



CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS

Recredenciado pela Portaria Ministerial nº 1.162, de 13/10/16, D.O.U nº 198, de 14/10/2016
ASSOCIAÇÃO EDUCACIONAL LUTERANA DO BRASIL

Alana de Moraes Magalhães

ANÁLISE DO PROJETO GEOMÉTRICO DA RODOVIA TO 080 (Palmas/Paraíso)

Palmas – TO
2018

Alana de Moraes Magalhães

ANÁLISE DO PROJETO GEOMÉTRICO DA RODOVIA TO 080 (Palmas/Paraíso)

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas

Palmas – TO
2018

Alana de Moraes Magalhães

ANALISE DO PROJETO GEOMETRICO DA RODOVIA TO 080 (Palmas/Paraíso)

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) II elaborado e apresentado como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas

Aprovado em: ____/____/____

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas
Orientador

Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Avaliador 1: Prof. MSC. Edivaldo Alves dos Santos.
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Avaliador 2: Prof. Esp. Fernando Moreno Suarte Júnior
Centro Universitário Luterano de Palmas – CEULP

Palmas – TO
2018

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus por ser meu guia, por ser tão essencial em minha vida, me abençoando e me dando forças para jamais desistir e sempre ser minha fortaleza nas horas de angústia.

Agradeço à minha mãe Adeniza, por toda a dedicação à minha criação, pela excelente educação que me deu, pelo seu amor, carinho, atenção e cuidado comigo e pelos valores que me ensinou, possibilitando me tornar o que sou hoje, sem eles, nada na minha vida seria possível. Agradeço a minha irmã Luana, minha companheira de vida, por tudo que fizeste por mim.

Aos meus amigos de vida, aos de longas datas e a todas as pessoas que de uma forma ou outra colaboram para o meu crescimento e meu desenvolvimento e que sempre torceram por mim, o meu sincero agradecimento. Aos meus grandes amigos da faculdade, o meu muito obrigado por estarem ao meu lado colaborando para o sucesso nesses cinco anos de uma trajetória árdua. Agradeço ao meu orientador Prof. Esp. Euzir Chagas pela atenção e pelo importante estímulo nas diversas etapas do desenvolvimento do trabalho.

RESUMO

MAGALHÃES, Alana Moraes. **Análise das condições de segurança do projeto geométrico da rodovia TO 080 (Palmas/Paraíso)**. 2018. 93 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2018.

O presente trabalho consiste na análise das condições de segurança do projeto geométrico da rodovia TO 080 no trecho que liga Palmas a Paraíso. Tendo em vista que o alto índice de acidentes em rodovias no país pode-se estar ligado a projetos que não seguem corretamente as normas do DNIT. Diante disso utilizou-se inicialmente uma pesquisa teórica para ter embasamento e alcançar os resultados. Os dados referentes ao traçado horizontal foram adquiridos pelo órgão responsável pelo gerenciamento das rodovias estaduais no Tocantins, DERTIN. Posteriormente foi realizada a pesquisa de campo, onde foi levantado os dados de alguns pontos considerados críticos, para ser analisado e comparados com os dados já existentes. Análise da pesquisa teve um resultado que confirmam que as curvas horizontais estão de acordo com as normas do DNIT. Porém na amostra da curva vertical analisada a mesma não atende aos padrões exigidos pelo órgão, como também a rodovia apresenta deficiência nos acostamentos, onde em grande parte da rodovia encontra-se com dimensões menores que o mínimo exigido, chegando a ser inexistentes em alguns trechos. Sendo assim foi proposto melhorias para adequar o projeto de acordo com as exigências do manual do DNER (1999).

Palavras-chaves: Projeto. Geométrico. Segurança. DNIT. Curvas. Raio. Superelevação. DNER.

Abstract

MAGALHÃES, Alana Moraes. To analyze the safety conditions of the geometric design of the TO 080 highway (Palmas / Paraíso). 2018. 90 f. Course Completion Work (Undergraduate) - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO, 2018.

