

FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA

ANDRÉ LUIZ VIEIRA AGOSTINHO PEREIRA

**ESTUDO DO TRAÇADO GEOMÉTRICO DE UMA CURVA NO KM 489 DA BR-116
COM ALTO ÍNDICE DE ACIDENTES.**

**CARATINGA - MG
2019**

ANDRÉ LUIZ VIEIRA AGOSTINHO PEREIRA
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA

ESTUDO DO TRAÇADO GEOMÉTRICO DE UMA CURVA NO KM 489 DA BR-116
COM ALTO ÍNDICE DE ACIDENTES.

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao Curso de Engenharia Civil das Faculdades Unificadas de Caratinga, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Área de concentração: Projeto de Estradas.

Orientador (a): Sanderson Dutra Rocha Gouvêa.


CARATINGA - MG
2019

TERMO DE APROVAÇÃO

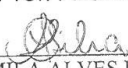
O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ESTUDO DO TRAÇADO GEOMÉTRICO DE UMA CURVA NO KM 489 DA BR-116 COM LATO ÍNDICE DE ACIDENTES, elaborado pelo(s) aluno(s) ANDRÉ LUIZ AGOSTINHO PEREIRA foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA CIVIL das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL.

Caratinga 05/12/2019


SANDERSON DUTRA
Prof. Orientador


JOSÉ NELSON VIEIRA DA ROCHA
Prof. Avaliador 1


CAMILA ALVES DA SILVA
Prof. Examinador 2

ABREVIATURAS E SIGLAS

ASHTO – American Association of State Highway and Transportation Officials

ANTT - Agencia Nacional de Transporte Terrestre

CNT - Confederação Nacional do Transporte

DENATRAN - Departamento Nacional de Transito

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem

DNIT - Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes

IBPT - Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação

MIBR - Manual de Implantação Básica de Rodovia

MPGRR - Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais

MSR - Manual de Sinalização Rodoviária

OMS - Organização Mundial da Saúde

OPAS - Organização Pan-Americana da Saúde

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 - Rodovias Radiais | 20 |
| Figura 2 - Rodovias Longitudinais | 20 |
| Figura 3 - Rodovias Transversais..... | 21 |
| Figura 4 - Rodovias Diagonais | 21 |
| Figura 5 - Rodovia de Duas Faixa Simples | 24 |
| Figura 6 - Concordância horizontal | 26 |
| Figura 7 - Seção tipo de rodovia de pista simples..... | 26 |
| Figura 8 - Elementos do dimensionamento da distância de ultrapassagem..... | 34 |
| Figura 9 - Vista superior da distância de visibilidade nas curvas horizontais | 36 |
| Figura 10 - Variação da seção da pista na superelevação..... | 38 |
| Figura 11 - Esquema de concordância com espiral de transição | 42 |
| Figura 12 - Forças atuantes sobre um veículo em curvas horizontais..... | 44 |
| Figura 13 - Esquema da superlargura | 46 |
| Figura 14 – Posicionamento da sinalização transversal – vista superior | 50 |
| Figura 15 - Posicionamento da sinalização transversal – vista de perfil | 51 |
| Figura 16 - Fatores contribuintes ao risco | 53 |
| Figura 17 - GPS CHC RTK X91+ GNSS | 56 |
| Figura 18 - Especificações Técnicas - GPS CHC RTK X91+ GNSS..... | 56 |
| Figura 19 - Receptor RTK na base..... | 57 |
| Figura 20 - Coletor de pontos com RTK..... | 57 |
| Figura 21 - BR-116..... | 60 |
| Figura 22 - Placa Rodovia Santos Dummont - BR-116 (a) e Marco do KM - 489 na BR – 116 (b)..... | 60 |
| Figura 23 - Objeto de estudo..... | 61 |
| Figura 24 - Vista de satélite - BR-116 no KM-489 | 61 |

| | |
|---|----|
| Figura 25 - GPS RTK X 91+ (a) e Receptor instalado na base (b)..... | 62 |
| Figura 26 - Coleta de coordenadas no eixo (a) e Coleta de coordenadas na faixa de acostamento (b) | 62 |
| Figura 27 - Acidente 1 | 64 |
| Figura 28 - Acidente 2 | 65 |
| Figura 29 - Acidente 3 | 65 |
| Figura 30 - Acidente 4 | 66 |
| Figura 31 - Sinal de advertência e regulamentação (a) e Contenção da parte externa da curva circular (b)..... | 67 |
| Figura 32 - Linhas de estímulo a redução da velocidade (LRV) | 68 |
| Figura 33 - Locação das entradas existentes..... | 68 |
| Figura 34 - Espera para manobra de entrada (a) e manobra de entrada (b) na pista de rolamento no 1º acesso..... | 69 |
| Figura 35 - Vista frontal (a) e transversal (b) do 2º acesso..... | 69 |
| Figura 36 - Marcas de reparo de buracos (a) e trincas interligadas | 70 |
| Figura 37 - Trincas longitudinais e interligadas (a) e marcas de reparo, queimaduras e afundamento (b) | 70 |
| Figura 38 - Configuração da distância de visibilidade | 73 |
| Figura 39 - Distância de visibilidade | 74 |
| Figura 40 - Cotas..... | 75 |
| Figura 41 - Sinalização de advertência A-1a (a) e sinalização de regulamentação R-19 (b)..... | 77 |
| Figura 42 - Placa de advertência quanto o alto índice de acidentes | 78 |
| Figura 43 - Execução de ondulações transversais | 78 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 - Critérios de Classificação de Rodovias | 19 |
| Tabela 2 - Largura das faixas de rolamento em metros | 27 |
| Tabela 3 - Largura dos acostamentos externos em metros | 28 |
| Tabela 4- Velocidade diretriz para cada classe de projeto e relevo | 31 |
| Tabela 5 - Coeficientes de Atrito Longitudinal | 32 |
| Tabela 6 - Distâncias de visibilidade de parada | 32 |
| Tabela 7 - Distância de visibilidade de ultrapassagem..... | 35 |
| Tabela 8 - Dispensa de superelevação | 39 |
| Tabela 9 - Valores máximos de superelevação..... | 39 |
| Tabela 10 - Coeficiente da superelevação | 43 |
| Tabela 11 - Valores de coeficiente de atrito transversal..... | 45 |
| Tabela 12 - Dimensões básicas dos veículos de projeto..... | 47 |
| Tabela 13 - Tipos de sinalização vertical..... | 51 |
| Tabela 14 - Lista dos 100 trechos classificados como mais perigosos - 2017 | 63 |
| Tabela 15 - Histórico de acidentes | 64 |
| Tabela 16 - Comparação dos elementos geométricos | 71 |
| Tabela 17 - Superelevação existente | 75 |
| Tabela 18 - Superelevação ideal..... | 76 |

ANEXOS

| | |
|--|----|
| APÊNDICE A – Ofício de Solicitação | 84 |
| ANEXO B – Projeto Original..... | 85 |
| APÊNDICE C –Projeto Proposto..... | 86 |

RESUMO

O mundo moderno trouxe consigo novas tecnologias que estão cada vez mais próximos da vida dos seres humanos, porém muitas das vezes o mundo pode não estar preparado para tanto avanço tecnológico em pouco intervalo de tempo. Como exemplo disso podemos citar os automóveis, cada vez mais rápidos e modernos e submetidos a trafegar em rodovias ultrapassadas e defeituosas podendo causar acidentes. No Brasil isso acontece bastante, independente do automóvel, vários acidentes ocorrem em todo país causados por estradas cheias de buracos e sem manutenção. Esses acidentes custam caro para os envolvidos e para o próprio país, custo que poderia ser investido na manutenção preventiva. Por esse e mais motivos apresentados, o presente trabalho tem como objetivo o estudo de caso de uma curva horizontal de transição de uma rodovia federal brasileira a BR-116 no km 489, denominada Rodovia Santos Dummont, onde foi analisado seu estado atual através do levantamento topográfico e comparado com os devidos manuais estabelecidos pelos departamentos competentes. Dos resultados foi observado elementos geométricos fora do previsto nos manuais, sendo apresentado ao final as devidas melhorias para cada situação encontrada.

Palavras-chave: Geometria. Rodovia. Superelevação. Curva.

ABSTRACT

The modern world offers new technologies that are increasingly close to human beings, but often the world may not be ready for technological advancement in a short period of time. As an example of this, we can cite the faster and more modern cars that use the traffic on old roads and cause crashes. In Brazil this happens a lot, regardless of the car, many accidents occur throughout the country caused by potholes and maintenanceless highways. These accidents are costly for those involved and for the country itself, a cost that could be invested in preventative maintenance. For this and more reasons presented, the following work aims to study a case of a horizontal transition curve of a Brazilian federal highway to BR-116 at km 489, called Santos Dummont Highway, where its current state was analyzed through topographic survey and compared with the appropriate manuals established by the relevant departments. From the results it was observed geometric elements out of the predicted in the manuals, being presented at the end the appropriate improvements for each situation found.

Keywords: Geometric. Highway. Superelevation. Curve.

SUMÁRIO

| | |
|---|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 Contextualização | 14 |
| 1.2 Objetivos | 15 |
| 1.2.1. Objetivo Geral | 15 |
| 1.2.1 Objetivos Específicos | 15 |
| 1.3 Justificativa | 15 |
| 1.4 Estrutura do Trabalho | 16 |
| 2 REFERENCIAL TEÓRICO | 17 |
| 2.1 Classificação das Rodovias | 17 |
| 2.1.1 Quanto às condições técnicas | 17 |
| 2.1.2 Quanto a posição geográfica | 19 |
| 2.1.3 Quanto ao nível de serviço | 22 |
| 2.2 Rodovias de Duas Faixas Simples | 24 |
| 2.3 Elementos Geométricos Longitudinais..... | 25 |
| 2.4 Seção Transversal das Rodovias..... | 26 |
| 2.4.1 Faixa de Rolamento | 27 |
| 2.4.2 Acostamentos | 27 |
| 2.4.3 Sarjeta | 29 |
| 2.5 Velocidades | 29 |
| 2.5.1 Velocidade e Design | 29 |
| 2.5.2 Velocidade Diretriz ou Velocidade de Projeto | 30 |
| 2.5.3 Velocidade de Operação | 31 |
| 2.6 Distância mínima de visibilidade de parada | 31 |
| 2.7 Distância mínima de visibilidade de ultrapassagem..... | 33 |
| 2.8 Visibilidade nas curvas horizontais | 35 |

| | | |
|---------------|--|-----------|
| 2.9 | Superelevação | 37 |
| 2.9.1 | Variação da superelevação | 37 |
| 2.10 | Curva circular com espiral de transição | 41 |
| 2.11 | Raios mínimos de curvas horizontais..... | 44 |
| 2.12 | Superlargura | 45 |
| 2.13 | Sinalização Manual sinalização | 49 |
| 2.13.1 | Sinalização Vertical | 50 |
| 2.13.2 | Sinalização Horizontal..... | 51 |
| 2.14 | Acidentes de Trânsito | 52 |
| 2.14.1 | Tipologia dos Acidentes | 52 |
| 2.14.2 | Fatores Contribuintes ao Risco..... | 53 |
| 2.15 | Projeto Topográfico..... | 55 |
| 2.15.1 | GPS GNSS RTK - Modelo CHC X91+..... | 55 |
| 2.15.2 | Técnica GNSS no modo RTK..... | 56 |
| 3 | METODOLOGIA PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA..... | 59 |
| 3.1 | Classificação da pesquisa..... | 59 |
| 3.2 | Descrição do objeto de estudo..... | 59 |
| 3.3 | Levantamento de Dados..... | 61 |
| 3.3.1 | Levantamento topográfico em campo | 61 |
| 3.3.2 | Projeto Original..... | 63 |
| 3.3.3 | Registro de Acidentes | 63 |
| 3.4 | Tratamento de dados..... | 66 |
| 3.5 | Proposta de melhorias | 66 |
| 4 | RESULTADOS E DISCUSSÃO..... | 67 |
| 4.1 | Análise Visual | 67 |
| 4.2 | Análise da geometria da curva de transição horizontal..... | 71 |

| | |
|---|-----------|
| 4.2.1 TopoEVN..... | 71 |
| 4.2.2 Autodesk Civil 3D | 72 |
| 4.2.2.1 Distância de visibilidade | 72 |
| 4.2.2.2 Superelevação..... | 74 |
| 4.3 Possíveis Melhorias | 77 |
| 4.3.1 Sinalização | 77 |
| 5 Conclusão..... | 80 |
| REFERÊNCIAS..... | 81 |

1 INTRODUÇÃO

1.1 Contextualização

As rodovias federais do Brasil, foram em sua maioria, construídas décadas atrás, com isso o estado dessas rodovias atualmente é bastante precário em determinadas regiões do país, surgindo a necessidade de manutenção, restauração e remodelagem para se adaptar à nova frota de veículos. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS) em 2009 o Brasil estava em quinto lugar no ranking entre os países recordistas em mortes no trânsito, precedido apenas por Índia, China, EUA e Rússia. O Brasil ainda ocupava o segundo lugar no ranking de vítimas fatais em acidentes de moto, sendo 7 mortes para cada 100.000 habitantes, ainda segundo a OMS, 2009.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) em parceria com a Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS, 2019), diz que, cerca de 1,35 milhão de pessoas morrem a cada ano em decorrência de acidentes de trânsito em todo mundo, os acidentes de trânsito custam à maioria dos países 3% do seu produto interno bruto (PIB). Ainda constataram uma relação direta entre o aumento da velocidade média tanto na probabilidade de ocorrência de acidentes quanto a sua gravidade. Para cada 1% no aumento da velocidade média resulta, em um acréscimo de 4% no risco de acidente fatal e 3% no risco de acidente grave.

De acordo com o último levantamento realizado pela Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2018), o índice de mortos no Brasil atualmente em acidentes de trânsito (taxa aproximada de 19 por 100 mil habitantes) corresponde aos índices do ano de 1982 de países desenvolvidos, ou seja, 37 anos atrasados. E ainda que entre 2007 e 2017, apenas em rodovias federais policiadas: 1,65 milhão de acidentes (média de 411,3 por dia) e 88.481 mortos (média de 20,8 por dia).

No Brasil atualmente possui vários trechos de rodovias em que o índice de acidente é bastante elevado como citado anteriormente, ou seja, alguns fatores influenciam diretamente o acontecimento desses acidentes. Uma análise desses trechos é feita por parte dos departamentos competentes, tanto para evitar mais acidentes, quanto para conhecer estes fatores e identifica-los para realizar a manutenção preventiva o mais rápido possível. Entretanto a falta de verbas públicas resulta em pouca implantação de novas rodovias e uma deficiência na manutenção preventiva, o que pode ser observado simplesmente trafegando nas rodovias brasileiras.

Sem precisar ir muito longe, existe uma curva localizada a 34 km da cidade de Caratinga-MG e logo após Inhapim-MG que possui este perfil e foi alvo deste estudo. Tecnicamente denominada curva circular de transição horizontal e com alto índice de acidentes em seu histórico, a curva localizada no km 489 da BR-116, também conhecida como Rio-Bahia, foi então analisada e comparada conforme os padrões previstos nos manuais do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER).

1.2 Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Determinar possíveis desconformidades na curva circular de transição horizontal no km 489 da BR-116, Rodovia Santos Dumont, afim de mapear os pontos críticos que podem estar contribuindo para o alto índice de acidentes de trânsito no trecho.

1.2.1 Objetivos Específicos

- a) Levantar dados para comprovação da periculosidade do trecho: número de acidentes de acordo com histórico da Polícia Rodoviária Federal e informações do noticiário local;
- b) Obter Projeto Geométrico Original junto ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT) e levantamento topográfico para realizar o Projeto As Built;
- c) Analisar os elementos geométricos e de sinalização da curva circular de transição horizontal do Projeto Geométrico Original com o Projeto As Built;
- d) Propor melhorias para a curva circular de transição horizontal.

1.3 Justificativa

O trabalho de conclusão de curso apresentado possui seu foco voltado para um problema que está diretamente relacionado com a população em geral. Os acidentes de trânsito estão diretamente relacionados com os usuários de das rodovias, sejam eles, condutores, passageiros e pedestres. Sendo assim de extrema relevância no âmbito da saúde pública, social e econômica.

1.4 Estrutura do Trabalho

Capítulo 1: é apresentado a introdução ao trabalho, onde são apontados dados de estatísticas e taxas que afirmam a importância do tema escolhido, os objetivos gerais e específicos, a justificativa e a definição das etapas desenvolvidas ao longo do trabalho.

Capítulo 2: apresenta a revisão bibliográfica relacionada ao tema do estudo, onde está exposto a visão dos autores, critérios e normas do DNIT e DNER para projetos de estradas e recomendações relacionados à segurança de rodovias e parâmetros geométricos.

Capítulo 3: descreve os métodos detalhados de avaliação usado durante o levantamento das informações, que deram suporte ao estudo de caso proposto, as formulas, métodos de modelagem com a utilização de softwares que serviram de análise das informações coletadas em campo, assim como as etapas do desenvolvimento do índice proposto nesse trabalho.

Capítulo 4: os resultados do estudo em campo realizado no trecho são destacados, assim como as discussões dos resultados e os critérios e recomendações previstas no manual do DNIT e DNER de projetos de rodovias.

Capítulo 5: apresenta uma conclusão sobre o estudo realizado, bem como as medias que possam ser implantadas no trecho para aumentar a segurança dos usuários da rodovia.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Classificação das Rodovias

Como dita o MIBR (2010), as rodovias são classificadas geralmente por quatro critério: Administração ou Jurisdição, funcionalidade, características físicas e o padrão técnico.

Administração ou Jurisdição são as rodovias de responsabilidade federal, estadual, municipal e particular. Existem alguns casos onde trechos de rodovias federais podem ser repassados para responsabilidade de outro órgão, sendo tal atividade ministrada pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT). Da funcionalidade são três tipos: arteriais que são as rodovias onde a função principal é a mobilidade; coletoras sendo rodovias mista que proporcionam tanto mobilidade quanto acesso; e locais que são as rodovias que oferecem apenas condição de acesso. Características físicas que abrangem rodovias não pavimentadas ou pavimentadas, pista simples ou pista dupla e pelo padrão técnico que relaciona as rodovias em classes conforme suas características técnicas.

2.1.1 Quanto às condições técnicas

Segundo Costa e Figueiredo (2007) as rodovias em geral apresentam uma multiformidade de suas características técnicas, sendo necessário um projeto específico para cada rodovia, adequando as singularidades de cada caso. Fazer a análise de cada caso demandaria maior tempo na concepção do projeto e, resultaria em uma variabilidade enorme de rodovias, portanto, se obtém uma padronização e uniformização de características técnicas, as rodovias foram agrupadas em classe de projeto.

