 - Parâmetros geométricos e relatório de inconformidades – SAEPRO.....	59
Figura 24 - Ranqueamento dos trechos conforme somatório UPS.....	67
Figura 25 - Localização do trecho de estudo.....	68
Figura 26 - Plano de voo no Drone Deploy.....	72
Figura 27 - DJI Mavic Pro.....	73
Figura 28 - Ponto de controle (a) e ponto de checagem (b)	74
Figura 29 - Referência das dimensões da pré-sinalização dos alvos (a) e gráfico da dimensão “d” em metros em função da escala do voo (b).....	74

Figura 30 - Disposição inicial dos pontos de controle e de checagem	75
Figura 31 - Disposição final dos pontos de checagem e de controle.....	76
Figura 32 - Receptor GNSS CHC X91GNSS	76
Figura 33 - Cravação do piquete (a), instalação da Base (b) e leitura da distância do ponto ao receptor (c).....	78
Figura 34 - Aposição dos pontos de apoio e coleta das coordenadas.....	78
Figura 35 - Controle e acompanhamento de voo.....	79
Figura 36 - IBGE-PPP	80
Figura 37 - Fotos importadas	81
Figura 38 - Importação das coordenadas dos pontos de apoio	81
Figura 39 - Alinhamento das fotos	82
Figura 40 - Alocação dos marcadores nos pontos de apoio	82
Figura 41 - Modelo digital de superfície (a), modelo digital de terreno (b) e ortomosaico (c)	83
Figura 42 - Traçado do eixo da superfície (a), linhas tangentes (b) e definição do ponto de interseção (c).....	84
Figura 43 - Pontos de interseção (PIs) definidos.....	84
Figura 44 - Superfície gerada com traçado e curvas de nível (a), e determinação dos PIs (b).	85
Figura 45 - Definição do traçado da curva	85
Figura 46 - Definição do traçado da curva vertical	86
Figura 47 - Medição da pista de rolamento	87
Figura 48 - Localização do ponto de checagem	88
Figura 49 - Curvas PI-2 e PI-3 (a), curvas PI-4, PI-5 e PI-6 (b).....	93
Figura 50 - Número de acidentes por quilometragem	94
Figura 51 - Comprimento crítico das rampas – caminhão nacional de 154 kg/kW	96
Figura 52 - Número e tipos de acidentes por quilometragem.....	97

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tipos de acidentes considerados pela PRF	30
Quadro 2 - Veículos tipo e suas descrições	39
Quadro 3 - Principais dimensões básicas dos veículos de projeto (em metros)	40
Quadro 4 - Dicionário de variáveis de acidentes registrados pela PRF.....	65
Quadro 5 - Exemplo de cálculo de UPS	66
Quadro 6 - Especificações do DJI Mavic Pro.....	73
Quadro 7 - Características técnicas do CHC X91GNSS	77
Quadro 8 - Padrão de exatidão cartográfica da planimetria dos produtos cartográficos digitais	90
Quadro 9 - Padrão de exatidão cartográfica altimétrica dos pontos cotados e do MDT, MDE e MDS para a produção de produtos cartográficos digitais.....	90
Quadro 10 - Erros calculados pelo processamento.....	91

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Ranking das principais causa de mortes no mundo em 2004.....	18
Tabela 2 - Ranking das principais causas de mortes no mundo em 2016	20
Tabela 3 -Número de acidentes registrados pela PRF em Alagoas entre 2012 e 2018	21
Tabela 4 - Velocidades diretrizes para novos traçados em função da classe de projeto e do relevo	39
Tabela 5 - Cordas admissíveis para as curvas	42
Tabela 6 - Rampas máximas.....	48
Tabela 7 - Valor mínimo de K para máxima aceleração centrífuga admissível.....	49
Tabela 8 - Valor mínimo de K para o critério da visibilidade necessária ($Lv>D$)	49
Tabela 9 - Largura das faixas de rolamento em tangentes	50
Tabela 10 - Largura dos acostamentos externos (em metros)	51
Tabela 11 - VMDA da BR 101 km 104,2 ao km 112,4.....	69
Tabela 12 - Caracterização do relevo em função da linha de maior declividade LMD	70
Tabela 13 - Características básicas do projeto geométrico – rodovias classe I.....	71
Tabela 14 - Dados de voo	72
Tabela 15 - Correlação entre GSD e escala do mapa	75
Tabela 16 - Largura da faixa de rolamento e do acostamento.....	92
Tabela 17 - Parâmetros das curvas horizontais	94
Tabela 18 - Parâmetros das curvas verticais.....	95

LISTA DE ABREVIATURAS

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANTT	Agência Nacional de Transportes Terrestres
ASPRS	<i>American Society for Photogrammetry and Remote Sensing</i>
BAT	Boletim de Acidente de Trânsito
BIM	<i>Building Information Modeling</i>
CIENGE	Consultoria em Informática e em Engenharia LTDA
CNSS	<i>China's Compass Navigation Satellite System</i>
CNT	Confederação Nacional do Transporte
CONCAR	Comissão Nacional de Cartografia
CONTRAN	Conselho Nacional de Trânsito
CTB	Código Brasileiro de Trânsito
DAER	Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DENATRAN	Departamento Nacional de Trânsito
DGNSS	GNSS Diferencial
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura
EGNOS	<i>European Geostationary Navigation Overlay System</i>
GBAS	<i>Ground Based Augmentation System</i>
GLONASS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System</i>
GPS	Sistema de Posicionamento Global (<i>Global Positioning System</i>)
GSD	<i>Ground Sample Distance</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCRA	Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária
INDE	Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais
ISPRS	<i>International Society for Photogrammetry and Remote Sensing</i>
LIDAR	Light Detection And Ranging
LMD	Linha de Maior Declividade
MDE	Modelo Digital de Elevação

MDS	Modelo Digital de Superfície
MDT	Modelo Digital de Terreno
MINFRA	Ministério da Infraestrutura
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PARE	Programa de Redução de Acidentes
PCD	Produtos da Cartografia Digital
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica
PNCT	Plano Nacional de Contagem de Tráfego
PNT	Pesquisa Nacional de Trânsito
PPP	Posicionamento por Ponto Preciso
PRF	Polícia Rodoviária Federal
RPA	Aeronave Remotamente Pilotada
RPAS	Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada
RTK	<i>Real Time Kinematic</i>
SAEPRO	Sistema Avançado para Estudos e Projetos Viários
SBAS	<i>Satellite Based Augmentation System</i>
SCN	Sistema Cartográfico Nacional
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UAV	<i>Unmanned Aerial Vehicle</i>
UFAL	Universidade Federal de Alagoas
UFRGS	Universidade Federal do Rio Grande do Sul
UPS	Unidade Padrão de Severidade
UTM	Universal Transversa de Mercator
VANT	Veículo Aéreo Não Tripulado
VMD	Volume Médio Diário de Tráfego
VMDA	Volume Médio Diário Anual de Tráfego
WAAS	<i>Wide Area Augmentation System</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	18
1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA	18
2 OBJETIVOS E ESPECIFICIDADES	24
2.1 OBJETIVO GERAL.....	24
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	24
2.3 HIPÓTESES DO ESTUDO	24
2.4 LIMITAÇÕES	24
2.5 ESTRUTURA DO TRABALHO	25
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	26
3.1 ACIDENTES DE TRÂNSITO.....	26
3.1.1 Definição	26
3.1.2 Fatores contribuintes nos acidentes de trânsito	26
3.1.2.1 Fator humano.....	27
3.1.2.2 Fator veicular.....	27
3.1.2.3 Fator institucional/social	28
3.1.2.4 Fator socioeconômico.....	28
3.1.2.5 Fator do meio ambiente	28
3.1.2.6 Fator viário	29
3.1.3 Tipos de acidente de trânsito	29
3.1.4 Dados de acidente de trânsito	30
3.1.5 Locais críticos e métodos para identificação.....	31
3.1.6 Métodos numéricos	32
3.1.6.1 Técnica do número de acidentes.....	32
3.1.6.2 Técnica da severidade de acidentes – Unidade Padrão de Severidade (UPS).....	32
3.1.6.3 Técnica da taxa de acidente	33
3.1.6.4 Técnica da taxa de severidade dos acidentes.....	33

3.2 PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS	34
3.2.1 Classificação Técnica de Rodovias	35
3.2.2 Volume Médio Diário de Tráfego (VMD)	36
3.2.3 Relevo	36
3.2.4 Classes de Projeto	37
3.2.5 Elementos Básicos para o Projeto Geométrico.....	38
3.2.5.1 Velocidade de projeto.....	38
3.2.5.2 Veículo de projeto	39
3.2.6 Traçado em Planta	40
3.2.6.1 Curvas horizontais circulares simples	41
3.2.6.1.1 Estaqueamento.....	42
3.2.6.2 Curvas horizontais circulares compostas.....	42
3.2.6.3 Curvas horizontais circulares reversas	44
3.2.6.4 Curvas horizontais de transição	44
3.2.6.4.1 Elementos das curvas horizontais com transição	45
3.2.6.5 Sucessão de Curvas	47
3.2.7 Traçado em Perfil	47
3.2.7.1 Rampas	48
3.2.7.2 Curvas Verticais	48
3.2.7.2.1 Parábola simples de 2° grau	48
3.2.8 Seções Transversais.....	50
3.2.8.1 Faixa de tráfego e pista de rolamento.....	50
3.2.8.2 Acostamento	51
3.3 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO	51
3.3.1 Receptor GNSS	51
3.3.2 Técnicas de Posicionamento por Receptores GNSS	53
3.3.2.1 Posicionamento por ponto preciso – PPP	53

3.3.2.2 Posicionamento cinemático em tempo real – RTK convencional.....	54
3.3.3 Aerofotogrametria e o RPAS.....	55
3.3.4 Pontos de Apoio	57
3.4 SAEPRO.....	58
3.5 ESTUDOS SIMILARES	60
3.5.1 Rosenbach (2018).....	60
3.5.2 Görgen Filho (2018).....	62
4 METODOLOGIA.....	64
4.1 ESCOLHA DO TRECHO DE ESTUDO.....	64
4.1.1 Delimitações do Estudo.....	64
4.1.2 Tratamento de Dados de Acidentes de Trânsito.....	64
4.1.3 Cálculo da Unidade Padrão de Severidade.....	66
4.1.4 Ranqueamento dos Trechos.....	66
4.2 CLASSIFICAÇÃO DO TRECHO DE ESTUDO.....	68
4.2.1 Apresentação do Trecho de Estudo	68
4.2.2 Determinação da Classe da Rodovia	69
4.2.3 Determinação do Relevo do Trecho	69
4.3 LEVANTAMENTO DE CAMPO	71
4.3.1 Planejamento de Voo.....	71
4.3.2 Características do RPA Utilizado	73
4.3.3 Confecção, Dimensões e Posicionamento dos Pontos de Controle e de Checagem	73
4.3.4 Características do Receptor GNSS	76
4.3.5 Montagem e Operação do Receptor GNSS	77
4.3.6 Finalização dos Trabalhos em Campo.....	79
4.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS	79
4.4.1 Processamento dos Dados Coletados pelo Receptor GNSS	79
4.4.2 Processamento das Fotos	80

4.5 ANÁLISE DA GEOMETRIA DO TRECHO	83
4.5.1 Reconstituição da Geometria.....	83
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	88
5.1 IMPRESSÕES SOBRE O PLANEJAMENTO E O LEVANTAMENTO DE CAMPO... ..	88
5.2 PRECISÃO DO LEVANTAMENTO	89
5.3 ANÁLISE DA GEOMETRIA DO TRECHO	92
5.3.1 Largura Do Acostamento e da Pista de Rolamento	92
5.3.2 Curvas Horizontais	93
5.3.3 Curvas Verticais	95
6 CONCLUSÃO.....	98
REFERÊNCIAS	100
APÊNDICE A	107
APÊNDICE B	109
APÊNDICE C	111
APÊNDICE D	113

1 INTRODUÇÃO

1.1 CONTEXTO E JUSTIFICATIVA

Os acidentes de trânsito não se tratam de um problema novo. Para se ter ideia, o primeiro acidente de trânsito fatal registrado ocorreu em 31 de agosto de 1869, na Irlanda, onde a vítima foi a cientista e ilustradora Mary Ward (HARRY, 1984). Nessa época, o cenário da mobilidade urbana nas cidades era caracterizado pela maioria dos deslocamentos realizados a pé ou através do uso de animais, sendo os veículos automotores itens considerados de luxo, portanto não tão comuns. Ainda assim, prevendo o uso dos carros, em 1865 o Reino Unido implementou algumas restrições para os motoristas da época: um limite de velocidade de no máximo quatro milhas por hora (aproximadamente 6 km/h) em perímetros rurais, e duas milhas por hora (cerca de 3 km/h) em regiões urbanas, e mesmo com a medida de restrição de velocidade ocorreu a primeira fatalidade por acidente de trânsito registrado na história (RICKARDS, 1865).

Com o passar dos anos os veículos adquiriram mais potência e tecnologia, acompanhados de construções de infraestruturas adequadas para o tráfego desses veículos, permitindo assim o desenvolvimento de maiores velocidades, porém, aumentando os riscos de acidentes de trânsito.

Em 2009, a Organização Mundial da Saúde (OMS) divulgou um relatório denominado *Global status report on road safety: time for action*, com o intuito de demonstrar pesquisas e estudos que apresentam a relevância dos acidentes de trânsito como um problema de saúde mundial. Nesse relatório, foram fornecidos diversos dados, entre eles, alguns referentes às principais causas de morte no mundo ocorridas em 2004, bem como uma estimativa das causas de morte para o ano de 2030, como apresentado na Tabela 1:

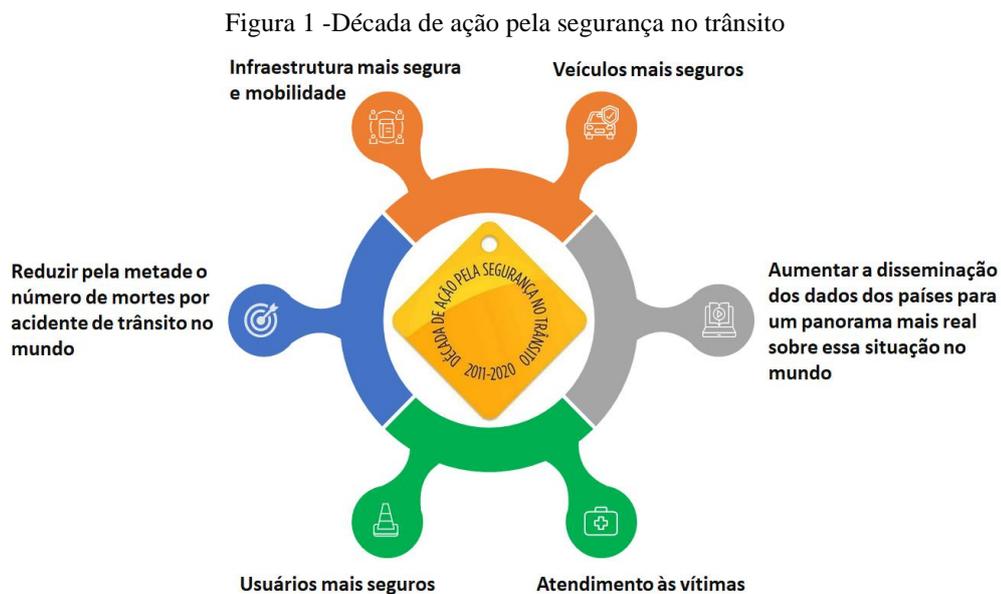
Tabela 1 - Ranking das principais causa de mortes no mundo em 2004

Ranking	Causa principal	2004 (%)	2030 (%)
1°	Doenças Cardíacas	12,2	14,2
2°	Doenças Cerebrovasculares	9,7	12,1
3°	Doenças Respiratórias	7,0	3,8
4°	Doenças Pulmonares Crônicas	5,1	8,6
5°	Doenças Diarreicas	3,6	-
6°	HIV/AIDS	3,5	1,8
7°	Tuberculose	2,5	1,0
8°	Câncer de Traqueia, Brônquios e de Pulmão	2,3	3,4
9°	Acidentes de Trânsito	2,2	3,6
10°	Mortalidade Infantil	2,0	-

Fonte: Adaptado de Global Status Report on Road Safety (OMS, 2009, p. ix)

Traduzindo em números, foi observado que só no ano de 2004 os acidentes de trânsito foram responsáveis por mais de 1,27 milhão de mortes no mundo inteiro (em torno de 1 morte a cada 25 segundos), considerando um total de 178 países. Quanto ao número de acidentes não fatais para o mesmo ano, foi observado um número entre 20 a 50 milhões, uma quantidade de acidentes evidentemente preocupante (OMS, 2009).

Diante desse cenário, em março de 2010 a Assembleia Geral das Nações Unidas (ONU) publicou, através da Resolução A/RES/64/255, a proclamação do período de 2011 a 2020 como a Década de Ação pela Segurança no Trânsito, onde os governos de vários países se comprometeram a tomar medidas efetivas para reduzir o número de fatalidades no trânsito em 50% até o final do prazo estipulado, se destacando entre essas medidas as melhorias das legislações de trânsito, o aumento de fiscalizações, e a elaboração de estradas e veículos mais seguros. O programa foi lançado então em maio de 2011, e foi coordenado pela ONU e pela OMS, baseado nos princípios mostrados na Figura 1 (CAMPOS *et al.*, 2013).



Fonte: Adaptado de DETRANRS (2015)

Em 2018 a OMS emitiu o *Global Status Report on Road Safety 2018*, o qual relata que o número de mortes por acidentes de trânsito no mundo inteiro continuou a crescer, mesmo com a implantação do programa Década de Ação pela Segurança no Trânsito. Em 2016, de acordo com este relatório, os acidentes de trânsito causaram a morte de 1,35 milhão de pessoas, resultando em um aumento de 80.000 mortes por ano quando comparado ao ano de 2004. Vale lembrar que o objetivo do referido programa era de reduzir o número de mortes em 50% entre os anos de 2011 e 2020, mas o objetivo não foi alcançado. Outro ponto a se destacar no relatório

foi a atualização do ranking das principais causas de mortes no mundo, onde as causas por acidentes de trânsito subiram uma posição, demonstrado na Tabela 2 (OMS, 2018).

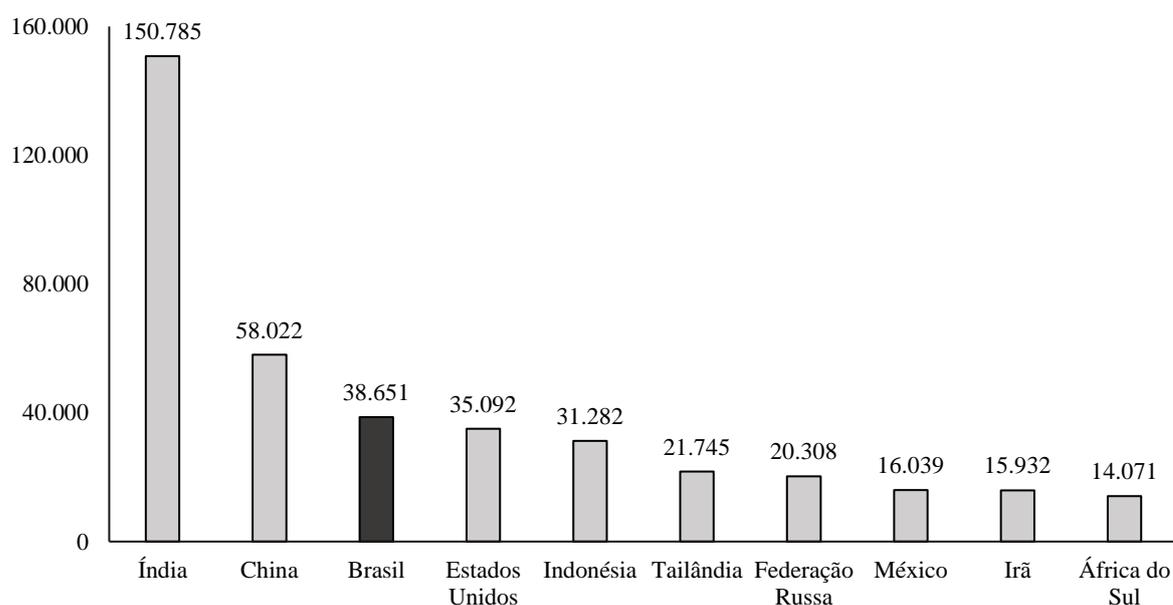
Tabela 2 - Ranking das principais causas de mortes no mundo em 2016

Ranking	Causa principal	2016 (%)
1°	Doenças Cardíacas	16,6
2°	Acidente Vascular Encefálico	10,2
3°	Doenças Pulmonares Obstrutivas Crônicas	5,4
4°	Infecções Respiratórias Inferiores	5,2
5°	Doença de Alzheimer e Outras Demências	3,5
6°	Câncer de Traqueia, Brônquios e de Pulmão	3,0
7°	Diabetes Mellitus	2,8
8°	Acidentes de Trânsito	2,5
9°	Doenças Diarreicas	2,4
10°	Tuberculose	2,3

Fonte: Adaptado de Global Status Report on Road Safety (OMS, 2018, p. 6)

No mesmo relatório, foram disponibilizados dados dos números de mortes por acidentes de trânsito registrados de cada país, todos referentes ao ano de 2016. Nesses dados, o Brasil ocupou a terceira posição mundial, com um total de 38.651 mortes por acidentes de trânsito em uma população total de 206,200 milhões de pessoas (2016), atrás apenas dos dois países mais populosos do mundo: a Índia em primeiro lugar, com 150.785 mortes registradas em uma população de 1,325 bilhão de pessoas (2016), e em segundo lugar a China com 58.022 mortes contabilizadas em uma população de 1,379 bilhão de pessoas (2016), bem como demonstrado no gráfico da Figura 2 (OMS, 2018).

Figura 2 - Países com os maiores números de mortes por acidentes de trânsito registrados em 2016



Fonte: Adaptado de Global Status Report on Road Safety (OMS, 2018, p. 302-313)

Esses dados evidenciam a relevância desse tema não só para o mundo, mas também para o Brasil, afinal, ocupou terceiro lugar mundial.

A Confederação Nacional do Transporte (CNT) lançou em 2018 um relatório de acidentes rodoviários e infraestrutura das rodovias federais do Brasil, o qual aponta que só no ano de 2018 ocorreram 5.269 mortes por acidentes de trânsito nas rodovias federais, em um total de 69.206 acidentes registrados. Destes, as regiões que lideram a relação morte para cada 100 acidentes com vítimas são a região Nordeste (14,8 mortes para cada 100 acidentes com vítimas) e a região Norte (12,0), seguidas pelas regiões Centro-Oeste (10,4), Sudeste (7,9) e a região Sul (7,4).

Através da análise do mesmo parâmetro a nível estadual, foi constatado que Alagoas ocupa o terceiro lugar nacional, com 18,6 mortes para cada 100 acidentes de trânsito com vítimas, o que indica não só um problema nacional, como também um problema do estado (CNT, 2018).

Em virtude desse problema, foi investigado o cenário do estado de Alagoas através de dados disponibilizados pela Polícia Rodoviária Federal (PRF), apresentados na Tabela 3, que tratam do número de acidentes acumulados por município desde 2012 até o ano de 2018.

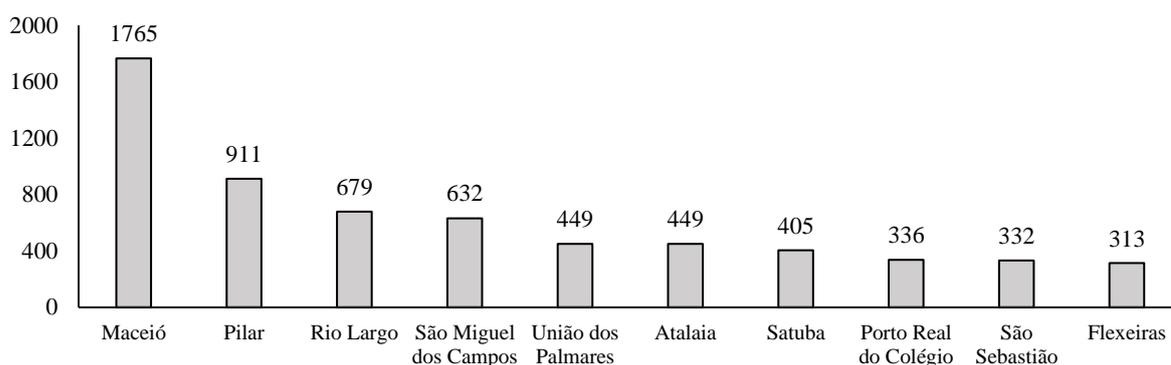
Tabela 3 -Número de acidentes registrados pela PRF em Alagoas entre 2012 e 2018

Município	Número de Acidentes	Município	Número de Acidentes
Maceió	1765	Jequiá da Praia	142
Pilar	911	Água Branca	84
Rio Largo	679	Ouro Branco	53
São Miguel dos Campos	632	Cacimbinhas	71
Satuba	405	Estrela de Alagoas	67
União dos Palmares	449	Dois Riachos	52
Atalaia	449	Belém	62
Porto Real do Colégio	336	Marechal Deodoro	58
Messias	294	Campo Alegre	53
Palmeira dos Índios	288	Tanque D'Arca	47
São Sebastião	322	Maravilha	27
Flexeiras	313	Poço das Trincheiras	32
Junqueiro	250	Colônia Leopoldina	23
Joaquim Gomes	266	Ibateguara	24
Santana do Ipanema	207	Minador do Negrão	20
Murici	186	Pariconha	13
Delmiro Gouveia	162	Igaci	7
São José da Laje	178	Mata Grande	9
Novo Lino	167	Santa Luzia do Norte	4
Teotônio Vilela	174	Quebrangulo	1
Branquinha	120	Igreja Nova	1
Inhapi	88	Coqueiro Seco	2
Canapi	109	Pindoba	1
Maribondo	106		

Fonte: Autor (2019)

A Tabela 3 evidencia que os acidentes se concentram basicamente na região metropolitana de Maceió, que segundo Santos Filho (2018), compreende os municípios de Atalaia, Barra de Santo Antônio, Barra de São Miguel, Coqueiro Seco, Maceió, Marechal Deodoro, Messias, Murici, Paripueira, Pilar, Rio Largo, Santa Luzia do Norte e Satuba. Para melhorar a visualização da incidência de acidentes por região, foi elaborado o gráfico da Figura 3, o qual apresenta os dez municípios com os maiores números de acidentes de trânsito em Alagoas.

Figura 3 - Acidentes de trânsito registrados pela PRF em Alagoas de 2012 a 2018



Fonte: Autor (2019)

O gráfico demonstra uma grande concentração de acidentes na zona metropolitana de Maceió, assim como já comentado, mas esses números geram uma dúvida no tocante aos fatores os quais levaram a ocorrência desses acidentes. O que se faz usualmente, inclusive nos boletins gerados dos acidentes, é atribuir a culpa aos usuários dos veículos, quando na verdade a responsabilidade deveria ser distribuída entre todos os envolvidos no sistema, tanto dos usuários quanto dos planejadores e gestores. Ou seja, fatores como o estado do pavimento, a geometria da via, a sinalização, a gestão da mobilidade, as fiscalizações, enfim, todos devem ser levados em consideração, pois atribuem responsabilidades a outrem senão o próprio usuário, e dessa maneira as soluções são mais tangíveis, afinal, um problema não pode ser resolvido se não se conhece a sua origem.

Com ênfase nesses fatores, alguns estudos levantados pela CNT (2019) referentes a uma extensão total de 108.863 quilômetros de rodovias brasileiras, constataram que cerca de 76,3% (83.031 quilômetros) dessa malha apresentou problemas na geometria das vias (a metodologia empregada pela CNT para esta pesquisa considera como aspecto geométrico viário o seguinte: tipos de rodovia, perfis da rodovia, faixas adicionais, presença de pontes e viadutos, curvas perigosas e suas condições, acostamentos e sua condição). Em Alagoas, de um total de 788 quilômetros considerados, 58,1% apresentaram problemas relacionados à geometria rodoviária.

Ainda no mesmo relatório, uma das pesquisas relatou que em um total de 61.946 acidentes de trânsito levados em consideração, 38.449 acidentes ocorreram em locais que possuíam problemas no projeto geométrico da rodovia, ou seja, cerca de 62% de todos os acidentes ocorreram nesses trechos devido a este tipo de defeito, enquanto que em locais com problemas de sinalização ocorreram 16.860 acidentes, cerca de 27% dos acidentes, e 19.062 acidentes ocorreram em trechos com problemas no pavimento, por volta de 31% do número total de acidentes levantados. Vale lembrar que estes eventos não são excludentes, ou seja, um trecho pode apresentar um problema, dois, até mesmo os três juntos, por isso as porcentagens não somam 100%. Fica evidente então a influência do projeto geométrico da via quando se trata de segurança viária (CNT, 2019).

Nesse mesmo segmento de trabalho, Görden Filho (2018) e Rosenbach (2018) realizaram estudos voltados para o projeto geométrico de determinadas rodovias, os quais serão detalhados mais adiante, e ambos concluíram que a geometria da via é de suma importância para a segurança do tráfego viário. A escolha dos locais de estudo desses autores foi baseada no tempo de existência, no traçado e no número absoluto de acidentes dessas rodovias, todos parâmetros que podem influenciar de fato na consistência geométrica já que as normas evoluem com o tempo, além de que são ótimos critérios para análises de grandes extensões, como era o caso de ambos os estudos. Por outro lado, quando as análises são mais pontuais, talvez a escolha de trechos sem comparações mais minuciosas com outros possa excluir locais mais interessantes do ponto de vista da engenharia de segurança viária.

Além disso, ambos os trabalhos não possuíam dados altimétricos precisos, pois usaram imagens de satélite, não permitindo assim uma análise do alinhamento vertical dessas rodovias, que segundo Leal (2017), é uma das características que mais influencia no número e na severidade dos acidentes, pois está diretamente ligada à perda de controle do veículo pelo usuário.

Diante desse cenário de acidentes viários e da demanda por estudos que possam suportar possíveis mudanças nessa situação, surgiu o interesse deste trabalho, no intuito de se definir uma metodologia para identificar e analisar trechos com possíveis inconsistências geométricas, para isso, fazendo uso de dois equipamentos que foram oferecidos para o trabalho: um receptor *Global Navigation Satellite System* (GNSS), e uma Aeronave Remotamente Pilotada (RPA), aliados à tecnologia de *softwares* específicos (Agisoft Metashape, Autocad Civil 3D 2020 e SAEPRO), que permitem o processamento dos dados levantados em campo e uma posterior análise dos parâmetros geométricos de modelos digitais das rodovias.

2 OBJETIVOS E ESPECIFICIDADES

2.1 OBJETIVO GERAL

Este trabalho tem como objetivo principal identificar e analisar um segmento rodoviário com possíveis problemas geométricos, o qual será levantado através de dois equipamentos: um receptor GNSS e um RPA, e posteriormente estudado através do *software* SAEPRO.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Identificar um trecho de rodovia crítico na região metropolitana de Maceió por meio da combinação dos tipos de acidentes que podem estar relacionados a problemas de projeto geométrico de rodovia e da Unidade Padrão de Severidade (UPS);
- b) Verificar as precisões planimétricas e altimétricas obtidas no levantamento;
- c) Estudar a geometria do trecho abordado (curvas horizontais, curvas verticais, largura de pista de rolamento e largura de acostamento) por meio do *software* SAEPRO e verificar se os elementos atendem às especificações dos órgãos competentes;
- d) Verificar se o método utilizado de fato encontrou um trecho com problemas geométricos.

2.3 HIPÓTESES DO ESTUDO

Elementos geométricos de rodovias (alinhamentos verticais e horizontais, seção transversal, superelevação e superlargura) os quais não estejam dentro dos padrões normativos estabelecidos pelos órgãos competentes, influenciam de maneira direta no número e na severidade dos acidentes.

2.4 LIMITAÇÕES

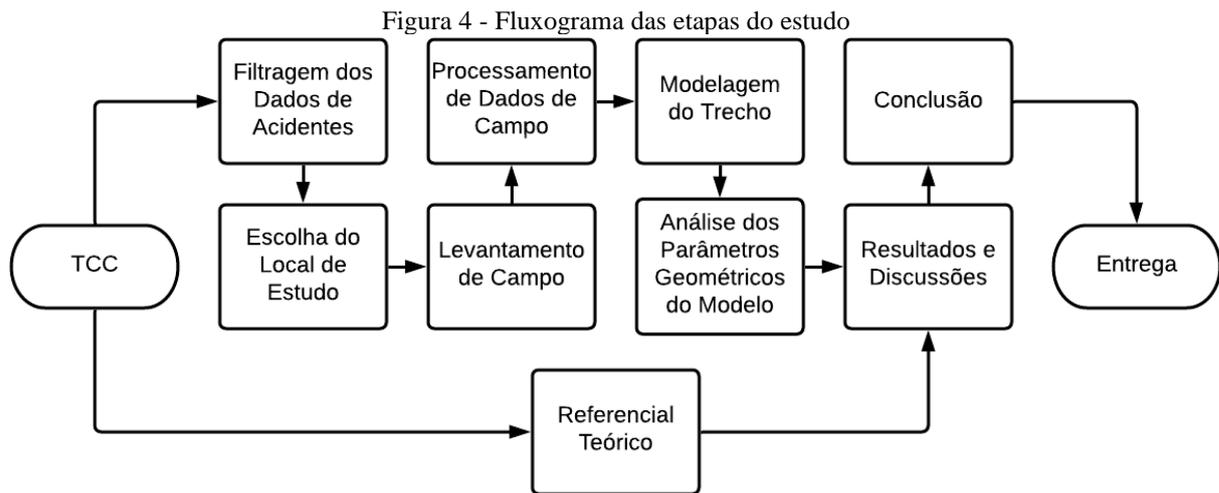
Durante o desenvolvimento do estudo, foram constatadas as seguintes limitações:

- a) O tamanho do estudo se restringiu à 2 km, em virtude de um limite de tempo operacional (os equipamentos e o auxílio foram ofertados gratuitamente);

- b) O trecho de estudo foi submetido a intervenções de obras e sofreu alterações em seu traçado.

2.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

O trabalho será organizado e desenvolvido conforme apresentado na Figura 4:



Fonte: Autor (2020)

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ACIDENTES DE TRÂNSITO

3.1.1 Definição

Acidente de trânsito, segundo Gold (1998), nada mais é do que um evento que abrange pelo menos um veículo, sendo este motorizado ou não, que normalmente ocorre sobre vias. Já a NBR 10.697, da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2018, p. 1), define como:

Todo evento não premeditado de que resulte dano ao veículo ou à sua carga e/ou lesões em pessoas e/ou animais, em que pelo menos uma das partes esteja em movimento nas vias terrestres ou áreas abertas ao público. Pode originar-se, terminar ou envolver veículo parcialmente na via pública.

A ocorrência ou não dos acidentes está diretamente relacionada com os fatores contribuintes para os mesmos, bem como os riscos associados, podendo ainda pertencer à diversos tipos, os quais serão abordados nos tópicos seguintes.