The present work consists of the analysis of the safety conditions of the geometric design of the highway TO 080 in the stretch that connects Palmas to Paraíso. Considering that the high rate of road accidents in the country can be linked to projects that do not correctly follow DNIT norms. In the face of this, a theoretical research was initially used to build a foundation and achieve the results. The data referring to the horizontal tracing were acquired by the agency responsible for the management of the state highways in Tocantins, DERTIN. Subsequently the field research was carried out, where the data of some critical points were collected, to be analyzed and compared with the existing data. Analysis of the research had a result that confirm that the horizontal curves are in accordance with the norms of the DNIT. However, in the sample of the vertical curve analyzed, it does not meet the standards demanded by the body, but also the road has deficiency in the shoulders, where in a great part of the highway it is smaller than the minimum required, and they do not exist in some stretches . Therefore, it was proposed improvements to adapt the project according to the requirements of the DNER manual (1999).

Keywords: Project. Geometric. Safety. DNIT. Curves. Lightning. Superelevation. DNER.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distância de visibilidade de parada	28
Figura 2 - Esquema de manobras de ultrapassagem	31
Figura 3 - Curva Horizontal Circular	35
Figura 4 - A locação de curvas através do processo de deflexão e cordas	37
Figura 5 - Trajetória da transição.....	38
Figura 6 - Curva de transição	40
Figura 7 - Elementos da espiral.....	40
Figura 8 - Curva de transição	42
Figura 9 - Centro conservado	45
Figura 10 - Raio Conservado.....	46
Figura 11 - Centro e raio conservados	46
Figura 12 - Locação de curva de transição.....	47
Figura 13 - Curvas horizontais com transição assimétrica.....	48
Figura 14 - Parâmetros da curva.	50
Figura 15 - Visibilidade em curvas horizontais.....	51
Figura 16 - Processos para obter superelevação.	56
Figura 17 - Seção transversal de uma estrada	56
Figura 18- Esquema mostrando a variação da superelevação.....	57
Figura 19 – Elementos para cálculo da superlargura.	57
Figura 20- Perfil Longitudinal	60
Figura 21 - Curva vertical parabólica	61
Figura 22 - Esquema para cálculo	62
Figura 23 - Mínimo comprimento de curvas convexas	64
Figura 24 - Comprimento mínimo de curvas verticais convexas.....	64
Figura 25 - Mínimo Comprimento das curvas côncavas.....	65
Figura 26 - Comprimento mínimo para curvas côncavas.....	65
Figura 27 - Trecho da TO 080 que foi explorado.	67
Figura 28 - Levantamento em campo da curva PI 14.	70
Figura 29 - Levantamento com nível optico do PI 14.....	71
Figura 30 – Levantamento em campo da curva PI13	71
Figura 31 - Levantamento em campo da curva PI 5.	72
Figura 32- Levantamento em campo da curva PI 3.	72
Figura 33 - Levantamento em campo da curva vertical	73

Figura 34 - Levantamento em campo da curva vertical	73
---	----

LISTA DE TABELAS

Tabela 1-Parâmetros para a classificação funcional de rodovias	19
Tabela 2 - Descrição das características técnicas para rodovias de classe I-B ondulado.	76
Tabela 3 - Descrição das características técnicas para rodovias de classe I-B montanhoso.	76
Tabela 4 – Valores para L_s das curvas de transição.	78
Tabela 5 - Concordância horizontal dos PI 13 e PI 14.....	79
Tabela 6 - Dados levantados in loco na TO 080.....	79
Tabela 7 – Coordenadas da curva vertical in loco.	81

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Composição média da movimentação de tráfegos.	20
Quadro 2 - Classes do projeto.	21
Quadro 3 - Valores para velocidade máxima de projeto recomendado.	27
Quadro 4 - Coeficientes de Atrito longitudinal para velocidade diretriz.	30
Quadro 5 - Coeficientes de Atrito longitudinal para velocidade média.	30
Quadro 6 - Distância de visibilidade de ultrapassagem.	33
Quadro 7 – Distância de visibilidade de ultrapassagem.	34
Quadro 8 - Planilha de locação de curvas circulares.	38
Quadro 9 - Raios de curvas que dispensam curvas de transição.	39
Quadro 10 - Rampa de superelevação admissível (pista simples)	44
Quadro 11 - Locação de curvas de transição	47
Quadro 12 - coeficiente de atrito máximo para rodovias de alta velocidade..	52
Quadro 13 - Raios mínimos em função das taxas máx. de superelevação. ..	53
Quadro 14 - valores de raios dos quais a superelevação é dispensável	55
Quadro 15 - Valores Máximos admissíveis para superelevação.	55
Quadro 16 - Valores para G_I	58