Ainda conforme Costa e Figueiredo (2007), foi considerado então para a classificação técnica a demanda de tráfego. Sendo adotado para o projeto o volume de tráfego no 10º ano após a abertura ao tráfego. O fator econômico, definido pelo custo de construção também é relevante, sendo influenciado principalmente pelas características geográficas da região, como o relevo, dividido em: plano, ondulado e montanhoso.

- a) Classe 0: Rodovia onde o padrão técnico é elevado, possuindo obrigatoriamente no mínimo pista dupla. É usada quando o objetivo é atender a demanda de tráfego de passagem de uma determinada região, porém não visa atender ao tráfego local e de propriedades lindeiras, que devem ser atendidas na teoria por outras vias (MIBR, 2010).

- b) Classe I-A: Possui pista dupla, sendo o número de faixas total dimensionado pelo tráfego previsto (MIBR, 2010).

- c) Classe I-B: Rodovia de pista simples, sendo uma capacidade de tráfego inferior a 200 veículos mistos por hora nas duas direções ou um volume diário de 1400 veículos mistos, e projetada para o 10^o ano (MIBR, 2010).

- d) Classe II: Rodovia de pista simples, sendo uma capacidade de tráfego inferior a 700 veículos mistos por hora nas duas direções ou um volume diário de 1400 veículos mistos, e projetada para o 10^o ano (MIBR, 2010).

- e) Classe III: Rodovia de pista simples, sendo uma capacidade de tráfego inferior a 300 veículos por hora nas duas direções ou um volume diário de 700 veículos mistos, e projetada para o 10^o ano (MIBR, 2010).

- f) Classe IV-A: Rodovia de pista simples, possuindo geralmente um revestimento primário, sendo no ano de abertura um limite de tráfego diário compreendido entre 50 a 200 veículos (MIBR, 2010).

- g) Classe IV-B: Rodovia de pista simples, com capacidade de tráfego diário no ano de abertura inferior a 50 veículos (MIBR, 2010).

O MIBR (2010) então classificou rodovias conforme condições técnicas da seguinte maneira (tabela 1):

Tabela 1 - Critérios de Classificação de Rodovias

| Classe de Projeto | Características | Critério de Classificação Técnica | Velocidade de Projeto por Região (km/h) | | |
|-------------------|---|--|---|----------|------------|
| | | | Plana | Ondulada | Montanhosa |
| 0 | Via expressa - controle total de acesso | Decisão administrativa | 120 | 100 | 80 |
| I | A Pista dupla - controle parcial de acesso | O volume de tráfego previsto reduzirá o nível de serviço em uma rodovia de pista simples abaixo de nível "C" | 100 | 80 | 60 |
| | B Pista simples | Volume horário de projeto VHP > 200 e VMD > 1400 | | | |
| II | Pista simples | Volume horário de projeto VMD 700 - 1400 | 100 | 70 | 50 |
| III | Pista simples | Volume horário de projeto VMD 300 - 700 | 80 | 60 | 40 |
| IV | Pista simples | Volume horário de projeto VMD < 300 | 80 - 60 | 60 - 40 | 40 - 30 |

Fonte: Manual de Implantação de Rodovia – DNIT, 2000.

2.1.2 Quanto a posição geográfica

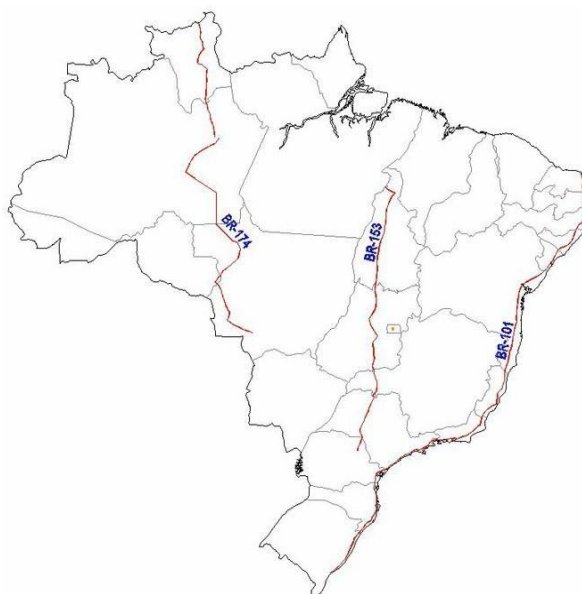
A nomenclatura das rodovias é definida pelo Plano Nacional de Viação (PNV), sendo as rodovias iniciadas com a sigla BR as de caráter federal, seguida por três algarismos. O primeiro algarismo indica a categoria da rodovia, e os outros dois algarismos definem sua posição relativa a Capital Federal e os extremos do País. O PNV divide essas categorias em cinco:

- a) **Rodovias Radiais:** São aquelas que partem da Capital Federal em direção aos extremos do país (figura 1). Seu primeiro algarismo é sempre o 0 (zero). Exemplo: BR-040 (PNV).

Figura 1 - Rodovias Radiais

Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT.

- b) **Rodovias Longitudinais:** São aquelas que cortam o país de Norte-Sul (figura 2). Seu primeiro algarismo é sempre o 1 (um). Exemplo: BR-116 (PNV).

Figura 2 - Rodovias Longitudinais

Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT.

c) **Rodovias Transversais:** São aquelas que cortam o país de Leste-Oeste (figura 3). Seu primeiro algarismo é sempre o 2 (dois). Exemplo: BR-230, BR-262 (PNV).

Figura 3 - Rodovias Transversais



Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT.

d) **Rodovias Diagonais:** São aquelas que apresentam dois sentidos: Noroeste-Sudeste ou Nordeste-Sudoeste (figura 4). Seu primeiro algarismo é sempre o 3 (três). Exemplo: BR-319, BR-365 (PNV).

Figura 4 - Rodovias Diagonais



Fonte: Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes - DNIT.

e) **Rodovias de Ligação:** São rodovias que se apresentam em qualquer direção, usualmente ligando rodovias federais, ou pelo menos uma rodovia federal a cidades ou pontos de interesse, e ainda, as fronteiras internacionais. Seu primeiro algarismo é o 4 (quatro). Exemplo: BR-474, BR-401 (PNV).

2.1.3 Quanto ao nível de serviço

A situação em que uma rodovia se encontra diz muito sobre ela. Para o estudo da capacidade de veículos que uma rodovia pode suportar, por exemplo, os métodos utilizados são baseados em dados ou gráficos que relacionam um conjunto de parâmetros padronizados que são devidamente ajustados as condições reais em que a rodovia se encontra. O MPGRR (1999, p. 36), ainda salienta que:

Diz-se que uma rodovia encontra-se sob condições ideais se os melhoramentos a ela propostos não aumentarem sua capacidade. Para efeito de estudo não se considera a influência das condições climáticas e da qualidade dos pavimentos, supostas por definição, como adequadas, e tampouco incidentes impedindo o fluxo de tráfego.

Sendo tais condições impostas pelo MPGRR:

- a) Largura das faixas de tráfego maior ou igual a 3,60 metros.
- b) Afastamento mínimo lateral de obstruções ou obstáculos fixos dos bordos das faixas de tráfego maior ou igual a 1,80 metros.
- c) Velocidade de projeto maior ou igual a 112 km/h em multivias e maior ou igual a 96 km/h para vias de pista com duas faixas de tráfego.
- d) Somente veículos de passeio na corrente de tráfego.
- e) Terreno plano.

Conforme o (*Highway Capacity Manual, 2000*), os níveis de serviço são definidos na seguinte maneira:

- a) **Nível de Serviço A:** O fluxo de veículos é livre, sendo a maior qualidade de dirigibilidade possível para o trecho, onde o motorista pode trafegar na velocidade

desejada, sem ultrapassar o limite definido da pista. Resultando em no máximo 35% (time-spent-following) do tempo de viagem em velocidades baixas ou em tráfego mais intenso, podendo chegar a uma velocidade média de 90 km/h no trajeto. Sendo uma taxa máxima de 490 veículos/hora em ambos sentidos (*Highway Capacity Manual*, 2000).

b) **Nível de Serviço B:** Caracterizado por um fluxo estável, com poucas restrições de velocidade de operação ou manobra, podendo chegar a um pouco mais que 80 km/h. Os motoristas ficam em engarrafados em 50% (time-spent-following) do tempo de viagem, com uma taxa de máxima de 780 veículos/hora em ambos sentidos (*Highway Capacity Manual*, 2000).

c) **Nível de Serviço C:** Caracterizado por um fluxo estável, com maiores restrições de velocidade de operação ou manobra, onde o maior fluxo de veículos pode ser notado, podendo chegar a um pouco mais que 70 km/h. Os motoristas ficam em engarrafados em 65% (time-spent-following) do tempo de viagem, com uma taxa de acima de 1.190 veículos/hora em ambos sentidos (*Highway Capacity Manual*, 2000).

d) **Nível de Serviço D:** Caracterizado por um fluxo que aproxima o instável, com fluxo de veículos intenso em ambas as faixas, mesmo assim velocidade de 60 km/h ainda pode ser gerenciada sob as condições básicas. Os motoristas ficam em engarrafados em 80% (time-spent-following) do tempo de viagem, com uma taxa de máxima de 1.830 veículos/hora em ambos sentidos (*Highway Capacity Manual*, 2000).

e) **Nível de Serviço E:** Fluxo instável ocorrendo paradas momentâneas, onde o time-spent-following é maior que 80% e com velocidades inferiores a 60 km/h em boas condições e podendo chegar a 40 km/h em péssimas condições. A taxa de veículos/hora atingida é geralmente a capacidade total da rodovia, equivalente a 3.200 veículos/hora (*Highway Capacity Manual*, 2000).

f) **Nível de Serviço F:** Fluxo forçado e congestionamento pesado de veículos, com uma demanda de tráfego que ultrapassa a capacidade (*Highway Capacity Manual*, 2000).

2.2 Rodovias de Duas Faixas Simples

As Rodovias de duas faixas, como exemplificado pela figura 5, é um elemento ligante importante nos sistemas de rodovias de vários países, elas têm uma variedade de funções, estão localizadas em toda a extensão geográfica. Não possuem elementos de separação entre as duas faixas, com o aumento do volume de veículos e/ou restrições geométricas, maior a dificuldade de se ultrapassar veículos mais pesados e lentos, provocando então um trânsito lento em determinadas horas do dia. A necessidade de se ultrapassar um veículo aumenta proporcionalmente com o volume de tráfego, resultando assim, em uma redução do fluxo na faixa de sentido oposto, ao contrário do que ocorre em rodovias onde existem delimitações entre as faixas. As rodovias de duas faixas geralmente passam por zonas rurais onde existem belas paisagens e áreas de recreação, o que se faz essencial uma dirigibilidade tranquila e sem interrupções de tráfego, com isso uma rodovia segura é esperada, porém de altas velocidades não (*Highway Capacity Manual, 2000*).

Figura 5 - Rodovia de Duas Faixa Simples



Fonte: Acervo do Autor, 2019.

2.3 Elementos Geométricos Longitudinais

A definição do traçado, deve atender, quando viável, as formas geométricas da topografia, conforme a classe da rodovia e sua velocidade diretriz. Esta definição é traçada no começo nas fases de anteprojeto e de projeto básico. Logo após a definição, o traçado é alocado ao terreno para então ser possível elaborar o projeto de execução. Como em qualquer projeto de Engenharia, os projetos de estradas contem a representação técnica de cada fase (MENDES et al, 2010).

É de conhecimento que os veículos se locomovem no espaço, com isso, seria necessário à sua representação nas três dimensões, o que não é possível, sendo então representado em três planos como de costume em todos projetos de outras áreas. Cuidados devem ser tomados no projeto de estradas, principalmente na representação espacial pois, o projeto se desenvolve no espaço. Ao se tomar qualquer decisão em um dos planos, é preciso verificar as consequências do mesmo nos outros dois planos (MENDES et al, 2010).

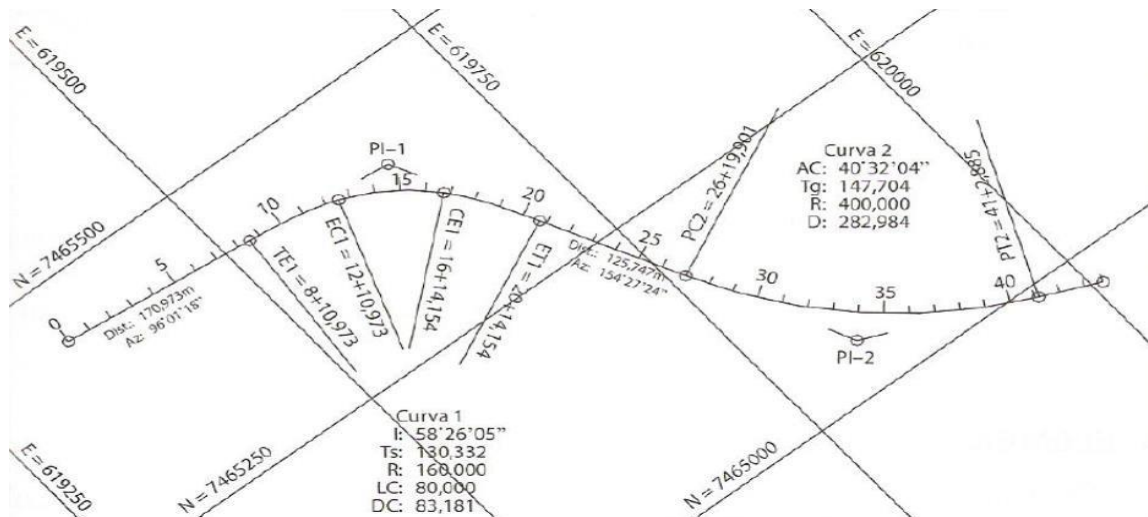
Se denomina então diretriz o eixo longitudinal do projeto definido. Todos os elementos característicos da diretriz estão na planta do perfil longitudinal, de modo a identificar qualquer dado técnico. Para identificação dos pontos do traçado, foi padronizado uma distância de demarcação de pontos, sendo estes conhecidos como estacas e são espaçados a cada 20 metros. São representados na planta e no terreno, sendo no terreno utilizado piquetes, usualmente de madeira e enumerados (MENDES et al, 2010).

Existem duas maneiras de estaqueamento, a mais convencional é a demarcação a cada 20 metros, a partir de um ponto de origem conhecido como estaca 0 (zero). Já na outra maneira de estaqueamento, a nomenclatura do ponto é feita a partir do ponto 0 (zero), como exemplo um ponto situado a 384,22 metros da origem, será nomeado como 19 + 4,22 metros. No sistema hectométrico, 100 em 100 metros, a estaca seria 3 + 84,22 metros (MENDES et al, 2010).

A diretriz então apresenta geometricamente por trechos retos seguidos e concordados por curvas. Sendo os trechos retos denominados como tangentes e alocados adjacientemente a uma curva de concordância, que direciona a mudança suave e gradual dos veículos. A concordância das tangentes é feita com um arco de

círculo, figura 6 - curva 2, ou em determinados casos inclui-se uma espiral entre as tangentes e o arco da tangente de círculo, criando então uma curva de transição como demonstrado na figura 6 – curva 1 (MENDES et al, 2010).

Figura 6 - Concordância horizontal

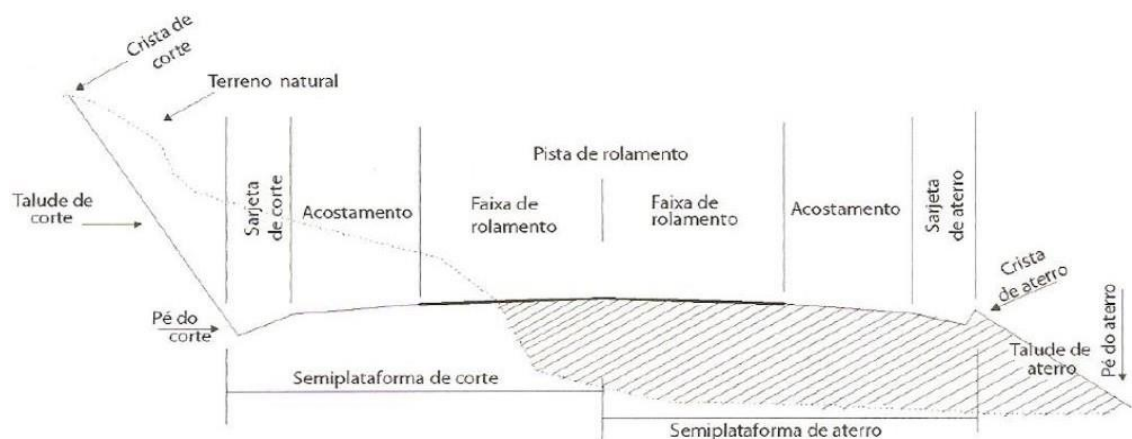


Fonte: Estradas – Projeto Geométrico e de Terraplenagem, 2010.

2.4 Seção Transversal das Rodovias

Os elementos principais da seção transversal da rodovia simples de duas faixas estão descritos na figura 7 a seguir, conforme Mendes et al (2010).

Figura 7 - Seção tipo de rodovia de pista simples



Fonte: Estradas – Projeto Geométrico e de Terraplenagem, 2010.

2.4.1 Faixa de Rolamento

Os veículos trafegam em fila, com movimento contínuo e em sentidos opostos, logo uma pista de rolamento deve conter, no mínimo, duas faixas de tráfego. Sendo uma faixa para cada sentido, caracterizando-se como uma pista simples. A figura 5 mostra este tipo de rodovia existente no Brasil, que deve contém uma faixa com largura do veículo acrescentado de espaçamentos laterais para permitir a circulação com segurança (MENDES et al, 2010).

Este espaçamento é estabelecido conforme a velocidade permitida pela rodovia, pela classe de projeto e a tipologia do relevo. As larguras recomendadas pelo MIBR do DNIT estão descritas na tabela 2 a seguir:

Tabela 2 - Largura das faixas de rolamento em metros

| Classe de Rodovia | Região | | |
|-------------------|--------|-------------|-------------|
| | Plana | Ondulada | Montanhosa |
| 0 | 3.60 | 3.60 | 3.60 |
| I | 3.60 | 3.60 | 3.50 |
| II | 3.60 | 3.50 | 3.30 - 3.50 |
| III | 3.50 | 3.30 - 3.50 | 3.30 |
| IV - A | 3.00 | 3.00 | 3.00 |
| IV - B | 2.50 | 2.50 | 2.50 |

Fonte: Manual de Implantação de Rodovia – DNIT, 2010.

2.4.2 Acostamentos

Segundo Mendes et al (2010), as faixas laterais da pista de rolamento tem por finalidade:

- a) Conceder estacionamento para veículos acidentados e/ou com defeitos;
- b) Conceder estacionamento para veículos quando os motoristas desejam fazer um repouso ou estão incapacitados de continuar dirigindo;

- c) Conceder parada de ônibus para subida ou descida de passageiros;
- d) Conceder espaço para recuperação da faixa de rolamentos de veículos em caso de desgoverno rápido;
- e) Conceder suporte lateral do pavimento;
- f) Em casos eventuais de manutenção, proporciona um local de depósito de materiais e estacionamento dos equipamentos;
- g) Tráfego de pedestre, bicicletas ou veículos de tração animal;
- h) Incentivar os motoristas a usar a faixa de rolamento.