3.1.2 Fatores contribuintes nos acidentes de trânsito

A palavra acidente quase que instantaneamente remete a algo que não pode ser evitado ou prevenido, mas ao contrário do que sugere, para que um acidente ocorra geralmente é necessário que um conjunto de fatores desfavoráveis (fatores contribuintes) atue ao mesmo tempo. Desse modo, Gold (1998, p. 6) exemplifica um acidente e suas diversas versões:

Para as testemunhas, a causa deve ter sido o excesso de velocidade. Para os médicos, a influência do álcool sobre o motorista. Para o psicólogo, o baixo rendimento do condutor se devia ao estado anormal de tensão. Para o perito em automóveis, foi o mal funcionamento dos freios. Um leigo, inclusive, poderia culpar os amigos do condutor por animá-lo a dirigir sobre os efeitos do álcool.

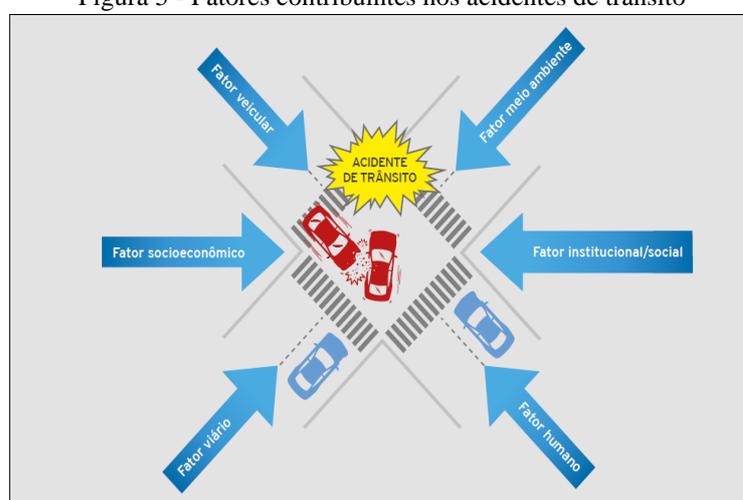
Para o técnico de trânsito, poderia ter sido a superelevação inadequada combinada com o estado derrapante do pavimento liso sob a chuva. Além disso, a presença do poste próximo à pista sem proteção agravou o resultado do acidente. A sinalização não advertiu o condutor do perigo devido à má visibilidade das placas.

Independente da interpretação, o acidente acontece em função da ocorrência simultânea de todos esses fatores, de maneira que se pelo menos um destes não tivesse ocorrido, a chance do acidente ter ocorrido poderia ter sido reduzida drasticamente.

Fica evidente então a importância do estudo desses fatores, com o objetivo de se compreenderem os motivos os quais levam à ocorrência dos acidentes, para possibilitar assim que outros sejam evitados, ou pelo menos mitigados.

De acordo com a CNT (2018) em seu relatório de Acidentes Rodoviários e Infraestrutura, os fatores contribuintes para os acidentes de trânsito são os fatores humano, veicular, institucional/social, socioeconômico, viário e do meio ambiente, assim como ilustrados na Figura 5.

Figura 5 - Fatores contribuintes nos acidentes de trânsito



Fonte: CNT (2018, p. 23)

3.1.2.1 Fator humano

Este fator está ligado ao comportamento do ser humano no trânsito, seja em sua condição como condutor ou como pedestre. Se enquadram neste quesito, exemplos como a imprudência de dirigir embriagado, ou o desrespeito às leis de trânsito, a travessia de vias em locais impróprios, enfim, qualquer fator ligado à diminuição dos reflexos do condutor ou até mesmo do próprio pedestre, que levam ao aumento da probabilidade da ocorrência de um acidente (CNT, 2018).

3.1.2.2 Fator veicular

O fator veicular associa-se a problemas nos veículos envolvidos nos acidentes: falta de manutenção, defeito de fábrica, qualquer motivo que afete o veículo diretamente em seu desempenho e transforme-o em um potencializador de acidentes (LEAL, 2017).

3.1.2.3 Fator institucional/social

Este fator se resume a dois segmentos: o primeiro é a regulamentação, a qual aborda basicamente o Código de Trânsito Brasileiro - CTB, que busca fornecer um padrão de ações a serem seguidas, bem como limites aos condutores e aos pedestres. O segundo segmento é a fiscalização, onde os principais meios fiscalizadores são o policiamento e os equipamentos de fiscalização (radares e câmeras). O principal papel de ambos é disciplinar o comportamento dos usuários para que obedeçam ao Código de Trânsito e às sinalizações locais (CNT, 2018).

Como cita Gold (1998), a ausência da polícia e de equipamentos de fiscalização são sim fatores contribuintes à acidentes resultantes de excesso de velocidade, mas tão importante quanto a fiscalização é a punição rigorosa, uma vez que não exista, acaba por indisciplinar as atitudes dos usuários, gerando assim mais um fator potencializador de acidentes.

3.1.2.4 Fator socioeconômico

O tamanho das frotas e as taxas de ocupação das cidades acompanham a economia, ou seja, quanto maior a economia, maiores as frotas e maior a taxa de crescimento desordenado nas cidades. Em contrapartida, não necessariamente a infraestrutura avança também nesse ritmo, de maneira a se aumentarem o número de carros, o número de construções em locais onde antes não existiam, e não é construído um suporte para esse crescimento, estimulando diretamente o número de acidentes. Fora o aspecto social, que remete a diversos fatores: a falta de conhecimento e de preparo das pessoas para lidar com os problemas derivados dos aumentos das frotas com infraestruturas precárias, ou até mesmo uma premissa cultural de que as ruas são construídas em função dos carros, desvalorizando as pessoas enquanto pedestres (CNT, 2018).

3.1.2.5 Fator do meio ambiente

Esse fator abrange qualquer evento de origem ambiental que venha a potencializar a ocorrência de acidentes de trânsito, como por exemplo a vegetação dificultando a visão dos motoristas, ou então a presença de neblina, chuvas torrenciais, granizo, ventos fortes, tempestades, neve e nevascas, até mesmo a presença de obstáculos nas pistas, como por exemplo: troncos de árvores, animais nas pistas, pedras, etc.

3.1.2.6 Fator viário

Os fatores viários são aqueles que se relacionam de maneira direta com as características das vias, compondo assim três partes: a sinalização, o pavimento e geometria.

De acordo com a CNT (2018), a sinalização é responsável por orientar e regulamentar os usuários, e existe para informar áreas propícias à acidentes e para guiar a movimentação dos motoristas de modo mais seguro, de maneira que a existência de problemas na sinalização pode levar a falta de informação, ou até mesmo gerar uma informação errada, contribuindo assim de maneira direta para a ocorrência de acidentes aos usuários.

Já o pavimento atua nas questões relativas ao conforto e segurança do motorista, uma vez que é ele quem fornece a aderência aos pneus dos veículos, portanto, se possui defeitos como panelas (buracos), deformações permanentes, entre outros, dificultam ao motorista manter a trajetória desejada, podendo até gerar colisões ou perda de controle do veículo, levando assim a ocorrerem acidentes (BERNUCCI, 2010).

Na geometria da via, dimensionamentos ou execuções errôneas submetem os usuários a condições que oferecem riscos reais e diretos de acidentes. Um exemplo claro seria uma curva dimensionada com um raio de 200 m, por exemplo, que na realidade foi construída com um raio de 100 m. Se os veículos desempenharem a velocidade definida para a curva de raio de 200 m, no decorrer do trajeto desta curva ocorrerá uma atuação da força centrífuga maior que a planejada, e a tendência é de que os veículos sejam “jogados” para fora da curva. Por isso é de extrema relevância a composição geométrica da via, por ser responsável não só pela interação direta entre o veículo e o modelo do trajeto, mas principalmente pelas forças e velocidades geradas e envolvidas nesse processo.

3.1.3 Tipos de acidente de trânsito

O conhecimento sobre os tipos de acidente de trânsito é importante porque eles definem as características de cada acidente, restringindo assim de maneira direta o espaço amostral de causas e fatores contribuintes que podem ter originado o mesmo. Segue no Quadro 1 os tipos de acidentes considerados e definidos pela PRF, com referências na NBR 10697/2018: Pesquisa de acidentes de trânsito – Terminologia.

Quadro 1 - Tipos de acidentes considerados pela PRF

TIPO DE ACIDENTE	DEFINIÇÃO
Atropelamento de animal	Atropelamento em que o animal sofre o impacto de um veículo, estando pelo menos uma das partes em movimento.
Atropelamento de pedestre	Atropelamento em que o pedestre sofre o impacto de um veículo, estando pelo menos uma das partes em movimento.
Capotamento	Acidente em que o veículo fira sobre si mesmo, em qualquer sentido, chegando a ficar com as rodas para cima, imobilizando-se em qualquer posição.
Colisão com objeto em movimento	Tipo de acidente no qual há o impacto de um veículo em movimento contra qualquer objeto em movimento, exceto outro(s) veículo(s).
Colisão com objeto estático	Tipo de acidente no qual há impacto de um veículo em movimento contra qualquer obstáculo fixo, estático ou outro veículo estacionado.
Colisão frontal	Tipo de acidente que ocorre quando os veículos transitando na mesma direção, porém, em sentidos opostos, sofrerem impactos em qualquer de suas partes, com alteração substancial de sua quantidade de movimento.
Colisão lateral	Tipo de acidente que ocorre quando os veículos em movimento na mesma direção, mesmo sentido ou em sentidos opostos colidirem simultaneamente, sem alteração substancial de sua quantidade de movimento.
Colisão transversal	Colisão que ocorre transversalmente, quando os veículos transitam em direções que se cruzam, ortogonal ou obliquamente.
Colisão traseira	Tipo de acidente que ocorre quando dois veículos, transitando na mesma direção e sentido, se chocam, considerando que o veículo que vinha à retaguarda atinge o veículo da frente.
Danos eventuais	Acidentes que envolvam situações atípicas, desde que não enquadrado em nenhuma das tipificações específicas.
Derramamento de Carga	Tipo de acidente em que ocorre a queda ou derramamento da carga do veículo transportador, com prejuízo de ordem material e/ou pessoal.
Engavetamento	Tipo de acidente em que se tem por definição o impacto entre três ou mais veículos transitando na mesma direção e sentido de circulação.
Incêndio	Tipo de acidente o qual envolve a ocorrência de fogo não controlado.
Queda de ocupante de veículo	Acidente em que há impacto em razão da queda de pessoas.
Saída de leito carroçável	Tipo de acidente no qual um veículo sai do leito carroçável da via, provocando danos materiais ao veículo, a terceiros e/ou lesões pessoais.
Tombamento	Tipo de acidente em que o veículo sai de sua posição normal, imobilizando-se ou não sobre uma de suas laterais, sua frente ou sua traseira.

Fonte: Autor (2020)

3.1.4 Dados de acidente de trânsito

Os registros dos acidentes das rodovias de jurisdição federal são realizados através do sistema de Boletim de Acidente de Trânsito - BAT, implementado a partir do ano de 2017, e realizados

pelos agentes da Polícia Federal Rodoviária, responsáveis por 70 mil quilômetros de rodovias federais do Brasil. Os agentes coletam informações a respeito dos envolvidos, do local, dos veículos, da dinâmica do acidente, o horário, as condições da pista, etc, informações estas que posteriormente são compiladas em uma planilha com dados anuais de acidentes, disponibilizada de forma gratuita pela PRF em seu site (PRF, 2020).

3.1.5 Locais críticos e métodos para identificação

Brandão (2007, p. 9) define os locais críticos como “aqueles sobre a rede de vias que apresentam padrões de acidentes iguais ou superiores a uma referência pré-estabelecida, e/ou que estejam associados a níveis de segurança viária que coloquem em risco os usuários do sistema viário”.

A identificação desses locais é importante não só pela delimitação em si, mas principalmente no que diz respeito ao entendimento dos motivos que levam estes a se tornarem pontos críticos, uma vez que esse conhecimento permite a tomada de providências que sanem ou pelo menos mitiguem a ocorrência de novos acidentes de trânsito nesses lugares.

A partir dessa importância de se conhecerem os locais críticos, surge também a demanda por metodologias que permitam a determinação dessas áreas, afinal, sem uma metodologia as decisões para considerar um trecho como crítico ou não seriam totalmente subjetivas. Nessa perspectiva foram desenvolvidos diversos métodos os quais já são amplamente disseminados nas literaturas, que possibilitam o reconhecimento desses locais. Tais métodos são divididos em três tipos principais: numéricos, estatísticos e de técnicas de conflito, detalhados pelo Ministério de Transportes (2002) da seguinte forma:

- Os métodos numéricos são os mais simples em termos de elaboração e aplicação, e por essa razão são os mais usados na prática. Esses métodos são baseados na comparação entre uma referência pré-estabelecida pela equipe técnica e os valores de indicadores, valores estes que são construídos com base nas quantidades e nas taxas de acidentes. Os locais críticos, desse modo, são aqueles que possuem valores dos indicadores maiores que os números estipulados como referência;
- Os métodos estatísticos fazem uso de modelos matemáticos probabilísticos para determinar os locais onde o risco da ocorrência de acidentes é superior ao estimado;

- Os métodos de técnica de conflitos partem do pressuposto de que existe uma relação direta entre acidentes e conflitos de trânsito, e que ações que reduzam os conflitos reduzem também os acidentes.

De todos os métodos, os estatísticos se destacam em termos de precisão, porém são mais sofisticados e tão complexos quanto os métodos de técnica de conflitos. Isso reforça, portanto, a utilização dos métodos numéricos como meios mais acessíveis e práticos para a determinação de locais críticos, sendo assim o tipo escolhido para ser usado neste trabalho, e em função disso, apenas estes serão descritos para não tornar o texto prolixo.

3.1.6 Métodos numéricos

Existem quatro técnicas entre os métodos numéricos: número de acidentes, severidade de acidentes, taxa de acidentes e taxa de severidade, os quais serão detalhados nos subtópicos seguintes (MT, 2002).

3.1.6.1 Técnica do número de acidentes

A técnica do número de acidentes aborda de maneira direta o número de acidentes registrados em um determinado período estipulado, onde os locais críticos são os lugares os quais possuem uma incidência de acidentes maior do que a média aritmética calculada em função de todas as ocorrências consideradas em cada um dos locais de análise (MT, 2002).

3.1.6.2 Técnica da severidade de acidentes – Unidade Padrão de Severidade (UPS)

Diferente da técnica do número de acidentes, a técnica da severidade de acidentes considera não só o número de acidentes, mas também a severidades destes, colocando um peso em cada gênero (com vítima fatal, atropelamento, com ferido e com danos materiais), através da Unidade Padrão de Severidade (UPS).

Como descreve Braga Neto (2017), o UPS foi instituído pelo Departamento Nacional de Trânsito (DENATRAN) em 1987, sendo um valor referente a uma soma definida segundo critérios específicos de cada órgão que o compõe. Um exemplo de modelo de cálculo de UPS

é o estabelecido pelo Ministério de Transporte (2002) no Programa de Redução de Acidentes (PARE), que utiliza a seguinte equação:

$$\begin{aligned} \text{Número de UPS} = & \text{Acidente(s) somente com dano(s) material(is)} \times 1 + \\ & \text{Acidente(s) com ferido(s)} \times 4 + \\ & \text{Acidente(s) com ferido(s) envolvendo pedestre(s)} \times 6 + \\ & \text{Acidente(s) com vítima(s) fatal(is)} \times 13 \end{aligned} \quad (1)$$

Onde 1, 4, 6 e 13 são pesos atribuídos a cada severidade de acidente, valores estes referenciados de acordo com os impactos financeiros que cada um provoca (BRAGA NETO, 2017).

3.1.6.3 Técnica da taxa de acidente

Essa técnica aborda a relação entre o número de acidentes de trânsito e a quantidade de veículos que transitam em cada local em um determinado período, o que do ponto de vista estatístico faz mais sentido, porque obviamente, em condições normais pelo menos, locais onde existem mais tráfego de veículos as chances de ocorrerem acidentes são maiores do que em locais com menos tráfego, e portanto o número de acidentes tende a ser maior nos locais de maior fluxo do que nos de menor fluxo, um julgamento puramente estatístico (MT, 2002).

Por outro lado, a relação entre a quantidade de tráfego de veículos e a quantidade de acidentes pode sugerir várias hipóteses: talvez os dois locais estão proporcionalmente iguais na relação acidentes por número de veículos, ou talvez realmente existam mais acidentes no local de maior número de veículos, ou então surpreendentemente o local de menor número de acidentes possui uma incidência maior de acidentes quando é observada a proporção, e é nesse sentido que essa técnica atua, tratando separadamente os casos de interseções e de trechos viários.

3.1.6.4 Técnica da taxa de severidade dos acidentes

Por fim, a técnica da taxa de severidade dos acidentes combina a técnica da severidade de acidentes com a técnica da taxa de acidentes, relacionando o número UPS pela quantidade de veículos que trafegam no local considerado em um determinado período estipulado, fornecendo assim as informações dos trechos em função da severidade proporcional ao fluxo de tráfego dos respectivos locais (MT, 2002).

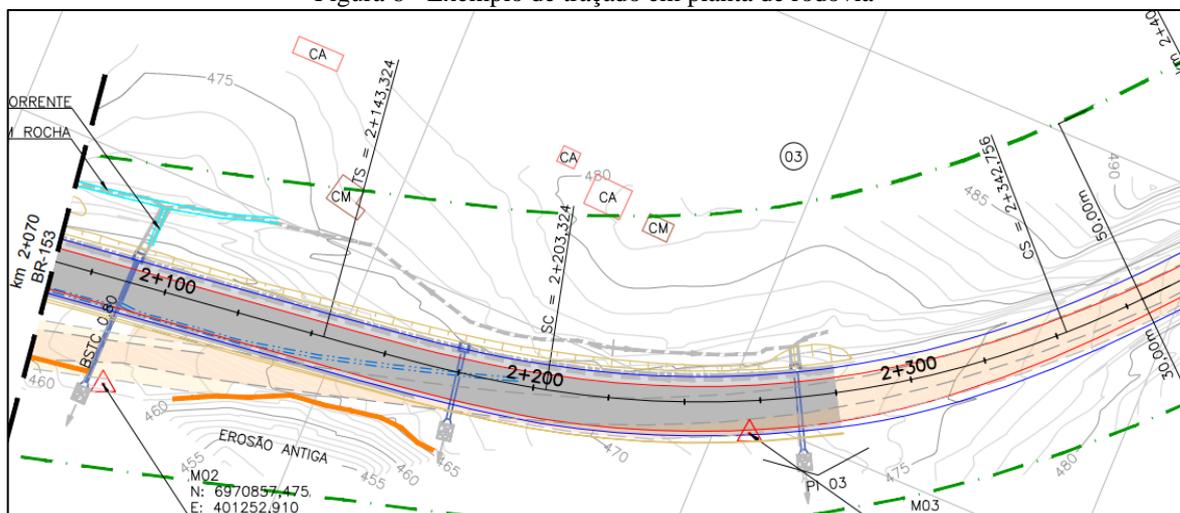
3.2 PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS

O projeto geométrico trata das disposições geométricas as quais o traçado da rodovia será submetido, levando em consideração os aspectos ambientais, as condições do relevo do terreno, a cinemática dos corpos, o comportamento dos motoristas e os perfis do tráfego e da operação dos veículos, visando conferir segurança, conforto e economia (PIMENTA *et al.*, 2017).

Uma rodovia possui seu formato estabelecido em três dimensões, fato o qual demanda do projeto geométrico três definições: o traçado em planta, o traçado em perfil e os elementos de seção transversal (LEE, 2000).

Segundo Pontes Filho (1998), o traçado em planta define o eixo da rodovia representado em um plano horizontal, e demonstra de maneira clara o trajeto da via adotado pelo projetista. Esse traçado é composto basicamente de alinhamentos retos, concordados por curvas horizontais, como apresentado na Figura 6.

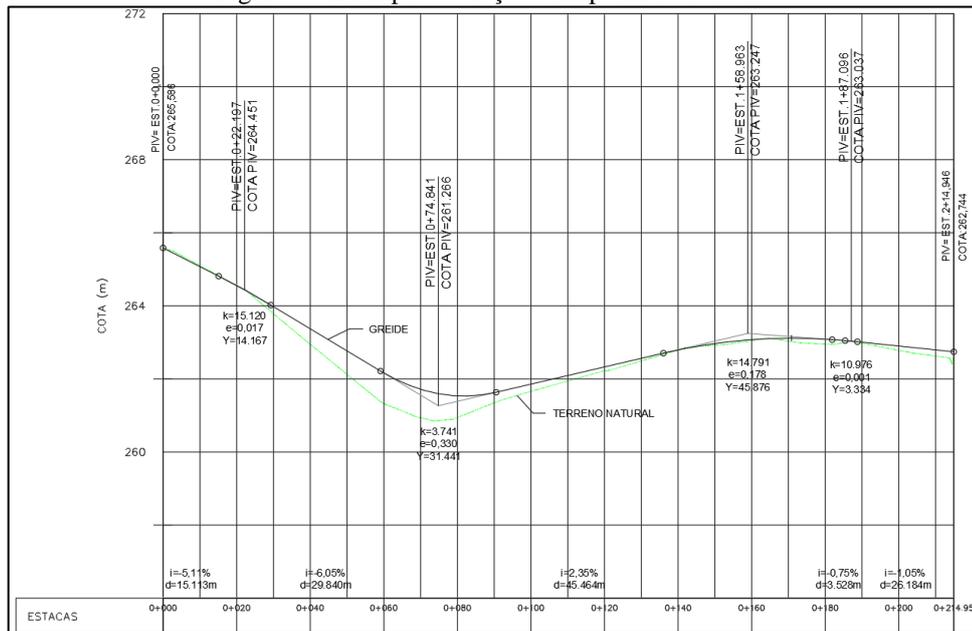
Figura 6 - Exemplo de traçado em planta de rodovia



Fonte: DNIT (2016, p. 16)

Já o traçado em perfil, também denominado perfil longitudinal, demonstra o eixo da rodovia representado em um plano vertical (corte longitudinal que acompanha o eixo da rodovia), o qual é composto por dois elementos: o terreno natural, representado com base em dados levantados pela topografia, e a superfície de projeto (greide), definida pelo projetista através de uma sequência de alinhamentos verticais. Esses alinhamentos verticais são denominados rampas, as quais se classificam entre ascendentes e descendentes, e concordam entre si por meio de curvas verticais. Desse modo, a Figura 7 ilustra um exemplo de traçado de rodovia em perfil (PIMENTA *et al.*, 2017).

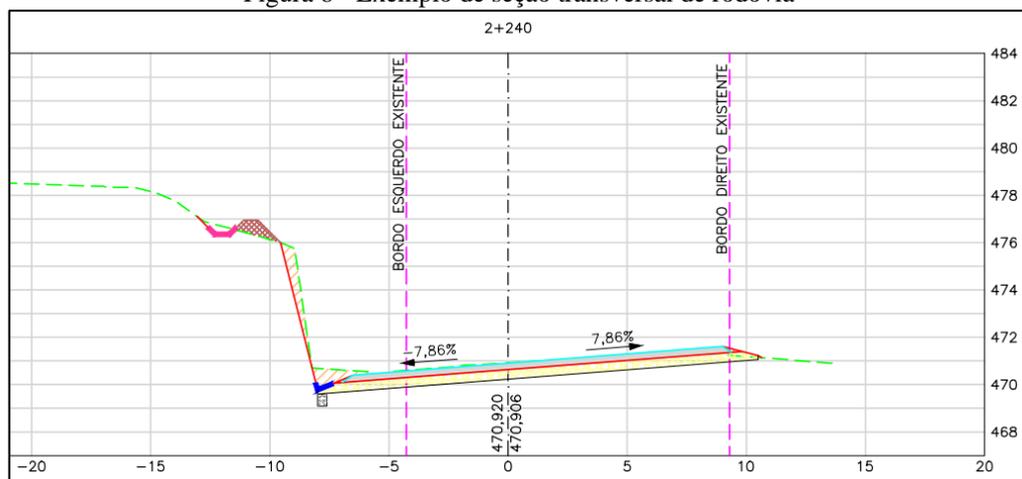
Figura 7 - Exemplo de traçado em perfil de rodovia



Fonte: Autor (2020)

Por fim as seções transversais, nas quais os planos das vistas são perpendiculares ao traçado da rodovia, de maneira que apresentam a disposição final tanto da terraplenagem quanto do pavimento. O detalhamento das seções transversais é realizado para cada estaca considerada no projeto, de modo facilitar na execução a conferência da disposição da rodovia. A Figura 8 ilustra um exemplo de seção transversal.

Figura 8 - Exemplo de seção transversal de rodovia



Fonte: DNIT (2016, p. 46)

3.2.1 Classificação Técnica de Rodovias

De acordo com o Departamento Nacional de Estrada de Rodagem (DNER), hoje denominado Departamento Nacional de Infraestrutura e Transportes (DNIT), as rodovias são classificadas

em cinco classes, as quais variam de 0 a IV, aumentando em ordem decrescente a exigência por critérios técnicos. Entre os principais critérios adotados pelo DNIT para definir a classe de uma rodovia, estão o Volume Médio Diário de Tráfego (VMD) e o relevo da região atravessada pela rodovia, os quais serão abordados nos subtópicos seguintes (DNER, 1999)

3.2.2 Volume Médio Diário de Tráfego (VMD)

O volume médio diário de tráfego se refere a uma estimativa realizada que prevê o volume de tráfego demandado pela rodovia por dia em um determinado intervalo de tempo, sendo considerado um ano quando não especificado, e pode ser denominado de Volume Médio Diário Anual (VMDA) quando referido a um ano. Para a obtenção desses dados, o DNIT utiliza as estimativas realizadas pelo Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNCT), o qual embasa seus estudos em diversas fontes: em seus contadores contínuos, em Pesquisas Nacionais de Tráfego (PNT), nos postos de coleta de cobertura do DNIT, bem como postos de pedágio de concessões rodoviárias regidos pela Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT), nas agências estaduais e nas empresas de rodovias e transportes, sempre buscando dados de alto grau de confiança para elaborar estimativas mais precisas (COPPE, 2019).

3.2.3 Relevo

O relevo tem uma importância primordial nas rodovias pois é um dos fatores que mais influencia na tomada de decisão do traçado viário, afinal, tem relação direta com o custo de implementação da obra. Assim, o relevo pode ser classificado em três categorias fundamentais: Plano, Ondulado e Montanhoso. O DNIT adota definições estabelecidas pela AASHTO (1994, apud. DNER, 1999, p. 22) para caracterizar essas três categorias:

Região plana: é aquela que permite a implantação de rodovias com grandes distâncias de visibilidade, sem dificuldades de construção e sem custos elevados.

Região ondulada: é aquela onde as inclinações naturais do terreno exigem frequentes cortes e aterros de dimensões reduzidas para acomodação dos greides das rodovias, e que eventualmente oferecem alguma restrição à implantação dos alinhamentos horizontal e vertical.

Região montanhosa: é aquela onde são abruptas as variações longitudinais e transversais da elevação do terreno em relação à rodovia, e onde são frequentemente necessários aterros e cortes laterais das encostas para se conseguir implantar alinhamentos horizontais e verticais aceitáveis.

3.2.4 Classes de Projeto

As classes de projeto formuladas pelo DNIT, foram estabelecidas em função de experiência adquirida durante todo o processo de implantação das rodovias mais antigas, de modo a atenderem demandas de caráter econômico e de segurança. Além disso, assim como já citado na introdução desse capítulo, o volume de tráfego e o relevo do terreno possuem grande peso na definição da classe de uma rodovia, afinal, foram fatores predominantes durante esse processo de consolidação das diversas classes estabelecidas pelo departamento. Dessa maneira, o DNER (1999) define as classes de projeto como o seguinte:

- Classe 0: rodovia de maior padrão e exigências técnicas a qual possui pista dupla e controle total de acesso, sendo essa classificação em decorrência da decisão dos órgãos responsáveis, os quais podem se basear em diversos critérios, dentre eles se destacam as situações em que o VMD é maior que 5.500 veículos em regiões planas com boa visibilidade, ou maior que 1.900 veículos em regiões levemente onduladas com visibilidade ruim, e também as situações as quais o VMD é maior que 2.600 veículos em regiões bastante onduladas com ótima visibilidade, ou maior que 1.000 veículos em áreas montanhosas com más condições de visibilidade;
- Classe I: Esta classificação se divide em duas: Classe I-A para pistas duplas, e Classe I-B para pistas simples;
- Classe I-A: Rodovias de pista dupla e com controle parcial de acessos, possuindo o mesmo VMD de tráfego atendido que a Classe 0, porém sofrendo alguma redução em função da interferência dos acessos;
- Classe I-B: Rodovias de pista simples projetadas visando o décimo ano após a inauguração, considerando limites inferior e superior. O limite inferior considera um VMD de 1.400 veículos por dia, e os limites superiores são os limites inferiores apresentados nas Classes 0 e I-A;
- Classe II: Rodovias de pista simples, calculadas para o décimo ano de serviço da rodovia, comportando um limite inferior de VMD de 700 veículos, e um limite superior que equivale ao apresentado como limite inferior da Classe I – B;

- Classe III: Rodovias de pista simples, também calculadas em função do décimo ano de serviço, considerando um limite inferior que trata de um VMD de 300 veículos, e um limite superior que corresponde ao limite inferior da Classe II;
- Classe IV: Rodovias de pista simples, geralmente não pavimentadas, que trabalham com custos mínimos para atender ao tráfego demandado no próprio ano de abertura. Essa Classe é dividida em duas: Classe IV-A e Classe IV-B;
- Classe IV-A: Comportam um VMD de 50 a 200 veículos no ano de inauguração da rodovia;
- Classe IV-B: Comportam um VMD inferior a 50 veículos no ano de inauguração da rodovia.

3.2.5 Elementos Básicos para o Projeto Geométrico

Assim como já citado, o projeto geométrico possui diversas variáveis a serem consideradas para segurança e conforto dos usuários. Tendo isso em vista, alguns elementos são essenciais para o dimensionamento das rodovias, entre eles estão a velocidade e o tipo de veículo, os quais serão tratados nos tópicos seguintes.

3.2.5.1 Velocidade de projeto

Em transportes o tempo é uma variável importante, afinal, ele acaba por definir o tipo de transporte mais adequado para o usuário, ou até mesmo o trajeto a ser escolhido, dependendo da situação. Neste panorama, fica evidente a necessidade de que as vias estejam aptas a proporcionar aos usuários velocidades as quais sejam compatíveis com as expectativas, e que ao mesmo tempo sejam seguras e confortáveis (PIMENTA *et al.*, 2017).

A partir disso, é definida a velocidade de projeto (velocidade diretriz), concebida em função das demandas dos projetos rodoviários, sendo a maior velocidade que pode ser desenvolvida no trecho (DNER, 1999).

Assim como Pimenta *et. al* (2017) cita, o ideal é de que o projetista sempre mantenha a velocidade de projeto constante durante todo o trecho, salvo exceções onde a topografia é muito acidentada, mas ainda assim, a diferença entre as velocidades não deve ser maior que 20 km/h.

De maneira intuitiva, é notório que quanto maiores as velocidades, maiores as infraestruturas necessárias para atender às demandas dos usuários, em função novamente da segurança e do conforto exigidos, e isso reflete diretamente no preço demandado para implementação destas rodovias. Nesse aspecto, as condições topográficas do terreno representam uma das parcelas mais significativas quando se trata dos custos e dos limites de velocidades. Assim, o DNER (1999) define uma tabela que relaciona a velocidade diretriz em função de dois aspectos que já foram citados: a classe de projeto e o relevo, como mostrados na Tabela 4.

Tabela 4 - Velocidades diretrizes para novos traçados em função da classe de projeto e do relevo

Classe de Projeto	Velocidades diretrizes para projeto (km/h)		
	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	120	100	80
Classe I	100	80	60
Classe II	100	70	50
Classe III	80	60	40
Classe IV	80 - 60	60 - 40	40 - 30

Fonte: Adaptado do manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999, p. 42)

3.2.5.2 Veículo de projeto

As características do veículo de projeto são importantes, pois a partir destas são estimados os parâmetros das curvas, tornando-as aptas a receberem esse tipo de transporte. Dessa forma, o DNER (1999) usa a classificação da AASHTO para determinar grupos de características e dimensões semelhantes, assim como segue no Quadro 2.

Quadro 2 - Veículos tipo e suas descrições

VEÍCULOS DE PROJETO	DESCRIÇÃO
VP	Representa os veículos leves, física e operacionalmente assimiláveis ao automóvel, incluindo vans, utilitários, pick-ups e similares.
CO	Representa os veículos comerciais rígidos (não articulados) compostos de unidade tratora simples. Estes abrangem os caminhões e ônibus convencionais, normalmente de dois eixos e seis rodas.

VEÍCULOS DE PROJETO	DESCRIÇÃO
O	Representa os veículos comerciais rígidos de maiores dimensões. Entre estes incluem-se ônibus de longo percurso e de turismo, bem como caminhões longos, freqüentemente com três eixos (tracção), de maiores dimensões que o veículo CO básico. Ademais seu comprimento aproxima-se do limite máximo legal de comprimento admissível para veículos rígidos, superior ao comprimento do veículo CO.
SR	Representa os veículos comerciais articulados, compostos de uma unidade tratora simples e um semi-reboque. Seu comprimento aproxima-se do limite máximo legal para veículos dessa categoria.

Fonte: Adaptado do manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999, p. 46)

Definidos os tipos de veículos, o DNER (1999) também fornece um quadro com as respectivas dimensões de cada tipo, assim como apresentado no Quadro 3.

Quadro 3 - Principais dimensões básicas dos veículos de projeto (em metros)

Designação do veículo	Veículos leves (VP)	Caminhões e Ônibus convencionais (CO)	Caminhões e Ônibus longos (O)	Semi-reboques (SR)
Características				
Largura total	2,1	2,6	2,6	2,6
Comprimento total	5,8	9,1	12,2	16,8
Raio mínimo da roda externa dianteira	7,3	12,8	12,8	13,7
Raio mínimo da roda interna traseira	4,7	8,7	7,1	6,0

Fonte: Adaptado do manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999, p. 47)

3.2.6 Traçado em Planta

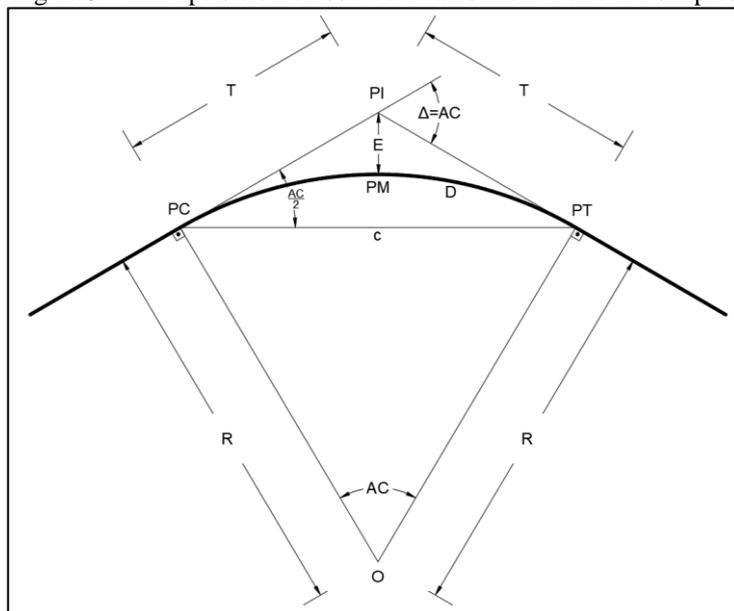
O traçado de uma rodovia é constituído de segmentos retos e segmentos curvos. Em projetos geométricos, estes elementos são denominados de tangentes (as retas) e curvas horizontais (os segmentos curvos), respectivamente, sendo que as curvas horizontais se classificam em quatro tipos: curvas horizontais circulares simples, curvas horizontais com transição, curvas horizontais circulares reversas e curvas horizontais circulares compostas, as quais serão descritas nos tópicos seguintes (PIMENTA *et al.*, 2017).