LISTA SIGLAS

AASHTO:	American Association of State Highway and Transportation Officials
ABNT:	Associação Brasileira de Normas Técnicas
DER:	Departamento de Estradas de Rodagem
DVF:	Distância de visibilidade de frenagem
DF:	Distância de frenagem
df	Distância percorrida na frenagem
DNER:	Departamento Nacional de Estradas e Rodagem
DNIT:	Departamento Nacional de Infraestruturas de Transporte
DP:	Distância de visibilidade de parada
DP:	Distância de percepção
dp :	Distância percorrida durante o tempo de percepção
Du :	Distância de ultrapassagem
IPR:	Instituto de pesquisas rodoviárias
SRT:	Limite de tombamento estático
TR:	Tempo de reação do motorista
VM:	Velocidade média de percurso
VMD:	Volume médio de tráfego
VP:	Velocidade de projeto
VP:	Velocidade máxima de projeto
Vu:	Velocidade de ultrapassagem

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	15
1.1 PROBLEMA DE PESQUISA.....	16
1.2 HIPÓTESES.....	16
1.3 OBJETIVOS.....	16
1.3.1 Objetivo Geral.....	16
1.3.2 Objetivos Específicos	16
1.4 JUSTIFICATIVA.....	17
2. REFERENCIAL TEORICO	18
2.1 ORGANIZAÇÃO DAS RODOVIAS	18
2.1.1. Quanto à função	18
2.1.2. Quanto ao domínio.....	19
2.1.3. Quanto às condições técnicas.....	20
2.2 ESTUDO DO TRAÇADO.....	22
2.2.1 Anteprojeto	23
2.2.2 Projeto Final.....	25
2.2.3 Representação Gráfica	25
2.3 ELEMENTOS DO PROJETO GEOMÉTRICO	26
2.3.1 Velocidades	26
2.3.2 Distância de visibilidade.....	27
2.4 CURVAS CIRCULARES.....	34
2.4.1 Geometria das Curvas Circulares.....	35
2.4.2 Locação das Curvas Circulares	36
2.5 CURVAS COM TRANSIÇÃO.....	38
2.5.1 A Clotóide ou espiral de transição.....	39
2.5.3 Comprimento de Transição	42
2.5.4 Concordância da curva.....	45
2.5.5 Locação de Curvas Circulares.	46
2.5.6 Curvas horizontais com transição assimétrica	48
2.5.7 Curvas compostas com transição	49
2.5.8 Recomendações do traçado.....	50
2.5.9 Visibilidade em curvas.....	51
2.6 SUPERELEVÇÃO	52

2.6.1	Valores máximo para superelevação.....	52
2.6.2	Valores limites para coeficiente de atrito.....	52
2.6.3	Superelevação e o raio mínimo.....	53
2.6.4	Superelevação em trechos circulares	54
2.6.5	Superelevação para raios superiores aos mínimos	54
2.6.6	Distribuição da superelevação na pista simples	55
2.7	SUPERLARGURA	57
2.7.1	Distribuição da superlargura.....	58
2.8	ELEMENTOS BÁSICOS.....	59
2.8.1	Pista de rolamento e faixa de tráfego	59
2.8.2	Acostamento.....	59
2.8.3	Plataforma.....	59
2.8.4	Seções e inclinações transversais	60
2.9	PERFIL LONGITUDINAL.....	60
2.9.1	Alinhamento Vertical.....	61
2.9.2	Comprimento mínimo de curvas verticais	63
3.	METODOLOGIA.....	67
3.1	DESENHO DO ESTUDO.....	67
3.2	LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA	67
3.3	OBJETO DE ESTUDO	68
3.4	LEVANTAMENTO DOS DADOS	68
3.4.1	Classificação da via e velocidade máxima de projeto	68
3.4.2	Levantamento e análise dos dados do projeto geométrico.	69
3.4.3.	Sugerir possíveis melhorias.....	74
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	75
4.1	CLASSIFICAÇÃO DA VIA DE ACORDO COM O MANUAL DO DNER. 75	
4.2	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE PROJETO	75
4.3	LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS.	77
4.3.1	Curvas horizontais	77
4.3.2	Análise dos dados das curvas horizontais coletados em campo	79
4.3.2	Curvas verticais.....	80
5.	CONCLUSÃO.....	83
	REFERÊNCIAS.....	84