Conforme as finalidades listadas acima, pode se descrever o acostamento como um elemento da seção transversal indispensável, tanto para segurança quanto para o escoamento. Análises mostram as limitações que podem trazer para a rodovias a falta de acostamento, ou a existência de um acostamento com largura inadequada ou em mal estado. A largura será definida em função da velocidade diretriz, da composição e do volume de tráfego, conforme a tabela 3 (MENDES et al, 2010).

Tabela 3 - Largura dos acostamentos externos em metros

| Classe de Rodovia | Região | | |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| | Plana | Ondulada | Montanhosa |
| 0 | 3.60 | 3.00 - 3.50 | 3.00 - 3.50 |
| I | 3.00 - 3.50 | 2.50 | 2.50 |
| II | 2.50 | 2.50 | 2.00 |
| III | 2.50 | 2.00 | 1.50 |
| IV - A | 1.30 | 1.30 | 0.80 |
| IV - B | 1.00 | 1.00 | 0.50 |

Fonte: Manual de Implantação de Rodovia – DNIT, 2010.

A ideia do acostamento é prover uma largura para o estacionamento do veículo de projeto, mais o espaço para um homem trabalhar ao seu lado. Contudo, isto elevaria o custo da obra e também e encorajar o uso do acostamento como pista de rolamento, então, para o acostamento, atende-se somente a largura do veículo de projeto, e ainda apresentar uma configuração adversa a pista de rolamento, como textura e coloração (MENDES et al, 2010).

2.4.3 Sarjeta

As águas das chuvas, quando escoadas lateralmente, precisam ser direcionadas longitudinalmente até o terreno natural. Conta-se para tal direcionamento com as canaletas, também conhecidas como sarjeta e faz parte da seção transversal da rodovia. O dimensionamento da sarjeta é definido no projeto de drenagem, na geometria da seção-tipo é feito um pré-dimensionamento da seção da sarjeta de forma a contemplar a maioria dos casos, sobrando apenas os casos particulares para dimensionamento a parte (MENDES et al, 2010).

2.5 Velocidades

2.5.1 Velocidade e Design

Segundo *American Association of State Highway and Transportation Officials* (2011), a velocidade é considerada um dos fatores de maior relevância pelos motoristas na escolha de suas rotas e tipo de transporte, eles avaliam a facilidade de locomoção de pessoas e bens materiais, conveniência e economia, que estão diretamente relacionadas a velocidade. A velocidade dos veículos na pista depende, da capacidade dos motoristas e de seus veículos, sobre cinco condições conforme o *Highway Capacity Manual* (2000):

- a) Característica física da rodovia (condição/estado);
- b) Interferência na estrada;
- c) Condições climáticas;
- d) A presença de outros veículos; e
- e) Limites de velocidades.

Maiores velocidades diminuem o campo de visão, restringe a visão periférica, e conseqüentemente diminui o tempo de resposta disponível ao motorista para receber e processar a informação e alertas na rodovia. Porém as rodovias são construídas afim de compensar estas limitações, auxiliando os motoristas com informações

apropriadas, posicionando estas informações em locais com visão ampla e clara, eliminando a necessidade de uma visão mais periférica e conseqüentemente provendo um maior tempo de processamento a informação. Atualmente rodovias tem seu design modelado de tal forma a permitir que os motoristas possam conduzir em alta velocidade, com conforto, e com baixa taxa de acidentes (AASHTO, 2011).

Embora que as melhorias nas rodovias trouxeram benefícios, isto também criou problemas relacionados com a velocidade. Por exemplo, dirigir durante a noite, o que diminui a visibilidade, e em altas velocidades, conseqüentemente diminui o tempo de resposta do motorista a sinalização, e também altas velocidades estão, em sua maioria, relacionados a acidentes (AASHTO, 2011).

Está claro a interdependência entre o design da rodovia e as informações nela contida, ambas devem ser avaliadas no projeto de rodovias. Isto porque, os motoristas fazem uma leitura da estrada e do meio à sua volta e tomam decisões baseado no que veem. Por outro lado, uma rodovia com design ideal deve conter dispositivos de controle de tráfego para sua devida funcionalidade (AASHTO, 2011).

2.5.2 Velocidade Diretriz ou Velocidade de Projeto

Conforme dito no MPGRR (1999), a velocidade é um dos elementos de maior relevância ao se dimensionar uma rodovia, ministra a intensidade em que os veículos se deslocamento, e também participa, em sua maioria, no dimensionamento das características técnicas da rodovia, como: curvatura, superelevação e distância de visibilidade, das quais priora a segurança e conforto dos veículos em operação.

Esta velocidade, que é adotada conforme a classe de projeto e relevo, deve representar a maior velocidade em se pode percorrer um trecho de rodovia, cujo apresente o perfil de rugosidade e ondulação normais, com segurança e conforto, mesmo com pavimento molhado, e quando o veículo estiver submetido a limitações impostas pela geométricas da rodovia, sem que o tráfego influencie. A tabela 4 a seguir mostra os valores da velocidade para cada caso (MPGRR, 1999).

O eixo longitudinal ou diretriz passa por elevações verticais, no qual planos inclinados consecutivos, podendo ser ascendentes ou descendentes, por convenção o sinal positivo (+) representa rampas ou aclives e negativo (-) representa contrarrampas ou declives. Generalizando, o segmento em nível é denominado como patamar (MENDES et al, 2010).

Tabela 4- Velocidade diretriz para cada classe de projeto e relevo

| Classe de Rodovia | Velocidade Diretriz (km/h) | | |
|-------------------|----------------------------|----------|------------|
| | Relevo | | |
| | Plana | Ondulada | Montanhosa |
| 0 | 120 | 100 | 80 |
| I | 100 | 80 | 60 |
| II | 100 | 70 | 50 |
| III | 80 | 60 | 40 |
| IV | 80 - 60 | 60 - 40 | 40 - 30 |

Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, 1999.

2.5.3 Velocidade de Operação

Definido pelo AASHTO (2011), como sendo a velocidade em que os motoristas operam seus veículos, em condições de fluxo livre. Ou seja, a velocidade de operação é a velocidade em que os veículos trafegam conforme as condições da rodovia, inferior a velocidade de projeto. A velocidade de operação é a utilizada na análise de tráfego, como capacidade e níveis de serviço.

2.6 Distância mínima de visibilidade de parada

A visibilidade é um dos fatores principais que promovem a segurança das rodovias, sendo assim a necessidade de uma distância para que o motorista ao se deparar com qualquer anormalidade, possa parar o veículo ou tomar as devidas providências. Por essa razão, as normas rodoviárias constituem distâncias para o motorista frear seu veículo (MENDES et al, 2010).

A esse respeito o MPGRR (1999, p. 51), salienta:

[...] a distância mínima que um motorista médio, dirigindo com velocidade V um carro médio em condições razoáveis de manutenção, trafegando em uma rodovia pavimentada adequadamente conservada, em condições chuvosas, necessita para parar com segurança após avistar um obstáculo na rodovia.

Os valores de distância de visibilidade são calculados pela fórmula 2.1, conforme o MPGRR (1999):

$$d = 0,7 V + \left(\frac{v^2}{[255 (f+i)]} \right) \quad (2.1)$$

Sendo:

d = distância de visibilidade, em metros;

V = velocidade diretriz ou média de viagem, em km/h;

f = coeficiente de atrito a frenagem;

i = greide, em m/m.

O coeficiente de atrito está em função da velocidade diretriz e velocidade média, como mostrado na tabela 5:

Tabela 5 - Coeficientes de Atrito Longitudinal

| Parâmetros | Valores de f para Velocidade média | | | | | | | | | |
|--------------------|--------------------------------------|------|------|------|------|------|-----|-----|-----|-----|
| V. diretriz (km/h) | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| V. média (km/h) | 30 | 38 | 46 | 54 | 62 | 71 | 79 | 86 | 92 | 98 |
| f | 0.4 | 0.38 | 0.36 | 0.34 | 0.32 | 0.31 | 0.3 | 0.3 | 0.3 | 0.3 |

Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, 1999.

Ficando então definido como a distância de visibilidade mínima a calculada utilizando a velocidade média, e a distância de visibilidade desejável a calculada utilizando a velocidade diretriz. Ambas distâncias estão descritas segundo Mendes et al (2010) conforme a tabela 6:

Tabela 6 - Distâncias de visibilidade de parada

| Distância de visibilidade (m) | Velocidade diretriz (km/h) | | | | | | | | | |
|-------------------------------|----------------------------|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 |
| Mínima | 30 | 45 | 60 | 75 | 90 | 110 | 130 | 155 | 155 | 205 |
| Desejável | 30 | 45 | 65 | 85 | 110 | 140 | 175 | 210 | 210 | 310 |

Fonte: Estradas – Projeto Geométrico e de Terraplenagem, 2010.

Costa e Figueiredo (2007), salienta que as distâncias de visibilidade de parada calculada com valores mínimos e desejáveis se referem as seguintes definições:

- a) Na hipótese do valor mínimo, a redução da velocidade se dá por condições climáticas, como neblina e chuva, que delimitam os veículos os obrigando a trafegarem a uma velocidade média inferior a velocidade diretriz.
- b) Na hipótese do valor desejável, considera que os veículos trafeguem o mais rápido possível, com a velocidade igual a diretriz, mesmo em péssimas condições climáticas.

2.7 Distância mínima de visibilidade de ultrapassagem

A tipologia dos veículos rodoviários possui uma certa variância, como pode ser observado suas diferentes formas e modelos. Logo, espera-se veículos lentos e rápidos, característica predominante no Brasil, já que o transporte de carga é feito em sua maioria pelas rodovias. Por esta razão, em rodovias de pista simples, surge a necessidade da análise de trechos onde se possa fazer a ultrapassagem dos veículos mais rápidos sob os veículos mais lentos, evitando que os veículos mais rápidos trafeguem em função dos mais lentos (MENDES et al, 2010).

O MPGR (1999, p. 57), atenta:

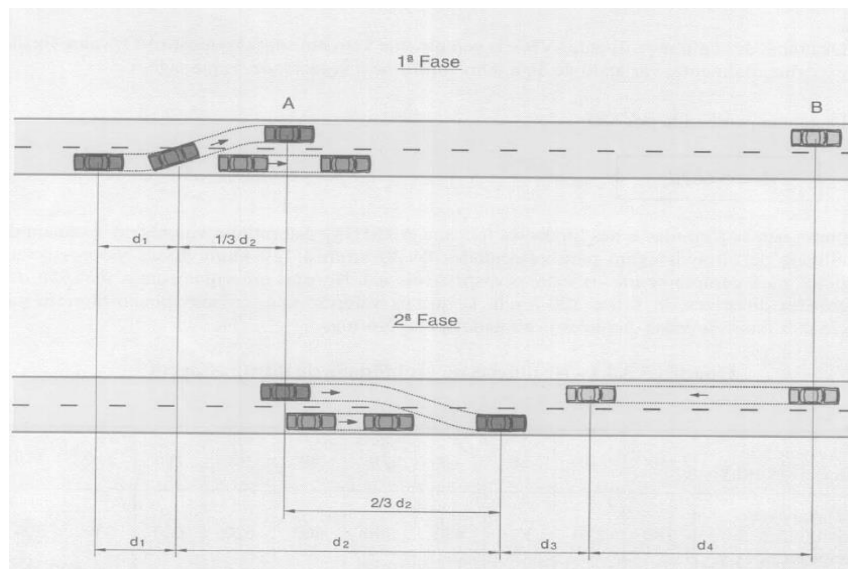
Para volumes crescente, entretanto, em que crescem os números de veículos desejando ultrapassar bem como de veículos vindo no sentido contrário, torna-se conveniente, na medida do possível, aumentar o número de oportunidades, para evitar que a ansiedade dos motoristas mais rápidos resulte em manobras perigosas, com tentativas de ultrapassagem em locais de insuficiente visibilidade. Aconselha-se tentar viabilizar a ultrapassagem a intervalos entre 1,5 km e 3,0 km.

O MPGR descreve para o cálculo da distância de ultrapassagem a seguinte metodologia e demonstrada na figura 8:

- a) VL = veículo mais lento que será ultrapassado, trafegando em velocidade constante.

- b) VR = veículo mais rápido que irá fazer a ultrapassagem, estando logo atrás do veículo VL e na mesma velocidade, no instante em que alcança o ponto inicial PI da ultrapassagem.
- c) Ao alcançar o PI, o veículo VR necessita de um certo tempo para identificar a oportunidade de ultrapassar e começar a manobra.
- d) Então, o veículo VR inicia a aceleração e sua velocidade média no período de ultrapassagem e na faixa a esquerda é 15 km/h superior à do veículo VL.
- e) Ao retornar para a faixa da direita o veículo VR necessita de uma distância suficiente do veículo VO vindo no sentido oposto.

Figura 8 - Elementos do dimensionamento da distância de ultrapassagem



Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, 1999.

Sendo então a distância de ultrapassagem dividida em três distancias:

Distancia d_2 , percorrida por VR na pista à esquerda e calculada pela fórmula 2.2:

$$d_2 = 0,278 V t_2 \quad (2.2)$$

Onde:

V = velocidade média do VR, em km/h.

t_2 = tempo do VR na pista a esquerda, em segundos.

A distância d_3 , que é aquela entre o VR e o veículo que vem no sentido oposto VO, fica em função da velocidade de passagem de VR, podendo variar de 30 a 90 metros.

A distancia d_4 , aquela percorrida pelo VO e calculada pela fórmula 2.3:

$$d_4 = 0,667 d_2 \quad (2.3)$$

Somando os valores obtidos pelas formulas descritas acima, foi então padronizado cada distância de visibilidade conforme a velocidade diretriz que vai de 30 a 120 Km/h, como mostrado pela tabela 7:

Tabela 7 - Distância de visibilidade de ultrapassagem

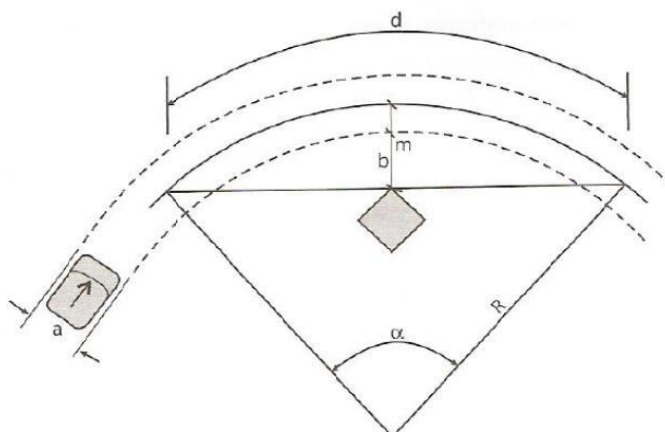
| Velocidade diretriz (km/h) | Distância de visibilidade de ultrapassagem (m) |
|----------------------------|--|
| 30 | 180 |
| 40 | 270 |
| 50 | 350 |
| 60 | 420 |
| 70 | 490 |
| 80 | 560 |
| 90 | 620 |
| 100 | 680 |
| 110 | 730 |
| 120 | 800 |

Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, 1999.

2.8 Visibilidade nas curvas horizontais

Há uma necessidade de verificar a existência de impedimentos visuais localizados no meio por onde o eixo horizontal passa e principalmente nas curvas horizontais em geral, afim de prover uma distância de visibilidade para frenagem dos veículos situados na faixa direita da rodovia. A figura 9 mostra o esquema de visibilidade estabelecido, sendo que, uma distância paralela ao eixo suficiente m , à frente do veículo que desloca na faixa da direita é obrigatória para que o motorista possa parar antes de colidir com qualquer obstáculo (MENDES et al, 2010).

Figura 9 - Vista superior da distância de visibilidade nas curvas horizontais



Fonte: Estradas – Projeto Geométrico e de Terraplenagem, 2010.

Ainda com Mendes et al (2010), o obstáculo deve estar deslocada, no mínimo, $m = \frac{a}{2} + b$ do eixo da pista de rolamento, com a igual a largura da pista. O arco percorrido pelo veículo é descrito pela fórmula 2.4, com R igual ao raio da curva:

$$R - \frac{a}{2} = \frac{2R - a}{2} \quad (2.4)$$

E para um arco de ângulo de comprimento d e ângulo α , temos pela fórmula 2.5:

$$\alpha = \frac{2d}{2R - a} \quad (2.5)$$

Substituindo e desprezando o valor da largura da pista de rolamento, tem-se a fórmula 2.6 e 2.7:

$$m = 2R \operatorname{sen}^2 \frac{d}{4R} \quad \text{ou} \quad m = 2R \operatorname{sen}^2 \frac{d G_{20}}{80} \quad (2.6)$$

$$G_{20} = 180 \cdot \frac{20}{\pi R} = \frac{1145,92}{R} \quad (2.7)$$

Onde:

G_{20} = grau da curva espaçado de 20 em 20 metros.

d = comprimento circular, em metros.

m = offset do obstáculo em relação ao eixo central da curva, em metros.

α = ângulos do raio da curva circular.

2.9 Superelevação

Para o dimensionamento dos raios mínimos de curvatura horizontal, mencionada posteriormente pela formula 2.15, observa-se que o raio mínimo está em função de uma superelevação em relação ao plano horizontal com o intuito de contrabalancear o efeito da aceleração centrífuga. “ Dá-se o nome de superelevação em um ponto da curva ao valor da tangente do ângulo formado pela reta de maior declive da seção com o plano horizontal. “ (MPGRR, 1999, p. 91).

2.9.1 Variação da superelevação

Nos segmentos onde retos, ou seja, em tangente em relação a seção transversal da faixa de rolamento, em pistas simples a superelevação tem por funcionalidade o escoamento lateral das águas das chuvas. Apresenta uma forma abaulada, com declividade que vai do eixo da pista para as bordas, usualmente inclinadas a 2%. Já em segmentos de curva a seção transversal apresenta uma declividade constante, que vai da borda interna da curva no valor da superelevação. Para executar a curva da rodovia com a superelevação desejada, dividiu se dois comprimentos de transição, transição em tangente T e transição em curva L, ambas definidas a seguir conforme MPGRR (1999).

- a) **Transição da tangente T:** o segmento que antecede o comprimento de transição da superelevação e onde se processa a rotação da pista, ou parte da pista.
- b) **Transição em curva L:** comprimento que se inicia quando acaba a transição da tangente T, ou seja, inicia-se no ponto onde sua seção encontra-se no plano horizontal e termina onde começa de fato a curva ou quando se tem a superelevação máxima alcançada.