3.2.6.1 Curvas horizontais circulares simples

As curvas horizontais circulares simples são assim denominadas por interligarem de forma direta duas tangentes por meio de um segmento de circunferência, variando conforme o ângulo de deflexão (AC) formado entre as duas tangentes (T) e o raio (R) estipulado em projeto.

É importante destacar, assim como Pontes Filho (1998) ressalva, que a determinação dos raios das curvas deve garantir: a inscrição dos veículos previstos em projeto adequadamente no interior das curvas, a visibilidade dos veículos dentro dos cortes e a estabilidade (conforto e segurança) dos veículos ao desempenharem grandes velocidades. Desse modo, a Figura 9 apresenta os principais elementos constituintes de uma curva horizontal circular simples:

Figura 9 - Principais elementos da curva horizontal circular simples



Fonte: Autor (2020), com base em Pimenta *et al.* (2017, p. 61)

Onde,

PC = ponto de curva, é o ponto onde se inicia a curva;

PI = ponto de interseção, é o ponto onde as duas tangentes se intersectam;

PM = ponto médio da curva;

PT = ponto de tangente, é o ponto onde a curva termina;

R = raio da curva, [m];

T = tangente, é a distância entre o $\overline{PC - PI}$ ou entre o $\overline{PI - PT}$, [m];

AC = ângulo central da curva, [graus];

Δ = deflexão entre as tangentes, [graus];

D = desenvolvimento da curva, [m];

c = corda definida pelo alinhamento $\overline{PC - PT}$, [m];

E = afastamento da curva em relação ao PI, [m];

O = ponto central da curva.

3.2.6.1.1 Estaqueamento

Definidos os parâmetros geométricos, surge a necessidade de uma simplificação destes elementos para a implementação desses dados em campo, e dessa necessidade foram criadas as estacas. As estacas são elementos previstos em fase de projeto e implantados durante a demarcação dos traçados das estradas, que atuam como pontos de referência que definem em campo as distâncias e os pontos notáveis da rodovia (PIMENTA *et al.*, 2017).

As estacas normalmente são espaçadas de 20 em 20 metros, mas dependendo do nível de detalhamento necessário para cada projeto essa distância pode variar. Um exemplo disso seria o caso de uma curva de raio pequeno e com superelevação, esse trecho exige um maior nível de detalhamento em campo para sua construção, então no lugar de ser adotado o estaqueamento de 20 em 20 metros, seja utilizado um de 5 em 5 metros, por exemplo. Nesse sentido, a Tabela 5 demonstra os valores mais usuais adotados no Brasil em função dos raios (LEE, 2013).

Tabela 5 - Cordas admissíveis para as curvas

RAIOS DE CURVA (R)	CORDA MÁXIMA (c)
R < 100,00 m	5,00 m
100,00 m < R < 600,00 m	10,00 m
R > 600,00 m	20,00 m

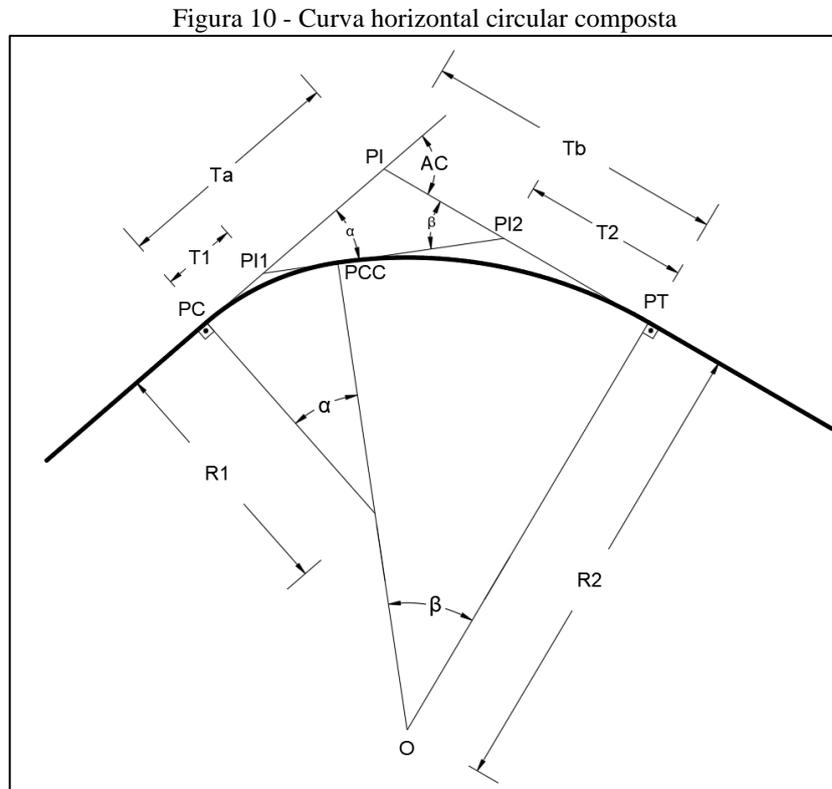
Fonte: Adaptado do manual de projeto de engenharia rodoviária (BRASIL, 1974, apud. LEE, 2013, p. 91)

A notação do estaqueamento é realizada da seguinte maneira: [A + B], onde A é o número inteiro de estacas (considerando o estaqueamento padrão de 20 em 20 metros) e B é a distância em metros. Por exemplo, um ponto N qualquer em um estaqueamento distante 687,565 m do ponto da estaca zero, será representado por [34 + 7,565].

3.2.6.2 Curvas horizontais circulares compostas

As curvas horizontais circulares compostas são formadas por duas ou mais curvas horizontais circulares simples consecutivas, que possuem raios diferentes, assim como apresentado na

Figura 10. Em geral, esse tipo de curva não é muito usual nos projetos de engenharia, sendo recomendado apenas em casos específicos onde o terreno impede outro tipo de curva (PIMENTA *et al.*, 2017).



Fonte: Autor (2020), com base em Pimenta *et al.* (2017, p. 75)

Sendo,

PC = ponto de curva, é o ponto onde se inicia a curva;

PI/PI1/PI2 = pontos de interseção, são os pontos onde duas tangentes referentes a cada curva se intersectam;

PCC = ponto de concordância entre curvas, é o ponto onde o PT da primeira curva encontra o PC da segunda curva;

PT = ponto de tangente, é o ponto onde a curva termina;

R1/R2 = raios de suas respectivas curvas, [m];

Ta/Tb = tangentes maiores: distâncias entre o $\overline{PC - PI}$ e o $\overline{PI - PT}$, respectivamente, [m];

T1/T2 = tangentes menores: distâncias entre o $\overline{PC - PI1}$ e o $\overline{PCC - PI2}$, respectivamente, [m];

AC = deflexão entre as tangentes maiores, [graus];

A = ângulo central da primeira curva;

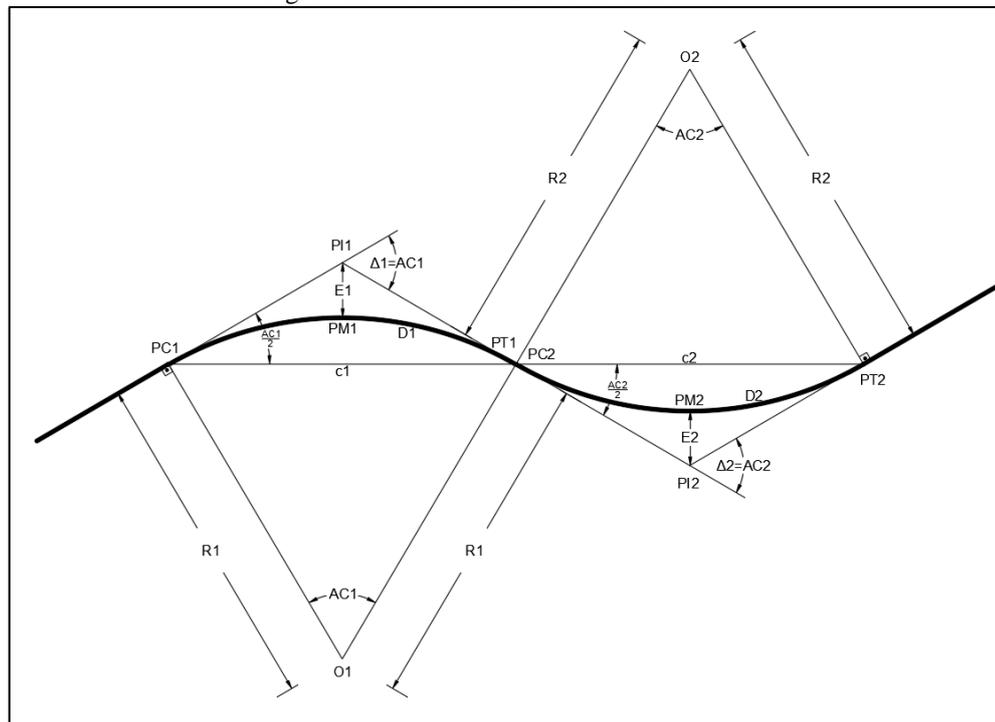
B = ângulo central da segunda curva;

O = ponto central das curvas.

3.2.6.3 Curvas horizontais circulares reversas

As curvas horizontais circulares reversas são formadas por duas ou mais curvas horizontais circulares simples consecutivas, que possuem raios iguais, porém com centros de curvas opostos, assim como apresentado na Figura 11. Em geral, esse tipo de curva é aplicado em locais onde as velocidades não são muito elevadas, visto que seria necessário a introdução de retas entre as duas curvas, o que descaracterizaria como reversas (PIMENTA *et al.*, 2017).

Figura 11 – Curva horizontal circular reversa

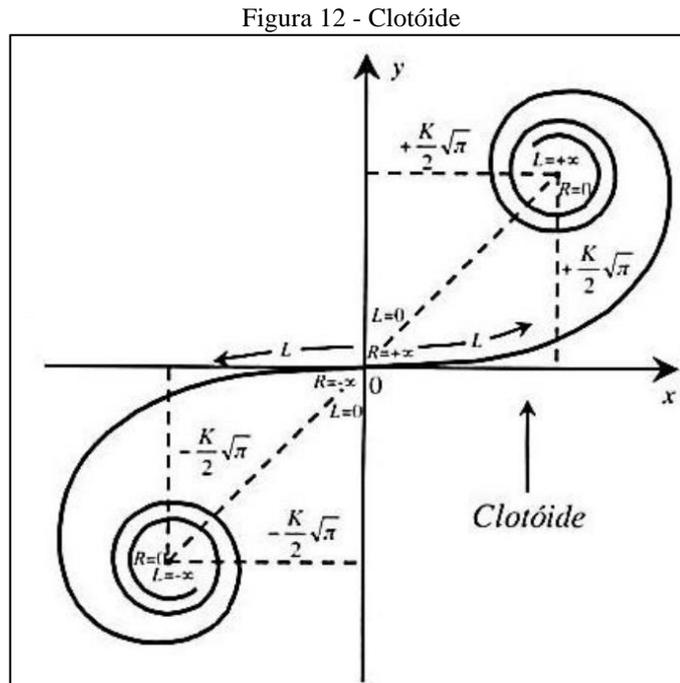


Fonte: Autor (2020), com base em Pimenta *et al.* (2017, p. 76)

3.2.6.4 Curvas horizontais de transição

Um objeto executando um movimento circular possui, por consequência de sua trajetória, uma componente vetorial de velocidade cuja direção tangencia a curva. De maneira análoga, os veículos ao entrarem nas curvas (seja no PC ou no PT) sofrem os efeitos proporcionados pela inércia dos corpos, além de serem imediatamente submetidos à força centrífuga, o que sujeita aos motoristas e passageiros a sensação de serem “jogados” para fora da curva, e nesse aspecto a extensão do raio da curva é um dos fatores que mais influencia na intensidade desse efeito: quanto menor o raio, maior essa sensação, assim como quanto maior o raio, menor a sensação.

Qualquer curva que varie de um raio infinito para um valor de raio finito pode ser considerada uma curva de transição. No Brasil, a curva de transição mais utilizada é a clotóide. A clotóide, conhecida também por Espiral de Cornu, é construída através do produto entre do raio de curvatura (R) e o desenvolvimento da curva (L), sendo essa relação igual a uma constante K^2 , onde K é denominado de parâmetro da clotóide. Assim, a curva apresenta o formato ilustrado na Figura 12.



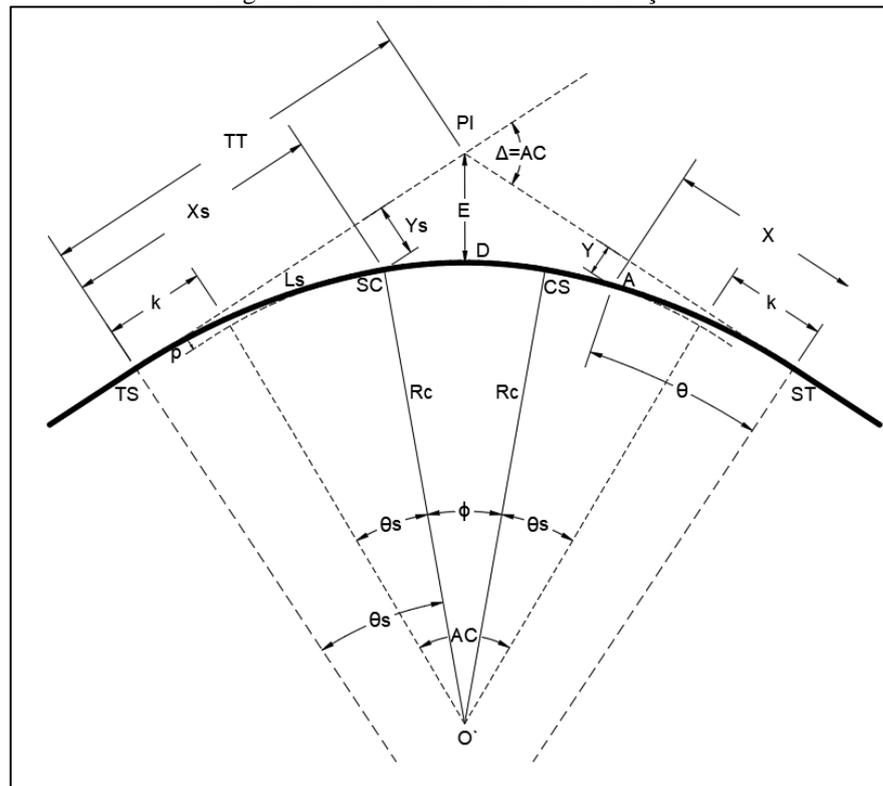
Fonte: Pontes Filho (1998, p. 129)

É o tipo de curva mais utilizado em função das vantagens do ponto de vista técnico oferecidas por ela: essa curva é exatamente a trajetória de um veículo caso o motorista mantenha a velocidade constante e o volante estagnado, além disso tanto o grau de curvatura da curva quanto a aceleração centrípeta variam de maneira linear em função do comprimento percorrido, e isso implica que a superelevação também varie linearmente, oferecendo uma vantagem do ponto de vista construtivo, bem como uma integração suave entre os trechos de tangente, conferindo conforto e segurança (PIMENTA *et al.*, 2017).

3.2.6.4.1 Elementos das curvas horizontais com transição

Assim como as curvas horizontais circulares simples, as curvas de transição também possuem elementos importantes para o estudo geométrico. Os principais pontos e dimensões são apresentados na Figura 13.

Figura 13 - Curva horizontal com transição



Fonte: Autor (2020), com base em Pimenta *et al.* (2017, p. 85)

Sendo,

AC = ângulo central / deflexão entre as tangentes 1 e 2;

TT = tangente total;

PI = ponto de interseção das tangentes;

X_s, Y_s = coordenadas dos pontos (SC) e (CS);

O' = centro da circunferência deslocada;

ρ = afastamento;

θ_s = ângulo central do trecho da espiral;

A = ponto genérico sobre a curva de transição;

X, Y = coordenadas de um ponto genérico A ;

θ = ângulo até o ponto A ;

R_c = raio do trecho circular;

ϕ = ângulo central do trecho circular;

D = desenvolvimento do trecho circular entre SC e CS;

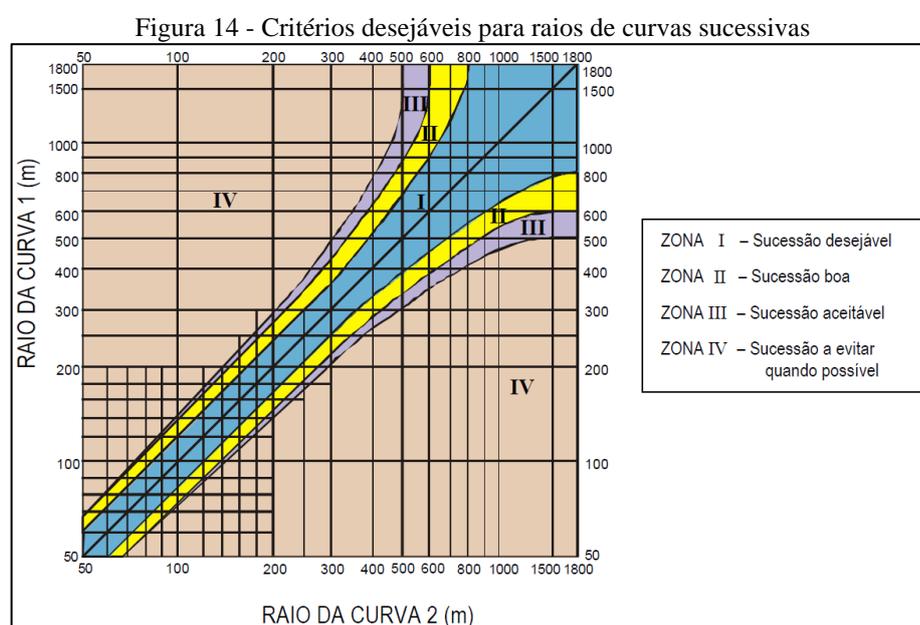
L_s = comprimento do trecho de transição;

k = distância entre o PC virtual e o TS;

E = distância do PI à curva circular.

3.2.6.5 Sucessão de Curvas

Não só o conhecimento dos tipos e dos principais elementos das curvas é importante, mas também a forma com a qual essas curvas se relacionam, uma vez que esse encaixe entre elementos curvos reflete diretamente no conforto e na segurança dos motoristas. Nessa perspectiva, o manual de projeto geométrico de rodovias rurais do DNER (1999) faz uma série de recomendações a respeito da combinação dos traçados, e fornece até uma relação entre os raios de curvas consecutivas, como demonstra a Figura 14.



Fonte: Manual de projeto geométrico de rodovias rurais DNER (1999, apud. LEE, 2000, p. 34)

Vale lembrar que não são sucessões obrigatórias a serem atendidas (Zonas I, II e III) necessariamente, porque cada projeto tem sua individualidade, então nem sempre é possível proporcionar a opção que se considera mais adequada, mas são recomendações fundamentais para a segurança e o conforto gerado no trânsito do pavimento.

3.2.7 Traçado em Perfil

Assim como já explicado anteriormente, o traçado em perfil apresenta uma seção longitudinal do eixo da rodovia, composto pelo terreno natural e pelo greide, que é a representação da superfície calculada do projeto. O greide é construído em função de dois elementos característicos do perfil longitudinal: as rampas e as curvas verticais, e é definido em função das normas, da geologia, da topografia e da experiência do projetista.

3.2.7.1 Rampas

Assim como Pimenta *et al.* (2017) descreve, as rampas influenciam de maneira direta no desempenho dos veículos quando se trata de velocidade, principalmente dos veículos mais pesados como os caminhões e os ônibus. A partir disso, existe uma inclinação máxima definida pelo DNER (1999), que varia conforme a classe e o relevo do trecho, apresentada na Tabela 6.

Tabela 6 - Rampas máximas

Classe do Projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	3%	4%	5%
Classe I	3%	4,5%	6%
Classe II	3%	5%	7%
Classe III	4%	6%	8%
Classe IV-A	4%	6%	8%
Classe IV-B	6%	8%	10%

Fonte: Adaptado do manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999, p. 124)

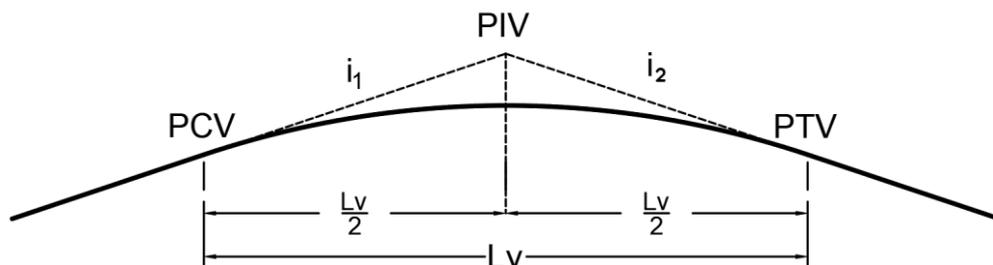
3.2.7.2 Curvas Verticais

As curvas verticais são responsáveis pelas transições entre as rampas, e podem ser construídas como circunferências, elipses e parábolas de segundo ou terceiro grau. Dessas, as parábolas de segundo grau são as mais utilizadas pelos órgãos rodoviários em função da consistência dessas curvas e da facilidade em se determinar seus pontos notáveis (PIMENTA *et al.*, 2017).

3.2.7.2.1 Parábola simples de 2° grau

A parábola simples de segundo grau possui os parâmetros mostrados na Figura 15.

Figura 15 - Curva vertical parabólica simples de 2° grau



Fonte: Autor (2020), com base em Pimenta *et al.* (2017, p. 158)

Sendo,

PIV = ponto de interseção das tangentes;

PCV = ponto de curva vertical = início da curva vertical;

PTV = ponto de tangente vertical = fim da curva vertical;

L_v = comprimento da curva vertical (projeção horizontal);

i_1 = inclinação da primeira rampa, sendo (+) ascendente e – (descendente);

i_2 = inclinação da segunda rampa, sendo (+) ascendente e – (descendente);

$\delta_1 = i_2 - i_1$ = diferença algébrica de inclinação.

Outro elemento importante para a análise das parábolas de segundo grau é o parâmetro de curvatura K, que é a relação entre o comprimento da curva vertical (L_v) e a diferença algébrica da inclinação (δ_1), sendo assim a taxa de variação da declividade longitudinal na unidade do comprimento, que pode ser estabelecida para cada velocidade (DNER, 1999).

É a partir desse parâmetro que o DNER (1999) determina os valores mínimos necessários para as parábolas, levando em consideração três critérios: o critério da máxima aceleração centrífuga admissível, apresentado na Tabela 7, o critério da visibilidade necessária, o qual considera duas possibilidades: o comprimento da curva maior que a distância de visibilidade de parada ($L_v > D$) ilustrado na Tabela 8, ou o contrário ($L_v < D$), que não foi o caso desse estudo, e o critério do mínimo valor absoluto, que define o valor de comprimento mínimo da curva vertical como 60% da velocidade diretriz ($L_{\min} = 0,6 \cdot V$). A partir do menor valor entre os três critérios, são definidos os valores de K mínimo e/ou do comprimento mínimo da curva vertical (L_{\min}).

Tabela 7 - Valor mínimo de K para máxima aceleração centrífuga admissível

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
a = 1,5% g	4,72	8,39	13,11	18,88	25,69	33,56	42,47	52,44	63,45	75,51
a = 5,0% g	1,42	2,52	3,93	5,66	7,71	10,07	12,74	15,73	19,03	22,65

Fonte: Adaptado do manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999, p. 126)

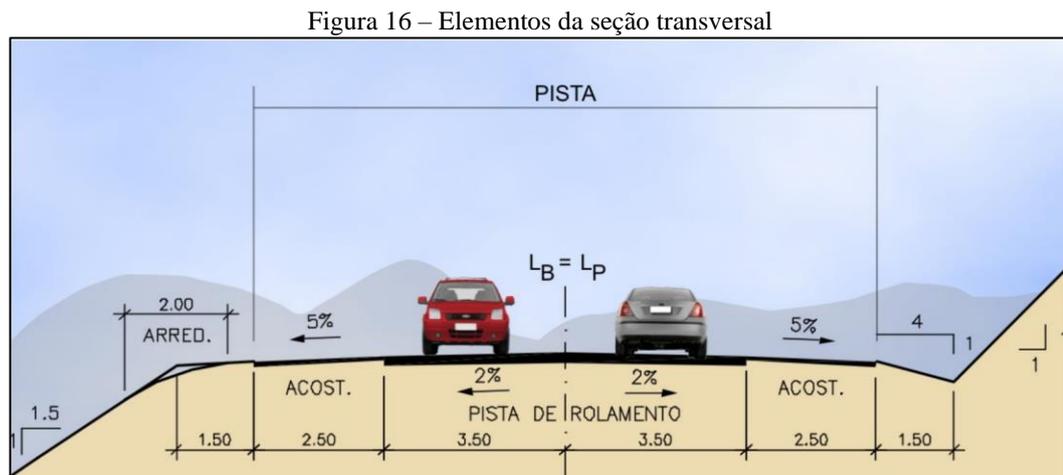
Tabela 8 - Valor mínimo de K para o critério da visibilidade necessária ($L_v > D$)

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Curvas verticais convexas										
K - Mínimo	2	5	9	14	20	29	41	58	79	102
K - Desejável	2	5	10	18	29	48	74	107	164	233
Curvas verticais côncavas										
K - Mínimo	4	7	11	15	19	24	29	36	43	50
K - Desejável	4	7	12	17	24	32	42	52	66	80

Fonte: Adaptado do manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999, p. 128)

3.2.8 Seções Transversais

Existem diversos tipos de elementos geométricos presentes nas seções transversais, dentre os principais estão: a faixa de tráfego, a pista de rolamento e o acostamento, assim como apresentado na Figura 16.



Fonte: Kabbach Júnior (2007, p. 5)

3.2.8.1 Faixa de tráfego e pista de rolamento

A faixa de tráfego, é o espaço definido para o tráfego de um pelotão de veículos em fila única, calculado em função de um veículo referência a ser comportado nesse espaço, enquanto que a pista de rolamento é todo o conjunto das faixas de tráfego adjacentes. O DNIT adota a Tabela 9 para dimensionamento básico da largura das faixas de tráfego (PIMENTA *et al.*, 2017).

Tabela 9 - Largura das faixas de rolamento em tangentes

Classe de Projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	3,60	3,60	3,60
Classe I	3,60	3,60	3,50
Classe II	3,60	3,50	3,30
Classe III	3,50	3,30	3,30
Classe IV-A	3,00	3,00	3,00
Classe IV-B	2,50	2,50	2,50

Fonte: Adaptado do manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999, p. 142)

3.2.8.2 Acostamento

Os acostamentos são espaços laterais que acompanham as faixas de tráfego, os quais servem como áreas adicionais para que os veículos façam manobras afim de se evitar ou amenizar possíveis acidentes, ou então como espaços de paradas para veículos com problemas mecânicos ou que sofreram acidentes, além de melhorarem de forma direta a drenagem do pavimento e a visibilidade da pista, principalmente em curvas (PIMENTA *et al.*, 2017).

O DNER (1999) define no seu manual de projeto geométrico de rodovias rurais que todas as vias devem possuir acostamentos, pavimentados ou não, de larguras bem visíveis e uniformes, com mudanças suaves quanto possível, caso sejam necessárias, respeitado as larguras estabelecidas na Tabela 10, no caso das pistas simples.

Tabela 10 - Largura dos acostamentos externos (em metros)

Classe do Projeto	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
Classe 0	3,50	3,00	3,00
Classe I	3,00	2,50	2,50
Classe II	2,50	2,50	2,00
Classe III	2,50	2,00	1,50
Classe IV-A	1,30	1,30	0,80
Classe IV-B	1,00	1,00	0,50

Fonte: Adaptado do manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999, p. 144)

3.3 LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO

Devido ao avanço tecnológico, a utilização de instrumentos para a medição de dados de um terreno tem possibilitado a integração de diferentes metodologias. O uso de receptores GNSS em conjunto com RPAS reforçam esse cenário, e evidencia o quanto essa evolução se torna cada vez mais acessível e prática para a realização de levantamentos e processamentos de dados topográficos.

3.3.1 Receptor GNSS

O Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA (2013, p. 7), define e contextualiza o termo GNSS da seguinte maneira:

A sigla GNSS (*Global Navigation Satellite System*) é uma denominação genérica que contempla sistemas de navegação com cobertura global, além de uma série de infraestruturas espaciais (SBAS – *Satellite Based Augmentation System*) e terrestre (GBAS – *Ground Based Augmentation System*) que associadas aos sistemas proporcionam maior precisão e confiabilidade.

Dentre os sistemas englobados pelo GNSS podemos citar:

- a) NAVSTAR-GPS (*NAVigation System with Timing And Ranging – Global Positioning System*), mais conhecido como GPS. Sistema norte-americano;
- b) GLONASS (*Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya Sistema*). Sistema russo;
- c) Galileu. Sistema europeu;
- d) Compass/Beidou (*China's Compass Navigation Satellite System – CNSS*). Sistema chinês.

Em relação ao SBAS temos os seguintes exemplos:

- a) WAAS (*Wide Area Augmentation System*). Sistema norte americano;
- b) EGNOS (*European Geostationary Navigation Overlay System*). Sistema europeu.

Bem como define Monico (2008), em especial se tratando do NAVSTAR-GPS e do GLONASS, os sistemas funcionam com base em três segmentos: (i) um segmento espacial, que trata dos conjuntos de satélites, suas órbitas e suas distribuições nos planos aos quais pertencem, (ii) um segmento de controle, que é encarregado por monitorar e controlar os sistemas de satélites, portanto responsável por informações relativas às efemérides (dados que informam as órbitas dos satélites e a precisão dos relógios destes) de precisão, cálculos das correções dos relógios e atualização das mensagens de navegação dos satélites, e por fim (iii) um segmento de usuário, e é nesse segmento que entra o conceito e a aplicação dos receptores GNSS.

Os receptores GNSS são aparelhos que possuem capacidade de trocar informações com o segmento espacial, e a partir disso é possível a determinação das posições desses equipamentos em relação ao sistema de referência utilizado pelos satélites envolvidos. Existem diversos tipos de receptores, os quais são construídos em função dos usuários aos quais se destinam (civis ou militares), e em função de suas aplicações finais, como por exemplo: receptores de navegação, receptores geodésicos, estações de referência, dentre outros (MONICO, 2008).

Assim como Pimenta *et. al* (2017) contextualiza, o uso da tecnologia GNSS nos projetos de rodovias se dá por meio de equipamentos popularmente conhecidos por GPS, referidos no parágrafo anterior como receptores geodésicos, os quais são compostos basicamente de um, dois ou mais aparelhos receptores GNSS com suas respectivas antenas (que trabalham com a emissão e recepção de ondas rádio elétricas com os satélites já mencionados), e de uma coletora (um aparelho similar à um *tablet* que possui diversas funções, sendo a principal permitir o acesso do usuário às operacionalidades ofertadas pelo instrumento). Os elementos citados são apresentados na Figura 17.

Figura 17 - Equipamento GNSS



Fonte: Autor (2021)

3.3.2 Técnicas de Posicionamento por Receptores GNSS

O termo posicionamento trata da intenção de se determinar a posição de qualquer objeto baseado em alguma referência pré-estabelecida. Partindo desse conceito, o posicionamento por receptores GNSS busca determinar a posição do(s) receptor(es) em função da referência dos satélites utilizados na operação (KLEIN; GUZZATTO, 2018).

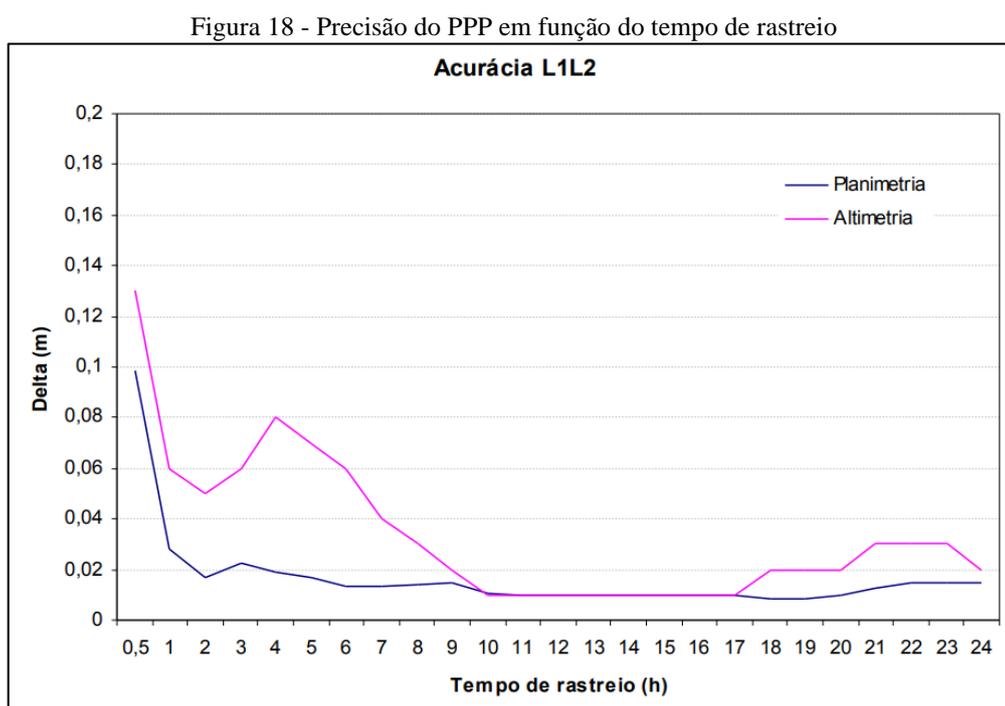
Com base nos tipos de posicionamento, existem diversos métodos e procedimentos amplamente disseminados e reconhecidos por órgãos técnicos competentes, portanto, serão descritos apenas os métodos utilizados neste trabalho: o posicionamento por ponto preciso (PPP) e o posicionamento cinemático em tempo real (RTK) convencional.

3.3.2.1 Posicionamento por ponto preciso – PPP

Segundo Klein e Guzzato (2018), o posicionamento por ponto preciso trabalha com efemérides precisas, para isso, usando as observáveis de pseudodistância e a fase da onda portadora. As efemérides precisas, ou então pós-processadas, são definidas com alta precisão por uma rede global de monitoramento GNSS, pelo já citado e comentado segmento de controle, e são disponibilizadas na internet ao público pelos órgãos responsáveis que coletam esses dados, de

forma a corrigir os dados levantados em campo pelo receptor GNSS, e aumentar consideravelmente a precisão do levantamento.