APÊNDICES A – CONCORDÂNCIA HORIZONTAL.....	86
APÊNDICES B – REPRESENTAÇÃO ALTIMETRICA DA CURVA VERTICAL.....	87
ANEXO A - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARA O PROJETO DE RODOVIAS NOVAS	88
ANEXO B- RELATÓRIO GERAL CLASSIFICATÓRIO	89
ANEXO C- RALATÓRIO DIA DA SEMANA X HORÁRIO DE PICO.....	90
ANEXO D –TRAÇADO DAS CURVAS HORIZONTAIS	91

1 INTRODUÇÃO

Desde o surgimento da humanidade tem-se a necessidade de locomoção da população de uma região a outra, até mesmo para a busca de alimentos e água em outros locais próximos. Surge aí a necessidade das rodovias, essa que tem a finalidade de ligar um local a outro para buscar atender as necessidades da população.

O pleno conhecimento dos componentes do projeto é de suma importância para o levantamento e a análise dos dados, pois através desses, pode-se definir as coordenadas da rodovia. Conhecendo esses pontos pode-se fazer uma análise exploratória para verificar as condições da topografia local, e as necessidades locais, o tipo de tráfego da região, etc.

“Uma estrada, bem projetada, não deverá apresentar inconvenientes como curvas fechadas e frequentes, greide muito quebrado e com declividades fortes ou visibilidade deficiente”. (PONTES FILHO, 1998, p. 8).

Pimenta e Oliveira (2004) afirma que um bom projeto deve atender às necessidades do tráfego, as técnicas de bom traçado e perfil, e estar em harmonia com a topografia do local atravessado, e ter um menor custo.

Com base no DENATRAN¹ (2004, apud ELZENBERG, 2009), revelam que 43,5% dos acidentes ocorridos em curvas estão ligados a derrapagem, a tombamentos e colisões laterais. O maior numero se dá com veículos de carga, que no momento dos acidentes estavam carregados.

Segundo os dados do DNIT (2010), a causa dos acidentes em rodovias se dá pelos fatos de existirem superelevação em pequenas curvas, alto volume de tráfego em curvas situadas no final de um greide descendente ou até mesmo pelo fato da existência de curvas separadas com tangentes pequenas.

O presente trabalho busca apresentar uma análise dos aspectos geométrico da Rodovia TO 080 no trecho que liga Palmas a Paraíso, visando dar ênfase aos

¹ Banco de dados de acidentes do sistema BR-BRASIL, do núcleo de estatísticas do Departamento de Polícia Rodoviária Federal – Coordenação geral de operações, Divisão de planejamento Operacional, Núcleo de estatísticas – do Ministério da Justiça. É alimentado com os dados dos boletins de ocorrência de Acidentes de trânsito (BATs) ocorridos nas rodovias federais brasileiras.

parâmetros necessários para caracterizar uma rodovia como bem projetada, e se a mesma atende os critérios de segurança e conforto aos usuários.

1.1 PROBLEMA DE PESQUISA

Baseando-se nas normas do DNIT e nos demais órgãos responsáveis pela fiscalização e execução dos projetos rodoviários em âmbito estadual, de qual maneira é possível afirmar, após uma análise detalhada, que as rodovias estaduais atendem aos padrões que caracterizam um projeto como bem executado, tanto no quesito geométrico, quanto a capacidade de serviço, tráfego e a segurança?

1.2 HIPÓTESES

- Há curvas perigosas, com raio abaixo do mínimo permitido.
- Há curvas com superelevação inadequada.
- Há trechos com tangentes longas, seguidas de curvas com raios pequenos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Analisar as condições de segurança do projeto geométrico da rodovia TO 080, que liga as cidades de Palmas a Paraíso do Tocantins, a fim de propor, se necessário, melhorias físicas e operacionais de tráfego, por meio da adequação geométrica, proporcionando uma melhor fluidez, conforto e segurança ao usuário.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Verificar o tráfego atual da rodovia com base no VMD;
- Classificar a rodovia de acordo com o DNIT;
- Levantar o traçado geométrico da rodovia, a partir de dados projetados;
- Avaliar as condições de segurança da via;

1.4 JUSTIFICATIVA

O transporte terrestre é o mais usado no Brasil, pois além de possuir um baixo custo, traz uma maior facilidade na locomoção. Porém esse modal apresenta algumas desvantagens, sendo uma delas o grande número de acidentes (SOUZA, 2012).