O MPGRR (1999) ainda define a fórmula 2.8 abaixo, para os segmentos de transição da tangente T e transição em curva L :

$$T = L \frac{dt}{e} \quad (2.8)$$

Onde:

T = comprimento de transição da tangente ou abaulamento (metros).

L = comprimento de transição da superelevação (metros).

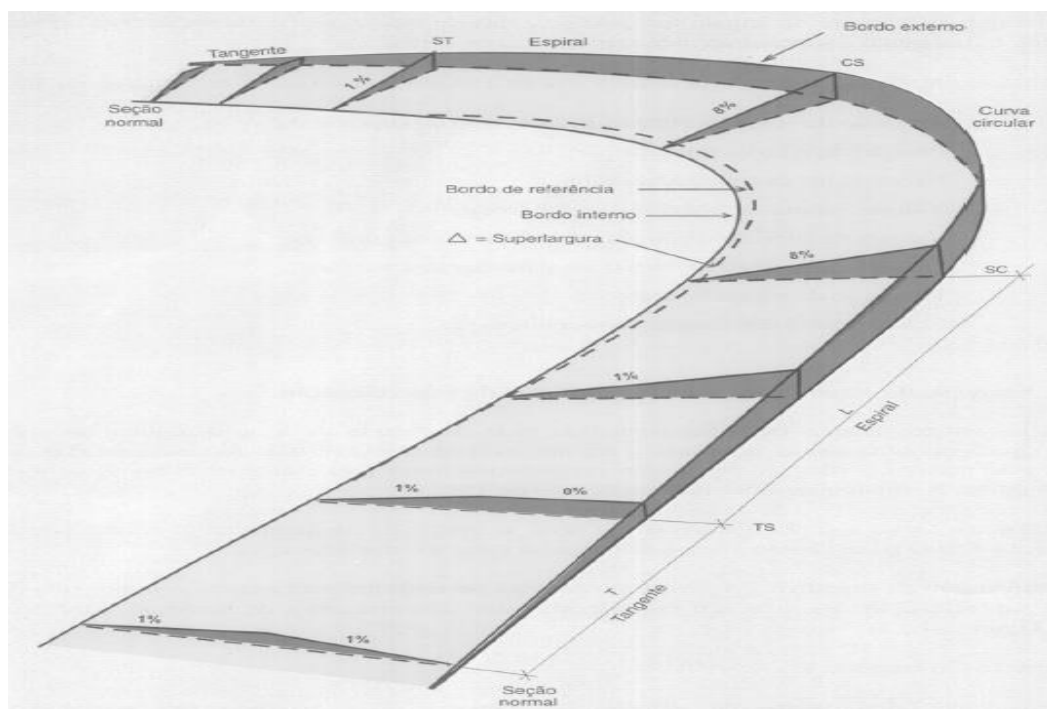
dt = declividade transversal da pista em tangente (%).

e = superelevação mantida no segmento circular (%).

Para o abaulamento o $dt = 2\%$.

A figura 10 abaixo demonstra a seção normal, transição da tangente (T) e transição em curva (L) citados acima:

Figura 10 - Variação da seção da pista na superelevação



Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, 1999.

A superelevação não deverá ser usada em todas as curvas, com base na velocidade diretriz foi associado um raio cuja a aceleração centrífuga pode ser

desprezada, sendo considerada um segmento de tangente. A dispensa de superelevação foi então estabelecida pela tabela 8 abaixo, relacionando velocidade diretriz a respectivos raios de curva, conforme o MPGRR (1999).

Tabela 8 - Dispensa de superelevação

| Velocidade Diretriz (km/h) | Raio (m) |
|----------------------------|----------|
| 30 | 450 |
| 40 | 800 |
| 50 | 1250 |
| 60 | 1800 |
| 70 | 2450 |
| 80 | 3200 |
| 90 | 4050 |
| 100 | 5000 |

Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, 1999.

Os valores mínimos e máximos para a superelevação foram então estabelecidos, o valor mínimo, como dito anteriormente, da declividade transversal é de 2% para o escoamento das águas das chuvas. Já os valores de máxima superelevação estão relacionados aos seguintes fatores abaixo de acordo com o MPGRR (1999).

- Fluxo de tráfego de veículos operando abaixo da velocidade diretriz, causado por veículos comerciais, condições de rampa, interseções e congestionamento.
- A classe de projeto e velocidade diretriz.
- Comprimento do segmento de transição da superelevação.
- Projetos de rodovias com limitações orçamentarias.

Foi então determinado os valores máximos para superelevação, conforme Mendes et al (2010), na tabela 9 abaixo:

Tabela 9 - Valores máximos de superelevação

| | |
|-----|--|
| 12% | Situações especiais |
| 10% | Para rodovias de Classes 0 e I em regiões planas e onduladas |
| 8% | Para rodovias de Classes II, III e IV e Classe I, em região montanhosa |
| 6% | Em projetos condicionados por urbanização adjacente |

Fonte: Estradas – Projeto Geométrico e de Terraplenagem, 2010.

Cada velocidade diretriz possui seu raio mínimo admissível respectivamente, que usual e está associado a máxima superelevação. Entretanto, a raios maiores que o mínimo onde a aceleração centrífuga não necessita da superelevação máxima, sendo instruído dimensionar superelevações menores que irão proporcionar conforto e segurança para os condutores. Foi então considerado três situações para este caso em particular conforme o MPGRR (1999).

1ª Situação: deve ser mantido a superelevação fixa para raios crescentes a partir do raio mínimo, até que, o valor do raio anule a aceleração centrífuga e que a força de atrito tenda a zero.

2ª Situação: deve ser mantido a força de atrito fixa para raios crescentes a partir do raio mínimo e a superelevação mínima de equilíbrio, então com o crescimento do raio a força de atrito começaria a reduzir.

3ª Situação: a redução gradual e simultânea da força de atrito e da superelevação, para raios crescentes a partir do raio mínimo, até atingir a taxa mínima de superelevação. Porém ficou mais conveniente usar a fórmula 2.9 abaixo, que expressa melhor a curva de variação da superelevação.

$$e = e_{max} \left(\frac{2R_{min}}{R} - \frac{R_{min}^2}{R^2} \right) \quad (2.9)$$

Sendo:

R = raio da curva, em metros.

R_{min} = raio de circunferência mínima para a superelevação da velocidade diretriz de cada caso, em metros.

e_{max} = taxa máxima de superelevação da tabela 9 (m/m).

e = taxa de superelevação a dimensionar (m/m).

O DNER ainda saliente em casos de restaurações de rodovias existentes, deve ser atendida a seguinte condição da inequação 2.10:

$$e \geq \frac{v^2}{127R} - f_{max} \quad (2.10)$$

Sendo:

e = taxa de superelevação indispensável (m/m).

V = velocidade predominante de operação no trecho (km/).

R = raio da curva (metros).

f_{max} = coeficiente de atrito máximo transversal admissível. Tabela 11 - Valores de coeficiente de atrito transversal.

2.10 Curva circular com espiral de transição

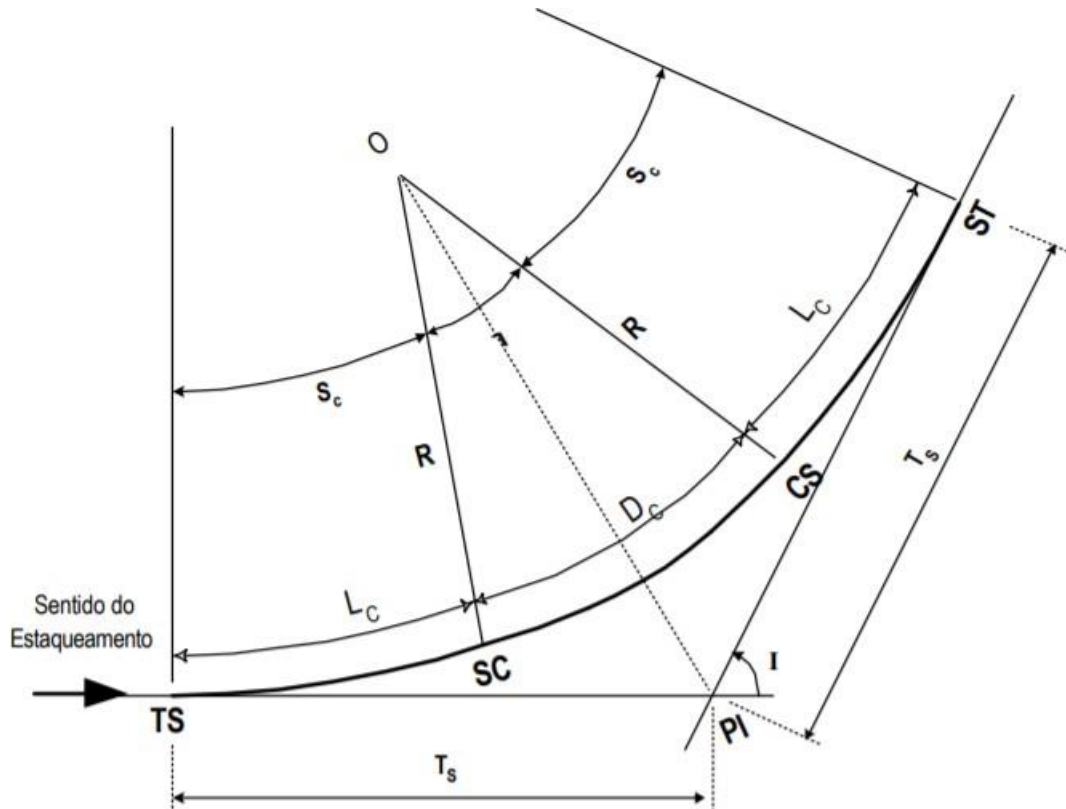
A inclinação da seção transversal e as curvas de transição incorporadas no alinhamento horizontal são componentes que ocorrem juntas, na entrada e na saída das curvas circulares. Todos os veículos passam por uma fase de transição ao entrar e sair de uma curva circular horizontal. Altas velocidades e curvas de raios curtos levam a longos trechos de transição, em tais circunstâncias é introduzido a transição entre a tangente e o grau mais acentuada da curva, facilitando assim que o veículo não invada a faixa de contramão (AASHTO, 2011).

De acordo com Pimenta (2004, p. 35), “ a descontinuidade da curvatura no ponto de passagem da tangente para a circular (PC) e no ponto de passagem da circular para a tangentes (PT) não pode ser aceita em um traçado racional. “ Ficando então estabelecido um segmento com curvatura progressiva para cumprir os seguintes objetivos (PIMENTA, 2004).

- a) Permitir uma variação contínua da superelevação.
- b) Criar uma variação contínua de aceleração centrípeta na passagem do trecho reto para o trecho circular.
- c) Prover um traçado que mantenha o veículo no centro de sua devida faixa.
- d) Gerar um trecho com fluxo, sem descontinuidade da curvatura e esteticamente viável.

Fica definido conforme Shu (2000), o esquema da concordância com espiral de transição dos parâmetros relevantes para a geometria os termos de acordo com a figura 11 a seguir:

Figura 11 - Esquema de concordância com espiral de transição



Fonte: SHU, Han Lee – Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias, 2000.

Sendo:

PI: ponto de interseção das tangentes.

I: ângulo de deflexão.

O: centro da curva circular.

R: raio da curva circular (metros).

Ts: tangente externa (metros).

Lc: comprimento da espiral de transição (metros).

Dc: comprimento do desenvolvimento circular (metros).

Sc: ângulo central correspondente a um ramo da espiral.

γ : ângulo central correspondente a curva circular.

Segundo Pimenta (2004), o comprimento mínimo da espiral de transição (L_c) deve respeitar a três critérios:

1º Critério – Dinâmico: define a taxa máxima de variação da aceleração centrípeta por unidade de tempo, representada pela fórmula 2.11:

$$L_{S_{min}} = 0,036 \frac{V^3}{R_c} \quad (2.11)$$

2º Critério – tempo: é recomendado o tempo mínimo de 2 segundos para percorrer o trecho de transição, descrito assim pela fórmula 2.12:

$$L_{S_{min}} = 0,556 V \quad (2.12)$$

3º Critério – superelevação: de acordo com velocidade de projeto, determina o comprimento mínimo ($L_{S_{min}}$), considerando a superelevação pela fórmula 2.13:

$$L_{S_{min}} = 400 v \quad (2.13)$$

Sendo estabelecido pela portaria nº 19 o valor máximo para a relação da fórmula 2.14:

$$\frac{v}{L_{S_{min}}} = \frac{1}{400} \quad (2.14)$$

Onde:

$L_{S_{min}}$ = comprimento mínimo de transição (metros).

V = velocidade de projeto (km/h).

R_c = raio da curva circular (metros).

v = coeficiente da superelevação.

A tabela 10 mostra os valores do coeficiente da superelevação v para larguras de 3,50 metros de pista relacionados com a superelevação:

Tabela 10 - Coeficiente da superelevação

| Superelevação | Valores de v |
|---------------|--------------|
| 5 | 0,175 |
| 6 | 0,210 |
| 7 | 0,245 |
| 8 | 0,280 |
| 9 | 0,315 |
| 10 | 0,350 |

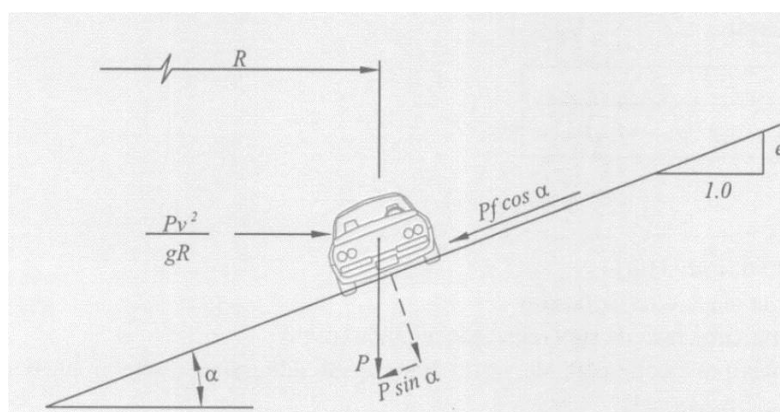
Fonte: A Mira - edição 161, 2012.

2.11 Raios mínimos de curvas horizontais

Segundo o MPGRR (1999, p. 70) “ Os raios mínimos de curvatura horizontal são os menores raios das curvas que podem ser percorridos com a velocidade diretriz e à taxa mínima de superelevação, em condições aceitáveis de segurança e conforto. “

Como demonstrado esquema de forças atuantes na figura 12, um veículo sofre a ação de uma força centrífuga ao realizar uma curva horizontal que é resistida pelo atrito superfície-pneu. O atrito entre a superfície da rodovia e o pneu é mensurado pelo coeficiente de atrito transversal, sendo valores empíricos que vão de 0,50 para 30 km/h a 0,35 para 95 km/h. Porém, não é usual projetar curvas levando em consideração o máximo atrito lateral possível (MPGRR, 1999).

Figura 12 - Forças atuantes sobre um veículo em curvas horizontais



Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, 1999.

Com:

P = peso do veículo (N).

f = coeficiente de atrito transversal.

g = aceleração da gravidade (m/s^2).

v = velocidade do veículo (km/h).

R = raio da curva (m).

α = ângulo que mede a declividade transversal da pista.

$e = tg \alpha$ = superelevação (m/m).

Foi então, segundo o MPGRR (1999), para a determinação dos raios mínimos em função da velocidade diretriz, fixado os valores de coeficiente de atrito transversal

em função da velocidade (tabela 11), que posteriormente deveram ser utilizados na fórmula 2.15 que se segue:

Tabela 11 - Valores de coeficiente de atrito transversal

| Velocidade Diretriz (km/) | Coeficiente de atrito |
|------------------------------|--------------------------|
| 30 | 0,20 |
| 40 | 0,18 |
| 50 | 0,16 |
| 60 | 0,15 |
| 70 | 0,15 |
| 80 | 0,14 |
| 90 | 0,14 |
| 100 | 0,13 |
| 110 | 0,12 |
| 120 | 0,11 |

Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, DNER, 1999.

$$R \text{ mínimo} = \frac{v^2}{127 (emax + fmax)} \quad (2.15)$$

Onde:

R = raio da curva, em metros.

V = velocidade diretriz (km/h).

emax = máxima taxa de superelevação adotada (m/m).

fmax = máximo coeficiente de atrito transversal.

2.12 Superlargura

Segundo Han Lee (2000), nos trechos de tangente os veículos têm, em sua pista de rolamento específica, uma largura executada de forma que eles possam manobrar com liberdade, podendo fazer pequenos desvios e correções no percurso e proporcionando fluidez no trânsito. Porém nos segmentos em curva existe uma diferença devido a duas condições:

- Os veículos ocupam nas curvas um espaço lateral maior que sua própria largura;

b) Deformação visual provocado pela percepção da pista em perspectiva, os segmentos em curva tendem a ter uma aparência mais estreita da pista a frente pelos usuários, limitando-os.

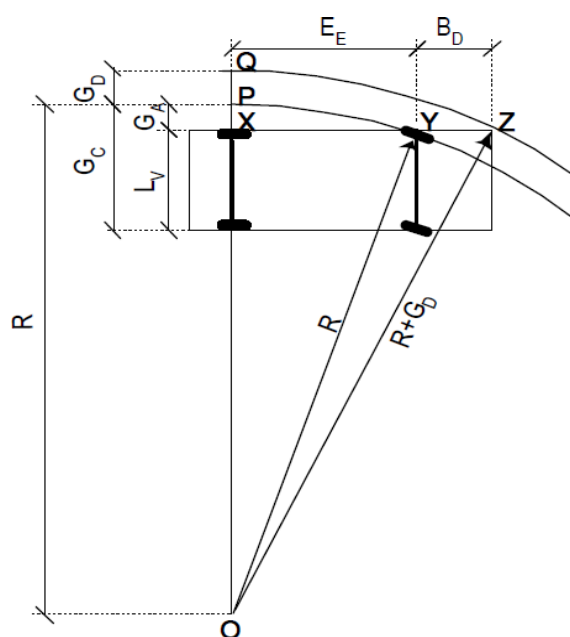
Por isso, conforme as condições citadas, os segmentos de curvas devem ser alargados para melhores condições de tráfego e liberdade de manobra. Esta largura é então denominada de superlargura, sendo dimensionadas para veículos de maior porte, pois os veículos convencionais irão ser atendidos do mesmo jeito (Han Lee, 2000).

Conforme o MPGRR (1999), os critérios a seguir devem ser levados em consideração no dimensionamento da superlargura:

- O eixo traseiro do veículo realiza a curva circular perpendicular a trajetória ou alinhado ao raio da curva.
- A roda externa dianteira faz uma trajetória em curva circular, sendo o raio dessa trajetória equivalente ao raio da concordância horizontal.

A figura 13 demonstra, segundo Han Lee (2000), o esquema representativo de um veículo realizando uma curva circular horizontal e os parâmetros para a realização dos cálculos da superlargura que será demonstrado a seguir.