Um gráfico importante que demonstra essa precisão comentada é o da Figura 18, que apresenta o estudo do IBGE em um ponto de coordenadas conhecidas, e relata a precisão atingida em função do tempo de operação do receptor. É possível observar que após 30 minutos de rastreamento as precisões altimétrica e planimétrica obtidas já são da casa dos centímetros.

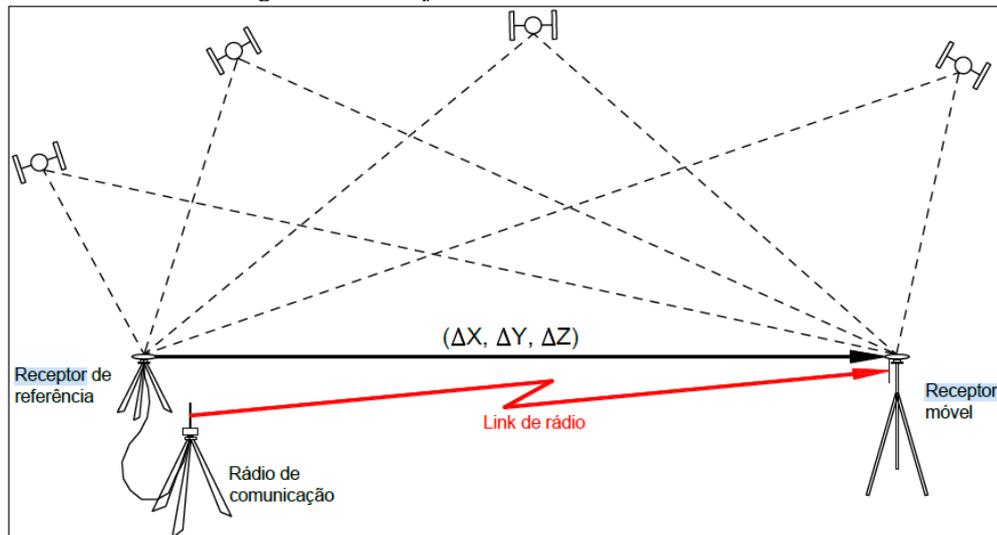


Fonte: IBGE (2009, p. 26)

3.3.2.2 Posicionamento cinemático em tempo real – RTK convencional

O posicionamento cinemático em tempo real (*Real Time Kinematic* -RTK), de acordo com Klein e Guzzato (2018) é um método que utiliza correções no posicionamento por meio da fase da onda portadora. Para esse tipo de levantamento, basicamente o que se tem é um receptor GNSS apoiado em um tripé (chamado de Base ou receptor de referência), posicionado em coordenadas conhecidas ou que posteriormente serão determinadas, e um receptor GNSS acoplado em um bastão móvel (chamado de Rover, ou receptor móvel) acompanhado da coletora. A partir desse arranjo, é possível caminhar em campo com o Rover e determinar a posição de qualquer vértice de interesse do operador, enquanto a correção é realizada em tempo real por meio da já mencionada fase da onda portadora, transmitidos por meio de um link de rádio. A Figura 19 ilustra esse arranjo (INCRA, 2013).

Figura 19 - Arranjo do método RTK convencional



Fonte: INCRA (2013, p. 11)

3.3.3 Aerofotogrametria e o RPAS

Segundo a Sociedade Internacional de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto (ISPRS), a fotogrametria é definida como “a ciência e a tecnologia voltada à extração de informações tridimensionais confiáveis, tanto geométricas quanto temáticas, frequentemente considerando também a dimensão temporal, de objetos e cenas, a partir de dados de imagem e de distância.” Desse modo, a aerofotogrametria é um dos ramos da fotogrametria, e o nome faz referência ao meio o qual as fotografias são obtidas: a partir de aeronaves especiais construídas com esse propósito (ISPRS, 2019).

As fotografias aéreas são obtidas através de uma câmera precisa, afixada na aeronave na posição vertical, com seu foco visando o espaço imediatamente abaixo. O objetivo dessas fotografias é de se obterem as ortofotos, que são fotos as quais possuem referência geográfica verdadeira, o que possibilita a medição de suas posições, distâncias, ângulos horizontais e áreas, e isso é possível através de correções aplicadas segundo um Modelo Digital de Terreno (MDT), que remove quaisquer deformações ou distorções provenientes das imagens, de maneira a garantir a qualidade dos produtos (LIMA, 2018).

A partir das ortofotos é construído o ortomosaico, um arranjo das ortofotos que fornece uma vista da área total que as imagens representam, caracterizado por possuir coordenadas georreferenciadas e distâncias reais, assim como um mapa. Atualmente todo esse processo é feito através de *softwares* adequados, os quais realizam esse tratamento e montagem, usando

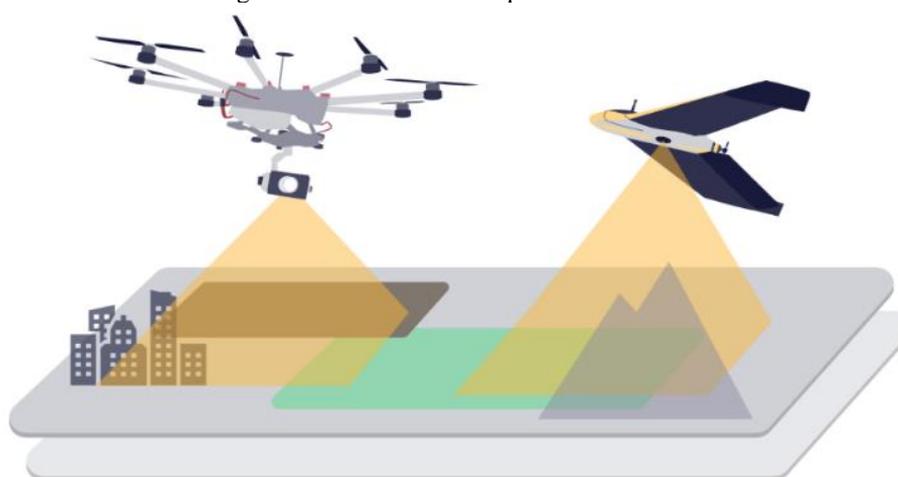
dados referentes ao plano de voo, como por exemplo as sobreposições longitudinais e laterais de fotos, a altura de voo, a velocidade de voo, a amplitude da câmera, dentre outros.

Dentro desse cenário, surge a relevância das Aeronaves Remotamente Pilotadas (RPA) como ferramentas atrativas para a coleta dessas ortofotos, vista a tecnologia existente em conjunto com o preço acessível, que possibilitou inclusive com que esses equipamentos chegassem nas mãos dos engenheiros. Se comparado com as aeronaves que eram utilizadas antigamente, o RPA é muito mais econômico, versátil, rápido, preciso, fácil de operar, pode voar em alturas mais baixas e não demanda muita mão de obra (o levantamento exige apenas uma pessoa para ser realizado). O Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) define o Sistema de Aeronave Remotamente Pilotada (RPAS), através do ICA 100-40, como sendo o:

Subconjunto do Sistema de Aeronave não Tripulada, capaz de interagir com o Sistema de Controle de Tráfego Aéreo e outras aeronaves em tempo real, composto pela aeronave remotamente pilotada (RPA), sua(s) estação(ões) de pilotagem remota, o enlace de pilotagem e qualquer outro componente associado à sua operação (BRASIL, 2019, p. 18).

O RPA pode variar entre quatro modelos distintos: os de asa fixa, os multirotores, os de rotor único e os de asa fixa híbridos. No Brasil, os modelos mais comuns são os modelos de asa fixa e os de multirotores, como apresentados na Figura 20.

Figura 20 - Multirotor à esquerda e asa fixa à direita.



Fonte: Skyviv (2016)

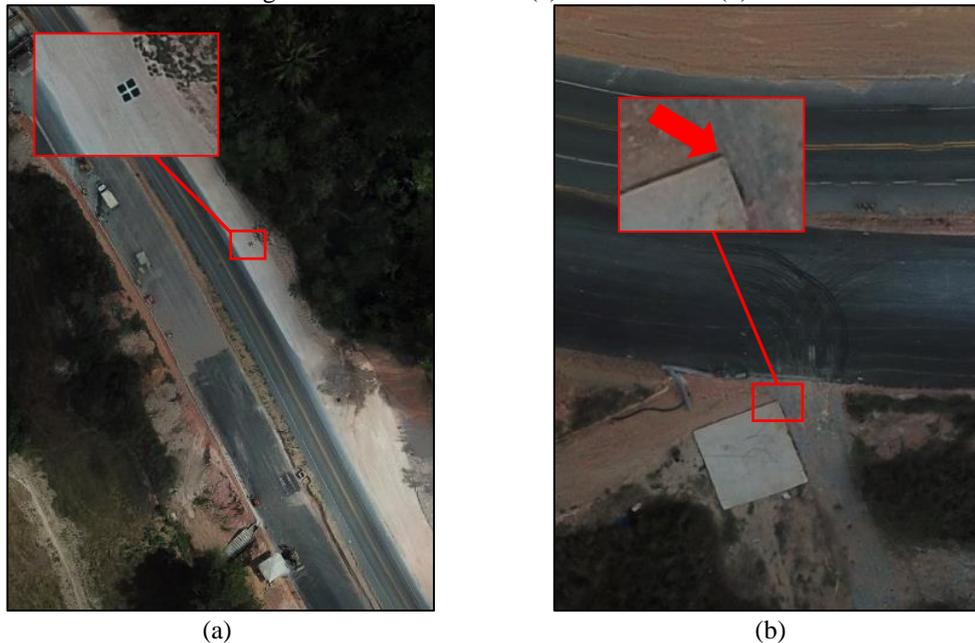
Enquanto os modelos de asa fixa funcionam de forma similar a aviões, recomendados portanto para áreas extensas (possuem um tempo de voo bem superior aos multirotores, por volta de 60 a 120 minutos), os multirotores são similares a helicópteros, possuindo uma maior estabilidade que os modelos de asa fixa em condições normais climáticas, porém são recomendados para áreas pequenas, já que seu tempo de voo em média é de 25 minutos (HORUS, 2018).

3.3.4 Pontos de Apoio

Os pontos de apoio são elementos que são visíveis nas fotos capturadas pelo RPA, e são usados para fazer uma correlação entre as coordenadas do terreno com as coordenadas da imagem, de maneira a serem utilizadas durante o processamento das imagens para aumentar a acurácia do produto que será gerado. A utilização dos pontos de apoio é uma metodologia aplicada aos tipos de RPA que não são fabricados com sensores GPS de alta precisão (SILVA NETO, 2015)

Os pontos de apoio se dividem em duas categorias: os alvos naturais e os alvos artificiais. De acordo com Silva Neto (2015), os alvos naturais são aqueles que são encontrados em campo, como por exemplo pinturas já existentes, objetos preexistentes em campo com uma aresta ou um ponto bem definido, enquanto que os alvos artificiais são aqueles confeccionados conforme às expectativas do operador. Dessa forma, a Figura 21 apresenta dois alvos, um artificial (a) e outro natural (b).

Figura 21 – Alvo artificial (a) e alvo natural (b)



Fonte: Autor (2021)

Como dito, esses alvos devem possuir coordenadas, então a partir dos métodos de posicionamento por receptor GNSS são determinadas as posições desses pontos.

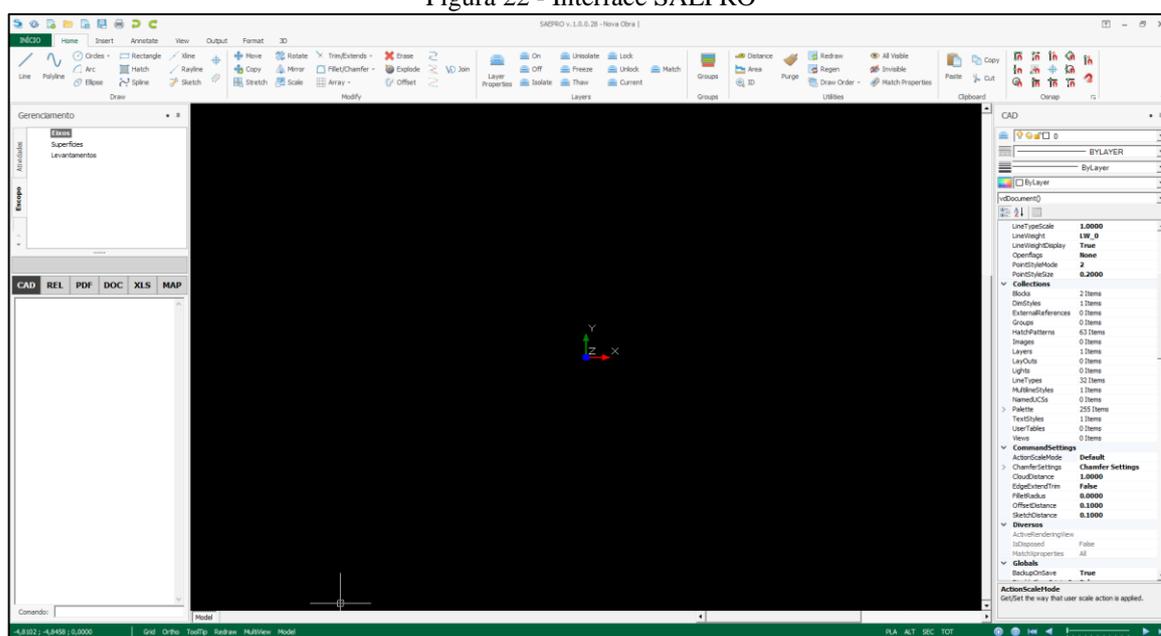
Outro aspecto importante é que alguns pontos de apoio são denominados pontos de controle, enquanto outros são denominados pontos de verificação ou de checagem. A diferença é que os pontos de controle são utilizados como referência no processamento das fotos para aumentar a

acurácia do levantamento, enquanto que os pontos de checagem são usados para checar a acurácia atingida do produto final (SILVA NETO, 2015).

3.4 SAEPRO

O Sistema Avançado para Estudos e Projetos Viários (SAEPRO) é um programa criado por uma parceria entre a Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e duas empresas, a Serviços Técnicos de Engenharia S.A. (STE) e a Consultoria em Informática e Engenharia Ltda. (CIENGE). O programa, como Leal (2017) descreve, possui algumas características interessantes: é simples de se utilizar, possui uma interface bem intuitiva, além de ser bastante eficiente nos resultados no tempo demandado por processos. A Figura 22 ilustra como é a interface do *software* (SAEPRO, 2020).

Figura 22 - Interface SAEPRO



Fonte: Autor (2021)

O programa ainda fornece uma boa precisão e obedece aos requerimentos da plataforma *Building Information Modeling* (BIM), sendo um ótimo *software* para estradas em geral, pois a partir dele é possível desenvolver projetos de topografia, terraplenagem, sinalização e geometria, além de permitir a análise da consistência das geometrias adotadas nos projetos das rodovias, usando para isso normas e recomendações técnicas estabelecidas por diversos órgãos que atuam no ramo de infraestrutura viária no Brasil: Departamento Nacional de Infraestrutura (DNIT), Departamento Autônomo de Estradas de Rodagem (DAER) e a empresa VALEC -

Engenharia, Construções e Ferrovias S.A. (empresa pública de engenharia vinculada ao Ministério da Infraestrutura). Essas análises são emitidas em formas de relatórios, elaborados a partir dos parâmetros geométricos estabelecidos e da norma de referência adotada, como apresentado na Figura 23 (SAEPRO, 2020).

Figura 23 - Parâmetros geométricos e relatório de inconformidades – SAEPRO

The screenshot displays the SAEPRO software interface. On the left, there is a 'Gerenciamento' (Management) panel with a table of activities and a 'Histórico' (History) section. The main area shows a 3D perspective view of a road project with various geometric elements highlighted in blue and red. On the right, the 'Edição: Geométrico' (Edit: Geometric) panel is active, showing a table of PIV (Point of Vertical Intersection) data and a list of geometric parameters.

Id	Posição (m)	Cota	Projção	Concordância
PP	0+000,000	72,664
1	0+136,344	65,433	...	40,000
2	0+285,204	68,220	...	55,30
3	0+501,561	68,363	...	62,40
4	0+995,911	69,249	...	116,30

The 'Edição: Geométrico' panel also includes sections for:

- A. PIV**: 1. Nome (Id), 2. Posição (m), 3. Cota (m)
- B. Rampas**: 1. Rampa anterior (%), 2. Rampa posterior (%)
- C. Concordância Vertical**: 1. Projção (m), 2. Parâmetro k, 3. Flava e (m), 4. Δ (%)
- D. Estaqueamento**: 1. PCV (m), 2. PTV (m), 3. PTV (m), 4. Δ (%)
- E. Distâncias**: 1. PTV anterior/PTV-PTV pos., 2. PCT-PTV anterior/PTV-PCV pos.
- F. Informações**: 1. Observações

Fonte: SAEPRO (2018)

Existem alguns estudos que realizaram análises comparativas entre os *softwares* disponíveis nos mercados para análise da consistência geométrica, abordando os pontos positivos e negativos de cada um. Silva Júnior (2003), por exemplo, ressaltou em seu trabalho a adequação do SAEPRO às condições e normas brasileiras, um ponto diferencial quando comparado à *softwares* internacionais, já que evita o processo manual de inserção de parâmetros necessários para as análises. Leal (2017) também realizou uma comparação entre alguns *softwares*, e destacou os seguintes pontos para o SAEPRO em seu estudo: (i) simplicidade, (ii) eficiência, (iii) precisão, (iv) integração e (v) modularidade, adotando este programa em sua pesquisa.

A partir de todos os benefícios apresentados pelo *software*, principalmente no que diz respeito às adequações às condições e normas do Brasil, bem como sua ampla utilização em diversos trabalhos de análises de geometria rodoviária, como os de: (i) Leal (2017), (ii) Oliveira (2020), (iii) Andriola (2018) e (iv) Rosenbach (2018), foi escolhido o SAEPRO para realizar a análise geométrica do presente trabalho.

3.5 ESTUDOS SIMILARES

3.5.1 Rosenbach (2018)

Rosenbach (2018) realizou o estudo intitulado: “Análise da geometria e da sinalização viária de um trecho da rodovia VRS-811 no município de Arroio do Meio – RS”, o qual analisou a geometria viária e a sinalização do trecho da rodovia do título, compreendido entre os quilômetros 5+200 e 8+560, através do *software* SAEPRO, para verificar se todos os parâmetros atendiam às normas vigentes, já que foi construída a mais de quarenta anos.

Para isso, primeiramente o autor definiu a classe da rodovia baseado nas Normas de Projeto Geométrico do DAER, definindo que o trecho de estudo correspondia a uma classe de projeto B, a qual requer uma largura de pista de 6 metros, adotando ainda uma classificação de relevo como ondulado e, portanto, raio mínimo de 125 metros e acostamentos mínimos de 1 metro, com uma velocidade definida em norma de 60 km/h.

Para medir a largura da via foi utilizada uma trena, através de um processo manual de medição de uma borda até a outra, e anotando os valores em uma planilha. O mesmo foi realizado para conferir a largura dos acostamentos, considerando a distância compreendida entre a borda da pista e o final da largura do acostamento.

Em campo, o autor coletou também dados referentes às sinalizações existentes, para isso, percorreu o trajeto através de um veículo automóvel e registrou, por meio de fotos e anotações dos dados em planilhas, os modelos e as localizações das placas encontradas na via, bem como as linhas de sinalização horizontal, suas extensões, tipos e locais.

Para o estudo das sinalizações verticais, o autor fez uso de uma trena para medir as distâncias entre a placa e o bordo da pista, bem como a altura da placa em relação ao solo e suas dimensões geométricas. Para o estudo das sinalizações horizontais, Rosenbach (2018) utilizou também a trena para medir os elementos, verificando o espaçamento entre as linhas de sinalização e suas espessuras. Além disso, por meio de um refletômetro eletrônico, o autor realizou a medição da retrorrefletância das faixas.

A análise do traçado do trecho foi feita por meio do *software* SAEPRO, utilizando imagens de satélite como referência de locação, e os dados do sensoriamento remoto como referências

planialtimétricas. Basicamente, o autor estabeleceu uma linha primária, e foi desenvolvendo o traçado da rodovia sobreposto ao mapa, de maneira que se encaixasse o melhor possível, determinando, para isso, valores arbitrários de raios e de desenvolvimento em espiral (L_c), através de tentativa e erro. O autor deixa claro que os valores obtidos no *software* não são coincidentes de fato com os valores reais, mas sim uma adaptação que visa compensar a ausência do projeto original da rodovia.

Através do traçado definido, foi possível analisar se os raios, ângulo central e desenvolvimento das curvas obedeciam às normas definidas pelo CONTRAN e pelo DAER, bem como gerar o perfil longitudinal da via para se analisar se as curvas verticais também se enquadravam dentro das normas.

Com a reconstituição da rodovia, após a análise geométrica, foi realizado o estudo da sinalização viária a partir do estabelecido pelas mesmas normas. Para isso, o autor inseriu os dados levantados referentes à sinalização rodoviária no *software* SAEPRO, no traçado já desenvolvido, mas apenas as placas de maior relevância: proibição de ultrapassagem, regulamentação de velocidade e curvas.

Um dos fatores mais importantes para a sinalização é a visualização que existe durante o trajeto da rodovia, porém, o estudo não contou com dados topográficos precisos, de maneira que o greide gerado pelo *software* não representou de fato a situação real do trecho.

Com os dados estimados do greide da rodovia, o SAEPRO calculou a superelevação e a superlargura para o alinhamento, fornecendo as seções transversais em cada estaca do traçado.

Assim, foi realizada a análise de visibilidade do traçado, apresentando os trechos os quais não apresentavam visibilidade de ultrapassagem ao condutor, bem como os que apresentavam. Disso, o autor forneceu o comando para o programa elaborar as sinalizações horizontais para a pista, gerando uma rodovia “idealizada” e padronizada dentro das normas.

Dessa forma, Rosenbach (2018) usou essa rodovia criada pelo *software* e comparou com os dados obtidos em campo a respeito da sinalização. Assim, concluiu que a rodovia VRS-811 não atendeu aos requisitos técnicos mínimos para a segurança viária: dois quilômetros da rodovia não possuíam a largura mínima admissível, não foi encontrado também em nenhum dos pontos do trecho o acostamento mínimo necessário, cerca de 71,43% das curvas apresentaram valor de

raio mínimo abaixo do desejado, e a mesma porcentagem relativa aos comprimentos de transição que não atendem ao valor mínimo.

O autor constatou também que a sinalização vertical se encontrou deficitária, num total de seis placas de sinalização de advertência durante a extensão total do trecho, e ainda estão em posições incorretas, próximas demais da pista de rolamento, e próximas demais também das curvas, o que pode prejudicar o tempo de reação dos motoristas. Ao mesmo tempo, foi constatado que a sinalização horizontal, pelo menos em sua maioria, estava dentro dos padrões normativos, com exceção da retrorrefletância, a qual se encontrava abaixo dos mínimos estipulados.

3.5.2 Görgen Filho (2018)

O trabalho de Görgen Filho (2018), intitulado: “Análise crítica dos traçados geométricos das rodovias Presidente Dutra e Airton Senna/Carvalho Pinto, Trecho entre Taubaté-SP e São Paulo-SP”, realizou uma comparação entre os traçados das duas rodovias, visto não só a relevância dessas rodovias para o transporte rodoviário brasileiro, como também pela discrepância de idades entre as duas.

Assim, o autor iniciou seu trabalho a partir da obtenção de fotos por meio do Google Earth Pro 7.1.2.2041 das duas rodovias, sendo selecionadas as imagens com maior resolução possível. Posteriormente essas imagens foram exportadas para o *software* Bentley PowerCivil for Brazil v8i (SELECTseries 4) e georreferenciadas.

Dentro do *software*, o autor definiu os traçados das rodovias através da identificação das tangentes, e posterior designação dos PI das curvas, permitindo assim, através de tentativa e erro, determina-se valores que melhor se encaixavam nas geometrias apresentadas.

A partir da reconstituição geométrica dessas rodovias, foram emitidos relatórios com esses dados, os quais foram analisados segundo as normas e recomendações do DNIT e da AASHTO, o que resultou no que já era esperado pelo autor: a Rodovia Presidente Dutra, sendo mais antiga, apresentou uma quantidade maior de não conformidades com as recomendações atuais de projeto quando comparada com a rodovia Airton Senna / Carvalho Pinto, e essas inconformidades não geram conforto nem segurança aos usuários.

Nessa perspectiva, o autor sugeriu algumas medidas para mitigar esses problemas: a implantação de sinalização horizontal, vertical e luminosa nas vias, como por exemplo os sonorizadores, visando preparar os motoristas para possíveis curvas ou quaisquer outros eventuais elementos que necessitem de atenção especial.

4 METODOLOGIA

Nesse capítulo, serão abordados os métodos utilizados para a elaboração do estudo, descrevendo a metodologia para determinação do trecho de estudo, a classificação do trecho, o planejamento realizado para a coleta de dados em campo, o levantamento planialtimétrico, o processamento dos dados levantados, a criação do modelo digital e a análise da rodovia.

4.1 ESCOLHA DO TRECHO DE ESTUDO

4.1.1 Delimitações do Estudo

Os dados referentes aos acidentes de trânsito consideram apenas rodovias federais fiscalizadas pela Polícia Rodoviária Federal, restritos à região metropolitana de Maceió. Além disso, a amostra de dados considerada para esse trabalho se refere a um período de quatro anos (2017, 2018, 2019 e 2020).

A primeira razão em se adotar esse período está relacionada à mudança no sistema de armazenamento de dados de acidentes da PRF, que fazia uso do sistema BR-Brasil nos anos de 2006 até 2016, e no ano de 2017 mudou para o sistema de Boletim de Acidentes de Trânsito – BAT. Assim, os dados dos quatro anos considerados possuem formatos, informações e registros de mesmo padrão (BAT), conferindo assim maior homogeneidade à amostra e facilitando o tratamento dos dados (PRF, 2020).

A segunda razão usa do mesmo argumento de Braga Neto (2017), de que um local concentrador de acidentes por uma sequência de três ou mais anos seguidos é mais preocupante do que locais que foram concentradores de acidentes em períodos menores, vista a variação das rodovias em função de diversos fatores: obras, climas, acidentes naturais, dentre outros.

4.1.2 Tratamento de Dados de Acidentes de Trânsito

Os dados de acidente de trânsito foram obtidos por meio de planilhas em formato *.csv*, disponibilizadas pelo site da Polícia Rodoviária Federal. As ocorrências são organizadas de acordo com seus respectivos anos, e constam das variáveis apresentadas no Quadro 4.

Quadro 4 - Dicionário de variáveis de acidentes registrados pela PRF

NOME DA VARIÁVEL	DESCRIÇÃO
id	Variável numérica identificadora do acidente.
data_inversa	Data da ocorrência dia/mês/ano.
dia_semana	Dia da semana da ocorrência. Ex.: Segunda, Terça, etc.
horario	Horário da ocorrência no formato horas:minutos:segundos.
uf	Sigla da Unidade da Federação. Ex.: AC, MG, PR, AL, etc.
br	Variável numérica identificadora da BR do acidente.
km	Quilômetro onde ocorreu o acidente, com valor mínimo de 0,1 km e com a casa decimal separada por ponto.
municipio	Nome do município de ocorrência do acidente.
causa_acidente	Identificação da causa principal do acidente.
tipo_acidente	Identificação do tipo de acidente. Ex.: Colisão frontal, Saída de Pista, etc.
classificação acidente	Classificação quanto à gravidade do acidente: Sem Vítimas, Com Vítimas Feridas, Com Vítimas Fatais e Ignorado.
fase_dia	Fase do dia no momento do acidente. Ex.: Amanhecer, Pelo dia, etc.
sentido_via	Sentido da via considerando o ponto de colisão: Crescente e decrescente.
condição meteorologica	Condição meteorológica no momento do acidente: Céu claro, chuva, vento, etc.
tipo_pista	Pista considerando a quantidade de faixas: Dupla, simples ou múltipla.
tracado_via	Descrição do traçado da via.
uso_solo	Características do local do acidente: Urbano=Sim; Rural=Não.
latitude	Latitude do local do acidente em formato geodésico decimal.
longitude	Longitude do local do acidente em formato geodésico decimal.
peessoas	Total de pessoas envolvidas na ocorrência.
mortos	Total de pessoas mortas envolvidas na ocorrência.
feridos_leves	Total de pessoas com ferimentos leves envolvidas na ocorrência.
feridos_graves	Total de pessoas com ferimentos graves envolvidas na ocorrência.
feridos	Total de pessoas feridas envolvidas na ocorrência (soma dos feridos leves com os graves)
ilesos	Total de pessoas ilesas envolvidas na ocorrência.
ignorados	Total de pessoas envolvidas na ocorrência e que não se soube o estado físico.
veiculos	Total de veículos envolvidos na ocorrência.

Fonte: Adaptado de PRF (2017, p. 3-4)

Todos os dados referentes aos quatro anos de estudo foram compilados em uma única planilha, separando os acidentes conforme o trecho quilométrico, ou seja, todos os acidentes ocorridos entre o trecho de km 10,0 até o km 10,9, por exemplo, foram considerados ocorridos no km 10, assim como os acidentes ocorridos entre o km 11,0 até o 11,9 foram considerados como ocorridos no km 11, e assim por diante.

Além disso, seguindo parte da metodologia do programa PARE (MT, 2002), foram excluídos trechos os quais apresentassem um número de acidentes inferior ou igual a três, com exceção dos casos em que contabilizassem pelo menos um óbito em seus registros.

4.1.3 Cálculo da Unidade Padrão de Severidade

Para decisão do local de estudo, foi adotado o método de identificação de locais críticos segundo a técnica da severidade dos acidentes definido pelo Ministério de Transportes (2002), onde o intuito é de se calcular o número de UPS de cada trecho segundo a seguinte fórmula:

$$\begin{aligned} \text{Número de UPS} = & \text{Acidente(s) somente com dano(s) material(is)} \times 1 + \\ & \text{Acidente(s) com ferido(s)} \times 4 + \\ & \text{Acidente(s) com ferido(s) envolvendo pedestre(s)} \times 6 + \\ & \text{Acidente(s) com vítima(s) fatal(is)} \times 13 \end{aligned} \quad (2)$$

O cálculo de UPS não considera na sua equação o número de vítimas e a gravidade de todos os envolvidos no acidente, mas apenas o maior grau de acidente constatado entre as vítimas. Para exemplificar, o Quadro 5 apresenta como foram realizados os cálculos.

Quadro 5 - Exemplo de cálculo de UPS

ID	BR - km	município	tipo_acidente	pessoas	mortos	feridos_ leves	feridos_ graves	ilesos	ignorados	feridos	UPS
10695	BR 101 - km 112	PILAR	Sem Vítimas	1	0	0	0	1	0	0	1
213262	BR 104 - km 93	RIO LARGO	Capotamento	6	0	5	0	1	0	5	4
11203	BR 316 - km 253	PILAR	Atropelamento de Pedestre	2	0	0	1	0	1	1	6
253206	BR 316 - km 84	SANTANA DO IPANEMA	Colisão frontal	2	1	0	1	0	0	1	13

Fonte: Autor (2020)

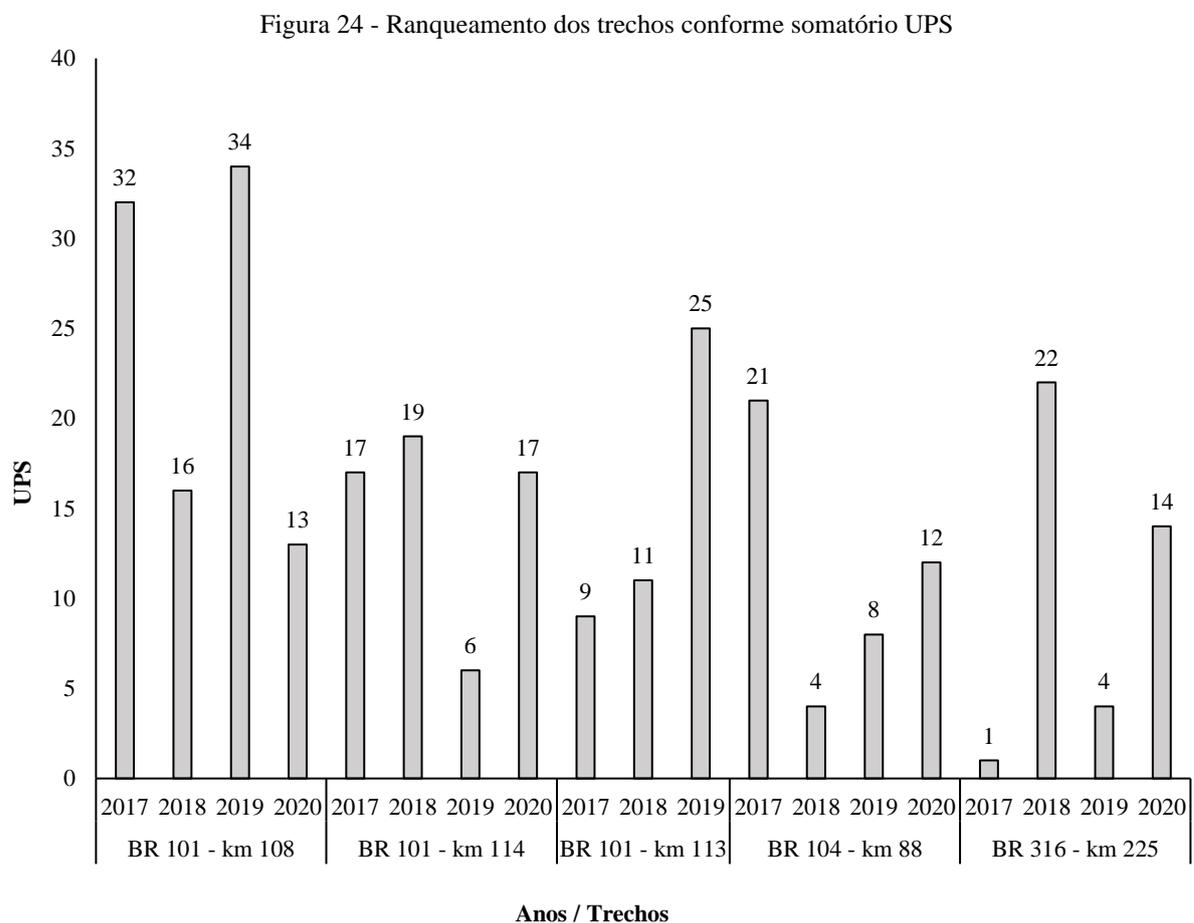
Desse modo, foi calculado o UPS para cada acidente registrado no estado de Alagoas, no período compreendido entre janeiro de 2017 e dezembro de 2020, preservando ao mesmo tempo os dados anuais e também do período total, possibilitando assim não só a análise e comparação para cada ano de maneira isolada, como um parâmetro geral entre todo o período considerado.

4.1.4 Ranqueamento dos Trechos

Através do procedimento relacionado à quilometragem inteira dos acidentes, foi possível a obtenção de dados referentes à soma de UPS de todos os acidentes para cada trecho (BR-km inteiro), o que permitiu a classificação dos trechos segundo a soma de UPS relativa ao período de quatro anos e na realização da média aritmética do valor de UPS de todos os trechos, sendo

essa média a referência para caracterizar um trecho como sendo crítico (UPS maior que a média) ou não (UPS menor ou igual à média).