Os índices de mortes decorridos de acidentes de trânsito são altos, não apenas no Tocantins, como também em território nacional. A maior causa se dá por infração do motorista, condições da via entre outros fatores. No Brasil, são cerca de 50.000 mortos por ano (VIEIRA, 1999 apud GARCIA; ALBANO, 2003).

As características gerais do traçado são a base do projeto, pois é nela que se estuda as necessidades locais, a topografia do terreno, o tráfego, a classificação da via, entre outros fatores de suma importância para a tomada de decisão do projeto. Uma vez que as correções de projetos já existentes geram custos aos órgãos, as medidas promovidas para a segurança rodoviária, busca garantir a segurança das pessoas que irão utilizar, desde o planejamento até a utilização da via. (MAZZETTO, 2015).

Com o passar do tempo, os projetos foram sofrendo inúmeras modificações, projetos que inicialmente eram aceitos sofreram adaptações, como por exemplo greide muito reto foram evitados, projetando-se a necessidade de curvas para evitar que motoristas ficassem desatentos e chegassem a dormir, como também foi reajustado as curvas em locais desnecessários, afim de atender melhor os quesitos de qualidade de tráfego e segurança (SENÇO, 2008).

O desenvolvimento desse trabalho visa a análise das condições de segurança do projeto geométrico da TO 080 no trecho que liga Palmas à Paraíso, e se necessário propor soluções que possam contribuir com os órgãos competentes para melhorias no projeto, visando a segurança dos usuários e a qualidade de tráfego.

2. REFERENCIAL TEORICO

2.1 ORGANIZAÇÃO DAS RODOVIAS

A organização das rodovias federais cabe ao Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes o DNIT, antigo Departamento Nacional de Estradas de Rodagem DNER, órgão responsável pelo estudo técnico, e a elaboração e análise dos projetos geométricos de vias.

O DNER (1999), define que a classificação de rodovias obedece vários critérios, e tem sido necessário para atender a enfoques e objetivos diversos de natureza técnica, administrativa e dos usuários em geral.

A organização das rodovias para fim de execução de projetos, está diretamente associado ao nível de qualidade do trabalho por ela prestado, ou seja, deve promover os meios físicos necessários para atender a demanda de fluxo previsto, e que os usuários executem suas viagem com segurança, conforto e economia. As classificações em conformidade com a natureza técnica, tem relação direta com as propriedades geométricas precisas para atender os objetivos, algumas características são: raio de curvatura, rampas, acostamento, larguras de pista etc. e também com os custos condicionados ao relevo do solo (DNER, 1999).

Segundo o DNER (1999), a classificação administrativa se dá para responsabilidade administrativa, o planejamento, financiamento, construções, operações e o relacionamento com o usuário. Normalmente as rodovias são identificadas por siglas alfanuméricas, definindo a localização e a entidade responsável.

2.1.1. Quanto à função

É o modo de agrupar as rodovias em classes e sistemas conforme o tipo de serviço que ela proporciona e a função que exerce (PONTES FILHO, 1998). Quanto às suas atribuições a organização das rodovias se dá:

- **Arteriais:** Dispõem de um nível alto de locomobilidade para volumes intensos de tráfego. Tem como função principal atender à circulação de grande distância, independentemente de ser internacional ou interestadual (PONTES FILHO, 1998).
- **Coletoras:** Atende à núcleos populacionais ou centros geradores de pouco trânsito, que o Sistema Arterial não supri as necessidades. A incumbência de

tal sistema é oferecer motilidade e ingresso dentro de determinada região (PONTES FILHO, 1998).

▪ Locais: Constituído predominantemente pelas rodovias de breve extensão, atribuída essencialmente a garantir ingresso ao tráfego intermunicipal de pequenas regiões às rodovias mais importantes (PONTES FILHO, 1998).

O DNER (1999), classifica as rodovias quanto a sua funcionalidade em relação as suas funções básicas conforme na tabela 1.