Figura 13 - Esquema da superlargura



Fonte: HAN, Shu Lee. Introdução ao Projeto Geométrico de Rodovias, 2000.

Antes de iniciar o cálculo da superlargura deve definir o tipo de veículo de operação da via, cada um possui diferentes gabaritos de giro e dimensões. O MPGR (1999), informa estas medidas de acordo com a categoria de cada veículo, sendo quatro categorias como mostrado na tabela 12.

Tabela 12 - Dimensões básicas dos veículos de projeto

| CARACTERÍSTICAS | TIPOS DE VEÍCULOS | | | |
|--|-------------------|-------|-------|-------|
| | VP | CO | O | SR |
| Largura total do veículo (m) | 2.10 | 2.60 | 2.60 | 2.60 |
| Comprimento total do veículo (m) | 5.80 | 9.10 | 12.20 | 16.80 |
| Raio mínimo roda externa dianteira (m) | 7.30 | 12.80 | 12.80 | 13.70 |
| Raio mínimo roda externa traseira (m) | 4.70 | 8.70 | 7.10 | 6.00 |

Fonte: Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, DNER, 1999.

Conforme os parâmetros mostrados no esquema da figura 13, o cálculo da superlargura se faz da seguinte metodologia:

1º Passo: Após definir o veículo de projeto deve ser calculado o gabarito G_C descrito na curva circular, com a largura entre os pneus do veículo L_V acrescida da largura entre o eixo dianteiro e traseiro E_E , pode ser definida como a largura adicional dada por G_A na fórmula 2.16:

$$G_A = OP - OX = R - OX \quad (2.16)$$

Pelo triângulo temos a fórmula 2.17:

$$R^2 = OX^2 + XY^2 = OX^2 + E_E^2 \quad (2.17)$$

Substituindo teremos a fórmula 2.18:

$$G_A = R - \sqrt{R^2 - E_E^2} \quad (2.18)$$

Para consequentemente a fórmula 2.19:

$$G_C = L_V + R - \sqrt{R^2 - E_E^2} \quad (2.19)$$

Onde:

G_C = gabarito da trajetória (m).

L_V = largura entre a parte externa dos pneus (m).

E_E = distancia eixo dianteiro e traseiro (m).

R = raio da curva (m).

2º Passo: Calcular um gabarito causado pelo balanço dianteiro G_D que é um acréscimo de largura provocado pela disposição do veículo na curva, em função do balanço dianteiro B_D , mensurado pela distância entre o eixo dianteiro e a frente do veículo, sendo então a fórmula 2.20:

$$G_D = OQ - OP = OZ - R \quad (2.20)$$

Pelo triângulo temos à fórmula 2.21:

$$OZ = \sqrt{R^2 + B_D \cdot (2 \cdot E_E + B_D)} \quad (2.21)$$

Para enfim chegar na fórmula 2.22:

$$G_D = \sqrt{R^2 + B_D \cdot (2 \cdot E_E + B_D)} - R \quad (2.22)$$

Onde:

G_D = gabarito do balanço dianteiro (m).

B_D = balanço dianteiro (m).

E_E = distância eixo dianteiro e traseiro (m).

R = raio da curva (m).

3º Passo: Acréscimo de largura F_D ou folga dinâmica, compensa a dificuldade de manobra em curvatura horizontal, dada pela fórmula 2.23:

$$F_D = \frac{V}{10\sqrt{R}} \quad (2.23)$$

Onde:

F_D = folga dinâmica (m).

V = velocidade diretriz (km/h).

R = raio da curva (m).

4º Passo: Cálculo da largura total L_T para n faixas de trânsito é dada pela fórmula 2.24:

$$L_T = n \cdot (G_C + G_L) + (n - 1) \cdot G_D + F_D \quad (2.24)$$

Sendo a largura normal da pista L_N , usando a fórmula 2.25:

$$L_N = n \cdot L_F \quad (2.25)$$

Onde:

L_N = largura total na pista em tangente (m).

n = número de faixas.

L_F = largura de projeto da faixa de trânsito (m).

5º Final: Sendo então a largura de superlargura (S_R) da pista em curva circular horizontal definida como a diferença entre a largura total (L_T) e a largura normal (L_N) para a fórmula 2.26:

$$S_R = L_T - L_N \quad (2.26)$$

2.13 Sinalização Manual sinalização

A sinalização pode aparecer de diversas maneiras, sendo em sua maioria: painéis, placas, marcas viárias e dispositivos auxiliares, fazendo o gerenciamento dos veículos quanto ao tráfego, ordenando, advertindo e orientando. Deve prover a atenção e segurança dos usuários para reagirem conforme necessário. Elas têm a função de passar para os usuários os fatores que compõem o ambiente da rodovia, tais como (MANUAL DE SINALIZAÇÃO RODOVIÁRIA - DNIT, 2010):

- a) Velocidade operacional da rodovia.
- b) Características físicas da rodovia.
- c) Característica da região onde passa a rodovia.
- d) Informar se está em área urbana ou rural.

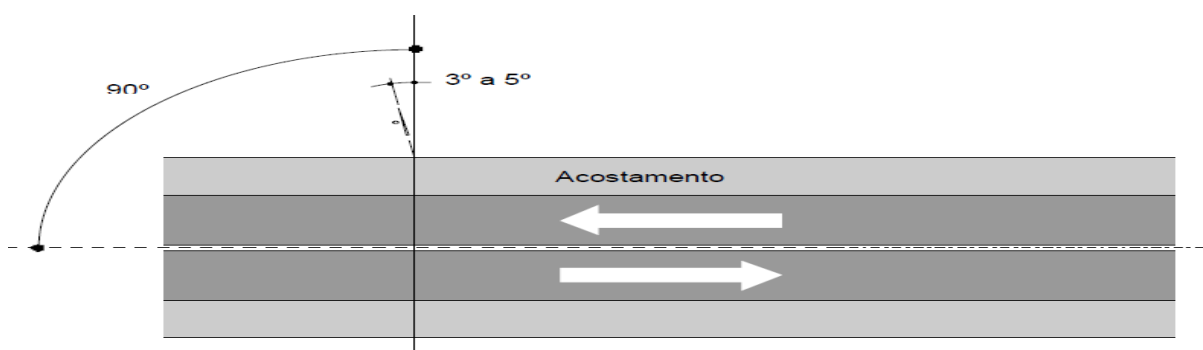
2.13.1 Sinalização Vertical

Sinalização através da comunicação visual, posicionada na vertical e na margem da rodovia ou suspensa por pórticos. Tem a função de informar: o regulamento da rodovia, alertar situações de perigo, indicações, orientação de condução e mensagens educativas, devendo sempre atender as condições (MSR - DNIT, 2010):

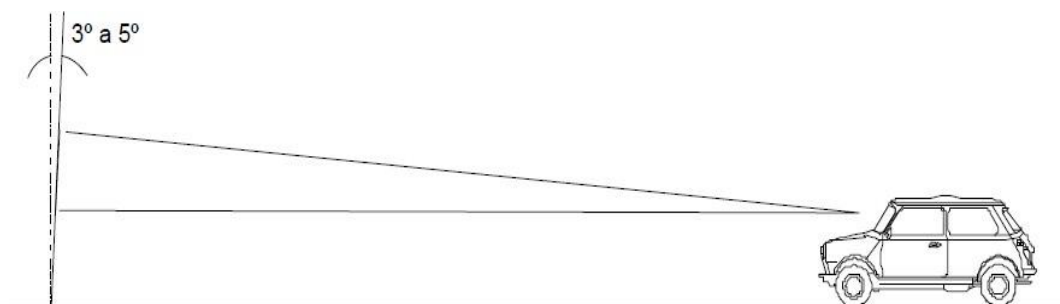
- a) Estar posicionada no campo de visão do usuário.
- b) Autenticidade das mensagens e símbolos.
- c) Informações claras e simples.
- d) Devem ter um padrão.

Seu posicionamento deve conforme o MSR, como regra geral, para os sinais posicionados lateralmente, manter uma deflexão horizontal entre 3° a 5° como mostrado na figura 14 na vista superior e figura 15 na vista de perfil:

Figura 14 – Posicionamento da sinalização transversal – vista superior



Fonte: Manual de Sinalização Rodoviária – DNIT, 2010.

Figura 15 - Posicionamento da sinalização transversal – vista de perfil

Fonte: Manual de Sinalização Rodoviária – DNIT, 2010.

O MSR ainda define, quanto a sinalização vertical, seis tipos identificados por cores e formas geométricas, como mostrado na tabela 13 a seguir:

Tabela 13 - Tipos de sinalização vertical

| Sinalização Vertical | |
|----------------------|----------|
| Tipo | Cor |
| Regulamentação | vermelho |
| Advertência | amarelo |
| Indicação | verde |
| Serviços Auxiliares | azul |
| Educacional | branco |
| Turístico | marrom |

Fonte: Manual de Sinalização Rodoviária – DNIT, 2010.

2.13.2 Sinalização Horizontal

Posicionada horizontalmente na rodovia, a sinalização horizontal é um sistema de marcas, símbolos e legendas demarcadas sobre o revestimento da rodovia, de maneira a proporcionar condições de segurança e dirigibilidade aos usuários como (MSR - DNIT, 2010):

- Centralizar e ordenar o tráfego de veículos.
- Orientar o trajeto dos veículos conforme as condições geométricas da via.
- Atentar sobre as informações passadas pela sinalização vertical de regulamentação e advertência.

- d) Regimentar conforme o Código de Transito Brasileiro, quanto em carência de placas de sinalização vertical, a proibição de ultrapassagem.
- e) Informar simples e claramente.
- f) Prover um tempo de resposta do usuário adequado.
- g) Atender a uma real necessidade.

2.14 Acidentes de Trânsito

Conforme descrito na NBR 10.697 (1989) um acidente é definido como “ [...] todo evento não premeditado de que resulte dano em veículo ou na sua carga e/ou lesões em pessoas e/ou animais, em que pelo menos uma das partes está em movimento nas vias terrestres ou áreas abertas ao público. ” Já o Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada (IPEA), salienta que “ acidente é um evento independente e não intencional do desejo do homem, causado por uma força externa [...] “.

O deslocamento de pessoas e cargas atualmente no Brasil é realizado em sua maioria pelo modal terrestre, sendo assim de extrema relevância a avaliação e análise dos acidentes que ocorrem nas vias terrestres. Não bastando apenas a devida capacitação dos condutores ao conduzir um veículo nas vias de trânsito e nem mesmo as punições que lhe são impostas. É de muita importância que, os acidentes sejam considerados desde o traçado das vias até a gestão de mobilidade, ajudando e passando ao condutor uma pilotagem segura (ACIDENTES RODOVIÁRIOS E A INFRAESTRUTURA - CNT, 2018).

2.14.1 Tipologia dos Acidentes

De acordo com o Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2018), os acidentes de trânsito são classificados da seguinte maneira:

- a) **Atropelamento:** Pedestre(s) ou animal(is) sofre(m) o impacto do veículo, sendo pelo menos um dos envolvidos em movimento.
- b) **Capotamento:** Quando o veículo gira sobre si mesmo, em qualquer sentido, podendo ficar imobilizado com as rodas para cima ou em qualquer posição.

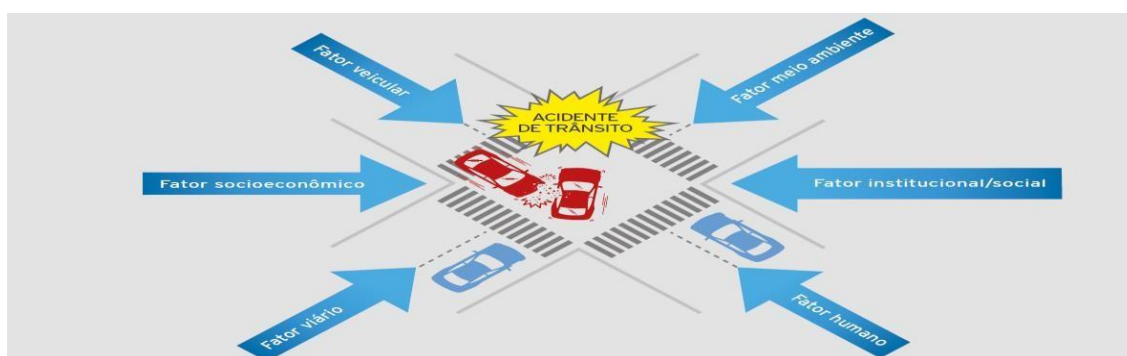
- c) **Choque:** Impacto do veículo contra qualquer outro obstáculo fixo ou móvel, mas sem movimento.
- d) **Colisão:** Veículo em movimento colide com outro veículo, também em movimento.
- e) **Queda:** Impacto de veículos devido à queda livre do veículo, ou queda de cargas sob transporte do mesmo.
- f) **Tombamento:** O veículo sai de sua posição normal, parando sobre uma de suas laterais, frente ou traseira.
- g) **Outros:** Outro acidente que não se encaixe nas descrições feitas anteriormente.

2.14.2 Fatores Contribuintes ao Risco

Acidentes não ocorrem sem motivos, vários fatores estão associados aos acidentes de trânsito. Na maioria das vezes estes acidentes são provocados por uma combinação de fatores, mesmo assim os relatórios da polícia registram os acidentes com apenas um fator de causa em sua maioria. A imprudência dos condutores com a velocidade permitida na via vem sendo o fator de causa mais registrado, mesmo assim não podemos desconsiderar a geometria da pista, que se corrigida pode evitar que vários acidentes aconteçam, mesmo que os condutores ainda ultrapassem o limite de velocidade (ACIDENTES RODOVIÁRIOS E A INFRAESTRUTURA - CNT, 2018).

Conhecer tais fatores facilita a classificação de cada trecho onde os acidentes de trânsito veem acontecendo frequentemente, assim como a determinação de prevenções coerentes a cada caso. Tais fatores são divididos em seis grupos de acordo com a figura 16 abaixo:

Figura 16 - Fatores contribuintes ao risco



Fonte: Acidentes Rodoviários e a Infraestrutura - CNT, 2018.

- a) **Fator Humano:** Conforme Acidentes Rodoviários e a Infraestrutura (2018, p. 24), “ O fator humano está associado ao comportamento do indivíduo no trânsito, seja ele enquanto condutor, seja com pedestre. Esse comportamento, isoladamente ou de forma conjunta com outros fatores, pode contribuir para ocorrência de acidentes. ”
- b) **Fator veicular:** Diretamente relacionado aos problemas mecânicos dos veículos envolvidos em acidentes, geralmente uma falta de manutenção/troca de pneus, faróis, freios e outros. Um dos fatores mais difíceis de se identificar, pois os veículos após os acidentes estão em sua maioria danificados (ACIDENTES RODOVIÁRIOS E A INFRAESTRUTURA - CNT, 2018).
- c) **Fator Institucional/social:** Acidentes Rodoviários e a Infraestrutura (2018, p. 25), “ [...] destacam-se a Regulamentação e o Policiamento (fiscalização). Normalmente, esses aspectos não são considerados como fatores contribuintes na análise de acidentes e pontos críticos. “ Porém as vezes as sinalizações de trânsito podem ser confusas, sendo então mal interpretada pelos condutores vindo a causar acidentes, considerado então um fator relevante na análise (ACIDENTES RODOVIÁRIOS E A INFRAESTRUTURA - CNT, 2018).
- d) **Fator Socioeconômico:** Ligado diretamente com o aumento do fluxo de veículos e o sentido do fluxo, o crescimento da frota e da população não estão sempre aliados com uma adequação da infraestrutura. Surge também a consideração de grupos de risco, por exemplo, jovens de 20 a 30 anos, que tem maior probabilidade de sofrerem acidentes (ACIDENTES RODOVIÁRIOS E A INFRAESTRUTURA - CNT, 2018).
- e) **Fator Meio Ambiente:** Acidentes Rodoviários e a Infraestrutura (2018, p. 26) define que “ O ambiente por onde passa o trânsito é complexo e requer constante atenção daqueles que trafegam por ruas e rodovias. “ Fatores como condições climáticas que deixam o condutor sem total controle do veículo, como, baixa visibilidade, neblina, chuva, árvore na pista e outros, são causadores de acidentes de trânsito.

f) **Fator Viário:** Um dos fatores que serão mais considerados nesta dissertação, conforme descrito em *Acidentes Rodoviários e a Infraestrutura* (2018, p. 27), “ A insegurança causada pelas condições precárias da infraestrutura pode estar associada a problemas de geometria da via (falhas no projeto ou falha na adequação da capacidade), sinalização e ao estado do pavimento. “ Como exemplo temos: placas em posição errada, faixas inexistentes, pontos críticos na via, curvas acentuadas com problema de superelevação, falta de placas de advertência antes das curvas e de dispositivos auxiliares de contenção, falta de placas de limite de velocidade falta de acostamento e outros.

2.15 Projeto Topográfico

Segundo MIBR (2010, p. 128) “ os estudos topográficos objetivam a obtenção de modelos topográficos digitais do terreno, necessários ao estudo dos corredores e a seleção da melhor alternativa de traçado. ”

Conforme Espartel (1978), antes de se projetar qualquer tipo de obra na Engenharia Civil, o levantamento topográfico prévio do local escolhido para implantação é necessário. Executar um levantamento é agir de forma estratégica para se chegar os objetivos da Topografia, ou seja, descrever precisamente os dados colhidos em campo como, os ângulos e distâncias, os cálculos e os desenhos. Resumindo, a topografia tem como principal objetivo delimitar o contorno, dimensão e posição relativa de uma parcela da superfície terrestre, tendo como base a Geometria e Trigonometria.

2.15.1 GPS GNSS RTK - Modelo CHC X91+

O modelo de GPS X91+ - Real Time Kinematic (RTK) CHC são compostos por receptores Global Navigation Satellite System (GNSS), como mostrado na figura 17 e assim como as especificações técnicas na figura 18, compactos e projetados para serviços topográficos de alta precisão. De fácil e pratico manejo mesmo em ambientes de difícil acesso. O receptor e antena GNSS está integrado a um rádio Ultra High Frequency (UHF) e modem GSM/GNSS, possui tecnologia Bluetooth que comunica com o coletor de coordenadas (CHCNAV – Sistemas GNSS RTK CHC).

Figura 17 - GPS CHC RTK X91+ GNSS



Fonte: All-in-one X9x RTK GPS User's Manual, 2017.

Figura 18 - Especificações Técnicas - GPS CHC RTK X91+ GNSS

| ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS | | X91+ |
|---|--|--|
| | |  |
| CARACTERÍSTICAS GNSS | | |
| Número de Canais | | 220 |
| Placa GNSS Principal | | Trimble (BD970) |
| Sinais Rastreados: | | GPS: L1C/A, L1C, L2C, L2E, L5 GLONASS: L1C/A, L1P, L2C/A, L2P, L3 SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS Galileo: E1, E5A, E5B BeiDou: B1, B2 |
| Tecnologia avançada de redução do multicaminhamento | | Sim |
| Medição de fase da portadora com baixo ruído | | Sim |
| Taxa de atualização | | Até 20 Hz |

Fonte: CHCNAV – Sistemas GNSS RTK CHC.