Definidos os trechos críticos, foi calculado novamente o UPS somente para estes trechos, porém, restringindo os cálculos para os respectivos tipos de acidentes: capotamento, colisão com objeto em movimento, colisão com objeto estático, colisão traseira, saída de leito carroçável e tombamento, estes considerados neste estudo como acidentes passíveis de ocorrer devido as características geométricas das rodovias. O gráfico da Figura 24 mostra os novos valores de UPS para os trechos críticos, recalculados considerando apenas os tipos de acidentes citados, dos anos de 2017 a 2020.



Fonte: Autor (2020)

O critério estabelecido para a escolha do local de estudo foi o da classificação no ranqueamento apresentado no gráfico da Figura 24. Dessa forma, o trecho escolhido foi o primeiro classificado no gráfico: BR-101 km 108, o qual seria feito o levantamento do km 108 ao km 110, porém, no dia do levantamento foi constatada a intervenção de uma obra no trecho, impedindo a aposição e coleta dos pontos de apoio. Em função disso, a segunda opção para seleção de trecho foi o

segundo classificado: BR-101 km 114, e como o km 113 ocupou o terceiro lugar e é próximo ao km 114, foi definido então o trecho para o levantamento como sendo da BR-101 do km 113 ao 115, estudando assim dois pontos relevantes segundo os critérios de seleção utilizados.

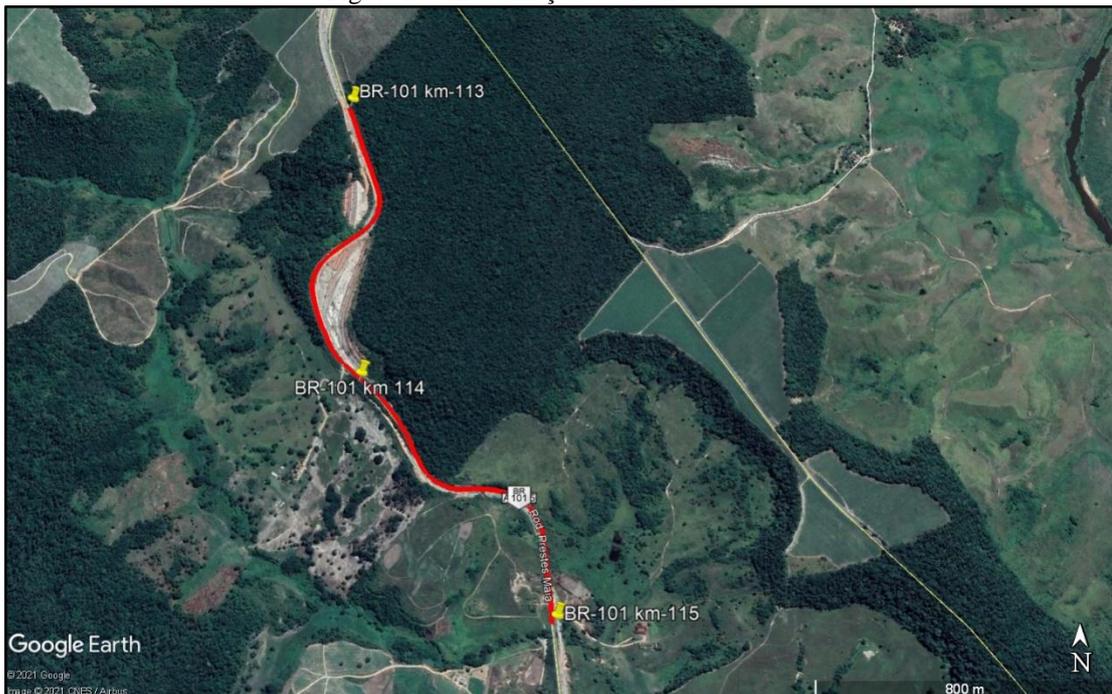
4.2 CLASSIFICAÇÃO DO TRECHO DE ESTUDO

4.2.1 Apresentação do Trecho de Estudo

O local de estudo faz parte da BR-101, também denominada rodovia Governador Mário Covas, que segundo o Ministério da Infraestrutura (2018) possui uma extensão total de 4.769,50 km, com início na cidade de Touros – Rio Grande do Norte, e seu final na cidade de São José do Norte – Rio Grande do Sul. Dessa extensão, de acordo com o DNIT (2019), cerca de 249,0 km fazem parte do estado de Alagoas, onde a quilometragem se inicia entre a divisa entre Alagoas e Pernambuco, e se finaliza entre a divisa de Alagoas com Sergipe.

O trecho, selecionado conforme os métodos já descritos, se refere à extensão do km 113 até o km 115 da BR-101 no estado de Alagoas, localizado entre as cidades de Pilar e São Miguel dos Campos conforme apresentado na Figura 25. Esse trecho é popularmente conhecido como “trecho do sabão”.

Figura 25 - Localização do trecho de estudo



Fonte: Autor (2021)

Atualmente esse trecho passa por obras de duplicação de pista, então partes do levantamento realizado foram prejudicadas pelo fato de que alguns segmentos da rodovia antiga foram destruídos. Para contornar esse problema, foi contatado o consórcio responsável pela obra para verificar a possibilidade do acesso aos dados do primitivo do trecho, o qual foi autorizado. Dessa maneira, foi fornecido a este trabalho uma malha de pontos, bem como os traçados da rodovia, levantados por RPAS no ano de 2018, os quais foram utilizados em todas os estudos de geometria realizados neste trabalho (exceto relativos às determinações das larguras de pista e de acostamento), de modo a garantir que as análises fossem feitas a partir de dados sólidos. Um ponto importante a se observar é de que não foram fornecidas as precisões (apenas citado que a precisão altimétrica foi próxima a 10 cm), mas como são dados utilizados para as obras de duplicação em andamento da BR-101, com certeza possuem padrões de precisão alta.

4.2.2 Determinação da Classe da Rodovia

Como já comentado anteriormente, um dos fatores determinantes para a classificação de rodovias é o VMDA, valor este que pode ser obtido, para as rodovias federais, por meio de estudos realizados pelo DNIT no PNCT, o qual considera a metodologia desenvolvida pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), na qual o VMDA é um valor estimado por meio de matrizes de origem e destino formuladas com base em vários pontos de contagem e modelos considerados. Assim, a Tabela 11 apresenta os dados do trecho de estudo levantados em 2019.

Tabela 11 - VMDA da BR 101 km 104,2 ao km 112,4

ID Trecho	Início do trecho	Final do trecho	BR	km inicial	km final	VMDA Crescente	VMDA Decrescente
151765	Entrada AL – 215 (A)	Entrada AL – 215 (B)	101	112,4	119,2	1.744	1.687

Fonte: Adaptado de PNCT (2019)

Pelo valor do VMDA ser maior que 1.400 e o trecho ser constituído de pista simples, a rodovia se enquadra como classe I-B.

4.2.3 Determinação do Relevo do Trecho

Para determinação do relevo do trecho, primeiramente foi considerada a ideia de se utilizar o critério baseado na Linha de Maior Declividade (LMD), que representa a área mais inclinada

da região de estudo e a sua representatividade nesse espaço. Este método é apresentado na apostila da disciplina de rodovias ministrada pelo professor Dr. Daniel Sergio Presta García, e aborda o intervalo proposto pelo professor Dr. João Fortini Albano, como mostra a Tabela 12.

Tabela 12 - Caracterização do relevo em função da linha de maior declividade LMD

Região	Intervalo Professor Albano
Plana	$LMD \leq 5\%$
Ondulada	$5\% < LMD \leq 20\%$
Montanhosa	$LMD \leq 20\%$

Fonte: Adaptado de García (2016, p. 23)

Através dessa tabela e de uma média ponderada dos dados altimétricos do levantamento, obteve-se um valor de 6,13% de inclinação média, caracterizando assim o relevo do trecho como ondulado.

Da mesma forma, o estudo realizado pelo DNIT (2018) para a duplicação da rodovia caracteriza o segmento compreendido entre o km 92,21 e o km 139,32 dessa rodovia como variando entre regiões onduladas e planas, mas o trecho de estudo em específico possui duas características essenciais que devem ser levadas em consideração: (i) a geologia do terreno é constituída por afloramentos rochosos, (ii) o terreno visivelmente demanda uma grande quantidade de aterro lateral em sua encosta para implantação de alinhamentos horizontais acessíveis e (iii) a rodovia foi projetada durante os anos de 1950 e 1960.

Esses aspectos são importantes porque são traços que definem as tomadas de decisões durante o projeto dessa rodovia. O fato do terreno do trecho de estudo possuir uma geologia constituída de rochas e uma grande demanda por aterro em sua encosta, por exemplo, reflete diretamente na dificuldade e no custo de se implementar a rodovia nessa região, principalmente quando se trata das décadas de 50 e 60.

Foi relatado inclusive por alguns funcionários da obra de que esse trecho em específico só era passível de mudanças através do uso de explosivos, reforçando ainda mais a dificuldade em se modificar o greide de projeto. Dessa forma, ao que tudo indica, a solução adotada na época foi de usar parâmetros cujas características permitissem menores alterações no terreno, de forma a economizar e facilitar os trabalhos nessa região.

A partir dos pontos expostos, não faz sentido que a rodovia seja analisada a partir de uma classificação de relevo que não foi a utilizada em projeto. Por esse motivo, foi usada a mesma

técnica aplicada por Andriola (2018) em seu trabalho, que consiste basicamente em analisar os valores dos raios mínimos, das constantes K mínimas e das declividades máximas encontradas nos trechos de estudo, e comparar esses valores com os limites definidos pelo DNIT, apresentados na Tabela 13, para assim classificar o tipo de relevo.

Tabela 13 - Características básicas do projeto geométrico – rodovias classe I

Características	Região		
	Plana	Ondulada	Montanhosa
Velocidade diretriz	100 km/h	80 km/h	60 km/h
Distância mínima de visibilidade de parada:			
• desejável	210 m	140 m	85 m
• absoluta	155 m	110 m	75 m
Distância mínima de visibilidade de ultrapassagem (Classe I-B)	680 m	560 m	420 m
Raio mínimo de curva horizontal (e=10%)	345 m	210 m	115 m
Rampa máxima	3%	4,5%	6%
Valor mínimo de K para curvas verticais convexas:			
• desejável	107	48	18
• absoluto	58	29	14
Largura da faixa de rolamento	3,60 m	3,60 m	3,60 m
Largura do acostamento externo	3,00 m	2,50 m	2,50 m
Gabarito mínimo vertical	5,50 m	5,50 m	5,50 m

Fonte: Adaptado do manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999, p. 163)

Dessa forma, a região do estudo foi classificada como do tipo montanhosa.

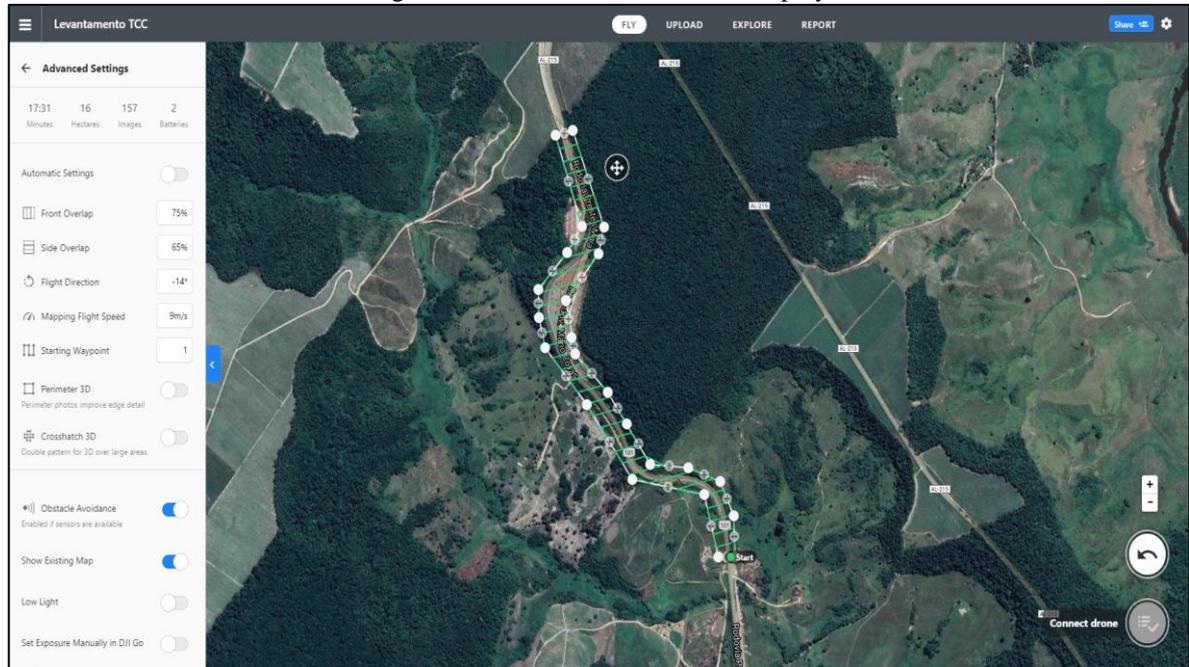
4.3 LEVANTAMENTO DE CAMPO

4.3.1 Planejamento de Voo

Para o planejamento do voo foi utilizado o *software* Drone Deploy, um programa gratuito que permite definir um plano de voo automático através da inserção de alguns dados e parâmetros, e retornando informações relevantes como o tempo de duração da operação, o número de baterias necessárias, o número de fotos previsto, a área do estudo e a distância do terreno equivalente a um pixel da foto (*Ground Sample Distance* - GSD) esperada, como ilustra a

Figura 26. É interessante ressaltar que o programa permite simular o voo, para prever como será procedido, e verificar se o programado atende às expectativas do operador.

Figura 26 - Plano de voo no Drone Deploy



Fonte: Autor (2021)

Para o estudo, foi adotada uma altura de voo de 100 metros afim de se evitar uma possível colisão do RPA com algum objeto, uma vez que o *software* Google Earth apresentou um desnível de 111 metros entre o início e o fim do percurso. Além disso, foi observado ainda o ponto mais coerente para a decolagem da aeronave, considerando um local o qual a altitude fosse suficiente para não ocorrer qualquer acidente, e que ao mesmo tempo atendesse à demanda da missão pela troca necessária de baterias, que assim como apresentado na Figura 26, exigiu uma troca (duas baterias). Desta forma, foi escolhida a região central do trecho. As demais características do voo são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 - Dados de voo

Parâmetros de voo	Valores
Velocidade de voo	9,0 m/s
Recobrimento longitudinal	75%
Recobrimento lateral	65%
Número de fotos	157
Número de Baterias	2
GSD	3,3 cm/px
Altura de voo	100,0 m
Área total de voo	16 ha

Fonte: Autor (2021)

4.3.2 Características do RPA Utilizado

Para este estudo, o drone utilizado para o levantamento foi o DJI Mavic Pro (Figura 27), o qual apresenta as características apresentadas no Quadro 6:

Figura 27 - DJI Mavic Pro



Fonte: Autor (2021)

Quadro 6 - Especificações do DJI Mavic Pro

CRITÉRIO	ESPECIFICAÇÕES
Dimensões (dobrado)	83 mm (altura) x 83 mm (largura) x 198 mm (comprimento)
Peso (incluindo bateria e hélices)	743 g (incluindo a redoma do estabilizador)
Velocidade máxima	65 km/h no Modo Esportivo (S) sem vento
Duração máxima de voo	27 minutos (sem vento, a uma velocidade constante de 25 km/h)
Sistema de posicionamento por satélite	GPS/GLONASS
Câmera	Integrada FC220, 12,35 MP de resolução, com modo de gravação de vídeos com resolução de até 4k
Wi-Fi	Distância máxima de transmissão: 80 m (distância), 50 m (altura) considerando que não existem obstruções, ou seja, livre de interferências. Frequências 2,4G/5G
Aplicativo móvel	DJI GO 4

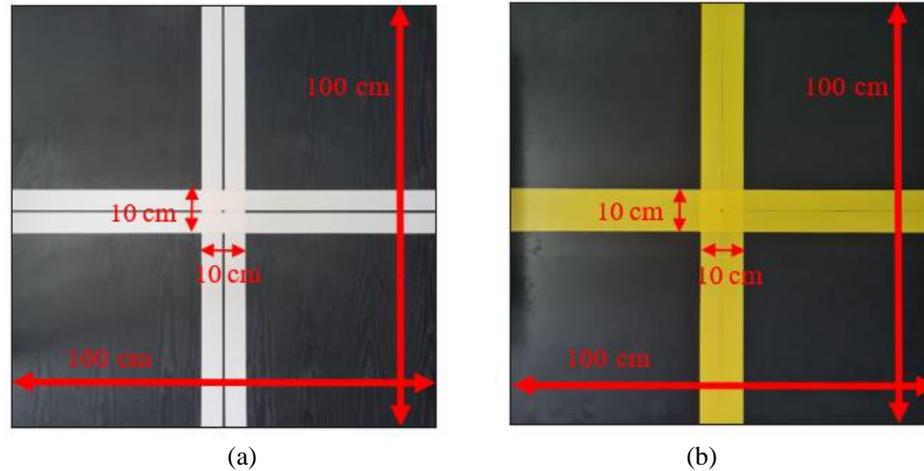
Fonte: Adaptado de DJI (2021)

4.3.3 Confecção, Dimensões e Posicionamento dos Pontos de Controle e de Checagem

Assim como já comentado, para o presente trabalho foi selecionado o ajuste do levantamento por meio do uso de pontos de apoio. Dessa maneira, os pontos de apoio foram confeccionados

com placas de poliestireno transparentes com geometria quadrada, e fitas adesivas para o desenho dos alvos, cujas dimensões são apresentadas na Figura 28.

Figura 28 - Ponto de controle (a) e ponto de checagem (b)

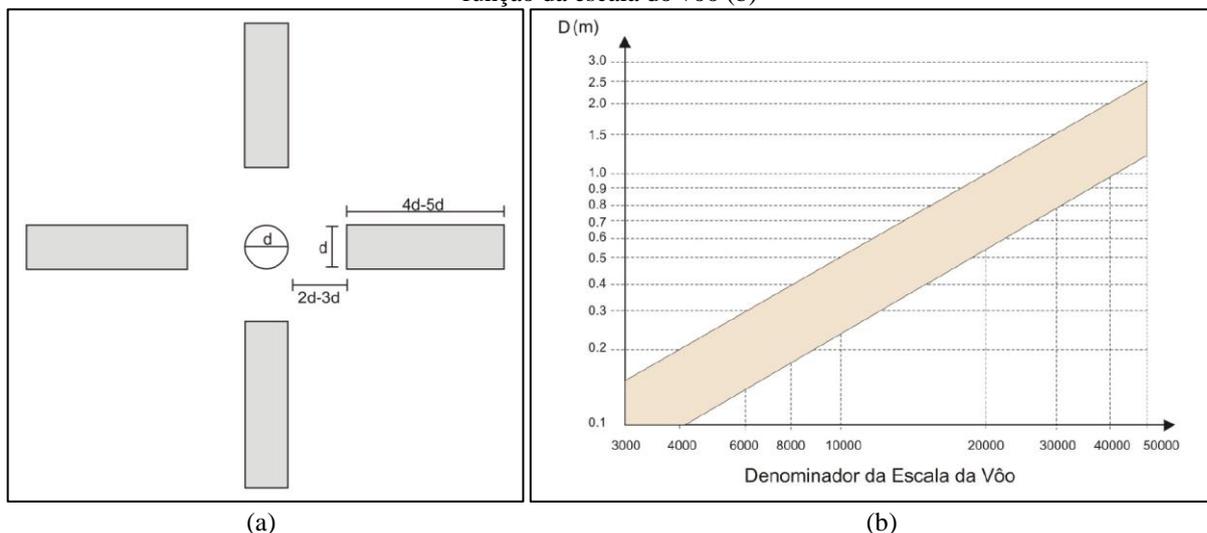


Fonte: Autor (2021)

A escolha da placa de poliestireno como base para o alvo surgiu da necessidade de um material com massa suficiente para que as placas não se movessem caso fossem submetidas aos ventos provocados pelo fluxo de veículos, e também no intuito de facilitar a aposição das mesmas em campo e garantir uma padronização das características dimensionais e visuais.

As dimensões foram baseadas no trabalho de Redweik (2007, apud. ALMEIDA, 2014), nos quais a autora constrói uma relação entre as dimensões do alvo e a escala do voo esperado, como mostrado na Figura 29.

Figura 29 - Referência das dimensões da pré-sinalização dos alvos (a) e gráfico da dimensão “d” em metros em função da escala do voo (b)



Fonte: Adaptado de Redweik (2007, apud. COSTA; SILVA; SILVA, 2011)

Assim como comentado no planejamento de voo, o Drone Deploy fornece o GSD esperado do levantamento, que no caso desse trabalho foi de 3,3 centímetros para cada pixel. Através dessa informação, foi utilizada a tabela fornecida pela Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto – ASPRS, a qual correlaciona a escala do mapa com o GSD, como mostra a Tabela 15. A partir disso, foi encontrada uma escala esperada de 1:250, de forma que a dimensão “d” dos alvos fosse a menor do gráfico anteriormente apresentado: 10 centímetros.

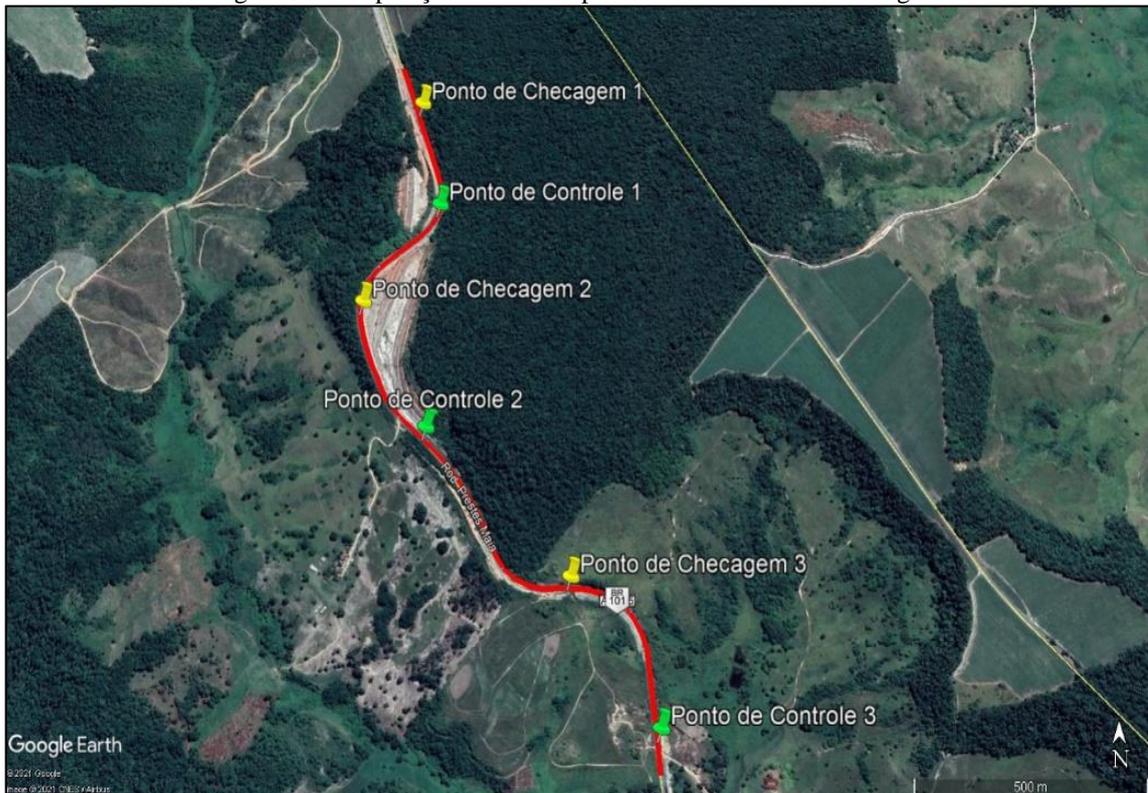
Tabela 15 - Correlação entre GSD e escala do mapa

Escala do Mapa	1:100	1:200	1:250	1:500	1:1.000	1:2.000	1:2.500	1:5.000	1:10.000	1:25.000
GSD	1 - 2	2 - 3	3 - 4	4 - 10	10 - 20	20 - 30	30 - 40	40 - 100	1 - 2	3 - 4
Aproximado	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	cm	m	m

Fonte: Adaptado de ASPRS (2013, p. 1078)

Uma vez dimensionados e confeccionados, foram definidos os locais e as quantidades de alvos necessários em campo. Um dos problemas encontrados, que será mais detalhado durante os resultados e discussões, foi a falta de informações ou normas a respeito de quantidade de pontos mínimos necessários, bem como suas disposições em campo. Em função disso, foi determinada uma quantidade e uma disposição baseados na experiência de levantamentos do operador: inicialmente seis pontos, sendo eles três pontos de checagem e três de controle (Figura 30).

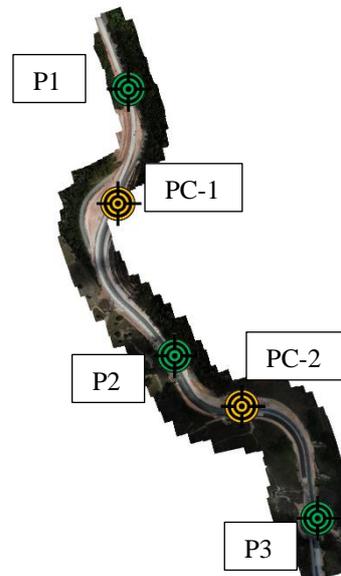
Figura 30 - Disposição inicial dos pontos de controle e de checagem



Fonte: Autor (2021)

Porém em campo essa metodologia foi remodelada em função da constatação de uma obra no trecho, onde existiam locais os quais não eram mais possíveis serem acessados. A solução adotada foi zerar o hodômetro do carro e posicionar alternadamente um ponto de controle e um ponto de checagem a cada aproximadamente 250 metros, com foco em posicionar os pontos próximos às entradas das curvas e da forma mais homogênea possível. Nesse procedimento, foram usados cinco alvos, sendo três pontos de controle e dois pontos de checagem, assim como a disposição apresentada na Figura 31.

Figura 31 - Disposição final dos pontos de checagem e de controle



Fonte: Autor (2021)

4.3.4 Características do Receptor GNSS

Os receptores GNSS utilizados nesse estudo foram do modelo CHC X91GNSS, apresentado na Figura 32, tanto Base quanto Rover, cujas características são definidas no Quadro 7.

Figura 32 - Receptor GNSS CHC X91GNSS



Fonte: Autor (2021)

Quadro 7 - Características técnicas do CHC X91GNSS

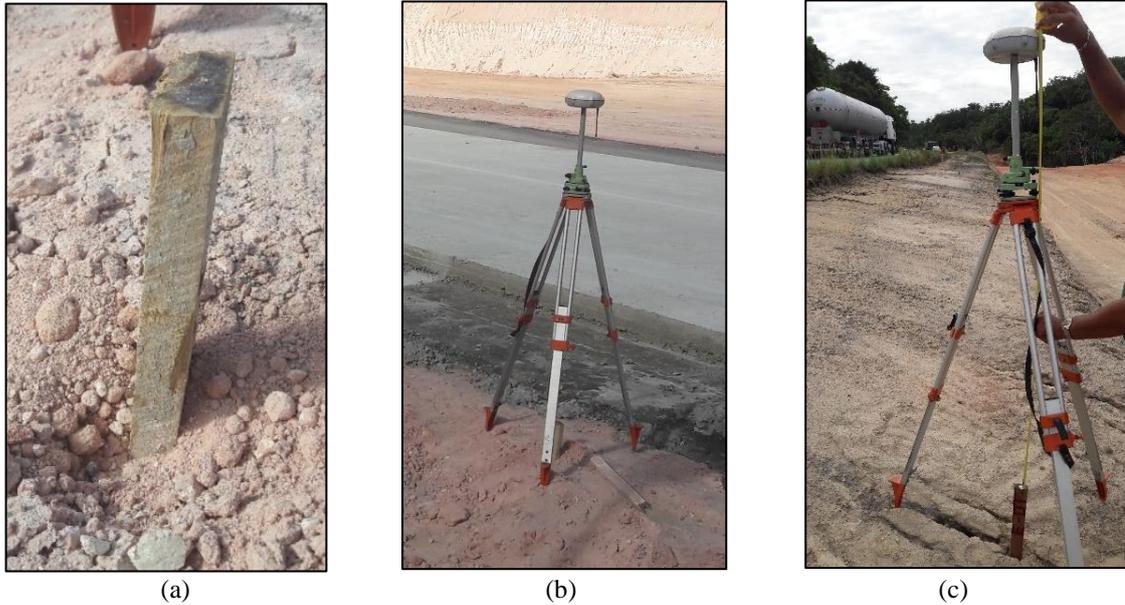
CRITÉRIOS	ESPECIFICAÇÕES
Características GNSS	<ul style="list-style-type: none"> • 220 canais com rastreamento simultâneo de sinais de satélite; • GPS: L1C/A, L2C, L2E, L5; • GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P; • SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS; • Galileo: GIOVEA e GIOVEB.
Desempenho	<p>Em tempo real cinemático (RTK):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Horizontal: $\pm (10 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$ RMS; • Vertical: $\pm (20 \text{ mm} + 1 \text{ ppm})$ RMS; • Tempo de inicialização: 10 s; • Inicialização confiabilidade: típico > 99,9%. <p>Pós-processado (estático):</p> <ul style="list-style-type: none"> • Horizontal: 2,5 mm + 1ppm RMS; • Vertical: 5 mm + 1ppm RMS; • Linha de base comprimento: $\leq 300 \text{ km}$.
Físico	<ul style="list-style-type: none"> • Tamanho (h \times d): 80 mm \times 180 mm; • Peso: 1,25 kg (com a bateria); • Temperatura de trabalho: $-30^\circ \text{ C} \text{ --- } +65^\circ \text{ C}$; • Temperatura de armazenamento: $-40^\circ \text{ C} \text{ --- } +75^\circ \text{ C}$; • Umidade: 100% condensação; • À prova de poeira e à prova de água: IP67, protegido de imersão temporária a uma profundidade de 1 metro, flutuando; • Choque e vibração: sobrevive de quedas de 2 metros no concreto.
Elétrico	<ul style="list-style-type: none"> • Típico Consumo de energia: 2,6 W; • A capacidade da bateria: 2200 mAh GPS Glonass; • Os tempos de operação na bateria interna: 5 horas; • Entrada de alimentação externa: 9-18VDC.

Fonte: Adaptado de CHC (2010, p. 3-5)

4.3.5 Montagem e Operação do Receptor GNSS

Para o início das operações com o receptor GNSS, em função dos métodos de levantamento do estudo serem do PPP e do RTK, o trabalho começou com a instalação de um piquete de madeira no solo, de maneira a fornecer uma base sólida representativa de um ponto de referência para a posterior instalação do tripé em conjunto com o receptor GNSS. A Figura 33 (a) ilustra o piquete cravado em campo através de um martelo, a Figura 33 (b) o receptor GNSS instalado, e a Figura 33 (c) a leitura da distância inclinada entre o ponto e o receptor.

Figura 33 - Cravação do piquete (a), instalação da Base (b) e leitura da distância do ponto ao receptor (c)



Fonte: Autor (2021)

A partir da instalação da Base, foi criada uma operação nova no equipamento com base no método de posicionamento RTK, permitindo assim o deslocamento em campo para aposição dos pontos de apoio em seus devidos locais e a coleta das suas coordenadas por meio do Rover e da Coletora, como demonstrado na Figura 34.

Figura 34 - Aposição dos pontos de apoio e coleta das coordenadas



Fonte: Autor (2021)

Uma vez determinadas as coordenadas de todos os pontos de apoio, foi criada uma nova obra no equipamento para se determinarem as coordenadas do ponto do piquete pelo método PPP, deixando o equipamento realizar o rastreamento por um tempo de 30 minutos. Esse procedimento foi realizado porque o método RTK depende de coordenadas conhecidas, como já discutido.

4.3.6 Finalização dos Trabalhos em Campo

Com os pontos de apoio distribuídos e georreferenciados, foi aproveitado o tempo em que a Base realizava o rastreamento do ponto para iniciar o levantamento com o RPAS, realizado através do aplicativo Drone Deploy, o mesmo aplicativo utilizado no planejamento de voo, que permite o monitoramento do voo automático, como mostra a Figura 35.

Figura 35 - Controle e acompanhamento de voo



Fonte: Autor (2021)

Assim como comentado, o voo exigiu duas baterias, portanto foram realizadas duas decolagens e dois pousos, sendo um exclusivo para a troca de baterias. Uma vez concluído o voo e o rastreamento do receptor, foram recolhidos todos os pontos de apoio e materiais em campo, totalizando um tempo total gasto para a operação por volta de 1 hora e 30 minutos.

4.4 PROCESSAMENTO DOS DADOS

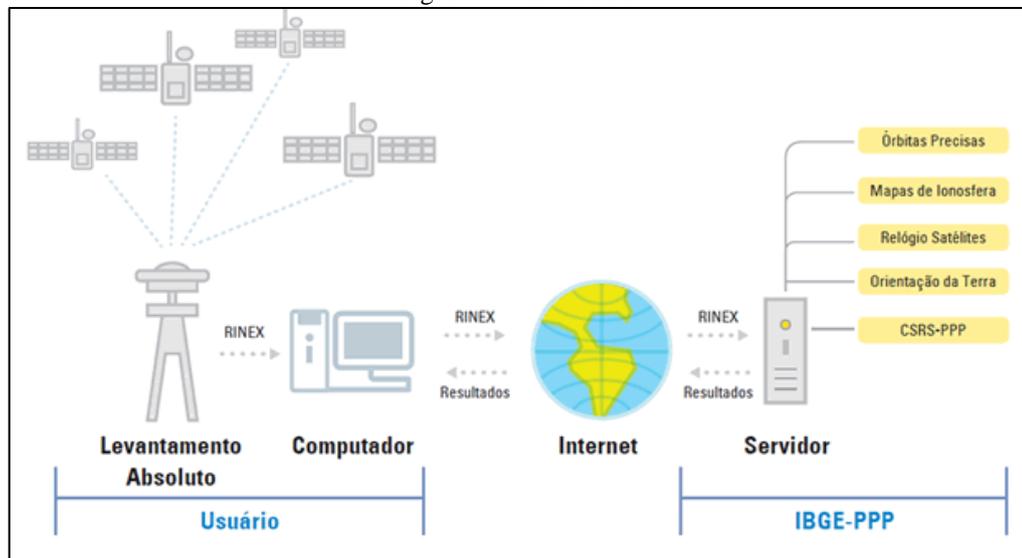
4.4.1 Processamento dos Dados Coletados pelo Receptor GNSS

Após a etapa de levantamento de dados em campo, foram descarregados os arquivos do receptor GNSS no computador, tanto os dados levantados do RTK quanto do PPP. No caso dos dados do levantamento em RTK, a única demanda para o ajuste das coordenadas são as próprias coordenadas do ponto onde estava a Base, de forma que uma vez inserida, recalcule de maneira automática todas as coordenadas coletadas pelo Rover. É nesse cenário que o método PPP atua,

pois quando processado fornece as coordenadas que o método RTK necessita para ajustar as suas coordenadas.