Tabela 1-Parâmetros para a classificação funcional de rodovias

SISTEMAS FUNCIONAIS		FUNÇÕES BÁSICAS	PARÂMETROS DE REFERÊNCIA
ARTERIAL	PRINCIPAL	Viagens internacionais e inter-regionais. Elevados níveis de mobilidade. Formar sistema contínuo na região. Articulação com rodovias similares em regiões vizinhas. Conectar capitais e cidades com pop. > 150.000 hab.	Extensão: 2 a 3½ % da rede. Serviço: 30 a 35 % dos vpd.km. Ext. média de viagens: 120 km. Veloc. operação: 60 a 120 km/h.
	PRIMÁRIO	Viagens inter-regionais e interestaduais. Atender função essencial de mobilidade. Formar sistema contínuo na região. Conectar cidades com pop. ± 50.000 hab.	Extensão: 1½ a 3½ % da rede. Serviço: 15 a 20 % dos vpd.km. Ext. média de viagens: 80 km. Veloc. operação: 50 a 100 km/h.
	SECUNDÁRIO	Viagens intra-estaduais e não servidas pelos sistemas superiores. Formar sistema contínuo com rodovias dos sistemas superiores, atendendo função essencial de mobilidade. Conectar cidades com pop. > 10.000 hab.	Extensão: 2½ a 5 % da rede. Serviço: 10 a 20 % dos vpd.km. Ext. média de viagens: 60 km. Veloc. operação: 40 a 80 km/h.
COLETOR	PRIMÁRIO	Viagens intermunicipais. Acesso a geradores de tráfego (portos, mineração, parques turísticos, produção agrícola, etc.). Conectar cidades com pop. > 5.000 hab.	Extensão: 4 a 8 % da rede. Serviço: 8 a 10 % dos vpd.km. Ext. média de viagens: 50 km. Veloc. operação: 30 a 70 km/h.
	SECUNDÁRIO	Ligar áreas servidas com o sistema coletor primário ou com o sistema arterial. Acesso a grandes áreas de baixa densidade populacional. Conectar centros com pop. > 2.000 hab e sedes municipais não servidas por sistemas superiores.	Extensão: 10 a 15 % da rede. Serviço: 7 a 10 % dos vpd.km. Ext. média de viagens: 35 km. Veloc. operação: 30 a 60 km/h.
LOCAL		Viagens intra-municipais. Acesso de pequenas localidades e áreas rurais às rodovias de sistemas superiores.	Extensão: 65 a 80 % da rede. Serviço: 5 a 30 % dos vpd.km. Ext. média de viagens: 20 km. Veloc. operação: 20 a 50 km/h.

Fonte: DNER (1999, p. 17).

2.1.2. Quanto ao domínio

Pontes Filho (1998), estabelece como rodovias estaduais aquelas que ligam as cidades do interior a capital do estado, ela atende as necessidades do estado, e fica contida no território estadual. Essa rodovia tem a função arterial e coletora.

2.1.3. Quanto às condições técnicas

Conforme o DNER (1998), a organização funcional, o volume médio de tráfego (VMD) e os níveis de serviço são os critérios utilizados para classificar uma fração de uma via.

Segundo Senço (2008), o VMD tem seus valores obtidos através da divisão da quantidade de tráfego diário durante um ano (usualmente 365 dias ou 366 para anos bissextos). Essa pesquisa pode ser realizada por amostragem, onde é feito essa contagem em épocas específicas do ano, conforme mostrado no quadro 1.

Quadro 1 - Composição média da movimentação de tráfegos.

VMD (Traf. Misto)	Automóvel (%)	Ônibus (%)	Caminhão (%)
700	46	8	46
1.000	46	8	46
2.000	47	8	45
3.000	48	8	44
4.000	49	8	43
5.000	50	8	42
6.000	51	8	41
7.000	52	8	40
8.000	53	8	39
9.000	54	8	38
10.000	55	8	37
12.000	56	8	36
14.000	58	8	34
≥15.000	59	8	33

Fonte: DNER (1999, adaptado).

O DNER (1998), propõe que as rodovias contidas em território nacional, com finalidade de projeto estão agrupadas em cinco classes, numeradas de 0 a IV, como é mostrado no quadro 2, onde os menores números correspondem as características técnicas mais exigentes.

Quadro 2 - Classes do projeto.