2.15.2 Técnica GNSS no modo RTK

Sendo um dos métodos mais precisos e produtivos da atualidade, a técnica GNSS no modo RTK, é composto por uma base receptora com RTK, receptor GNSS, mais um rádio adicionado que recebem e transmite as correções diferenciais conforme a figura 19, e um coletor de coordenadas com RTK mostrado na figura 20 (A MIRA, 2012).

Figura 19 - Receptor RTK na base

Fonte: Acervo do Autor, 2019.

Figura 20 - Coletor de pontos com RTK

Fonte: Acervo do Autor, 2019.

O receptor instalado na base, de coordenadas conhecidas, recebe os sinais dos satélites e determina assim sua posição, logo após compara as coordenadas calculadas com as coordenadas existentes e transmite, pelo rádio, as discrepâncias para o receptor móvel. Já o receptor móvel recebe os sinais dos satélites e calcula a sua posição, fazendo a correção das discrepâncias observadas na base das coordenadas calculadas, e em tempo real apresenta as coordenadas corrigidas (A MIRA, 2012).

O erro médio nas coordenadas acusadas pelo receptor móvel é de 1 cm nas coordenadas e 2 cm no componente vertical (cotas). Os rádios disponibilizados no mercado, tem seu alcance entre 2 a 3 km, sendo que nesta distância, o erro devido

ao não paralelismo entre as superfícies do geoíde e do elipsoide é inferior a 2 cm. O operador do receptor, no modo RTK, deve se atentar a variação do sinal em campo, tanto de rádio, como dos sinais de satélite, por esta razão não funciona em locais de rastreabilidades, com em grandes centros com altas edificações e dentro de mata densa (A MIRA, 2012).

O receptor móvel só marcar as coordenadas do ponto se estiver em concordância entre os sinais de rádio e dos satélites, sendo desta forma uma garantia de precisão, pois se as coordenadas dos pontos foram marcadas, então, estão corretas. O receptor base deve ser relocado de vértice quando o receptor móvel parar de receber o sinal de rádio, neste cenário utiliza-se um vértice (piquete) anotando as coordenadas e altitude, e então muda se o receptor para a nova base, e se prossegue com o levantamento. Raramente esta situação ocorre (A MIRA, 2012).

3 METODOLOGIA PROCEDIMENTOS TÉCNICOS DA PESQUISA

3.1 Classificação da pesquisa

A abordagem ou a natureza da pesquisa é qualitativa pois se baseia em normas padronizações afim de obter resultados pré-dimensionados, exploratória por que estuda um determinado caso analisando-o e procurando compreender o problema. O estudo de caso apresentado pode ser resumido em quatro etapas: exploratória ou coleta e levantamentos de dados e estatísticas, processamento dos dados, análise e interpretação dos dados e ao final uma proposta de melhoria do problema.

Conforme Gil (1991), a pesquisa exploratória tem como objetivo principal desenvolver, esclarecer e modificar conceitos e ideias, tendo em vista a formulação de problemas mais precisos ou hipóteses pesquisáveis para estudos posteriores. Habitualmente envolvem levantamento bibliográfico e documental, entrevistas não padronizadas e estudos de caso abordando procedimentos de amostragem e técnicas quantitativas de coleta de dados.

Ainda com Gil (1991), as pesquisas exploratórias constituem a primeira etapa de uma investigação mais ampla, o tema escolhido por ser bastante genérico se fez necessário seu esclarecimento e delimitação exigindo uma revisão da literatura, discussão e outros procedimentos.

3.2 Descrição do objeto de estudo

Para a realização deste estudo foi escolhido uma curva localizada na BR-116 que é a considera a rodovia principal do Brasil e também a mais extensa em questões de pavimentação, ligando o Nordeste ao Sul começando em Fortaleza-CE e encerrando em Jaguarão-RS conforme a figura 21.

Figura 21 - BR-116



Fonte: Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/bit/trodo/br-116/gbr-116.htm>>. Acesso em: 10/11/2019.

A curva está localizada a 1 km do trevo Ipatinga-mg e Belo Horizonte-MG no km 489 da BR-116 (figura 22 - (b)) que é denominado Rodovia Santos Dummont (figura 22 - (a) e figura 23), compreendido pelo trecho que vai de Fortaleza-CE ao estado do Rio de Janeiro no entroncamento com a BR-040. Sendo que a curva aqui estudada fica entre a cidade de Inhapim-MG e o trevo Ipatinga-MG/Governador-Valadares-MG.

Figura 22 - Placa Rodovia Santos Dummont - BR-116 (a) e Marco do KM - 489 na BR - 116 (b)



Fonte: Acervo do Autor, 2019.

(a)

(b)

Figura 23 - Objeto de estudo



Fonte: Acervo do Autor, 2019.

3.3 Levantamento de Dados

3.3.1 Levantamento topográfico em campo

Foi realizado no dia 25 de maio de 2019 a visita em campo na Rodovia Santos Dummont na BR-116 entre os km 488 e 489 (figura 24), juntamente com o Engenheiro Civil Thomaz Cimini Chagas Portugal, registrado no CREA/MG sob o número 135.470/D, onde foi realizado um levantamento topográfico do trecho da curva, fazendo assim a etapa preliminar do estudo.

Figura 24 - Vista de satélite - BR-116 no KM-489



Fonte: GOOGLE EARTH-MAPAS, <[Http://mapas.google.com](http://mapas.google.com)>. Consulta realizada em 16/03/2019.

Usando um GPS RTK X 91+ da figura 25 – (a), devidamente instalado na base receptora (figura 25 – (b)), onde coletamos as coordenadas UTM no eixo (figura 26 – (a)) e nas faixas laterais do acostamento (figura 26 – (b)) da rodovia no segmento de transição e em curvatura horizontal, do qual foram utilizados posteriormente como pontos de georreferenciamento nos softwares TopoEVN e Autodesk Civil 3D.

Figura 25 - GPS RTK X 91+ (a) e Receptor instalado na base (b)



Fonte: Acervo do Autor, 2019.

(a)

(b)

Figura 26 - Coleta de coordenadas no eixo (a) e Coleta de coordenadas na faixa de acostamento (b)



Fonte: Acervo do Autor, 2019.

(a)

(b)

3.3.2 Projeto Original

Afim de coletar maiores parâmetros para o estudo, foi requerido através de um ofício formal junto ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) de Caratinga – MG o Projeto Original do trecho no km-489 da BR-116. Ofício encontra-se no anexo C e foi encaminhado no dia 28 de junho de 2019 à Engenheira Chefe Mônica de Las-Casas Tavares, do qual foi fornecido na mesma data o Projeto Geométrico, como mostrado no anexo A na folha de tamanho A3.

3.3.3 Registro de Acidentes

A BR-116 em toda sua extensão, apareceu 21 vezes na lista dos 100 trechos classificados como mais perigosos de Rodovias Federais, que foi elaborado em 2017 pela Confederação Nacional do Transporte (CNT) com dados da Polícia Rodoviária Federal (PRF). O trecho escolhido no km 489 da BR-116, como dito anteriormente, aparece também neste ranking ocupando o 34ª (trigésima quarta) posição como demonstrado na tabela 14, com uma taxa de 8 mortes a cada 10 acidentes.

Tabela 14 - Lista dos 100 trechos classificados como mais perigosos - 2017

| Rodovia | UF | Município | Extensão Pesquisada | Início do Trecho (Km) | Fim do Trecho (Km) | Nº de Mortes | Nº de Acidentes | Mortes por 100 Acidentes | Posição |
|---------|----|--------------------|---------------------|-----------------------|--------------------|--------------|-----------------|--------------------------|---------|
| BR-040 | MG | Ribeirão das Neves | 10 | 506,7 | 516,7 | 8 | 146 | 5,5 | 26 |
| BR-116 | PR | Fazenda Rio Grande | 10 | 119,2 | 129,2 | 8 | 87 | 9,2 | 27 |
| BR-476 | PR | Curitiba | 4 | 139,3 | 143,3 | 8 | 46 | 17,4 | 28 |
| BR-116 | SP | Arujá | 10 | 179 | 189 | 8 | 45 | 17,8 | 29 |
| BR-116 | RJ | Magé | 10 | 126,3 | 136,3 | 8 | 37 | 21,6 | 30 |
| BR-101 | RJ | Itaboraí | 10 | 282,9 | 292,9 | 8 | 33 | 24,2 | 31 |
| BR-293 | RS | Capão do Leão | 10 | 11,3 | 21,3 | 8 | 23 | 34,8 | 32 |
| BR-381 | MG | Jaguará | 10 | 268,3 | 278,3 | 8 | 10 | 80,0 | 33 |
| BR-116 | MG | Inhapim | 10 | 485,8 | 495,8 | 8 | 10 | 80,0 | 34 |
| BR-262 | ES | Iúna | 10 | 179 | 189 | 8 | 8 | 100,0 | 35 |

Fonte: Elaboração CNT com dados da pesquisa CNT de Rodovias e da Polícia Rodoviária Federal.

O histórico dos últimos 5 anos de acidentes foi elaborado, com base nos dados disponíveis pela Polícia Rodoviária Federal (PRF), que relaciona os fatores de

relevância para o estudo que se seguiu, tais como: data, quilometragem, causa do acidente, tipo do acidente, sentido e traçado, a tabela 15 a seguir resume:

Tabela 15 - Histórico de acidentes

| Data | Km | Causa do Acidente | Tipo de Acidente | Sentido | Traçado |
|------------|-------|-------------------------|------------------|-------------|---------|
| 21/01/2019 | 488 | Velocidade incompatível | Tombamento | Crescente | Curva |
| 12/11/2018 | 488 | Velocidade incompatível | Tombamento | Decrescente | Curva |
| 28/10/2016 | 489 | Dormindo | Saída de pista | Crescente | Curva |
| 23/02/2015 | 488.9 | Falta de atenção | Tombamento | Crescente | Curva |
| 21/03/2015 | 488.9 | Velocidade incompatível | Colisão frontal | Crescente | Curva |
| 21/03/2015 | 488.9 | Velocidade incompatível | Saída de pista | Crescente | Curva |
| 27/06/2015 | 488 | Velocidade incompatível | Tombamento | Crescente | Curva |
| 10/08/2015 | 489 | Velocidade incompatível | Tombamento | Crescente | Curva |
| 15/08/2015 | 488.9 | Velocidade incompatível | Tombamento | Crescente | Curva |
| 18/08/2015 | 489.3 | Ultrapassagem indevida | Colisão frontal | Crescente | Curva |
| 19/12/2015 | 489 | Defeito mecânico | Incêndio | Decrescente | Curva |

Fonte: Elabora com dados da Polícia Rodoviária Federal, <<https://portal.prf.gov.br/dados-abertos-acidentes>>. Consulta realizada em 13/08/2019.

Deve se levar em conta que nem todos acidentes foram registrados pela Polícia Rodoviária Federal (PRF), ou foram registrados, porem os dados ainda não foram atualizados no site. Por esta razão, o noticiário local também será levado em consideração (pois reforça a situação de perigo do trecho de estudo) no levantamento dos acidentes como mostrado a seguir:

a) Acidente 1 do tipo colisão, ocorreu em 05 de outubro de 2016, no Km 489 da Br-116, com duas fatalidades como mostrado na reportagem da Doctum TV, a figura 27 a seguir:

Figura 27 - Acidente 1



Fonte: Doctum TV. Disponível em:

<<https://www.facebook.com/tvdoctum/posts/1085808018134946/>>. Consulta realizada em 22/05/2019.

b) Acidente 2 do tipo colisão, aconteceu em 16 de maio de 2018, de acordo com a notícia publicada pelo Diário de Caratinga, mostrado a seguir pela figura 28.

Figura 28 - Acidente 2



Fonte: Diário de Caratinga. Disponível em: <<https://diariodecaratinga.com.br/acidente-na-br-116-em-inhapim-envolve-tres-veiculos/>>. Consulta realizada em 22/05/2019.

c) Acidente 3 do tipo tombamento, sendo que carreta veio a pegar fogo após o tombamento devido o tipo de carga, que era de materiais corrosivos e inflamáveis de acordo com a Rádio Cidade de Caratinga o acidente ocorreu em 12 de novembro de 2018 (figura 29).

Figura 29 - Acidente 3



Uma carreta tombou e pegou fogo na manhã de hoje (12) no KM 489 da BR-116, em Inhapim. José Humberto Ribeiro, de 47 anos, era quem conduzia o caminhão. A suspeita é de que ele não tenha conseguido fazer a curva. De acordo com o comandante Proença, da Equipe de Bombeiros Civis de Dom Cavati, o caminhoneiro foi retirado por populares do veículo que era tomado pelo fogo:

Fonte: Radio Cidade Caratinga. Disponível em: <<http://www.radiocidadecaratinga.com.br/2018/11/12/caminhao-tomba-e-pegua-fogo-no-km-489-da-br-116-proxima-a-inhapim/>>. Consulta realizada em 22/05/2019.

d) Acidente ocorrido no dia 18 de agosto de 2015, segundo informações da Polícia Rodoviária Federal (PRF), um veículo compacto que seguia sentido Belo Oriente fez a manobra de ultrapassagem e colidiu com outro veículo deixando duas pessoas feridas, a figura 30 mostra os detalhes do acidente.

Figura 30 - Acidente 4

Duas pessoas ficam feridas após acidente na BR-116, no município de Inhapim



Dois homens ficaram feridos após um acidente na manhã desta terça-feira, 18 de agosto, no quilômetro 489 da BR-116, em Inhapim (MG). Segundo informações da Polícia Rodoviária Federal (PRF), um carro que seguia sentido a cidade Belo Oriente fez uma ultrapassagem e bateu em outro veículo, em seguida caiu em uma ribanceira. As vítimas foram socorridas por terceiros e encaminhadas a hospitais de Ipatinga.

Fonte: Aconteceu no Vale. Disponível em: < <http://aconteceunovale.com.br/portal/?p=65848/>>. Consulta realizada em 13/11/2019.

3.4 Tratamento de dados

Os dados coletados passaram por uma análise comparativa entre o levantamento topográfico, onde foi possível ser modelado o As Built nos softwares TopoEVN e Autodesk Civil 3D, com o projeto original e o histórico de acidentes, afim de compreender e os elementos do objeto de estudo existentes em desconformidade.

3.5 Proposta de melhorias

Depois de identificado os elementos em desconformidade e com o auxílio novamente dos softwares TopoEVN e Autodesk Civil 3D, foi então proposto um novo Projeto da curva com as devidas alterações.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análise Visual

Durante a realização do levantamento topográfico foi inspecionado a condição atual da curva, onde foi observado as seguintes situações:

1ª Situação: Foi identificado a falta de sinalização transversal, constando apenas um sinal de advertência indicando a curva acentuada à direita e um sinal de regulamentação a velocidade máxima permitida, ambos no sentido decrescente da rodovia como mostrado na figura 31 – (a), e uma contenção no lado externo da curva conforme figura 31 – (b). Já no sentido crescente da rodovia existe linhas de estímulo a redução da velocidade (LRV) e não há sinal de advertência e nem sinal de regulamentação a velocidade máxima permitida, a figura 32 mostra a existência apenas de faixas transversal de redução a velocidade.

Figura 31 - Sinal de advertência e regulamentação (a) e Contenção da parte externa da curva circular (b)



Fonte: Acervo do Autor, 2019.

(a)

(b)

Figura 32 - Linhas de estímulo a redução da velocidade (LRV)



Fonte: Acervo do Autor, 2019.

2ª Situação: A curva horizontal possui em sua extensão três acessos mostrados na figura 33, sendo que o 1º e 2º acesso com ponto de parada de ônibus das linhas da Viação Rio Doce que realizam o traslado entre Caratinga-MG à Ipatinga-MG e Caratinga-MG à Governador-Valadares-MG, ou vice e versa, sendo atendido também cidades menores no decorrer do percurso.

Figura 33 - Locação das entradas existentes



Fonte: GOOGLE EARTH-MAPAS, <[Http://mapas.google.com](http://mapas.google.com)>. Consulta realizada em 10/11/2019.

O 1º acesso do lado esquerdo da rodovia no sentido crescente e localizado a 115,00 metros do início da curva circular de transição horizontal, como indicado na figura anterior, possui um ponto de parada de ônibus sem sinalização delimitadora de

parada, sem marca delimitadora de parada de veículos específicos (MVE) e ainda sem abrigo para passageiros. A figura 34 – (a) e (b) mostra respectivamente como tem sido feito a manobra de espera para entrar na rodovia e a entrada na pista de rolamento da rodovia dos veículos que fazem o uso deste acesso.

Figura 34 - Espera para manobra de entrada (a) e manobra de entrada (b) na pista de rolamento no 1º acesso



Fonte: Acervo do Autor, 2019.

(a)

(b)

Localizado a 105,00 metros da curva circular horizontal, e do lado direito da rodovia no sentido crescente, o 2º acesso existente possui outro ponto de parada de ônibus nas mesmas condições, sem sinalização delimitadora de parada, sem marca delimitadora de parada de veículos específicos (MVE) e abrigo para passageiros. A figura 35 – (a) e (b) mostra respectivamente a vista frontal e transversal do 2º acesso. O 3º acesso não possui fluxo de veículos, sendo então avaliado como pouco relevante.

Figura 35 - Vista frontal (a) e transversal (b) do 2º acesso



Fonte: Acervo do Autor, 2019.

(a)

(b)

3º Situação: O pavimento apresenta algumas patologias, na figura 36 – (a) podemos perceber marcas de reparo de buracos, assim como a formação de novos buracos oriundos de trincas interligadas como mostrado na figura 36 – (b).

Figura 36 - Marcas de reparo de buracos (a) e trincas interligadas



Fonte: Acervo do Autor, 2019.

(a)

(b)

Foi observado a formação de trincas longitudinais e interligadas (figura 37 - (a)), e marcas de reparo, marcas de queimadura e uma depressão (afundamento) na parte central da faixa de rolamento mostrado na figura 37 – (b) a seguir:

Figura 37 - Trincas longitudinais e interligadas (a) e marcas de reparo, queimaduras e afundamento (b)



Fonte: Acervo do Autor, 2019.