Primeiramente foi realizada a conversão do arquivo bruto do receptor, de formato T02 para o formato RINEX, que é o formato que o IBGE trabalha. Convertido o formato, foi acessado o site do IBGE de serviço online para pós processamentos de dados GNSS, onde foram informados o modo de processamento estático, o tipo da antena, a altura da antena, um e-mail para receber os dados e foi realizado o *upload* do arquivo RINEX compactado. O serviço PPP está descrito na Figura 36.

Figura 36 - IBGE-PPP



Fonte: IBGE (2021)

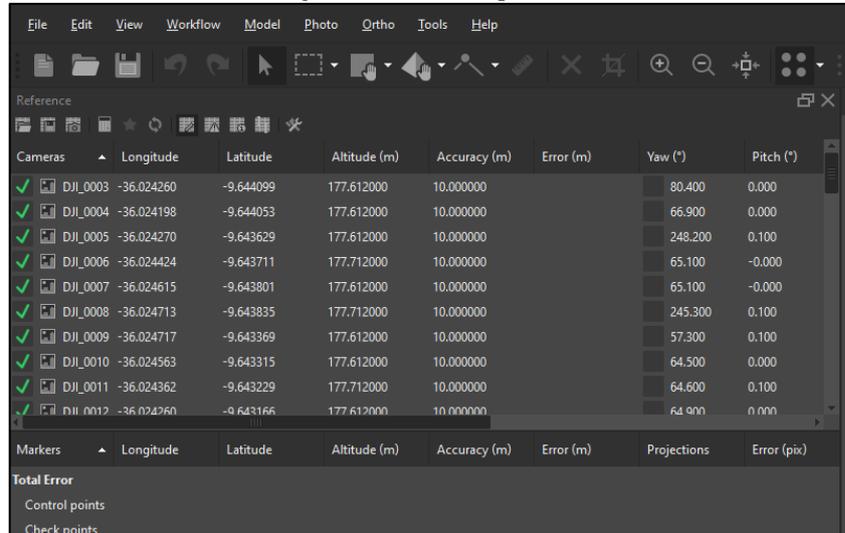
A partir desse procedimento o sistema retorna de maneira praticamente instantânea os dados relativos às coordenadas e altitudes ajustadas. Com esses valores, foram corrigidos os dados do levantamento RTK através da inserção das coordenadas e altitude do ponto de Base, fornecidas pelo IBGE, permitindo assim recalcular as coordenadas dos pontos de apoio.

4.4.2 Processamento das Fotos

Para o processamento das fotos foi utilizado o *software* Agisoft Metashape Professional versão 1.7.1 *build* 11797, com uma licença de teste de 30 dias. Esse programa foi escolhido em função da gama de ferramentas que ele disponibiliza ser muito completa, sendo um dos melhores e mais utilizados *softwares* disponíveis no mercado, com interface e processos muito simples, conferindo assim um aspecto muito atrativo dentro de um cenário tão tecnológico.

Para o processamento das imagens, foi seguida a sequência apresentada na aba *workflow*, de modo que o primeiro passo foi a importação de todas as fotos para o programa, como apresentado na Figura 37.

Figura 37 - Fotos importadas

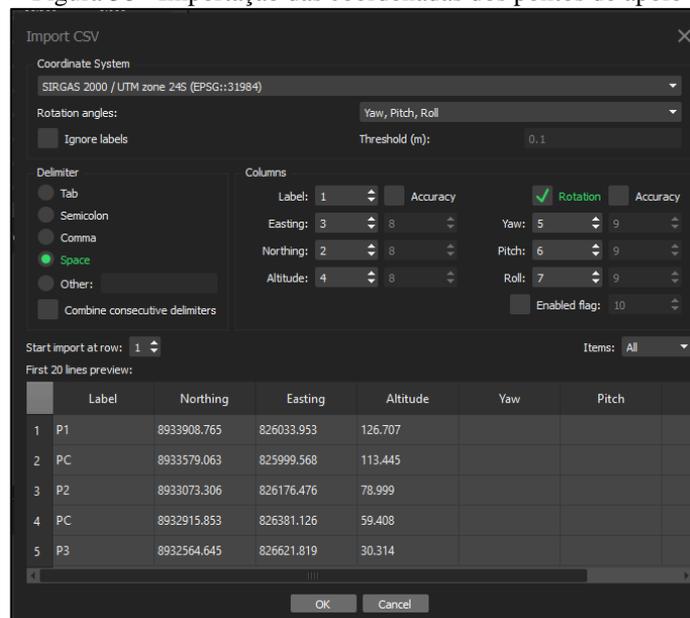


Cameras	Longitude	Latitude	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Yaw (°)	Pitch (°)
✓ DJI_0003	-36.024260	-9.644099	177.612000	10.000000		80.400	0.000
✓ DJI_0004	-36.024198	-9.644053	177.612000	10.000000		66.900	0.000
✓ DJI_0005	-36.024270	-9.643629	177.612000	10.000000		248.200	0.100
✓ DJI_0006	-36.024424	-9.643711	177.712000	10.000000		65.100	-0.000
✓ DJI_0007	-36.024615	-9.643801	177.612000	10.000000		65.100	-0.000
✓ DJI_0008	-36.024713	-9.643835	177.712000	10.000000		245.300	0.100
✓ DJI_0009	-36.024717	-9.643369	177.612000	10.000000		57.300	0.100
✓ DJI_0010	-36.024563	-9.643315	177.612000	10.000000		64.500	0.000
✓ DJI_0011	-36.024362	-9.643229	177.712000	10.000000		64.600	0.100
✓ DJI_0012	-36.024260	-9.643166	177.612000	10.000000		64.900	0.000

Fonte: Autor (2021)

Com as fotos importadas, na função *Convert*, o sistema de referência de coordenadas foi definido para o SIRGAS 2000 – UTM 24 S, procedimento que transformou todas as longitudes e latitudes para o novo sistema. Após esse processo, foram introduzidas no projeto as coordenadas dos pontos de apoio com referência no mesmo sistema de coordenadas, como apresenta a Figura 38.

Figura 38 - Importação das coordenadas dos pontos de apoio



Import CSV

Coordinate System: SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)

Rotation angles: Yaw, Pitch, Roll

Ignore labels: Threshold (m): 0.1

Delimiter: Space

Columns:

Label	1	Accuracy	Rotation	Accuracy
Easting	3	8	Yaw: 5	9
Northing	2	8	Pitch: 6	9
Altitude	4	8	Roll: 7	9
Enabled flag			10	

Start import at row: 1 Items: All

First 20 lines preview:

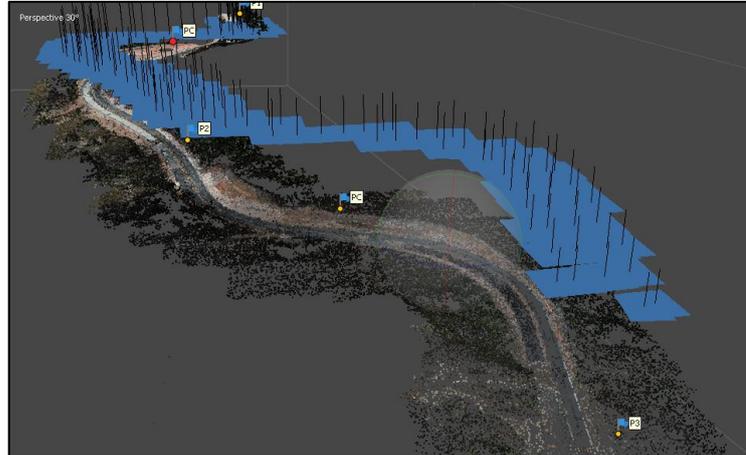
	Label	Northing	Easting	Altitude	Yaw	Pitch
1	P1	8933908.765	826033.953	126.707		
2	PC	8933579.063	825999.568	113.445		
3	P2	8933073.306	826176.476	78.999		
4	PC	8932915.853	826381.126	59.408		
5	P3	8932564.645	826621.819	30.314		

OK Cancel

Fonte: Autor (2021)

Inseridos os pontos de apoio, as fotos foram alinhadas na opção média, de modo a construir uma prévia da superfície do terreno e as posições estimadas do RPA, como apresentado na Figura 39.

Figura 39 - Alinhamento das fotos



Fonte: Autor (2021)

Uma vez alinhadas as fotos, foi realizado um processo manual de alocação dos marcadores dos pontos de apoio sobre a imagem dos mesmos, como apresentado na Figura 40.

Figura 40 - Alocação dos marcadores nos pontos de apoio

Cameras	Eastings (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Yaw (°)	Pitch (°)
✓ DJI_0154	826005.511344	8933999.610021	182.225003	10.000000	3.946751	65.700	-0.000
✓ DJI_0155	825988.138040	8933991.955712	182.125003	10.000000	3.993030	245.000	0.100
✓ DJI_0156	825972.863310	8934039.029648	182.025003	10.000000	6.117724	60.100	0.100
✓ DJI_0157	825991.167133	8934044.187976	182.125003	10.000000	6.111080	65.300	0.100
✓ DJI_0158	826010.605570	8934053.488103	182.125003	10.000000	5.989455	65.600	0.000
✓ DJI_0159	825997.564792	8934097.753362	181.925003	10.000000	8.057229	71.800	-0.000
✓ DJI_0160	825979.167300	8934087.782999	182.025003	10.000000	8.271968	65.700	-0.000
✓ DJI_0161	825970.595638	8934083.668833	182.725003	10.000000	8.570594	245.600	2.600
Total Error					2.877390		

Markers	Eastings (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
✓ P1	826033.953000	8933968.765000	126.707000	0.005000	0.016512	1	3.043
✓ P2	826176.476000	8933073.306000	78.999000	0.005000	0	0	0.000
✓ P3	826621.819000	8932564.645000	30.314000	0.005000	0	0	0.000
✓ PC	825999.568000	8933379.063000	113.445000	0.005000	0	0	0.000
✓ PC	826381.126000	8932915.853000	59.408000	0.005000	0	0	0.000
Total Error							
Control points					0.016512		3.043
Check points							

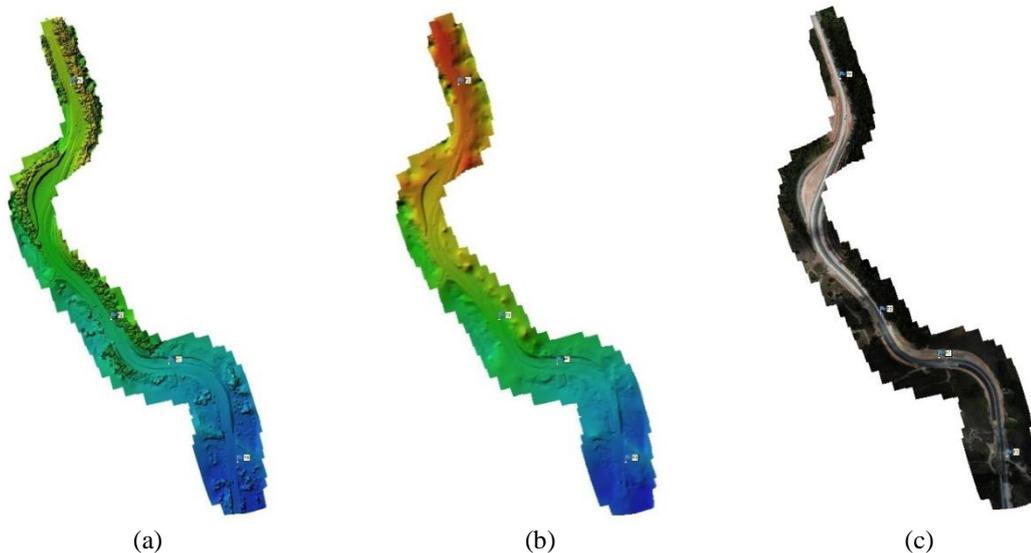
Fonte: Autor (2021)

Foram posicionados todos os marcadores sobre os seus respectivos pontos de apoio, com exceção do ponto de checagem 1, uma vez que o posicionamento improvisado em campo acarretou para o alvo uma localização fora do perímetro da área levantada. Dessa forma, esse ponto foi removido do processamento.

Ajustados os marcadores, foi então criada a nuvem densa de pontos com o padrão ultra alto de qualidade, seguida da criação da malha do terreno em uma qualidade média e posteriormente

uma textura da superfície com máxima intensidade. A partir desses três procedimentos, foi possível a criação do Modelo Digital de Terreno (MDT) e do Modelo Digital de Superfície (MDS), e conseqüentemente do ortomosaico, o qual só depende do MDS. A diferença entre os modelos digitais é justamente o tratamento da imagem, onde o modelo digital de superfície não recebe uma filtragem, o que compromete os dados relacionados à altimetria em função da existência de árvores, edifícios, máquinas, e todos esses elementos que interferem diretamente na geração das curvas de nível, enviesando esses valores. Por esse motivo o tratamento da superfície é importante para gerar dados mais coerentes. A Figura 41 apresenta o MDS (a), o MDT (b) e o Ortomosaico (c) gerados.

Figura 41 - Modelo digital de superfície (a), modelo digital de terreno (b) e ortomosaico (c)



Fonte: Autor (2021)

Concluído o processamento das imagens, a partir do MDT foram criadas as curvas de nível, e posteriormente o relatório do processamento, que se encontra no Apêndice D deste trabalho.

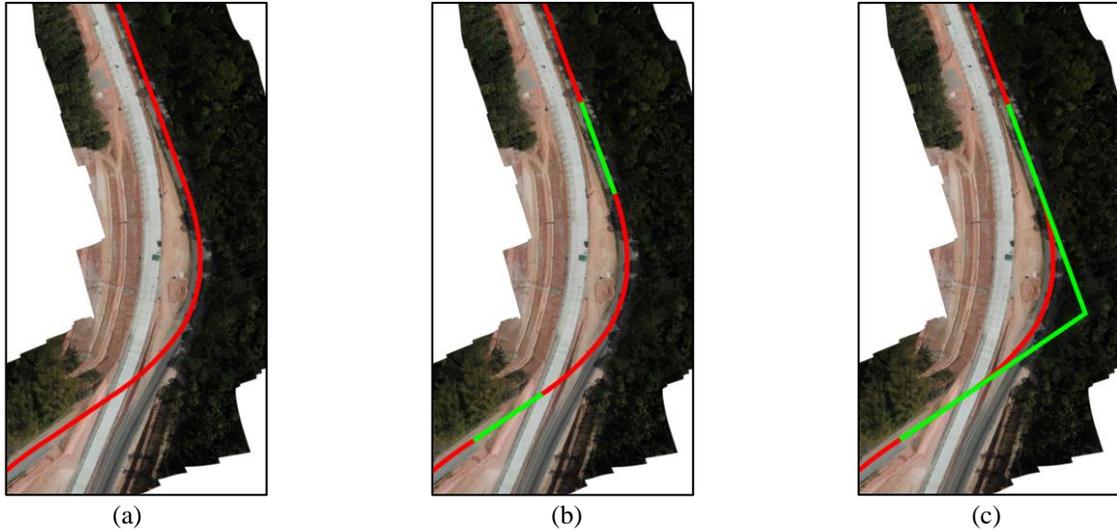
4.5 ANÁLISE DA GEOMETRIA DO TRECHO

4.5.1 Reconstituição da Geometria

A partir do traçado do eixo da rodovia, fornecido nos dados concedidos pelo consórcio, primeiramente foram inseridos tanto o ortomosaico quanto esse traçado no software AutoCAD Civil 3D 2020 versão estudante, e foi verificado o encaixe entre os dois elementos, como ilustrado na Figura 42 (a). Ainda a partir do traçado, foram criadas linhas baseadas em dois pontos que mais se encaixassem nos trechos de tangentes, assim como representado na Figura

42 (b), e posteriormente foram unidas pela ferramenta *chamfer* para definir a localização dos pontos de interseções das curvas (PIs), como mostrado na Figura 42 (c).

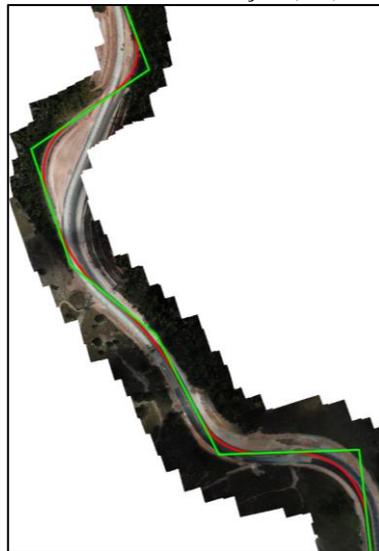
Figura 42 - Traçado do eixo da superfície (a), linhas tangentes (b) e definição do ponto de interseção (c)



Fonte: Autor (2021)

O alinhamento final ficou disposto como apresentado na Figura 43.

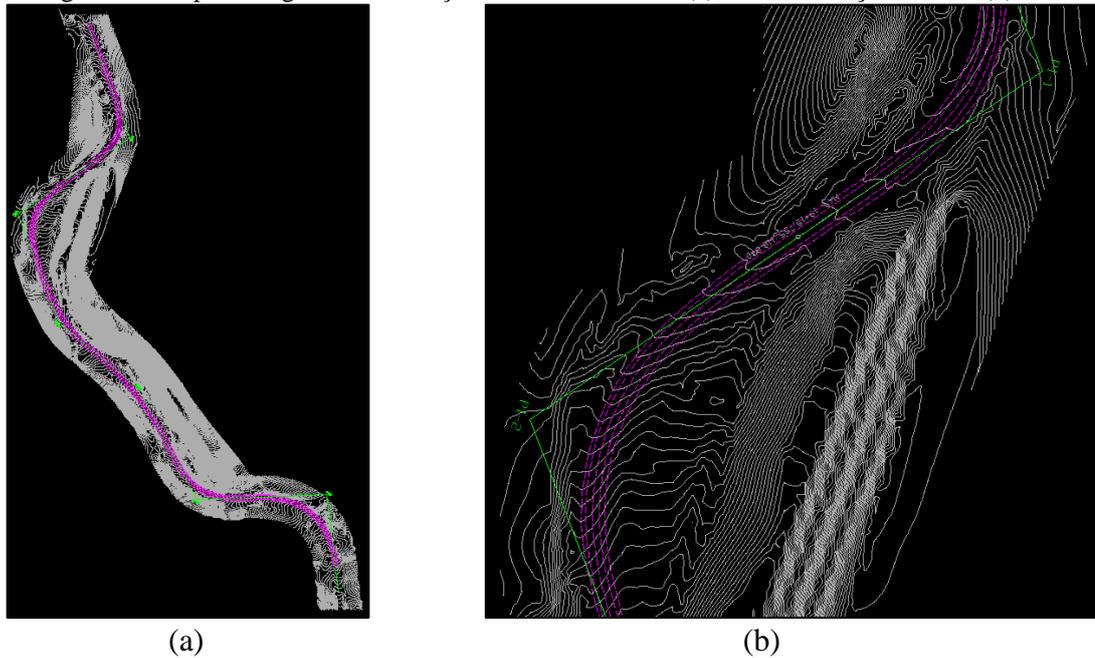
Figura 43 - Pontos de interseção (PIs) definidos



Fonte: Autor (2021)

Definidos os pontos de interesse, toda a malha de pontos fornecida pelo levantamento do consórcio foi exportada para o *software* SAEPRO, bem como as linhas criadas para a definição das interseções e o traçado do trecho. A partir dessas informações, foi construída uma superfície na própria interface do SAEPRO, constituída de informações nas três dimensões. A Figura 44 (a) ilustra o traçado e as curvas de nível da superfície gerada através da interpolação da malha de pontos, e a Figura 44 (b) mostra uma ampliação da imagem com os PIs do alinhamento.

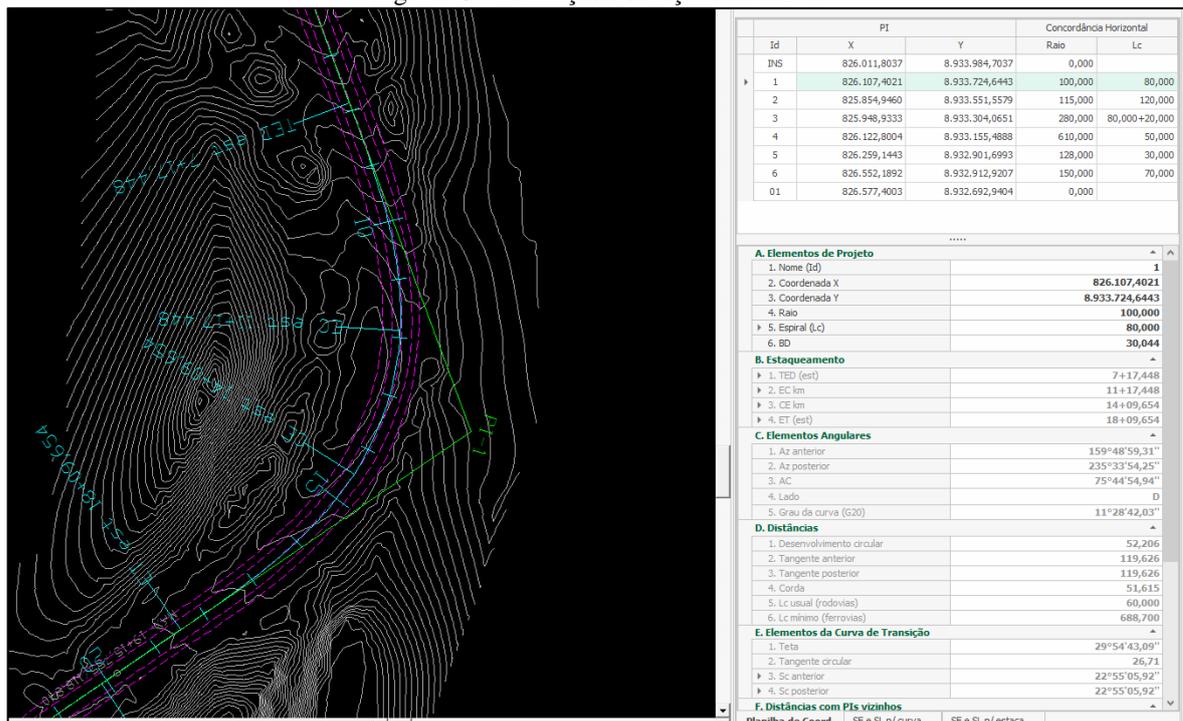
Figura 44 - Superfície gerada com traçado e curvas de nível (a), e determinação dos PIs (b)



Fonte: Autor (2021)

Uma vez determinados os PIs, foram inseridas as informações relativas à rodovia: zona geográfica (UTM 24 S), as normas de referência do DNIT, a classe da rodovia e o tipo de região. Após esse processo, foram determinadas as características das curvas desse trecho, realizado através de tentativa e erro de números de raio e de comprimento de transição, de forma que se aproximasse ao máximo das características do traçado, como ilustrado na Figura 45.

Figura 45 - Definição do traçado da curva

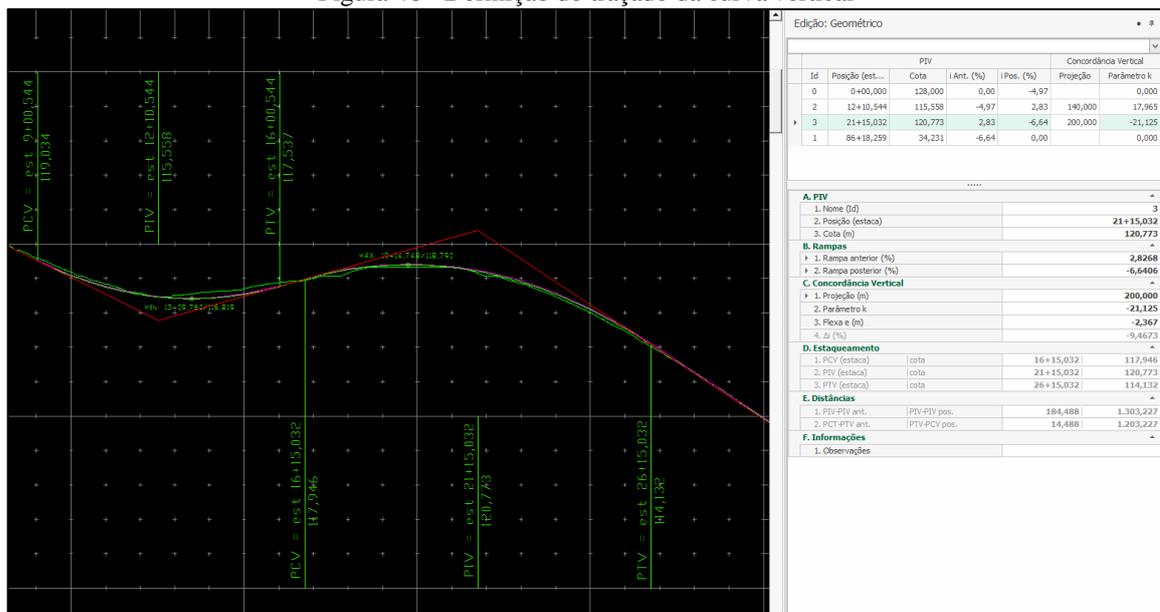


Fonte: Autor (2021)

Nessa metodologia, foi considerado prioritariamente o atendimento dos parâmetros às normas estabelecidas, sempre buscando números que atendessem a essas exigências, de modo a não enviesar os dados. Além disso, foram feitas outras tentativas para a verificação de distintas possibilidades de traçado, para analisar se a discrepância entre os dois valores era substancial.

Para a altimetria foi realizado um procedimento similar. Primeiramente foi gerado o perfil longitudinal a partir da interface entre o alinhamento da rodovia e a superfície gerada pelo próprio SAEPRO a partir dos pontos fornecidos. No perfil, de forma similar ao realizado no AutoCAD Civil 3D, foi utilizada a ferramenta extensão do SAEPRO, possibilitando a extensão das rampas e a consequente demarcação dos pontos de interseção verticais (PIVs), de forma que através da inserção das distâncias ou dos números K fosse possível a adoção do formato que melhor descrevesse o traçado vertical da rodovia, também pelo processo de tentativa e erro. A Figura 46 apresenta os elementos envolvidos para a realização dessa etapa.

Figura 46 - Definição do traçado da curva vertical



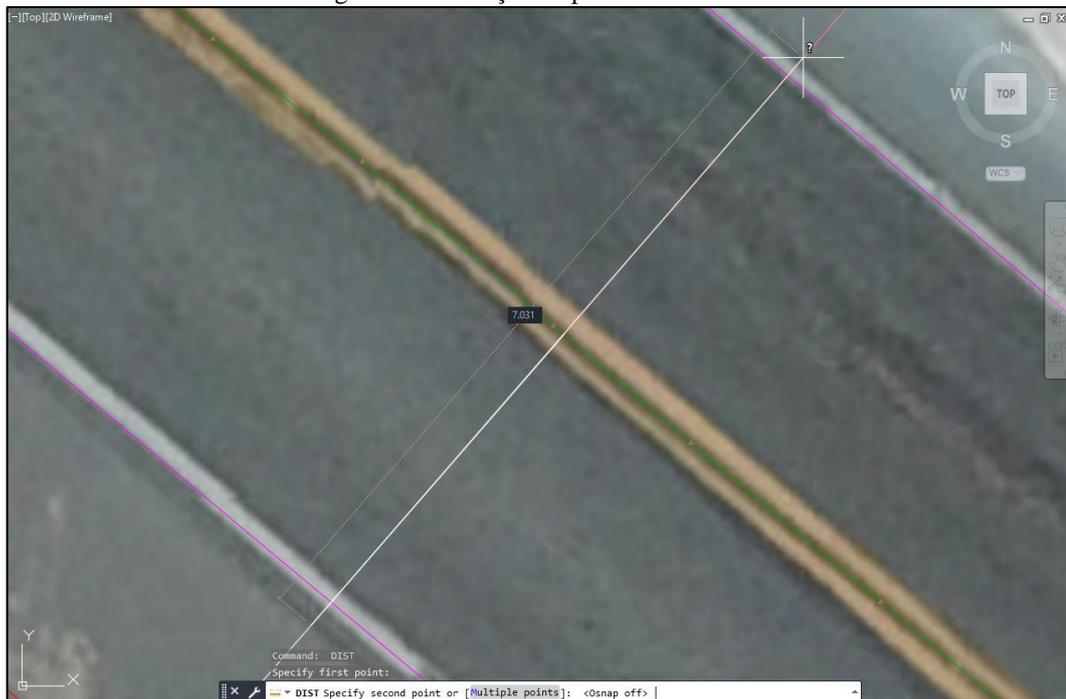
Fonte: Autor (2021)

Concluídos os procedimentos, foram emitidos os relatórios de planimetria (RPL), de altimetria (RAT) e de inconsistências geométricas (RIC). Os três relatórios se encontram nos Apêndices A, B e C deste trabalho, e seus dados serão abordados nos resultados e discussões.

Quanto às dimensões da seção transversal, no caso a largura dos acostamentos e a largura das faixas de rolamento, o processo para a medição foi realizado de maneira simples: no AutoCAD Civil 3D foi inserido o ortomosaico gerado pelos processos anteriores, e foi usado o comando *offset* para a geração de linhas paralelas à linha do eixo do traçado, com distâncias de 3,6 metros

e de 2,5 metros, que são as distâncias mínimas dos dois elementos para a classificação do trecho. A partir dessa comparação com os traçados já existentes, foram medidas as distâncias de forma manual com referência em um estaqueamento de 100 em 100 metros, assim como ilustrado na Figura 47, tomando os devidos cuidados para as medições serem realizadas da forma mais representativa possível, utilizando as distâncias entre as bordas da pista e as larguras dos acostamentos visíveis no ortomosaico, e a partir desses dados foi montada uma tabela que será apresentada nos resultados e discussões.

Figura 47 - Medição da pista de rolamento



Fonte: Autor (2021)

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 IMPRESSÕES SOBRE O PLANEJAMENTO E O LEVANTAMENTO DE CAMPO

Ficou clara a importância de um bom planejamento, bem como um segundo plano para eventualidades que possam ocorrer durante o levantamento, como foi o que aconteceu durante o desenvolvimento deste trabalho: existia um planejamento de um levantamento, e em função de uma obra no trecho alguns lugares se tornaram inacessíveis, o que demandou uma nova tomada de decisão para distribuição dos pontos de apoio. Em função disso, um dos pontos de checagem ficou posicionado em uma região fora do levantamento, como mostra a Figura 48.

Figura 48 - Localização do ponto de checagem



Fonte: Autor (2021)

Obviamente o foco do levantamento era a pista original localizada à esquerda na foto, porém não se tinha ideia da existência de um trecho de desvio, e principalmente tão afastado da curva original. Vale lembrar que o trecho foi visitado duas semanas antes do levantamento, e o tráfego ainda era mantido no traçado antigo, portanto todo cuidado é importante para não se perder informações valiosas por pequenos imprevistos. A decisão correta seria replanear o voo em escritório em detrimento das novas condições, mas em virtude do tempo e da disponibilidade dos equipamentos não foi possível.

No quesito de duração do levantamento de campo, a utilização de pontos de apoio previamente confeccionados foi bastante prática, totalizando um tempo de trabalho total de 1 hora e 30 minutos. Quando analisado com referência no custo benefício, não foi interessante: foram gastos 69,00 reais em cada placa (de um total de seis placas confeccionadas), sendo um material muito caro para ser utilizado com esse intuito. Além disso, em função do tamanho (100 cm x

100 cm) são placas difíceis de serem transportados caso não exista um veículo que comporte materiais grandes. Outro ponto negativo é que por serem deixadas em locais abertos elas podem ser furtadas (o que gera insegurança sobre a continuidade dos alvos durante o levantamento). Elas exigem ainda que depois do levantamento sejam coletadas novamente, o que despendia mais tempo. A partir dessa experiência, foi possível concluir que alvos confeccionados nesse estilo, por mais tenham detalhamento preciso e fossem práticos para alocação, são inferiores quando comparados à praticidade e economia de tintas ou cal, materiais muito mais econômicos e práticos para as necessidades de campo.

Um ponto que é necessário se comentar é a dificuldade de encontrar referências em português para orientação quanto aos parâmetros a serem adotados para o levantamento em campo, principalmente na quantidade de pontos necessários para áreas com formato de corredores (a maioria dos estudos em português são de regiões simétricas). Assim como comentado por Braghirolli *et al.* (2019), o mercado de RPAS está crescendo, então existe uma necessidade de normas e regulamentações que guiem os profissionais da área, e que ao mesmo tempo mantenham um padrão de qualidade para os serviços.

Outro fator que dificultou na busca de pesquisas e de fontes relacionadas ao assunto é a utilização de um nome em inglês (RPAS) que não é o que predomina entre os estudos estrangeiros, onde na verdade o termo que é disseminado é *Unmanned Aerial Vehicles* (UAV), e isso só foi descoberto através de um curso realizado semanas após o levantamento, e a partir desse termo foram achados diversos estudos, normas, dados, todos em inglês. Inclusive após esse conhecimento, foi encontrado um estudo elaborado por Ferrer-González *et al.* (2020), o qual define que para configurações de local de levantamento em formatos de corredores com 2,1 km de comprimento (parecido com a situação do trecho desse trabalho), são recomendados de nove a onze pontos de controle, com dois pares no início e no fim do trecho, e os outros como se estivessem em linhas paralelas acompanhando o traçado da rodovia homogeneamente espalhados, garantindo erros de apenas 3 cm na horizontal, e 5 cm na vertical.

5.2 PRECISÃO DO LEVANTAMENTO

Segundo a Comissão Nacional de Cartografia (CONCAR, 2011, apud. ALMEIDA, 2014), um Produto Cartográfico Digital (PCD) só é aceito como referência para o Sistema Cartográfico Nacional (SCN) e para a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), se atender o que

se espera no Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), onde noventa por cento (90% ou $1,6449 \cdot \text{Erro Médio Quadrático Planimétrico}$) dos erros dos pontos devem apresentar valores iguais ou inferiores às tabelas referências PEC-PCD, erros estes relativos aos dados levantados em campo por métodos de alta precisão, no caso deste estudo o levantamento realizado por receptores GNSS nos métodos RTK e PPP. Dessa forma, o Quadro 8 mostra a referência PEC-PCD para a planimetria.

Quadro 8 - Padrão de exatidão cartográfica da planimetria dos produtos cartográficos digitais

PEC (1)	PEC - PCD	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000		1:25.000	
		PEC (m)	EP (m)								
-	A ⁽²⁾	0,28	0,17	0,56	0,34	1,40	0,85	2,80	1,70	7,00	4,25
A	B ⁽¹⁾	0,50	0,30	1,00	0,60	2,50	1,50	5,00	3,00	12,50	7,50
B	C ⁽¹⁾	0,80	0,50	1,60	1,00	4,00	2,50	8,00	5,00	20,00	12,50
C	D ⁽¹⁾	1,00	0,60	2,00	1,20	5,00	3,00	10,00	6,00	25,00	15,00

Fonte: Adaptado de CONCAR (2011, apud, ALMEIDA, 2014, p. 125)

Da mesma maneira que existem classificações para as informações planimétricas, existem também para as informações altimétricas, de forma que a CONCAR (2011, apud. ALMEIDA, 2014) estabelece que o PEC-PCD deve ser igual a 0,27 vezes a equidistância do produto cartográfico, e o erro médio quadrático de altitude deve ser da casa de um sexto da equidistância do produto cartográfico. Assim, o Quadro 9 mostra as condições PEC-PCD para a altimetria.