CLASSES DE PROJETO		CARACTERÍSTICAS	CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA ¹
0		Via Expressa Controle total de acesso	Decisão administrativa
I	A	Pista Dupla Controle parcial de acesso	Os volumes de tráfego previstos ocasionarem níveis de serviço em rodovia de pista simples inferiores aos níveis C ou D ²
	B	Pista Simples Controle parcial de acesso	Volume horário de projeto > 200 Volume médio diário (VDM) > 1400
II		Pista simples	VMD entre 700 e 1400
III		Pista simples	VMD entre 300 e 700
IIV	A	Pista simples	VMD ³ entre 50 e 200
	B	Pista simples	VMD ³ < 50

1. A quantidade de tráfego bidirecionais mencionados, faz referência à veículos mistos e são aqueles previstos no 10º ano depois da abertura da rodovia ao tráfego.

2. Vide NÍVEIS DE SERVIÇO – mostrados a seguir.

3. Volumes previstos no ano de abertura ao tráfego.

Fonte: PONTES FILHO, (1998, adaptado).

Pontes Filho (1998), considera que para definir nível de serviço é necessário associar as situações de procedimento de uma estrada, quando ela comporta volumes de tráfegos diferentes, é também estabelecido com relação a velocidade da via em relação a precisão de circulação e a sua capacidade.

Qualquer fração de uma via pode atuar em diferentes níveis de serviço, conforme o momento considerado. Os diferentes níveis de serviços são definidos por Pontes Filho (1998):

- Nível A: situações de escoamento livre, seguida por pequenos volumes e velocidades elevadas. A densidade de fluxo é pequena, com velocidade controlada pelo motorista dentro do permitido e condições físicas da via. Não há contenções devido à presença de demais veículos.

- Nível B: tráfego regular, com velocidades de movimentação a serem contidas pelas situações de trânsito. Os condutores têm uma liberdade razoável de escolha da velocidade e ainda têm possibilidade de ultrapassagem.
- Nível C: também possui fluxo regular, porém as velocidades e as ultrapassagens já são monitoradas pela grande demanda de tráfego. Portanto, vários motoristas não têm liberdade de escolha quanto a faixa e a velocidade.
- Nível D: próximo à zona de fluxo instável, com velocidades toleráveis, mas são afetadas de maneira considerável pelas condições de operação, cujas flutuações no volume e nas restrições temporárias podem causar quedas substanciais na velocidade de movimentação.
- Nível E: também é denominado nível de capacidade. A via trabalha a plena carga e o fluxo é instável, as possibilidades de ultrapassagem são inexistentes.
- Nível F: relata o escoamento forçado, com baixas velocidades e volumes abaixo do tolerável pela via. Cria-se grandes filas que tornam inviáveis as manobras. Algumas vezes, velocidade e mobilidade reduzem-se a zero.

O DNER (1999) apresenta no ANEXO A as descrições de características técnicas de projetos para rodovias, a partir das classes de projeto e das características do terreno.

2.2 ESTUDO DO TRAÇADO

A definição do traçado de uma rodovia surge da precisão de unir um local a outro. Dificilmente a ligação será feita por linhas retas. Essa ligação não é tão simples, tem que se considerar diversos fatores para atender melhor às necessidades da comunidade visando a qualidade e o menor custo (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Segundo Pontes (1998), a criação de estradas inicia-se pelo estudo de planejamento e transporte, o que busca verificar o comportamento viário existente, as necessidades e características regionais, para estabelecer as prioridades de ligação visando a exigência de tráfego da região.

A estrada é um ente tridimensional que deve se ajustar à topografia, podendo modifica-la, mas se possível sem agredi-la (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Projeto é um relato detalhado do empreendimento. Alguns fatores podem ser levados em consideração no momento da criação de uma via, como as suas

necessidades próprias, os custos, as normas técnicas definidas pelos órgãos responsáveis (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

2.2.1 Anteprojeto

O anteprojeto é necessário para um conhecimento adequado da área atravessada pela estrada, abrangendo os elementos que possam interferir na localização definida pelo traçado (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

O estudo do tráfego é o levantamento de informações do tráfego da região, áreas por onde a estrada tenha possibilidade de passar, a determinação das diretrizes, a utilização das rodovias, sua classificação e características técnicas, e operacionais a quantidade de tráfego atual, e futuro para a suficiência do sistema. Leva-se em considerações as possíveis variações do sistema, tanto no que tange volume e propriedades de tráfego, para se estudar a viabilidade econômica (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Os aspectos sociais e econômicos, as produções agrícolas e industriais, definem as necessidades de transporte local, e apontam os meios apropriados para as escolhas das alternativas dos traçados. Assim, especificam as características técnicas adequadas conforme o levantamento do tráfego da região (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