(a)

(b)

4.2 Análise da geometria da curva de transição horizontal

4.2.1 TopoEVN

Após a realização do levantamento topográfico foi feito o processamento dos dados fornecidos pelo GPS RTK X 91+. O GPS fornece um arquivo do no formato .txt com as coordenadas UTM. Onde foi utilizado como parâmetros de entrada no software TopoEVN para uma modelagem do traçado, de onde obtivemos os seguintes resultados e comparamos com o os valores da curva 4 do Projeto Original do anexo A. A tabela 16 a seguir mostra a comparação dos elementos geométricos:

Tabela 16 - Comparação dos elementos geométricos

| Projeto Geométrico | Raio | AC | Lc | Ts |
|--------------------|----------|-----------|---------|----------|
| Original | 190,58 m | 51°58'25" | 90,00 m | 138,87 m |
| As Built | 172,24 m | 51°42'44" | 90,00 m | 113,95 m |

Fonte: Elaborado com dados do acervo do autor (2019) e dados do DNIT.

Para saber se estes valores estão em conformidade com as normas do DNER, segundo o MPGR, foi calculado então o raio mínimo, considerando a velocidade de projeto de 60 km/h, e adotando a superelevação conforme a tabela 9 de $e_{max} = 10\%$ e o coeficiente de atrito transversal de acordo com a tabela 10 de $f_{max} = 0,15$, então utilizando a formula 2.15, temos:

$$R_{\text{mínimo}} = \frac{v^2}{127(e_{max} + f_{max})} = \frac{60^2}{127(0,05 + 0,15)} \quad (2.15)$$

$$R_{\text{mínimo}} = 141,73 \text{ metros} = 142,00 \text{ metros}$$

Os raios da tabela 14 estão diferentes, o raio do Projeto Original está 18,34 metros maior que o do Projeto As Built, porem ambos estão em conformidade. Com o cálculo foi possível fazer esta afirmação, já que o raio mínimo para esta curva horizontal é de 141,73 metros. O ângulo AC encontrado no Projeto As Built possui o mesmo valor do Projeto Original. Por ser uma curva de transição a curva possui uma largura de transição Lc mínima, considerando a velocidade de projeto de 60 km/h e o raio do Projeto As Built, onde foi considerado o maior dos valores abaixo:

a) Critério dinâmico pela formula 2.11:

$$L_{s_{min}} = 0,036 \frac{V^3}{R_c} = 0,036 \cdot \frac{60^3}{172,24} = 45,14 \text{ metros} \quad (2.11)$$

b) Critério tempo pela formula 2.12:

$$L_{s_{min}} = 0,556 V = 0,556 \cdot 60 = 33,36 \text{ metros} \quad (2.12)$$

c) Critério da superelevação com valores de $v = 0,175$ da tabela 10 correspondentes a superelevação de 5%, pela formula 2.13 temos:

$$L_{s_{min}} = 400 v = 400 \cdot 0,175 = 70,00 \text{ metros} \quad (2.13)$$

Conclui-se que a largura mínima do trecho de transição da curva esta conformidade com os valores mínimos segundo o DNER nas normas do MPGRR, já que o valor adotado na execução foi de 90,00 metros.

4.2.2 Autodesk Civil 3D

Para a análise de outros elementos geométricos foi utilizado o software Autodesk o Civil 3D. Com os mesmos dados do levantamento topográfico, arquivo .txt de coordenadas UTM, obtivemos a modelagem dos elementos a seguir:

4.2.2.1 Distância de visibilidade

Primeiramente foi calculado a distância de visibilidade em curvas horizontais. Essa distância é referente a algum tipo de obstáculo localizado no terreno fora da parte pavimentada, distância de visibilidade de ultrapassagem e de tomada de decisão ou de parada. Esses obstáculos podem atrapalhar a visibilidade dos condutores ao realizar a curva circular horizontal. Conforme descrito no capítulo 2 e subtítulo 2.10, para uma curva de raio R existe uma distância mínima do eixo da pista até o obstáculo

que garante a visibilidade ao condutor, essa distância é então relacionada pelas fórmulas 2.6:

$$m = 2R \operatorname{sen}^2 \frac{d G_{20}}{80} \quad (2.6)$$

Primeiramente calcula-se o valor de G_{20} para estacas de 20 em 20 metros, utilizando o $R = 172,24$ metros obtido com o software TopoEVN, temos:

$$G_{20} = 180 \cdot \frac{20}{\pi R} = \frac{1145,92}{172,24} = \frac{1145,92}{172,24} = 6,65 \text{ metros} \quad (2.7)$$

Com os valores das estacas da parte em circunferência do Projeto As Built ainda no TopoEVN temos o comprimento circular d igual a:

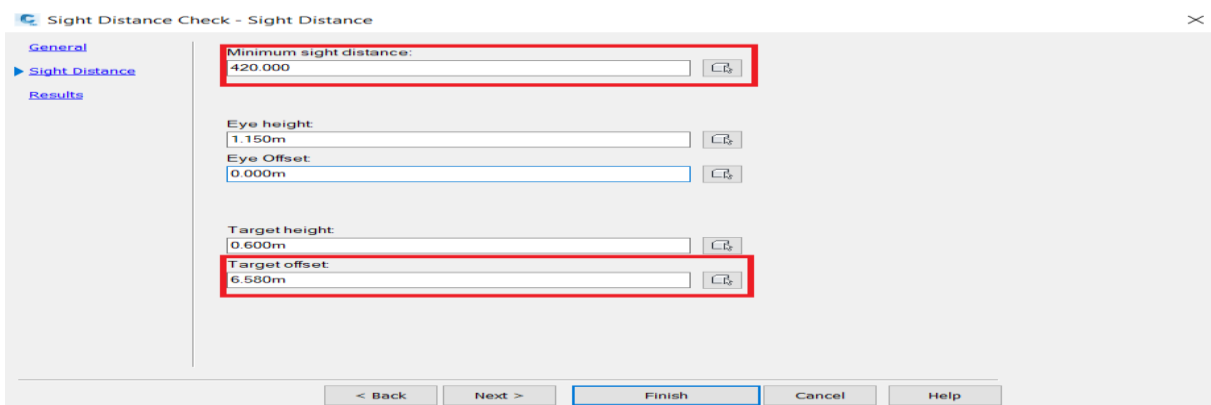
$$d = (\text{EST. 110} + 15,62) - (\text{EST. 103}) = 95,62 \text{ metros}$$

Com o valores de G_{20} e d calculamos o offset mínimo, temos:

$$m = 2R \operatorname{sen}^2 \frac{d G_{20}}{80} = 2 \cdot 172,24 \operatorname{sen}^2 \left\{ \frac{95,62 \cdot 6,65}{80} \right\} = 6,58 \text{ metros} \quad (2.6)$$

Adotando então a distância de visibilidade da tabela 7, sendo 420,00 metros para velocidade diretriz de 60km/h, e com os valores de offset ao eixo da pista de 6,58 metros calculado anteriormente, para uma rodovia classe 0, temos (figura 38):

Figura 38 - Configuração da distância de visibilidade



Fonte: Auto Desk Civil 3D e Acervo do Autor, 2019.

Após configurado conforme as normas do MPGRR, o software analisa a distância de visibilidade do condutor conforme a figura 39. As linhas em branco representam a visibilidade do condutor de 20,00 em 20,00 metros, mostrando nenhum erro e com ótima visualização do começo ao final da curva circular horizontal.

Figura 39 - Distância de visibilidade



Fonte: Auto Desk Civil 3D e Acervo do Autor, 2019.

4.2.2.2 Superelevação

Primeiramente vale salientar que a curva horizontal de transição aqui estudada não possui dispensa de superelevação, como mostrado na tabela 8, para rodovias com velocidade diretriz de 60 km/h apenas os raios acima de 1800,00 metros não necessitam de superelevação na seção transversal. A seguir o cálculo da superelevação ideal para o caso usando a fórmula 2.9:

$$e = e_{max} \left(\frac{2R_{min}}{R} - \frac{R_{min}^2}{R^2} \right) = 10 \cdot \left\{ \frac{2 \cdot 142,00}{172,24} - \frac{142,00^2}{172,24^2} \right\} = 9,69 \% \quad (2.9)$$

Onde foi adotado:

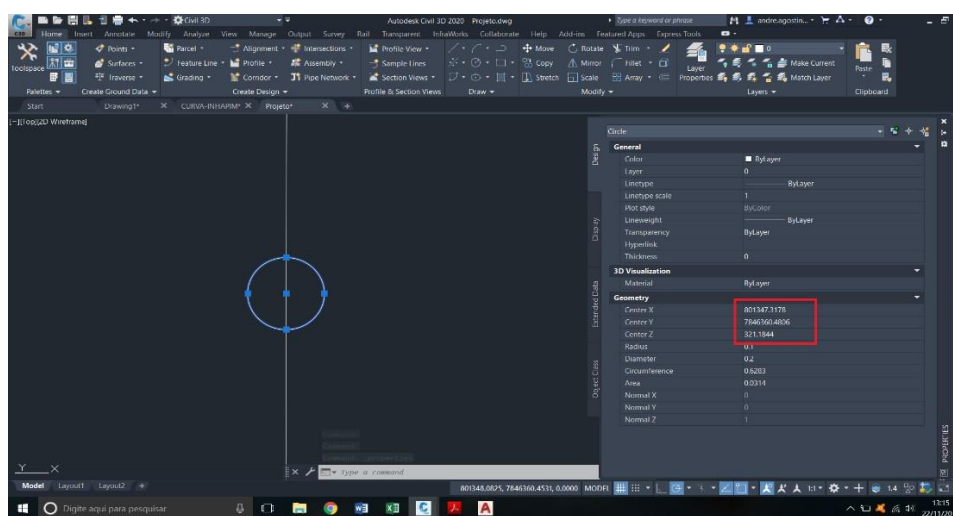
$R = 172,24$ metros oriundo do Projeto As Built.

$R_{min} = 142,00$ metros calculado no subtítulo 4.4.1.

$e_{max} = 10\%$ pela tabela 9 (classe 0).

Sendo assim agora é necessário calcular a superelevação existente na curva circular de transição horizontal. Usando as cotas das coordenadas UTM obtidas em campo no levantamento topográfico com o uso do GPS RTK X 91+, onde foi inserida no software Autodesk Civil 3D para uma modelagem para uma identificação mais fácil das coordenadas de eixo e de bordo conforme a figura 40. Após esta identificação foi calculado a superelevação para cada coordenada como mostrado na tabela 17 a seguir considerando uma largura de faixa de 3,60.

Figura 40 - Cotas



Fonte: Auto Desk Civil 3D e Acervo do Autor, 2019.

Tabela 17 - Superelevação existente

| Lado esquerdo cotas | Eixo cotas | Lado direito cotas | Superelevação | |
|---------------------|------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| | | | Lado esquerdo-Eixo | Eixo-Lado direito |
| 319.82 | 320.00 | 320.11 | -5 | 3 |
| 319.52 | 319.72 | 319.90 | -6 | 5 |
| 319.27 | 319.57 | 319.80 | -8 | 6 |
| 319.19 | 319.49 | 319.77 | -8 | 8 |
| 319.13 | 319.46 | 319.74 | -9 | 8 |
| 319.17 | 319.53 | 319.72 | -10 | 5 |
| 319.36 | 319.74 | 319.76 | -11 | 1 |
| 319.55 | 319.93 | 319.95 | -11 | 1 |
| 319.86 | 320.16 | 320.10 | -8 | -2 |
| 320.05 | 320.30 | 320.25 | -7 | -1 |
| 320.24 | 320.44 | 320.41 | -6 | -1 |
| 320.41 | 320.53 | 320.49 | -3 | -1 |
| 320.56 | 320.62 | 320.59 | -2 | -1 |
| 321.04 | 321.09 | 320.65 | -1 | -12 |
| 321.39 | 321.44 | 321.18 | -1 | -7 |

Fonte: Auto Desk Civil 3D e Acervo do Autor, 2019.

Para o cálculo das superelevações foi utilizado a seguinte fórmula mostrada a seguir no cálculo da primeira superelevação Lado esquerdo-Eixo e Eixo-Lado direito respectivamente:

$$e = \frac{\{(319,82-320,00)*100\}}{3,6} = -5\%$$

$$e = \frac{\{(320,11-320,00)*100\}}{3,6} = 3\%$$

A tabela 18 a seguir mostra o relatório feito pelo software onde mostra os valores ideais da superelevação:

Tabela 18 - Superelevação ideal

| Lado esquerdo-Eixo | Eixo-Lado direito |
|--------------------|-------------------|
| -5% | -5% |
| 2% | -2% |
| 0% | 0% |
| -7% | 7% |
| -7% | 7% |
| 0% | 0% |
| 2% | -2% |

Fonte: Auto Desk Civil 3D e Acervo do Autor, 2019.

Levando se em consideração o sentido dos acidentes, sendo em sua maioria do sentido crescente da BR-116 como mostrado na tabela 15, ou seja, os veículos que realizam a curva a esquerda têm mais chance de sair pela tangente devido à falta de superelevação ideal, resultando assim em acidentes frequentes.

Conforme Roesler (2018), em seu artigo Readequação Geométrica de Curvas em Rodovias para Velocidade de 110 km/h, onde foi calculado o raio e superelevação existentes em uma curva na BR-376 entre o km 194+224,887 ao 195+264,526. Nos cálculos foi encontrado um raio de 1.327,00 metros e superelevação de 2,83%, com o valor do raio foi então calculada a superelevação ideal para o tal, onde foi encontrado um valor de 4,82%, quase 2 vezes maior. Após os cálculos Roester (2018, p. 18), afirma que:

“ Com a alteração, a curva passa a proporcionar aos usuários que trafegam pelo mesmo maior conforto, pois passa a sentir menos a força centrífuga causada apela curva, maior segurança, uma vez que a força utilizada ao volante para realizar a curva tende a ser maior, e maior economia, uma vez

que torna-se desnecessário o uso do sistema de freios antes da curva diminuir a velocidade para a mesma [...]"

Portanto foi possível demonstrar singularidade entre os casos, pois ambas estão com a superelevação em desconformidade com o raio e a velocidade diretriz, sendo então uma necessidade de readequar a superelevação para se aumentar a segurança e conforto dos usuários.

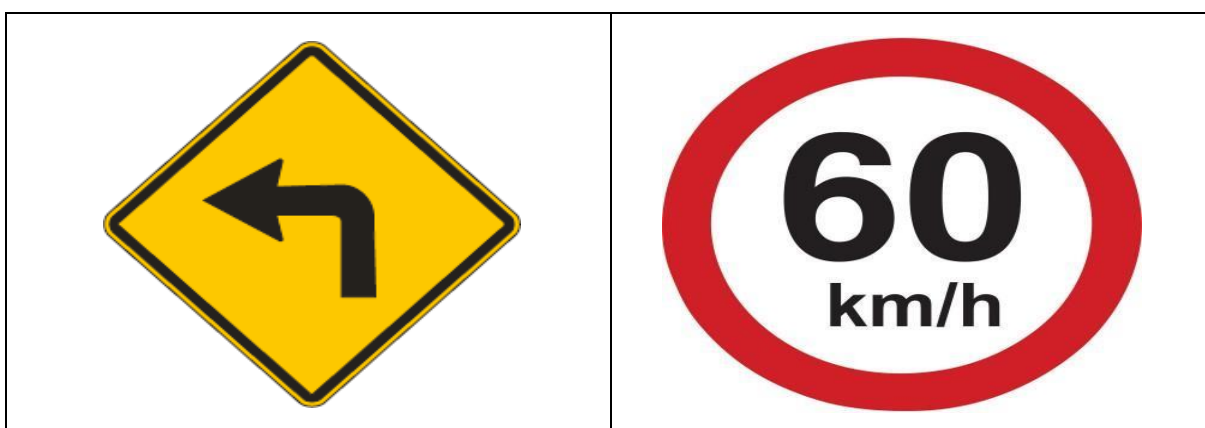
4.3 Possíveis Melhorias

4.3.1 Sinalização

Das melhorias de baixo custo considera-se a sinalização de advertência e regulamentação. Como mostrado na metodologia o trecho possui uma deficiência de sinalização vertical e horizontal, sendo então proposto as seguintes melhorias:

1ª Melhoria: Implementação de placa de sinalização de advertência a curva acentuada a esquerda cujo o código é A - 1 a da figura 41 – (a) e uma placa de sinalização a regulamentação a velocidade máxima cujo o código é R-19 (figura 41 – (b)) conforme o Manual de Sinalização Rodoviário do DNIT. Com sua localização antes da curva circular de transição no sentido crescente da rodovia.

Figura 41 - Sinalização de advertência A-1a (a) e sinalização de regulamentação R-19 (b)



(a)

Fonte: Acervo do Autor.

(b)

2ª Melhoria: Para enfatizar o perigo da curva circular de transição horizontal foi proposto também outra sinalização de advertência quanto ao alto índice de acidentes como mostrado na figura 42, sendo posicionada nos dois sentidos da curva. O Projeto As Built também mostra esta sinalização.

Figura 42 - Placa de advertência quanto o alto índice de acidentes



Fonte: Estradas – O portal de rodovias do Brasil. Disponível em: <<https://estradas.com.br/acidente-na-br-020-envolvendo-moto-e-caminhao-deixa-um-homem-ferido/>>. Consulta realizada em 15/11/2019.

3ª Melhoria: O uso de ondulações transversais ou sonorizadores antes da curva em ambos sentidos como forma de alerta os motoristas quanto ao risco ao entrarem na curva. A figura 43 mostra esse tipo de ondulações transversais sendo executado em uma rodovia:

Figura 43 - Execução de ondulações transversais



Fonte: Folha Vitória. Disponível em: <<https://www.folhavitoria.com.br/geral/noticia/07/2017/sinalizacao-e-reforcada-e-sonorizadores-sao-instalados-na-curva-da-morte-em-cachoeiro>>. Consulta realizada em 20/11/2019.

4ª Melhoria: Como foi citado na metodologia o pavimento da curva circular de transição horizontal encontra-se com algumas patologias, uma solução seria o recapeamento do segmento com isso surgiria uma melhora no atrito entre o pneu e a superfície da pista de rolamento. A questão da superelevação também pode ser resolvida pelo recapeamento da curva.

O Apêndice B mostra o Projeto Proposto com as devidas melhorias em formato A2.

5 CONCLUSÃO

Ao finalizar o estudo de caso foi possível concluir que a curva circular de transição horizontal possui como principal fator contribuinte aos acidentes a superelevação, pavimentação em mal estado e a carência de sinalização transversal e longitudinal. Foi possível afirmar também que os elementos geométricos estão em conformidade com os manuais do DNER, sendo o único problema a superelevação. Porém temos que levar em consideração a conscientização dos usuários da rodovia que também causaram acidentes por imprudência.

Podendo então afirmar que na maioria dos casos a causa dos acidentes está associada a superelevação e altas velocidades no trecho. Por esta razão redutores de velocidade foram propostos, para este trecho que possui tráfego de automóveis pesados de carga assim como sinal de advertência quanto o alto índice de acidentes no trecho.