Quadro 9 - Padrão de exatidão cartográfica altimétrica dos pontos cotados e do MDT, MDE e MDS para a produção de produtos cartográficos digitais

PEC - PCD (3)	1:1.000		1:2.000		1:5.000		1:10.000		1:25.000	
	PEC (m)	EP (m)								
A	0,27	0,17	0,27	0,17	0,54	0,34	1,35	0,84	2,70	1,67
B	0,50	0,33	0,50	0,33	1,00	0,66	2,50	1,67	5,00	3,33
C	0,60	0,40	0,60	0,40	1,20	0,80	3,00	2,00	6,00	4,00
D	0,75	0,50	0,75	0,50	1,50	1,00	3,75	2,50	7,50	5,00

Fonte: Adaptado de CONCAR (2011, apud, ALMEIDA, 2014, p. 125)

No relatório, o Agisoft Metashape calcula o erro médio quadrático, porém segregando os erros. Para o cálculo do erro médio quadrático (EMQ) ou *Root Mean Square* (RMS), assim como Almeida (2014) aborda, são utilizadas as fórmulas a seguir:

$$EMQ_{XY} = RMS_{XY} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_x)^2 + (\Delta_y)^2}{n}} \quad (3)$$

Sendo,

$EMQ_{XY} = RMS_{XY}$ = erro médio quadrático em x e y, [m];

Δ_x = erro em x [m];

Δ_y = erro em y [m];

n = número de pontos de checagem da amostra [m].

Do mesmo modo, para a altimetria o erro médio quadrático é calculado da seguinte forma:

$$EMQ_z = RMS_z = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_z)^2}{n}} \quad (4)$$

Sendo,

$EMQ_z = RMS_z$ = erro médio quadrático em z, [m];

Δ_z = erro em z [m];

n = número de pontos de checagem da amostra [m].

O Quadro 10 mostra os erros calculados pelo Agisoft Metashape citados anteriormente.

Quadro 10 - Erros calculados pelo processamento

Ponto	Erro em X (cm)	Erro em Y (cm)	Erro em Z (cm)	Erro Total (cm)
PC-1	14,1314	9,2892	24,9763	30,1630
Total	14,1314	9,2892	24,9763	30,1630

Fonte: Autor (2021)

A partir disso, foi calculado o RMS_{XY} , que apresentou um valor de 16,91 cm, e o RMS_z , que apresentou um valor de 24,97 cm. Verificando esses valores nas tabelas citadas anteriormente, é obtido um levantamento planimétrico de nível PEC-PCD “A”, e altimétrico de nível PEC-PCD “B”, caracterizando a escala do levantamento de 1:1000, isso porque o PEC-PCD não possui escalas maiores.

Um aspecto interessante a se observar é de que as normas do DNIT (2006, apud. ALMEIDA, 2014), aceitam levantamentos nas escalas cartográficas de 1:1000 e 1:2000 para levantamentos aerofotogramétricos, então o levantamento atende à característica de trabalhos rodoviários.

5.3 ANÁLISE DA GEOMETRIA DO TRECHO

5.3.1 Largura Do Acostamento e da Pista de Rolamento

Assim como comentado, o procedimento para determinação da largura do acostamento e da pista de rolamento foi realizado de forma manual no AutoCAD Civil 3D, traçando linhas paralelas ao traçado do eixo da rodovia e verificando manualmente em um estaqueamento predeterminado de 100 em 100 metros. Cautelosamente foram medidas as distâncias de bordo a bordo da pista nos pontos aparentes das saliências que separam os acostamentos das pistas. A partir dos dados coletados manualmente, foram determinadas as larguras das faixas de rolamento e dos acostamentos, distanciados a cada 100 metros, apresentados na Tabela 16.

Tabela 16 - Largura da faixa de rolamento e do acostamento

Ponto do Trecho (km+Estaca)	Largura da Pista de Rolamento (m)	Largura do Acostamento (m)	
		Esquerdo	Direito
0+000,00	7,086	2,657	2,500
0+100,00	7,035	2,500	2,693
0+200,00	7,000	2,500	2,500
0+300,00	7,000	2,647	2,500
0+400,00	7,000	2,521	2,500
0+500,00	7,000	2,109	2,637
0+600,00	7,000	2,200	2,580
0+700,00	7,000	2,523	2,565
0+800,00	7,000	2,621	2,649
0+900,00	7,068	2,554	2,582
1+000,00	7,000	2,547	2,515
1+100,00	6,855	2,557	2,549
1+200,00	7,016	2,590	2,568
1+300,00	7,112	2,518	2,535
1+400,00	6,975	2,500	2,500
1+500,00	7,000	2,796	2,500
1+600,00	7,000	2,732	2,500
1+700,00	7,000	2,750	2,500
1+739,36	7,000	2,750	2,500

Fonte: Autor (2021)

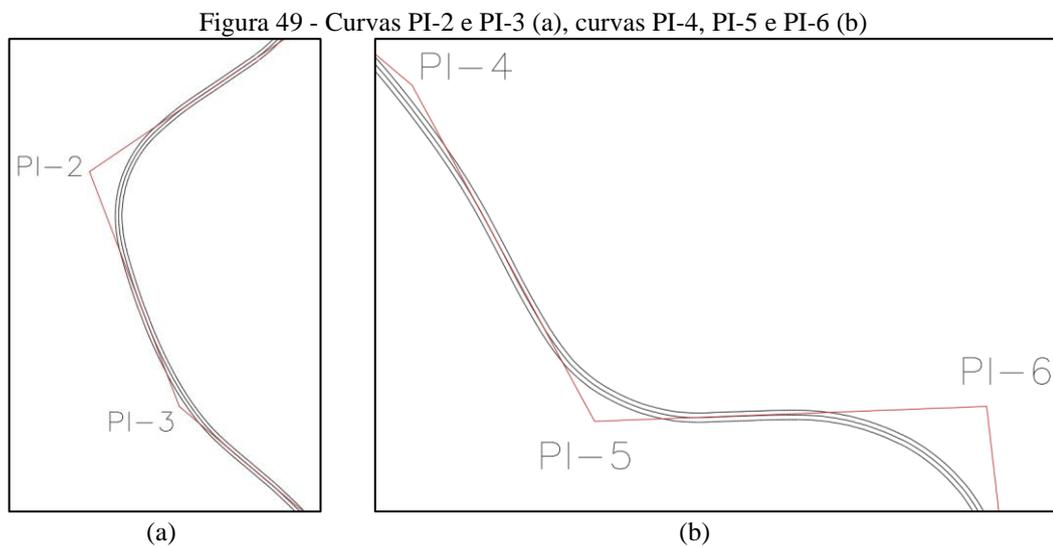
A partir dos valores encontrados, é evidente uma largura da faixa de rolamento totalmente fora de norma, visto que a exigência para trechos de classe I-B em regiões montanhosas é de faixas

de tráfego com no mínimo 3,6 m de largura, portanto a largura de faixa de rolamento mínima é de 7,2 m, e não 7,0 m como o apresentado nos dados. Quanto à largura dos acostamentos, a grande maioria respeitou a dimensão mínima de 2,5 m, com apenas 11,5% do trecho inconforme perante às normas.

5.3.2 Curvas Horizontais

Como já explicado, o processo para determinar as características das curvas foi realizado por alocação dos PIs através das extensões das tangentes, e posterior tentativa e erro de encaixe de valores ao traçado. Portanto, não são valores que representam de fato a geometria que existe em terreno (infelizmente o estudo não conta com os projetos originais da rodovia), mas sim uma aproximação do eixo existente.

Deste processo, foram geradas seis curvas com transição, sendo cinco curvas de transição simétrica e apenas uma de transição assimétrica, ou seja, que possui um valor diferente para os dois comprimentos de transição. Dessas curvas, as mais difíceis para representação no traçado foram as curvas PI-2, PI-3 e PI-5, como apresentado na Figura 49.



Fonte: Autor (2021)

Pela imagem, fica visível que a integração entre as curvas de PI-2 e PI-3 na verdade não é feita por tangentes, mas sim por uma curva de transição, tornando complicada a definição do traçado. A curva de PI-5, por outro lado, utiliza das tangentes para interligar as curvas, mas provavelmente se trata de uma curva composta, visto que o raio varia no desenvolvimento do traçado. Afim de facilitar os estudos, ambos os trechos foram tratados como curvas circulares

com transição, caso o contrário a determinação dos pontos notáveis seria de extrema complexidade. Desse modo, as características das curvas são apresentadas na Tabela 17.

Tabela 17 - Parâmetros das curvas horizontais

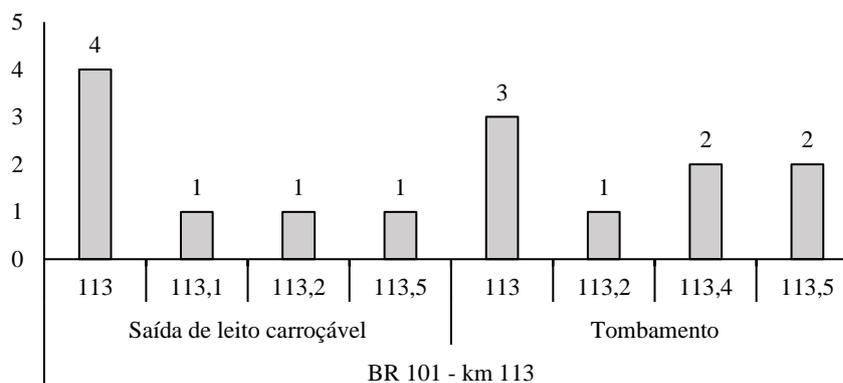
PI	Raio (m)	AC (° ' ")	Lc1 (m)	Lc2 (m)	Dc (m)	T1 (m)	T2 (m)
1	100,000	75°44'54,94"D	80,000	80,000	52,206	119,626	119,626
2	115,000	76°21'34,99"E	120,000	120,000	33,264	153,954	153,954
3	280,000	28°41'24,57"E	80,000	20,000	90,207	109,964	83,479
4	610,000	21°14'19,25"D	50,000	50,000	176,118	139,402	139,402
5	128,000	63°56'48,45"E	30,000	30,000	112,859	95,077	95,077
6	150,000	85°39'17,94"D	70,000	70,000	154,244	175,231	175,231

Fonte: Autor (2021)

A partir dessa tabela e do relatório de inconformidades do SAEPRO, foi observado que a curva de PI-1 possui um valor de raio menor do que o mínimo considerado em norma, que é de 115 m para uma região montanhosa a uma velocidade diretriz de 60 km/h, portanto em relação a essas referências a curva apresenta um problema geométrico e é um potencial gerador de acidentes. Além disso, o relatório de inconformidades também informou que as transições entre as curvas 2-3, 3-4 e 4-5 são todas sucessões de Zona IV, transições entre curvas que devem ser evitadas para não causarem desconforto ou confusão aos motoristas.

Em virtude dessas inconsistências geométricas, é interessante a verificação dos locais que possuem inconsistência, bem como onde ocorreram os acidentes nesse trecho. Por exemplo, no km 113 foram relatados quinze acidentes dos anos de 2017 até 2019, sendo sete deles caracterizados como saída de leito carroçável e oito como tombamento, assim como mostrado no gráfico da Figura 50.

Figura 50 - Número de acidentes por quilometragem



Fonte: Autor (2021)

Analisando os dados preenchidos pela PRF dos locais onde ocorreram os acidentes, todos estavam registrados em curvas, porém a curva mais próxima do km 113 é a curva de PI-1, que está pelo menos a trezentos metros do km 113. Partindo dessa informação, bem como de testes verificando as localizações informadas por GPS as quais constavam nas informações apresentadas na planilha, foi verificado que os locais indicados como 113,4 e 113,5 tratam da curva de PI-2, e os demais da curva de PI-1. Desse modo, dez dos quinze acidentes (66,6%) ocorreram na curva com raio inferior ao valor mínimo definido em norma.

5.3.3 Curvas Verticais

As curvas verticais foram analisadas de maneira similar às curvas horizontais, assim como já comentado, estendendo as linhas das rampas e encontrando-se os PIVs, e através de tentativa e erro de valores de K ou da distância, foi definida a curva mais adequada ao traçado. A Tabela 18 mostra as curvas verticais trabalhadas e seus parâmetros.

Tabela 18 - Parâmetros das curvas verticais

PIV	e (m)	Lv (m)	Δi (%)	K (m)	T1 (m)	T2 (m)	ΔPIV (m)	Cota (m)	Comp. (m)	i (%)
0							250,54	-12,44	180,54	-4,966%
1	1,36	140,00	7,79	17,97	119,63	119,63	184,49	5,22	14,49	2,827%
2	-2,37	200,00	-9,47	-21,13	153,95	153,95	1303,23	-86,54	1203,23	-6,641%

Fonte: Autor (2021)

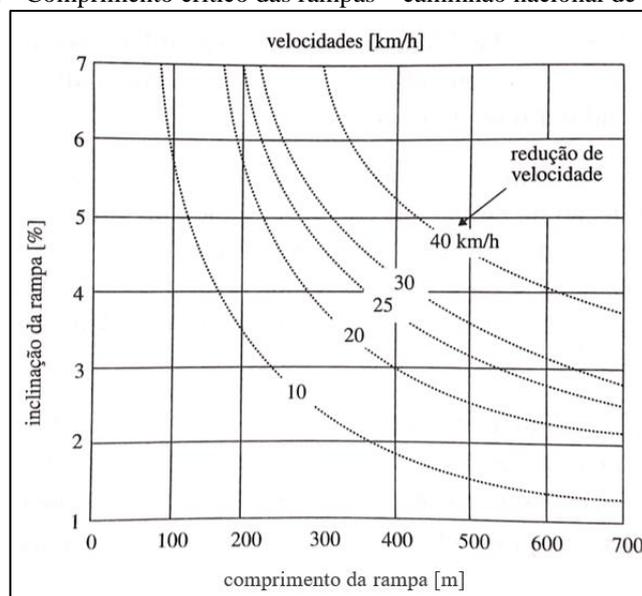
Ambos os valores de K respeitam o que é determinado em norma: para Rodovias de Classe I com regiões montanhosas, o valor mínimo desejável de K para curvas verticais convexas é de 18, e o valor mínimo desejável para as curvas côncavas é 17. Portanto, ambos os valores são superiores aos desejáveis mínimos, atendendo aos requisitos da norma.

Entretanto, nos trechos em rampa o cenário muda: após a curva de PIV-2 existe uma rampa de -6,64%, sendo que a norma considera o máximo para regiões montanhosas até 6%, e um agravante é a distância pela qual a rampa se estende: 1.203,23 metros.

Pimenta *et. al* (2017) aborda o comprimento crítico de uma rampa, conceito o qual é usado para definir qual será o comprimento de uma determinada rampa ascendente, de maneira a permitir que o veículo padrão adotado opere sem reduzir excessivamente a sua velocidade. Esse comprimento leva em consideração a relação peso e potência do caminhão, a perda da velocidade do caminhão durante o trajeto nessa rampa, a velocidade de entrada do caminhão na

rampa e a menor velocidade que o caminhão pode chegar no fim da rampa sem atrasar o fluxo de veículos no trecho. Dessa maneira, existe um gráfico que define o comprimento crítico para as rampas, apresentado na Figura 51.

Figura 51 - Comprimento crítico das rampas – caminhão nacional de 154 kg/kW



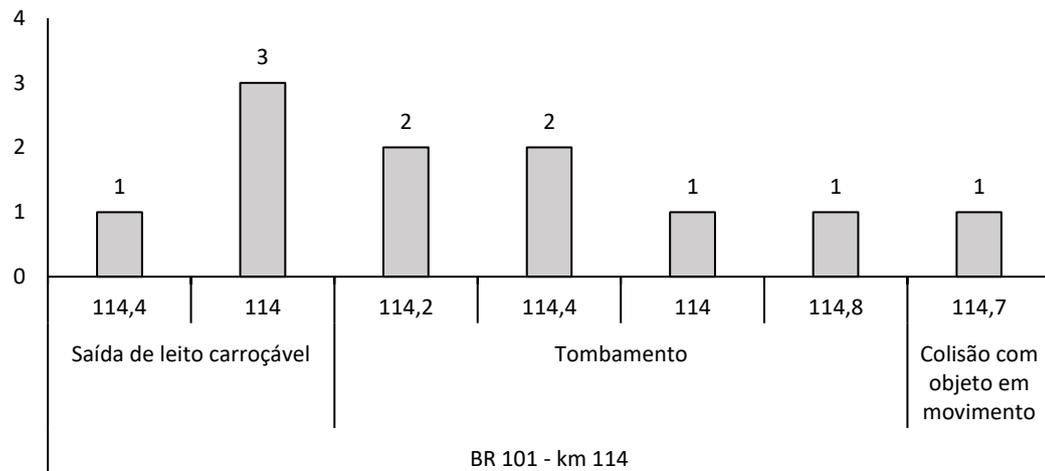
Fonte: Pimenta *et al.* (2017, p. 155)

De acordo com esse gráfico, para uma rampa com inclinação maior que 6% e uma distância maior que 700 metros, a tendência é que a perda de velocidade seja maior ou igual a 40 km/h, considerando uma velocidade de entrada na curva de 80 km/h. O que significa uma perda de 50% da velocidade em função de condições operacionais, e implica em um tráfego com uma velocidade muito abaixo da velocidade diretriz.

Ainda nesse ponto, Pimenta *et al.* (2017) faz algumas considerações gerais sobre os traçados das curvas e das rampas, e em um dos pontos é dito que as rampas extensas criam problemas para o escoamento do tráfego quando existem caminhões pesados, e esse fato acaba por incentivar os condutores a descerem em velocidades excessivas, bem como a tentarem ultrapassagens perigosas nas subidas em função das condições criadas pelos caminhões muito lentos somados à ausência de terceiras faixas. Então o traçado não só interfere no rendimento dos caminhões e nas diferenças de velocidades (que são uma das principais causas de acidentes no trânsito), mas também em como os motoristas se comportam em determinadas situações.

Da mesma forma que foram analisados os dados de acidentes em função das posições dos trechos nas curvas horizontais, foi criado o gráfico apresentando na Figura 52 para se ter um panorama de como os acidentes acontecem nesse trecho.

Figura 52 - Número e tipos de acidentes por quilometragem



BR 101 - km 114
Fonte: Autor (2021)

Diferente do cenário do km 113, no trecho do km 114 não existe um local específico responsável por pelo menos metade dos acidentes ocorridos, pelo contrário, os acidentes se distribuem por todo o trecho, de maneira que talvez seja a consequência de um problema geométrico de extensão maior que um quilômetro o qual potencializa a ocorrência de acidentes (fator contribuinte) em diversos pontos.

6 CONCLUSÃO

A metodologia adotada para encontrar um trecho crítico com problemas rodoviários geométricos, baseada na soma dos valores de UPS exclusivos dos tipos de acidentes de trânsito definidos como influenciados por possíveis problemas geométricos nas rodovias, cumpriu com o intuito e selecionou o segmento da BR-101, entre o km 113 e 115, que apresentou os seguintes problemas geométricos:

- Trechos com largura de pista de rolamento e de acostamento fora do padrão estabelecido em norma;
- Uma curva horizontal com o valor do raio menor que o raio mínimo determinado pelo manual de projetos geométricos do DNER (1999), que considera uma velocidade diretriz de 60 km/h;
- Um trecho em rampa com mais de um quilômetro com inclinação superior ao valor máximo estabelecida em norma;
- E uma série de sucessões entre curvas enquadradas na Zona IV, as quais não são recomendadas por gerarem desconforto e confusão aos motoristas.

A partir da seleção de um trecho crítico e da constatação de problemas geométricos, foi confirmada a hipótese da qual esse estudo partiu: elementos geométricos de rodovias fora dos padrões estabelecidos em norma, no caso os alinhamentos verticais, horizontais e as seções transversais (itens analisados), influenciam diretamente no número e na severidade dos acidentes.

Esses dados vão em sentido contrário ao pensamento disseminado de que sempre o motorista é o culpado. Por mais que não necessariamente signifique que todos os acidentes considerados foram causados única e exclusivamente pelos problemas geométricos, só o fato de existirem já os tornam fatores contribuintes, pois parâmetros fora de norma não possuem padrões operacionais esperados, então são erros que podem custar vidas.

Nesse aspecto, a política do *Vision Zero* se faz de grande valor. O *Vision Zero* é uma abordagem suíça que parte da mentalidade de que perder vidas não é um preço aceitável a se pagar pela mobilidade, então esse programa possui como princípio que a culpa de um acidente não é exclusiva dos motoristas, mas sim de todos os envolvidos: são investigados os projetos das rodovias, a tecnologia e segurança dos veículos envolvidos, a fiscalização da rodovia, a

manutenção realizada, enfim, todos as partes possuem suas responsabilidades. Só a partir dessa consciência para que rodovias como a do estudo não levem dezenas de anos para sofrerem alguma alteração significativa em sua geometria, como é o que está ocorrendo agora no processo de duplicação da BR-101 no estado.

Além disso, ficou clara a utilidade e praticidade do *software* SAEPRO nesse estudo, visto que não foi necessário um curso para permitir o uso deste programa, apenas alguns vídeos tutoriais permitiram em um período menor que um mês produzir os resultados apresentados nesse trabalho, o que evidencia uma ferramenta intuitiva e muito bem elaborada.

Quanto ao levantamento por RPAS, apesar de ter sido atingida uma precisão boa (escala 1:1000 categoria “B” PEC-PCD) para o desenvolvimento do estudo, o número de pontos de apoio utilizados nesse trabalho não foi nem próximo à quantidade ideal, sendo recomendada a utilização de no mínimo 9 a 11 pontos de controle, espalhados conforme as orientações de Ferrer-González *et al.* (2020), portanto o levantamento deveria ser refeito. No entanto, é importante ressaltar que todas as análises geométricas, com exceção das larguras das pistas e dos acostamentos, foram realizadas com os dados disponibilizados pelo consórcio, de maneira que os resultados obtidos são sólidos e baseados em dados consistentes.

Por meio dos procedimentos adotados para a realização do levantamento de campo, ficou claro que alvos previamente confeccionados não são muito práticos dependendo de suas dimensões, sendo mais interessante o uso de cal ou de tintas em campo, soluções mais portáteis, dinâmicas e muito mais baratas.

Para trabalhos futuros são sugeridos os seguintes estudos:

- Comparação do uso de RPAS e os métodos convencionais, não só no quesito precisão, mas nos gastos relativos ao tempo, processamento e custos totais, incluindo softwares, as máquinas necessárias, dentre outros materiais, que permita definir o momento em que o RPAS se torna vantajoso tanto operacionalmente quanto economicamente;
- Aplicação do mesmo método de identificação de trecho combinado com algum método de análise, para verificar se novamente é encontrado outro trecho com problemas geométricos;
- Métodos que incluam mais detalhes na análise, usando por exemplo a tecnologia LIDAR, ou a própria topografia convencional, que contemplem análises também da sinalização do trecho, da superelevação, da superlargura e também das curvas de transição.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Igor de Carvalho. **Estudo sobre o uso de veículo aéreo não tripulado (VANT) para mapeamento aéreo com fins de elaboração de projetos viários**. 2014. 149 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Unicap, Recife, 2014. Disponível em: <https://drive.google.com/file/d/0BwTDy_BPv8OINDdld3hqN09NOTQ/view?usp=sharing>. Acesso em: 13 maio 2020.
- AMERICAN SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING -ASPRS. **ASPRS Accuracy Standards for Digital Geospatial Data (DRAFT)**. PE&RS, 2013. p. 1073-1085. Disponível em: <http://www.asprs.org/a/society/divisions/pad/Accuracy/Draft_ASPRS_Accuracy_Standards_for_Digital_Geospatial_Data_PE&RS.pdf>. Acesso em 02 jun. 2021.
- ANDRIOLA, César Luís. **Análise da frequência e severidade de acidentes viários em curvas de rodovias de pista simples: o caso da BR 116**. 2018. 112 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, UFRGS, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/184684>>. Acesso em: 02 jun. 2020.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 10697: Pesquisa de Acidentes de Trânsito - Terminologia**. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- BERNUCCI, Liedi Bariani *et al.* **Pavimentação Asfáltica: formação básica para engenheiros**. 3. ed. Rio de Janeiro: PETROBRAS: ABEDA, 2010. Disponível em: <<http://www.abeda.org.br/livro-pavimentacao/>>. Acesso em: 20 nov. 2020.
- BRAGA NETO, José Teixeira. **Análise dos locais concentradores de acidentes nas rodovias federais brasileiras: identificação e ranqueamento por unidade padrão de severidade (UPS)**. 2017. 108 f. TCC (Graduação) - Curso de Curso de Especialização em Operações Rodoviárias, Centro Tecnológico Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Brasília, 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/179420>>. Acesso em: 08 out. 2020.
- BRAGHIROLI, Guilherme *et al.* **A influência da quantidade de pontos de controle no processamento de imagens aéreas obtidas por RPAS**. In: ANAIS DO XIX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2019, Santos. Anais eletrônicos... São José dos Campos, INPE, 2019. Disponível em: <<https://proceedings.science/sbsr-2019/papers/a-influencia-da-quantidade-de-pontos-de-controle-no-processamento-de-imagens-aereas-obtidas-por-rpas>>. Acesso em: 26 abr. 2021.
- BRANDÃO, Lúcia Maria. **Discussão sobre métodos para identificação de locais críticos em acidentes de trânsito no Brasil**. 2007. 16 p. Artigo - Curso de Engenharia Civil, Unicamp, Campinas, 2007. Disponível em: <https://www.sinaldetransito.com.br/artigos/identificacao_de_locais_criticos_de_acidentes.pdf>. Acesso em: 16 jun. 2020.

BRASIL. Ministério da Defesa – Comando da Aeronáutica. Departamento de Controle do Espaço Aéreo - DECEA. Portaria nº 224/DGCEA, de 20 de novembro de 2018. Aprova a edição da ICA 100-40, Instrução sobre “**Aeronaves não tripuladas e o acesso ao espaço aéreo brasileiro**”. Boletim do Comando da Aeronáutica, nº 002, Brasília, DF, 3 jan. 2019. Disponível em: <<https://publicacoes.decea.mil.br/?i=publicacao&id=4944>>. Acesso em: 02 jan. 2020.

CAMPOS, Cintia Isabel de *et al.* **O panorama do Brasil anterior à década de ação pela segurança viária 2011-2020**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE TRANSPORTE E TRÂNSITO, 19., 2013, Brasília. Comunicações Técnicas - Trânsito. Brasília: ANTP, 2013. Disponível em: <<http://files-server.antp.org.br/5dotSystem/download/dcmDocument/2013/09/16/121C645F-2179-4C53-B55F-E4E5A672D3B9.pdf>>. Acesso em: 20 nov. 2020.

CHC. **Getting started guide X91GNSS**. 2010. Disponível em: <[https://x9gps.com/Tools/X91_plus/UserManual/X91\(SurvCE\)UserGuideen20120607.pdf](https://x9gps.com/Tools/X91_plus/UserManual/X91(SurvCE)UserGuideen20120607.pdf)>. Acesso em: 07 abr. 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTES - CNT. **Acidentes rodoviários e infraestrutura**. Brasília: CNT, 2018. 132 p. Disponível em: <<https://cnt.org.br/acidentes-rodoviaros-infraestrutura>>. Acesso em: 24 dez. 2019.

_____. Pesquisa CNT de Rodovias 2019. Brasília: CNT, 2019. 236 p. Disponível em: <<https://pesquisarodovias.cnt.org.br/relatorio-gerencial>>. Acesso em: 24 dez. 2019.

COSTA, Glauber Carvalho; SILVA, Daniel Carneiro da; SILVA, Maurício dos Santos. **Discussão sobre o emprego da pré-sinalização de marcos planialtimétricos em mapeamento aerofotogramétrico**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR)., 2011, Curitiba. Anais... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 2331-2338. DVD, Internet. ISBN 978-85-17-00056-0 (Internet), 978-85-17-00057-7 (DVD). IBI: <3ERPFQRTW/3A2QDE8>. Disponível em: <<http://urlib.net/rep/3ERPFQRTW/3A2QDE8>>. Acesso em: 13 maio 2020.

DEPARTAMENTO ESTADUAL DE TRÂNSITO DO RIO GRANDE DO SUL – DETRANRS. **Rio Grande do Sul rumo à meta da Década de Ação pela Segurança no Trânsito**. 2015. Disponível em: <www.detran.rs.gov.br/rio-grande-do-sul-rumo-a-meta-da-decada-de-acao-pela-seguranca-no-transito>. Acesso em: 14 jan. 2020.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS E RODAGEM - DNER. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. Rio de Janeiro: IPR, 1999. 195 p. Disponível em: <https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/planejamento-e-pesquisa/ipr/coletanea-de-manuais/vigentes/706_manual_de_projeto_geometrico.pdf>. Acesso em: 14 dez. 2019.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES - DNIT. **Projeto executivo de engenharia para estabilização de talude**. Pinhais: DNIT,

2016. Disponível em: <http://www1.dnit.gov.br/anexo/Projetos/Projetos_edital0311_18-10_1.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2020.

_____. **Projeto executivo de engenharia das obras remanescentes de duplicação e restauração com melhoramentos da pista existente na rodovia BR-101/AL**. DNIT, 2018.

_____. **Em Alagoas, ministro da Infraestrutura entrega novo trecho duplicado da BR-101**. DNIT, 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/dnit/pt-br/assuntos/noticias/em-alagoas-ministro-da-infraestrutura-entrega-novo-trecho-duplicado-da-br-101>>. Acesso em: 03 abr. 2021.

DJI. **MAVIC PRO**. Disponível em: <<https://www.dji.com/br/mavic>>. Acesso em: 01 jun. 2021.

FERRER-GONZÁLEZ, Ezequiel *et al.* **UAV photogrammetry accuracy assessment for corridor mapping based on the number and distribution of ground control points**. *Remote Sensing*, [S.L.], v. 12, n. 15, p. 2447, 30 jul. 2020. MDPI AG. <http://dx.doi.org/10.3390/rs12152447>. Disponível em: <<https://www.mdpi.com/2072-4292/12/15/2447>>. Acesso em: 04 maio 2021.

GARCÍA, Daniel Sérgio Presta. **Apostila de Rodovias**. Porto Alegre: UFRGS, 2016. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/saepro/projeto-ponto-de-partida/apostilas/>>. Acesso em: 15 jan. 2021.

GOLD, Philip Anthony. **Segurança de trânsito: aplicações de engenharia para reduzir acidentes**. EUA: Banco Interamericano de Desenvolvimento, 1998.

GÖRGEN FILHO, Lorival. **Análise crítica dos traçados geométricos das rodovias Presidente Dutra e Airton Senna/Carvalho Pinto, trecho entre Taubaté/SP e São Paulo-SP**. 2018. 54 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil-aeronáutica, Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos, 2018. Disponível em: <http://www.bdata.bibl.ita.br/TGsDigitais/lista_resumo.php?num_tg=75223>. Acesso em: 08 dez. 2019.

HARRY, Owen George. **The Hon. Mrs Ward (1827-1869) Artist, Naturalist, Astronomer and Ireland's First Lady of the Microscope**. Irlanda, *The Irish Naturalists' Journal*, 1984. Vol.21, no. 5, pg. 193-200. Disponível em: <<https://www.jstor.org/stable/25538785?read-now=1&seq=1>>. Acesso em: 12 out. 2019.

HORUS. **Como escolher o melhor drone?** 2018. Disponível em: <<https://horsaeronaves.com/como-escolher-o-melhor-drone/>>. Acesso em: 01 jan. 2020.

INSTITUTO ALBERTO LUIZ COIMBRA DE PÓS-GRADUAÇÃO E PESQUISA DE ENGENHARIA - COPPE. **Síntese do desenvolvimento técnico-científico da metodologia para estimativa de volume médio diário anual – VMDA em toda a malha rodoviária**

federal pavimentada. Rio de Janeiro: COPPE, 2019. (Nota Técnica nº 003/2019/DE).

Disponível em:

<http://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/Modelagem/NOTA_TECNICA_DO_VMDA_2018.pdf

>. Acesso em: 20 nov. 2020.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Manual do Usuário Posicionamento Por Ponto Preciso**. [S.l.]: IBGE, 2009. Disponível em:

<http://www.ppp.ibge.gov.br/manual_ppp.pdf>. Acesso em: 02 mar. 2021

_____. **Serviço online para pós processamento de dados GNSS-IBGE-PPP**. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/images/novoportal/dgc/figura_IBGEPPP.gif>. Acesso em: 02 mar. 2021

INSTITUTO NACIONAL DE COLONIZAÇÃO E REFORMA AGRÁRIA - INCRA.

Manual Técnico de Posicionamento: georreferenciamento de imóveis rurais. Brasília: Incra, 2013. Disponível em:

<https://sigef.incra.gov.br/static/documentos/manual_tecnico_posicionamento_1ed.pdf>.

Acesso em: 25 maio 2021.

INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING - ISPRS. **Statutes**. 2019. Disponível em: <<https://www.isprs.org/documents/statutes19.aspx>>.

Acesso em: 01 jun. 2021.

KABBACH JÚNIOR, Felipe Issa. **PTR 2378 - Projeto de infra-estrutura de vias de transportes terrestres: aula 9 - elementos da seção transversal**. São Paulo: USP, 2007. 76 slides, color. Disponível em: <http://files.labtopope.webnode.com/200000225-8570487619/Aula9_Elementos_da_Se%C3%A7%C3%A3o_Transversal.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2020.

KLEIN, Ivandro; GUZATTO, Matheus Pereira. **Métodos de levantamento por satélites: série: topografia e agrimensura para cursos técnicos**. Florianópolis: IFSC, 2018. 61 p. Disponível em: <<http://sites.florianopolis.ifsc.edu.br/agrimensura/livro-digital-metodos-de-levantamento-por-satelites/>>. Acesso em: 26 mar. 2021.

LEAL, Bruno Alexandre Brandimarte. **Análise da influência e características das vias no número e na severidade dos acidentes: estudo de caso na Autoestrada Grajaú-Jacarepaguá**. 2017. 176 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Transportes e Área de Concentração em Infraestrutura de Transportes, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2017. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18143/tde-03072017-095129/pt-br.php>>. Acesso em: 08 dez. 2019.

LEE, Shun Han. **Introdução ao projeto geométrico de rodovias**. 4. ed. Florianópolis: UFSC, 2013. 442 p.

_____. **Projeto geométrico de estradas: apostila da disciplina ECV 5115**. Florianópolis, 2000. Programa Especial de Treinamento Engenharia Civil – UFSC. Disponível em: <<https://petecv.ufsc.br/arquivos/apoio-didatico/ECV5115%20-%20Apostila%20de%20Estradas.pdf>>. Acesso em: 10 jan. 2020.