REFERÊNCIAS

- AASHTO. **A Policy Geometric Design of Highways and Streets**. 6 ed. Washington. 2001.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. **Pesquisa de acidentes de trânsito – Terminologia**. NBR 10697:1989.
- AMARAL, G.; YAZBEK, C.; OLENIKE, J. **Instituto Brasileiro de Planejamento e Tributação. Frota Brasileira de Veículos em Circulação**. IBPT, 2018.
- CHC. **All-in-one X9x RTK GPS User's Manual**. Disponível em : <https://x9gps.com/bin/X9x_AIO_Manual_RevD_S_077_Web.pdf>. Acesso realizado em: 15 outubro de 2019.
- CHCNAV. **Sistemas GNSS RTK CHC**. Disponível em : <<https://www.cpetecnologia.com.br/uploads/49308e44-8abe-49fb-9ab3-d2c5dc6f9786.pdf>>. Acesso realizado em: 15 outubro de 2019.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Acidentes Rodoviários e infraestrutura**. Brasília: CNT, 2018.
- CONFEDERAÇÃO NACIONAL DO TRANSPORTE. **Lista dos 100 trechos classificados como mais perigosos**. Brasília: CNT, 2017.
- COSTA, P. FIGUEIREDO, W. **Estradas Estudos e Projetos**. 3. ed. Edufba, 2007
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Instruções para Superelevação e Superlargura em Projetos Rodoviários**. Rio de Janeiro, 1978.
- DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Rio de Janeiro, 1999.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.
Manual de Implantação Básica de Rodovia – 3. ed. – Rio de Janeiro, 2010.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES.
Manual de Sinalização Rodoviária – 3. ed. – Rio de Janeiro, 2010.

ESPARTEL, Lélis. **Curso de Topografia**. Porto Alegre: Editora Globo, 1978.

GEOMAX. **A Mira – Part of a hexagon group**. ed 161. São Paulo, 2012.

GIL, Antonio C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. São Paulo: Atlas, 1991.

GOOGLE. **Earth-mapas**. [Http://mapas.google.com](http://mapas.google.com). Consulta realizada em 16/03/2019.

ORGANIZAÇÃO PAN-AMERICANA DA SAÚDE. **Folha Normativa Acidentes de trânsito**. Disponível em: https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5147:acidentes-de-transito-folha-informativa&Itemid=779. Acesso em: 16 jun. 2019.

MENDES, A.; VIEIRA; GONÇALO A.; LOPES, S. **Estradas-Projeto geométrico e de Terraplenagem**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2010.

MINISTÉRIO DA INFRAESTRUTURA. DEPARTAMENTO NACIONAL DE INFRAESTRUTURA DE TRANSPORTES. **FROTA DE VEICULOS – 2019**. Disponível em: <http://www.infraestrutura.gov.br/component/content/article/115-portal-denatran/8559-frota-de-veiculos-2019.html>. Acesso em: 17 jun. 2019.

PIMENTA, Carlos R.T. e OLIVEIRA, Márcio P. **Projeto Geometrico de Rodovias**. 2 ed. São Paulo. Editora Rima, 2004.

PONTES FILHO, G. **Estradas de rodagem: projeto geométrico**. GP-Engenharia.

Instituto Panamericano de Carreteras Brasil. São Carlos, 1998.

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD. **Highway Capacity Manual**. 2000.

ROESLER, Angelo F. Readequação Geométrica de Curvas em Rodovias para Velocidade de 110 km/h. Maringá, Brasil, 2018.

SHU, Han L. **Projeto Geometrico de estradas** – Apostila: 2001/1. Florianopolis, Brasil, 2000.

APÊNDICE A**OFÍCIO DE SOLICITAÇÃO**

Caratinga, 28 de junho de 2019.

A/C de Mônica de Las-Casas Tavares.
Engenheira Chefe da Unidade Local do DNIT de Caratinga.

Venho por meio deste ofício solicitar a cópia do projeto da Rodovia Federal Br-116, no trecho conhecido como Rodovia Santos Dumont no km 489, trecho próximo a Inhapim. O objetivo desta solicitação é de interesse acadêmico, já que sou graduando em Engenharia Civil pela Rede Doctum de Ensino, sendo que as informações obtidas no projeto serão utilizadas para análise e dissertação do meu trabalho de conclusão de curso. Adianto-vos ainda que este trabalho fara uma análise devido ao alto índice de acidentes no trecho, buscando entender o motivo de tais acidentes com intuito de propor melhorias para o trecho.

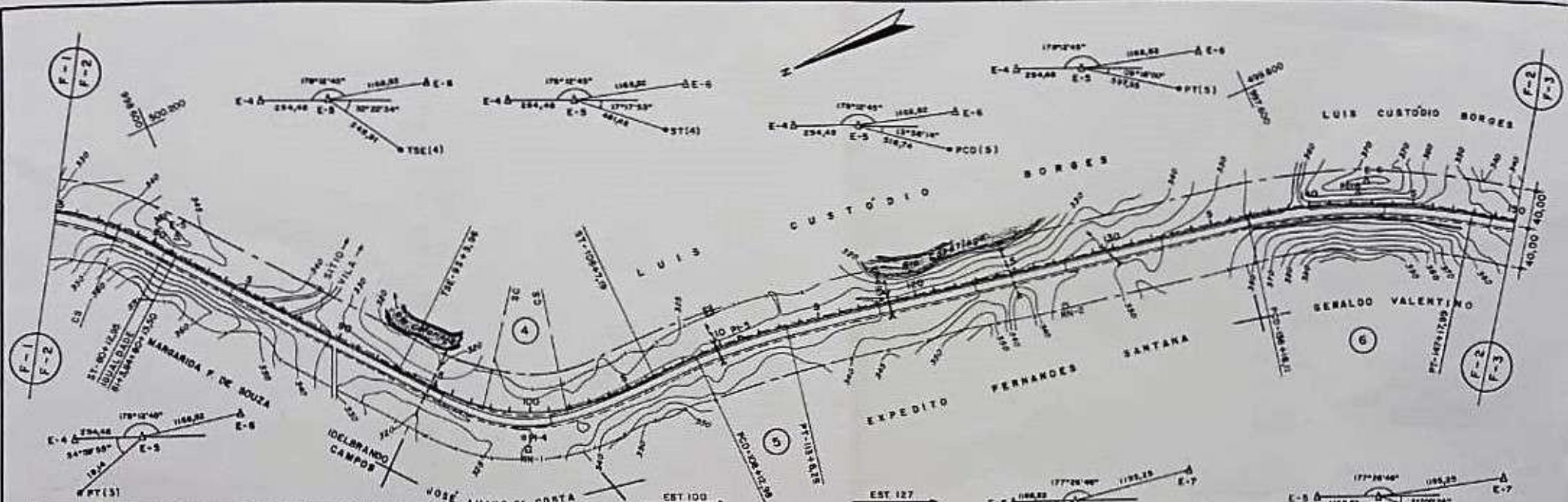
Desde já agradeço.

Atenciosamente,

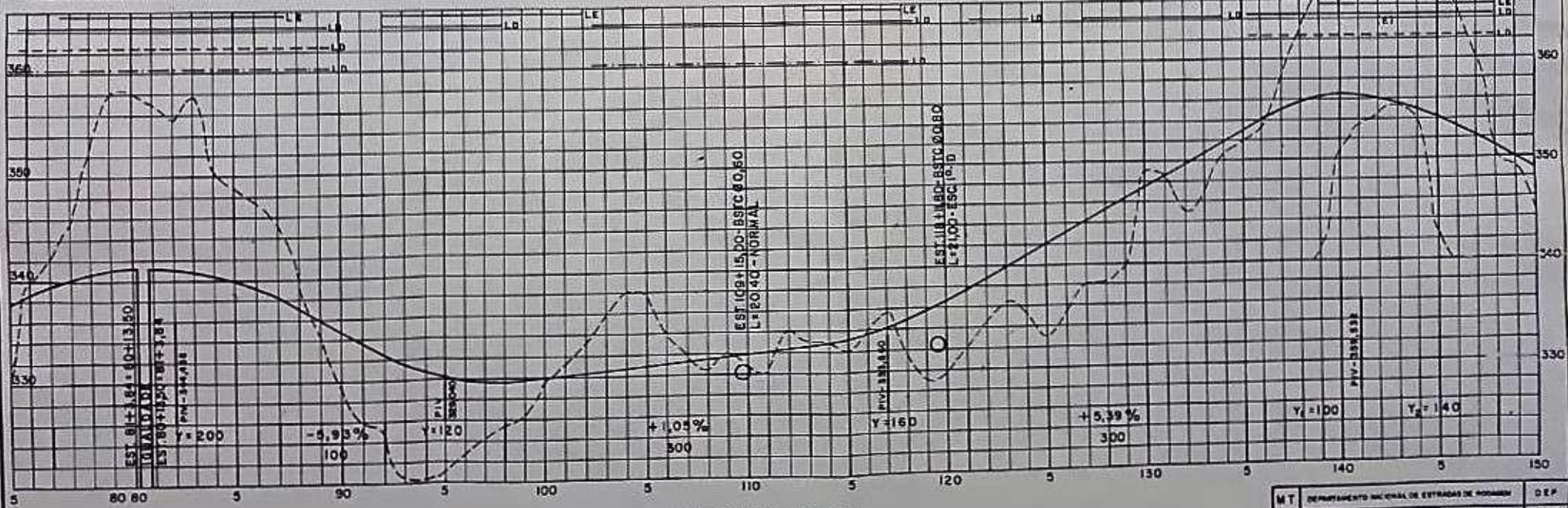

André Luiz Vieira Agostinho Pereira
Graduando em Engenharia Civil
E-mail: andre.agostinho.ipanema@hotmail.com
Tel.: (33) 99131-8432

Recebi em 28/06/19
Rosângela Lima.

DNIT - 6º UNIT
UNIDADE LOCAL 6/4

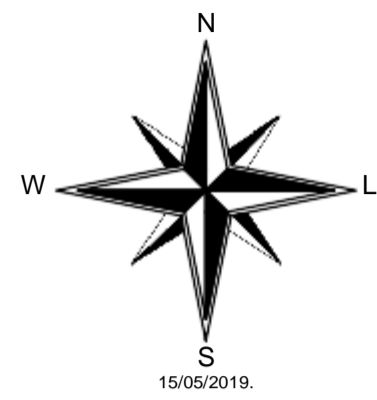


| CURVA | R | AC | ic | D | De | T | Ts | PC | TS | PT | ST |
|-------|--------|-----------|----|--------|--------|-----------|-----------|----|----|----|----|
| 4 | 190,98 | 51°56'25" | 90 | 63,24 | 138,87 | 83+3,96 | 106+7,19 | | | | |
| 5 | 451,69 | 11°50'08" | - | 93,30 | 46,82 | 108+12,98 | 113+6,28 | | | | |
| 6 | 538,38 | 23°41'09" | - | 221,67 | 112,85 | 138+18,11 | 147+17,99 | | | | |



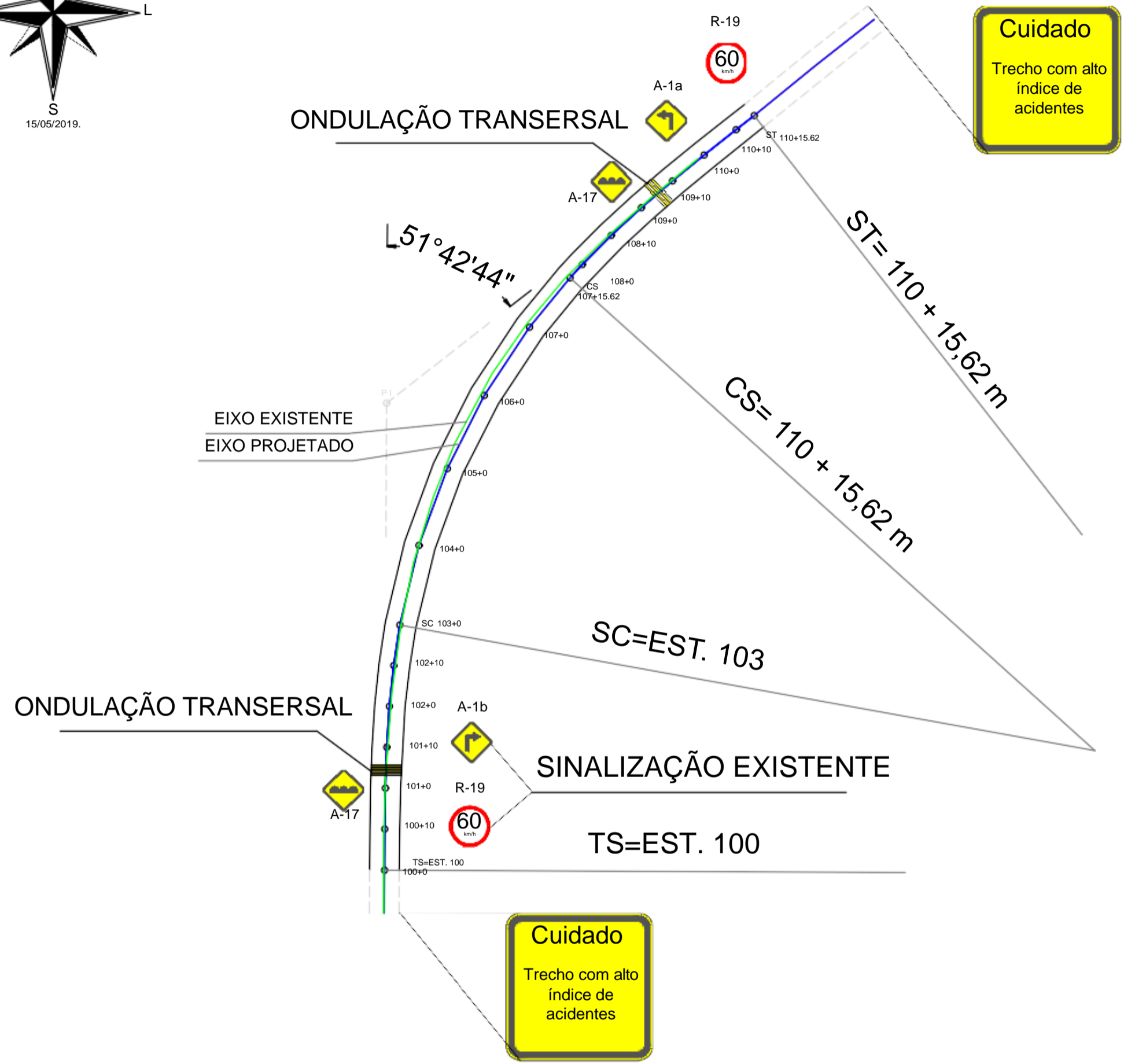
| | | |
|--------------------|--|----------|
| MT | DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM | DEP. |
| RODOVIA | Trecho de ligação a JARDIM DE MARINHA AGU | DEP. Nº |
| BR-116/AC | Subtrecho km 481,0 - km 488,0 Lkm 27 | |
| PROJETO GEOMÉTRICO | | Folha 62 |

APÊNDICE C

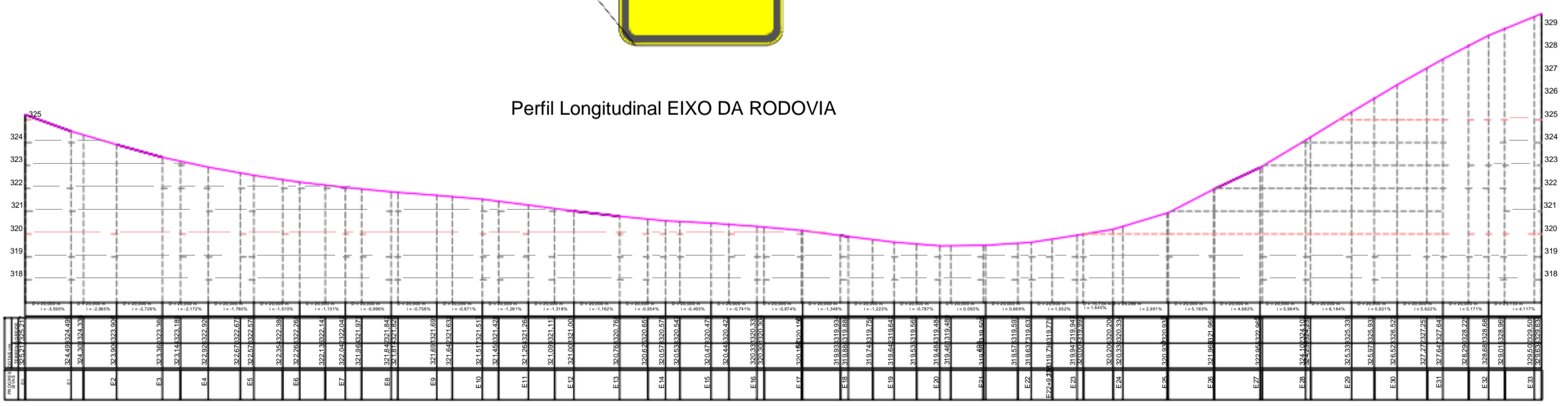


Escala Gráfica:
 0 5 10 15 20 25 30 40 50 75 100
 Convenções topográficas - NBR 13133

| | | | | | | | |
|----------------------|-------------------------|-------------------|-----------------------------|--------|--------------------------|----------------------|---------------------------|
| Contorno Alameda | RN Topográfico | Telefone / Correo | Hidante / Registo | Tabela | Muro / Cerca | Achamento rodoviário | Estação de ferro |
| Contorno de fazenda | Vertice topográfico | Posto cosar | Posto de visita | Arreio | Curvas de nível | Estação parafusada | Cerca de arame |
| Laje ou cobertura | RN Oficial | Posto de sondagem | Posto de visita | Ponte | Rio / Ribeirão / Córrego | Caminho | Cerca de madeira ou sapão |
| Pedra / Rocha | Estação de Levantamento | Posto / Luminária | Boca-de-lado / Boca-de-lado | Muro | Alagado com vegetação | Guia | Cerca viva |
| Torre de alta tensão | Estação de Levantamento | Posto / Luminária | Boca-de-lado / Boca-de-lado | Muro | Alagado com vegetação | Guia | Cerca viva |
| Arvore isolada | Estação de Levantamento | Posto / Luminária | Boca-de-lado / Boca-de-lado | Muro | Alagado com vegetação | Guia | Cerca viva |



| Elementos de Curva | | | | | |
|--------------------|-----------|-------|--------|-----------|------------|
| Raio | AC | Lc | Ts | PI-x | PI-y |
| 172,24 | 51°42'44" | 90,00 | 113,95 | 801351.62 | 7846513.22 |



| | | |
|---|------------------|-------------------------|
| Título: Levantamento TopoEVN | | Folha: A2 |
| Objetivo: Estudo de caso | | |
| Município: Inhapim - MG | | |
| Aluno: André Luiz Vieira Agostinho Pereira | | |
| Local: Rodovia Santos Dumont - BR-116 Km 489 | | Estado: Minas Gerais |
| Escala: 1 / 1000 | Data: 11/2019 | |