LIMA, Gerson Oliveira. **Estudo comparativo entre os métodos de levantamento planialtimétrico (topografia convencional e aerofotogramétrico) para fins de elaboração do plano diretor da comissão regional de obras em Belém**. 2018. 72 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Cartográfica e de Agrimensura, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2018. Disponível em: <https://graduacaoeca.ufra.edu.br/images/Novos_documentos/TCC_GERSON_LIMA.pdf>. Acesso em: 20 jan. 2020.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA - MINFRA. **Infraestrutura: dados sobre a infraestrutura de todos os modos de transportes**. 2018. Disponível em: <<https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/centrais-de-conteudo/rodovias-fichas-pdf>>. Acesso em: 02 abr. 2021.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES – MT. **Procedimentos para o tratamento de locais críticos de acidentes de trânsito: programa PARE**. Brasília: TDA, 2002. Disponível em: <<http://vias-seguras.com/content/download/345/1705/file/CEFTRU%20manual%20de%20tratamento%20de%20locais%20criticos.pdf>>. Acesso em: 19 nov. 2020.

MONICO, João Francisco Galera. **Posicionamento pelo GNSS: descrição, fundamentos e aplicações**. 2. ed. São Paulo: Unesp, 2008.

OLIVEIRA, Samara Carneiro de. **Verificação da eficiência da geometria de um traçado rodoviário localizado no estado do Tocantins com o auxílio da ferramenta computacional: SAEPRO**. 2020. 51 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Ceulp, Palmas, 2020. Disponível em: <<https://ulbrato.br/bibliotecadigital/publico/home/documento/1594>>. Acesso em: 07 abr. 2021.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE - OMS. **Global Status Report on Road Safety: Time for Action**. Geneva: World Health Organization, 2009. Disponível em: <<https://www.afro.WHO.int/publications/global-status-report-road-safety-time-action>>. Acesso em: 02 dez. 2019.

_____. **World Health Statistics 2016: Monitoring Health for the SDGs**. Geneva: World Health Organization, 2016. Disponível em: <https://www.WHO.int/gho/publications/world_health_statistics/2016/en/>. Acesso em: 02 dez. 2019.

_____. **Global Status Report on Road Safety 2018**. Geneva: World Health Organization, 2018. Disponível em:

<https://www.WHO.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2018/en/>. Acesso em: 02 dez. 2019.

PIMENTA, Carlos Reynaldo Toledo *et al.* **Projeto geométrico de rodovias**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.

PLANO NACIONAL DE CONTAGEM DE TRÁFEGO – PNCT. **Estimativa do Volume Médio Diário Anual – VMDA**. 2019. Disponível em: <<http://servicos.dnit.gov.br/dadospnct/Modelagem>>. Acesso em: 08 out. 2020.

POLÍCIA RODOVIÁRIA FEDERAL - PRF. **Dicionário de dados - acidentes**. Brasília: PRF, 2020. Disponível em: <<https://www.gov.br/prf/pt-br/aceso-a-informacao/dados-abertos/dicionario-acidentes>>. Acesso em: 12 dez. 2020.

_____. **Dicionário de Variáveis – Acidentes: dados desagregados por ocorrência registros a partir de janeiro de 2017**. Brasília: PRF, 2017. Disponível em: <<https://arquivos.prf.gov.br/arquivos/index.php/s/9Jlz6yPXT7119Gf#pdfviewer>>. Acesso em: 10 out. 2020.

PONTES FILHO, Glauco. **Estradas de rodagem projeto geométrico**. São Carlos: Glauco Pontes Filho, 1998. 432 p.

RICKARDS, George Kettilby. **The statutes of the United Kingdom of Great Britain and Ireland: with notes and references, tables showing the effect of the year's legislation, and a copious index. londres: printed by george edward eyre and william spottiswoode, printers to the queen's most excellent majesty**, 1865. Disponível em: <https://books.google.com.br/books?id=X6FUAAAACAAJ&printsec=frontcover&source=gb_s_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>. Acesso em: 19 dez. 2019.

ROSENBACH, Felipe. **Análise da geometria e da sinalização viária de um trecho da rodovia VRS-811 no município de Arroio do Meio/RS**. 2018. 97 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Vale do Taquari - Univates, Lajeado, 2018. Disponível em: <<https://www.univates.br/bdu/handle/10737/2396>>. Acesso em: 10 dez. 2020.

SANTOS FILHO, Cícero dos. **Regiões metropolitanas de Alagoas: entre os motivos da institucionalização e a dinâmica da integração**. 2018. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Curso de Geografia, Instituto de Geografia, Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/2997>>. Acesso em: 08 dez. 2019.

SILVA JÚNIOR, Jolival Antônio da. **Metodologia para a utilização de dados topográficos em projetos geométricos automatizados de via**. 2003. 144 f. Dissertação (Doutorado) - Curso de Ciências em Engenharia de Transportes, Instituto Militar de Engenharia, Rio de Janeiro, 2003. Disponível em: <<https://bdex.eb.mil.br/jspui/handle/1/886?mode=full>>. Acesso em: 01 fev. 2020.

SILVA NETO, Manoel. **Pontos de controle: quando utilizar no mapeamento aéreo com drone?** 2015. Disponível em: <<https://blog.droneng.com.br/pontos-de-controle-quando-utilizar/>>. Acesso em: 23 abr. 2021.

SISTEMA AVANÇADO PARA ESTUDO E PROJETOS VIÁRIOS – SAEPRO. **Sobre o SAEPRO**. UFRGS. Porto Alegre. Disponível em: <<https://www.ufrgs.br/saepto/sobre-o-saepto/>>. Acesso em: 02 fev. 2020.

_____. **Análise de Consistência Geométrica**. UFRGS. Porto Alegre, 2018. Disponível em: <www.ufrgs.br/saepto/recursos/consistencia-geometrica/>. Acesso em: 15 jan. 2020.

SKYVIV. **Aerial Image Aquisition**. Bangkok, 2016. Disponível em: <<https://www.skyviv.com/aerial>>. Acesso em: 05 jan. 2020.

**APÊNDICE A – RELATÓRIO PLANIMÉTRICO (RPL) DO TRECHO DE
ESTUDO**

PLANILHA DE COORDENADAS

Rodovia: BR-101

Trecho: km 113 ao 115

Segmento: km: 0+000,00 ao km: 1+738,26

PI	ESTAQUEAMENTO (Est. ou km)				PARÂMETROS DA CURVA							ALINHAMENTO			COORDENADAS	
	PC ou TE	EC	CE	PT ou ET	AC (°")	R (m)	Lc1 (m)	Lc2 (m)	Dc (m)	T1 (m)	T2 (m)	Az (°")	IntTan (m)	ΔPI (m)	X (m)	Y (m)
INS				0+00,000											826011,8037	8933984,704
1	7+17,448	11+17,448	14+09,654	18+09,654	75°44'54,94" D	100	80	80	52,206	119,626	119,626	159°48'59,31"	157,448	277,074	826107,4021	8933724,644
2	20+02,168	26+02,168	27+15,432	33+15,432	76°21'34,99" E	115	120	120	33,264	153,954	153,954	235°33'54,25"	32,514	306,093	825854,946	8933551,558
3	33+16,253	37+16,253	42+06,459	43+06,459	28°41'24,57" E	280	80	20	90,207	109,964	83,479	159°12'19,26"	0,821	264,738	825948,9333	8933304,065
4	43+12,281	46+02,281	54+18,398	57+08,398	21°14'19,25" D	610	50	50	176,118	139,402	139,402	130°30'54,69"	5,821	228,702	826122,8004	8933155,489
5	60+02,015	61+12,015	67+04,873	68+14,873	63°56'48,45" E	128	30	30	112,859	95,077	95,077	151°45'13,94"	53,616	288,095	826259,1443	8932901,699
6	69+17,825	73+07,825	81+02,069	84+12,069	85°39'17,94" D	150	70	70	154,244	175,231	175,231	87°48'25,49"	22,952	293,26	826552,1892	8932912,921
01	86+18,259											173°27'43,44"	46,189	221,42	826577,4003	8932692,94

APÊNDICE B – RELATÓRIO ALTIMÉTRICO (RAT) DO TRECHO DE ESTUDO

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

Rodovia: Grupo de Eixos 1
Trecho: Eixo1
Segmento: km: 0+000,00 ao km: 1+738,26

CARACTERÍSTICAS GERAIS

DE PROJETO		PLANALTIMÉTRICAS				SEÇÕES TRANSVERSAIS			
NORMA	DNIT	RAIO MIN. COM TRANS.	115	K MIN/DES CÔNCAVA	15 / 17	LARG. PISTA DE ROL.		PLATAFORMA ATERRO	
CLASSE DA RODOVIA	L_B	RAIO MIN. SIMPLES	700	K MIN/DES CONVEXA	14 / 18	LARG. ACOST. INT.		PLATAFORMA CORTE	
REGIÃO	Montanhosa	RAMPA MÁXIMA	6	DIST. VIS. PARADA		LARG. ACOST. EXT.		TALUDE ATERRO	
VELOCIDADE DIRETRIZ	60	RAMPA MÍNIMA	0,3	DIST. VIS. ULTRAP.		ABAUAMENTO		TALUDE CORTE 1º CAT.	
		EXTENSÃO TOTAL	1738,259	FAIXA DOM. (LE/LD+OFF)	20 / 20 + 5	SUPERELEVÇÃO MÁX.		TALUDE CORTE 3º CAT.	

PLANIMETRIA

DISTRIBUIÇÃO DE CURVAS

T	RAIOS (m)		FREQ.	Dc (m)	%	Lc1+Lc2 (m)	%
R	R mínimo =	100	1	52,206	3	160	9,2
A	100 < R ≤	100					
N	100 < R ≤	200	3	300,367	17,28	440	25,31
S	200 < R ≤	300	1	90,207	5,19	100	5,75
I	300 < R ≤	500					
Ç	R >	500	1	176,118	10,13	100	5,75
.	TOTAL EM TRANSIÇÃO		6	618,897	35,6	800	46,02
S	RAIOS (m)		FREQ.	Dc (m)	%		
I	R mínimo =	1000000					
M	1000000 < R ≤	500					
P	500 < R ≤	700					
L	700 < R ≤	1000					
E	1000 < R ≤	1500					
S	R >	1500					
	TOTAL SIMPLES						
TOTAL EM CURVA			6	618,897	35,6	2037,794	117,23

EXTENSÃO DAS INTERTANGENTES

MÍNIMA		MÁXIMA		TOTAL	
EXTENSÃO (m)	%	EXTENSÃO (m)	%	EXTENSÃO (m)	%
0,821	0,05	157,448	9,06	319,361	18,37

PARÂMETROS PLANIMÉTRICOS

TORTUOSIDADE		DISTÂNCIA EM DIRETRIZ	
TOTAL (°/m)	MÉDIA (°/m.km)	EXTENSÃO (m)	ACRÉSCIMO (%)
1,759	1,012	1410,16	23,267

CARACTERÍSTICAS OPERACIONAIS

ANO DE ABERTURA	VDM ABERTURA	PARÂMETRO					
ANO FINAL DA VIDA ÚTIL	VDM FINAL						

ALTIMETRIA

VARIAÇÃO ALTIMÉTRICA

ACLIVES			NÍVEL		DECLIVES		
INTERVALO	EXTENSÃO (m)	%	EXTENSÃO	%	INTERVALO	EXTENSÃO (m)	%
0 < i ≤ 1					0 < i ≤ 1		
1 < i ≤ 2					1 < i ≤ 2		
2 < i ≤ 3	16,988	0,98			2 < i ≤ 3		
3 < i ≤ 4					3 < i ≤ 4		
4 < i ≤ 5					4 < i ≤ 5		
5 < i ≤ 6					5 < i ≤ 6	180,544	10,39
6 < i ≤ 7					6 < i ≤ 7		
7 < i ≤ 8					7 < i ≤ 8	1205,727	69,36
8 < i ≤ 9					8 < i ≤ 9		
9 < i ≤ 10					9 < i ≤ 10		
i > 10					i > 10		
TOTAL	16,988	0,98			TOTAL	1386,271	79,75

EXTENSÃO DOS ELEMENTOS VERTICAIS

RAMPA		CURVA CÔNCAVA		CURVA CONVEXA		CURVA TOTAL	
EXTENSÃO (m)	%	EXTENSÃO (m)	%	EXTENSÃO (m)	%	EXTENSÃO (m)	%
1403,259	80,73	140	8,05	195	11,22	335	19,27

PARÂMETROS K MÍNIMOS ADOTADOS

EM CURVA CÔNCAVA	17,965	EM CURVA CONVEXA	20,597
------------------	--------	------------------	--------

PARÂMETROS ALTIMÉTRICOS

COMPRIMENTO VIRTUAL IDA		COMPRIMENTO VIRTUAL VOLTA		COMPRIMENTO VIRTUAL MÉDIO	
EXTENSÃO (m)	%	EXTENSÃO (m)	%	EXTENSÃO (m)	%
1999,011	115	6687,443	384,72	4343,227	249,86

**APÊNDICE C – RELATÓRIO DE INCONFORMIDADES (RIC) DO TRECHO
DE ESTUDO**

RELATÓRIO DE INCONFORMIDADES DO PROJETO

Rodovia: BR-101

Trecho: km 113 ao 115

Segmento: km: 0+000,00 ao km: 1+738,26

IDENTIFICAÇÃO				LOCALIZAÇÃO			CARACTERIZAÇÃO DA INCONFORMIDADE		
ALERTA	DATA	HORA	USUÁRIO	ESCOPO	ATIVIDADE	MÓDULO	TIPO	ERRO	OBS.
Alerta	22/04/2021	22:16:48	leo_a	Eixo1	Projeto Geométrico	Planimetria	Curva de transição - raio	PI-1: raio de curva de transição fora de norma = 100,00	
Alerta	22/04/2021	22:16:48	leo_a	Eixo1	Projeto Geométrico	Planimetria	Sucessão de curvas	Sucessão de curvas entre PI-1 e PI-2 desejável (Zona I)	
Alerta	22/04/2021	22:16:48	leo_a	Eixo1	Projeto Geométrico	Planimetria	Sucessão de curvas	Sucessão de curvas entre PI-2 e PI-3 a evitar (Zona IV)	
Alerta	22/04/2021	22:16:48	leo_a	Eixo1	Projeto Geométrico	Planimetria	Sucessão de curvas	Sucessão de curvas entre PI-3 e PI-4 a evitar (Zona IV)	
Alerta	22/04/2021	22:16:48	leo_a	Eixo1	Projeto Geométrico	Planimetria	Sucessão de curvas	Sucessão de curvas entre PI-4 e PI-5 a evitar (Zona IV)	
Alerta	22/04/2021	22:16:48	leo_a	Eixo1	Projeto Geométrico	Planimetria	Sucessão de curvas	Sucessão de curvas entre PI-5 e PI-6 desejável (Zona I)	
Alerta	23/04/2021	00:09:55	leo_a	Eixo1	Projeto Geométrico	Altimetria	Rampa máxima no sentido contrário	PIV-3: rampa máx. no sentido contrário (6,64) superior a máxima (6,00)	

APÊNDICE D – RELATÓRIO DO PROCESSAMENTO DAS IMAGENS

Levantamento: BR 101 - km 113 ao 115

Relatório do processamento de imagens do Trabalho de Conclusão de Curso.

01 May 2021



Survey Data

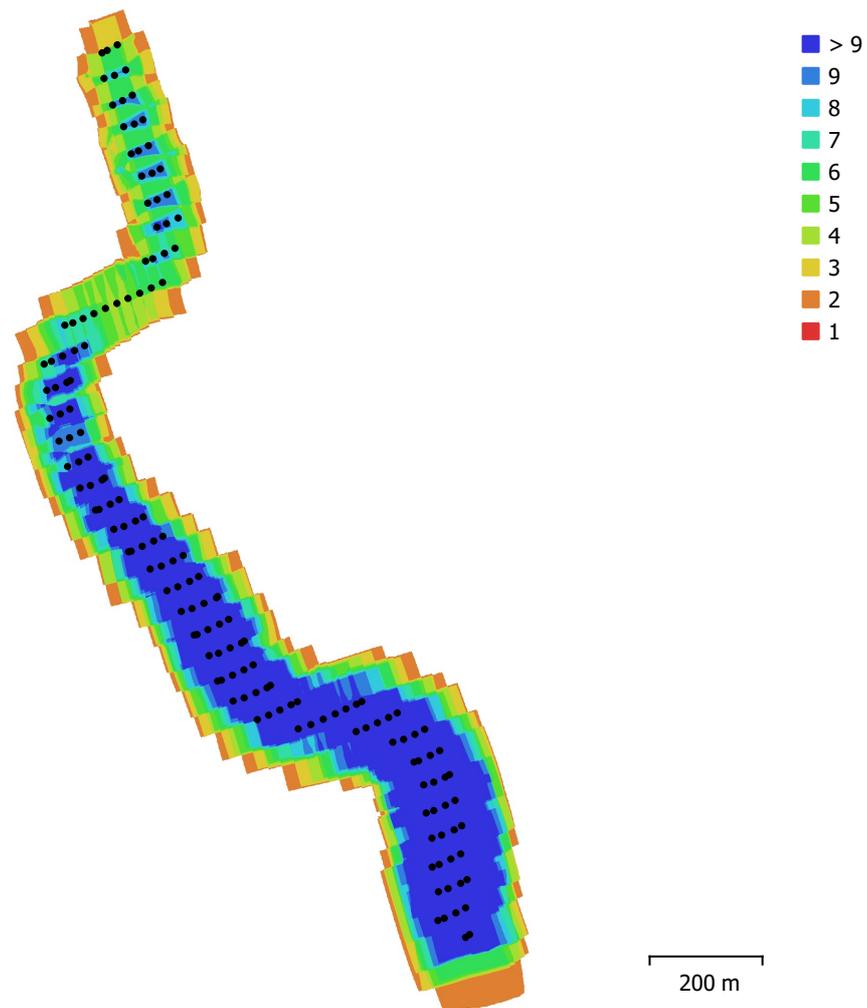


Fig. 1. Camera locations and image overlap.

Number of images:	157	Camera stations:	157
Flying altitude:	134 m	Tie points:	146,870
Ground resolution:	4.28 cm/pix	Projections:	585,238
Coverage area:	0.406 km ²	Reprojection error:	1.55 pix

Camera Model	Resolution	Focal Length	Pixel Size	Precalibrated
FC220 (4.73mm)	4000 x 3000	4.73 mm	1.57 x 1.57 μ m	No

Table 1. Cameras.

Camera Calibration

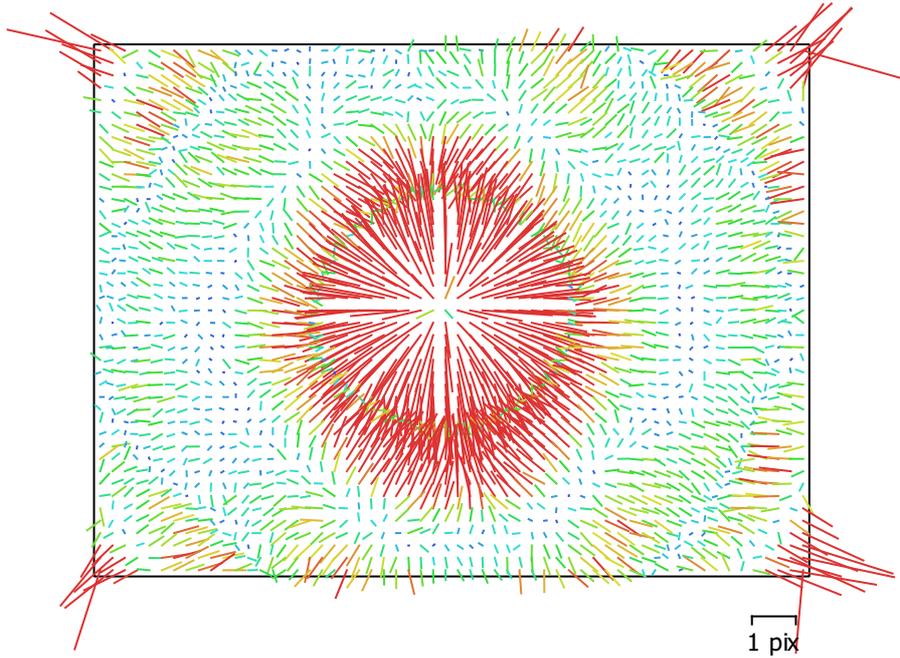


Fig. 2. Image residuals for FC220 (4.73mm).

FC220 (4.73mm)

157 images

Type
Frame

Resolution
4000 x 3000

Focal Length
4.73 mm

Pixel Size
1.57 x 1.57 μm

	Value	Error	Cx	Cy	K1	K2	K3	P1	P2
F	3004.63								
Cx	-30.7951	0.099	1.00	-0.02	0.02	-0.02	0.02	0.55	-0.02
Cy	-2.22889	0.094		1.00	0.00	-0.00	0.01	-0.07	0.52
K1	0.0298278	0.00014			1.00	-0.92	0.88	0.05	-0.00
K2	-0.0963565	0.00048				1.00	-0.99	-0.02	-0.00
K3	0.0993181	0.00052					1.00	0.02	0.00
P1	-0.000602103	9.3e-06						1.00	-0.09
P2	-7.32416e-05	6.8e-06							1.00

Table 2. Calibration coefficients and correlation matrix.

Camera Locations

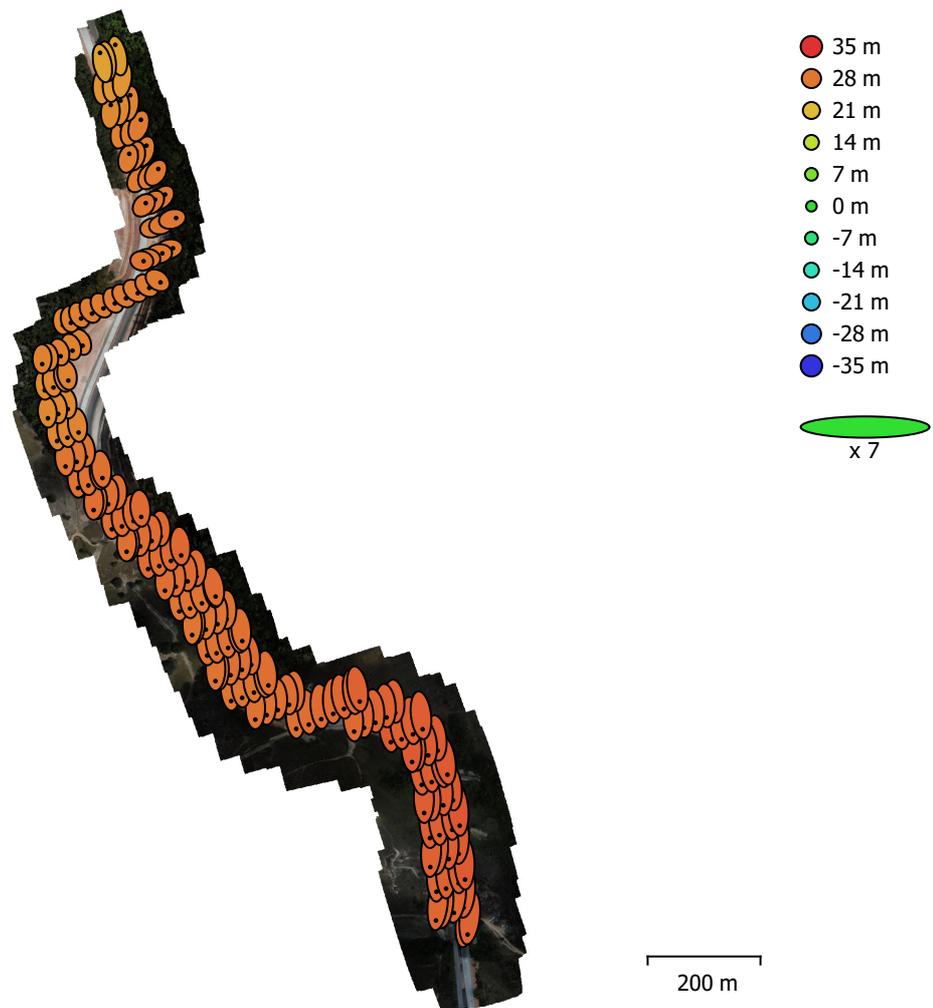


Fig. 3. Camera locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated camera locations are marked with a black dot.

X error (m)	Y error (m)	Z error (m)	XY error (m)	Total error (m)
0.699045	5.29011	28.579	5.33609	29.0729

Table 3. Average camera location error.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Ground Control Points

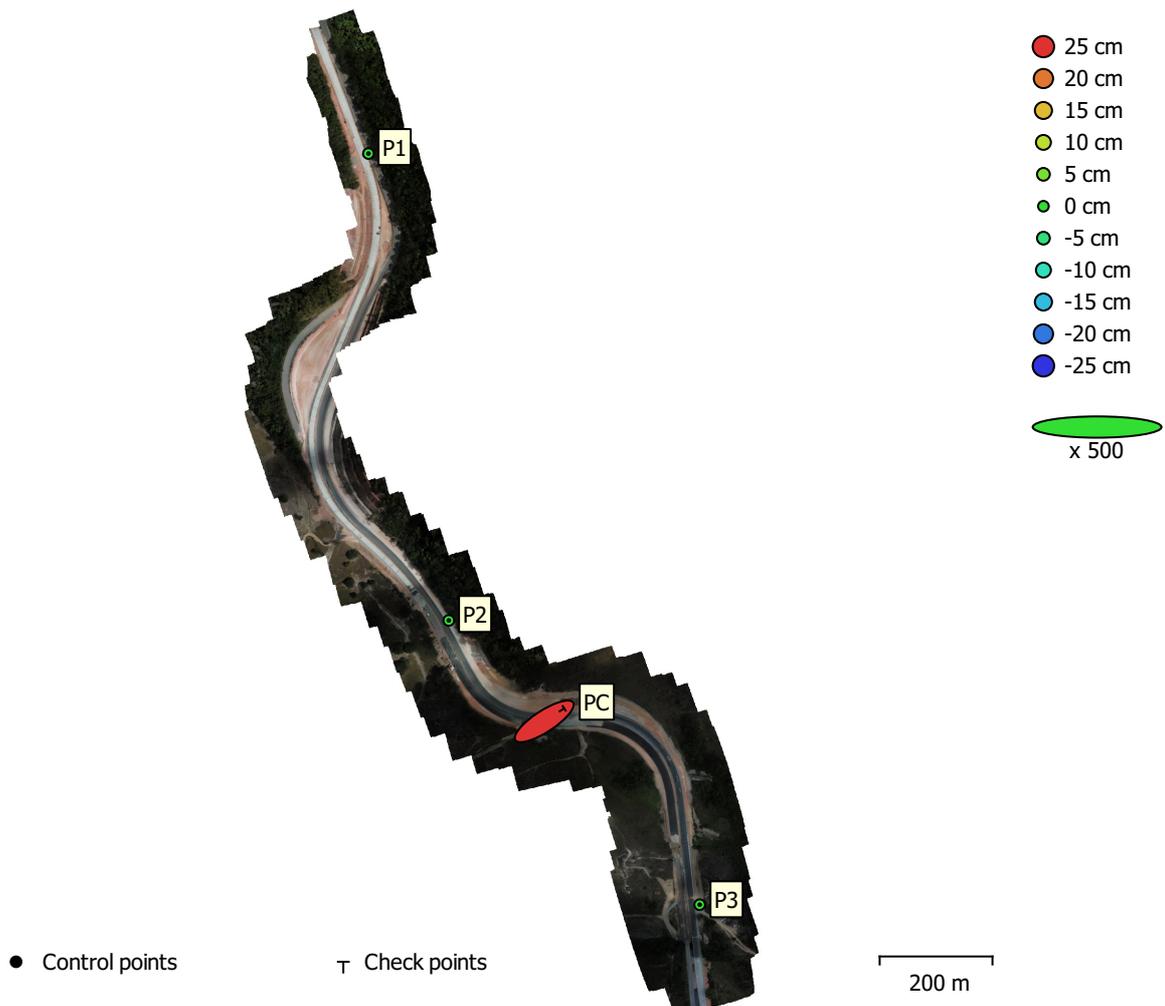


Fig. 4. GCP locations and error estimates.

Z error is represented by ellipse color. X,Y errors are represented by ellipse shape.

Estimated GCP locations are marked with a dot or crossing.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
3	0.0148554	0.0152959	0.0425573	0.0213224	0.0476001

Table 4. Control points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Count	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	XY error (cm)	Total (cm)
1	14.1314	9.28925	24.9763	16.9112	30.163

Table 5. Check points RMSE.

X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
P1	0.0112249	-0.0151496	-0.0309329	0.0362265	1.032 (9)
P2	-0.0214967	0.0170691	-0.0649274	0.0704914	0.971 (16)
P3	0.00859864	0.0134546	-0.016154	0.0227137	1.122 (14)
Total	0.0148554	0.0152959	0.0425573	0.0476001	1.041

Table 6. Control points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Label	X error (cm)	Y error (cm)	Z error (cm)	Total (cm)	Image (pix)
PC	14.1314	9.28925	24.9763	30.163	1.173 (12)
Total	14.1314	9.28925	24.9763	30.163	1.173

Table 7. Check points.
X - Easting, Y - Northing, Z - Altitude.

Digital Elevation Model

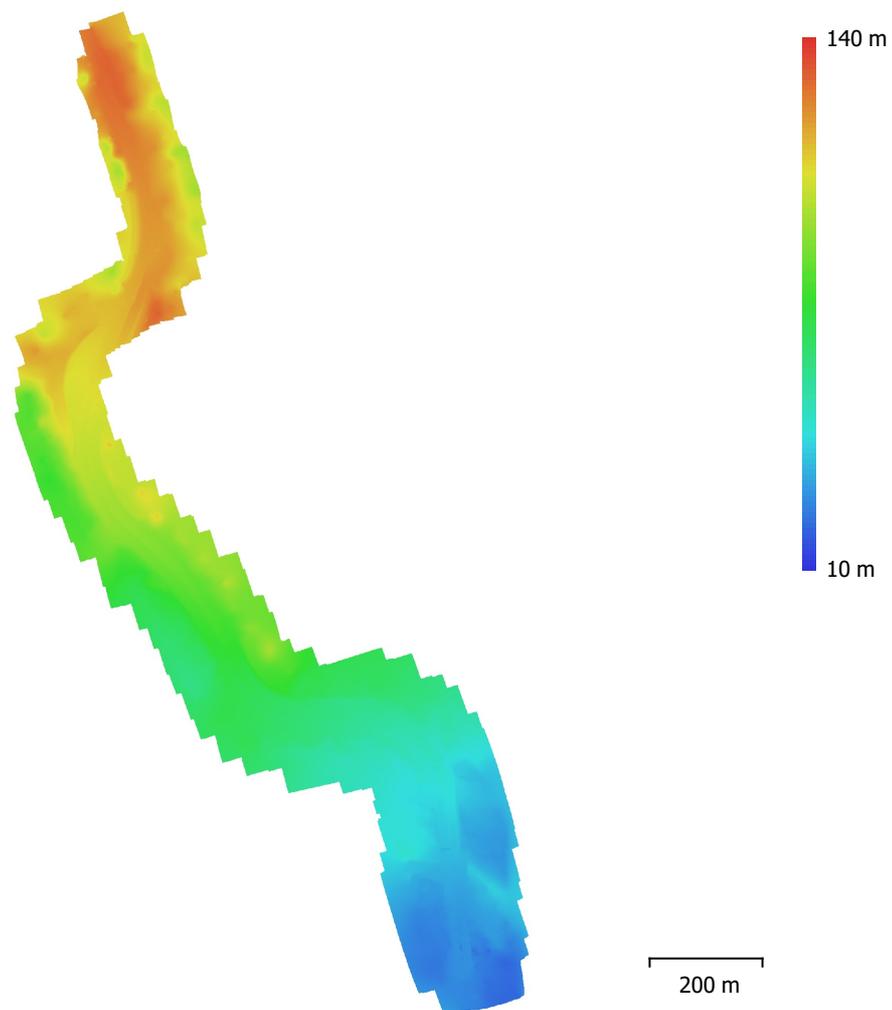


Fig. 5. Reconstructed digital elevation model.

Resolution: 4.28 cm/pix
Point density: 546 points/m²

Processing Parameters

General

Cameras	157
Aligned cameras	157
Markers	4
Shapes	
Polylines	20506
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Rotation angles	Yaw, Pitch, Roll

Point Cloud

Points	146,870 of 157,706
RMS reprojection error	0.241437 (1.5531 pix)
Max reprojection error	0.726482 (64.0941 pix)
Mean key point size	6.72431 pix
Point colors	3 bands, uint8
Key points	No
Average tie point multiplicity	4.13553

Alignment parameters

Accuracy	Medium
Generic preselection	Yes
Reference preselection	Source
Key point limit	40,000
Tie point limit	4,000
Exclude stationary tie points	Yes
Guided image matching	Yes
Adaptive camera model fitting	Yes
Matching time	4 minutes 24 seconds
Matching memory usage	361.09 MB
Alignment time	3 minutes 10 seconds
Alignment memory usage	109.90 MB
Software version	1.7.1.11797
File size	13.79 MB

Depth Maps

Count	157
Depth maps generation parameters	
Quality	Ultra High
Filtering mode	Mild
Processing time	46 minutes 10 seconds
Memory usage	3.96 GB
Software version	1.7.1.11797
File size	2.07 GB

Dense Point Cloud

Points	212,752,610
Point colors	3 bands, uint8
Depth maps generation parameters	
Quality	Ultra High
Filtering mode	Mild
Processing time	46 minutes 10 seconds
Memory usage	3.96 GB
Dense cloud generation parameters	
Processing time	1 hours 19 minutes
Memory usage	9.06 GB

Ground points classification parameters

Max angle (°)	30
Max distance (m)	0.05
Cell size (m)	40
Classification time	52 minutes 58 seconds
Classification memory usage	9.86 GB
Software version	1.7.1.11797
File size	3.66 GB

Model

Faces	3,308,456
Vertices	1,660,700
Vertex colors	3 bands, uint8
Texture	4,096 x 4,096, 4 bands, uint8

Depth maps generation parameters

Quality	Medium
Filtering mode	Mild
Processing time	5 minutes 0 seconds

Reconstruction parameters

Surface type	Arbitrary
Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Strict volumetric masks	No
Processing time	15 minutes 26 seconds
Memory usage	8.93 GB

Texturing parameters

Mapping mode	Generic
Blending mode	Max intensity
Texture size	4,096
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	Yes
UV mapping time	10 minutes 11 seconds
UV mapping memory usage	2.79 GB
Blending time	1 minutes 6 seconds
Blending memory usage	1.08 GB
Software version	1.7.1.11797
File size	165.18 MB

DEM

Size	38,112 x 55,838
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)

Reconstruction parameters

Source data	Dense cloud
Interpolation	Enabled
Processing time	15 minutes 26 seconds
Memory usage	288.36 MB
Software version	1.7.1.11797
File size	966.85 MB

Orthomosaic

Size	21,350 x 41,794
Coordinate system	SIRGAS 2000 / UTM zone 24S (EPSG::31984)
Colors	3 bands, uint8

Reconstruction parameters

Blending mode	Mosaic
Surface	DEM
Enable hole filling	Yes
Enable ghosting filter	Yes
Processing time	34 minutes 3 seconds
Memory usage	4.56 GB

Software version 1.7.1.11797
File size 1.49 GB

System

Software name Agisoft Metashape Professional
Software version 1.7.1 build 11797
OS Windows 64 bit
RAM 15.96 GB
CPU AMD FX(tm)-6350 Six-Core Processor
GPU(s) GeForce GTX 1060 6GB