O pleno conhecimento topográfico da região é uma condição predominante para escolha da localização exata da estrada. Tal estudo se faz através de levantamentos topográficos tradicionais e levantamentos via satélite. Existem equipamentos que permitem levantamentos precisos, em grandes dimensões e com custo acessível (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

A movimentação de terra, que geralmente representa parcelas significativas nos gastos total da construção da estrada, depende diretamente da topografia do local atravessado (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

O custo da obra está associado a topografia local, pois quando tem necessidade de fazer grandes movimentações de terras, com volumes grandes de corte ou aterros, o custo torna-se elevado, e em certas circunstâncias é necessário a execução de obras especiais (como viadutos, pontes, etc.), obras essas que elevam muito o custo final do projeto (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Região plana possibilita criar rodovia com distância de visibilidade maiores, com construções mais simples e um custo mais baixo (SENÇO, 2008).

Em região ondulada as condições naturais do terreno exigem grandes quantidade de corte e aterro para a melhor acomodação do traçado da rodovia, e geralmente oferecem alguns problemas na implantação dos alinhamentos vertical e horizontal (SENÇO, 2008).

A região montanhosa possui grandes variações na elevação do terreno, e a necessidade de cortes e aterros de encostas para poder efetuar a implantação dos alinhamentos verticais e horizontais é frequente. (SENÇO, 2008).

Se faz necessário um estudo das condições geológicas e geotécnicas da região, com o propósito de obter um conhecimento aprofundado da constituição do solo, para avaliar se este atende as condições de seguridade precisa do projeto, evitando áreas problemáticas. Análise esta, que se dá através de sondagens, coletas de corpos de provas e estudos em laboratórios que geram uma correta classificação para o material em estudo (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

O estudo hidrológico surge da coleta de dado. “ O traçado deve ser escolhido de forma a reduzir ao mínimo travessias de rios e córregos, de forma a minimizar o número de obras civis, como pontes e galerias. Quando essas travessias são inevitáveis é importante escolher locais e posições favoráveis. ” (PIMENTA, OLIVEIRA, 2004, p.2).

Propriedades privadas nos locais escolhidos para a estrada aumentam os custos das desapropriações, construções, loteamentos etc. devem ser evitados sempre que for possível. Dessa maneira é preciso um estudo detalhado da região, pois se for necessário a desapropriação, os custos da obra podem ser agravados consideravelmente, além de gerar possíveis transtornos com os proprietários (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

O impacto ambiental é um elemento de suma importância no projeto de uma rodovia, Pimenta e Oliveira (2004) descreve que o local onde a rodovia passa a região se divide em duas extremidades isoladas.

No anteprojeto será apresentado as etapas de estudo, levantamentos e cálculos, segundo Pimenta; Oliveira (2004) a sequência se dá da seguinte maneira:

- Ponto de encontro de tangentes, e determinação de suas coordenadas.
- Comprimentos das tangentes e deflexões.

- Escolhas dos raios de curvaturas.
- Dimensionamento e escolha das curvas verticais e horizontais.
- Estaqueamento dos traçados (20m ou 50m).
- Levantamento do perfil do terreno.
- Escolha dos pontos de interseção, determinação das cotas e estacas das rampas.
- Cálculo do comprimento e da declividade das rampas

2.2.2 Projeto Final

Consiste na escolha do anteprojeto ideal e se necessário sua adequação. Em seguida é detalhado o projeto geométrico.

Após ser feita uma análise dos dados levantados da região, ser feita escolha do anteprojeto e sua adequação, tem-se todos os elementos necessários, tais como, projetos parciais, representações gráficas, memoriais de cálculos e descritivos, quantificações de serviços, cronogramas, orçamentos, especificações técnicas e entre outros elementos necessários para pôr em pratica o projeto em questão. (PONTES FILHO, 1998; PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

2.2.3 Representação Gráfica

Pimenta e Oliveira (2004) descreve que os trechos de uma rodovia são representados por plantas e perfis. O projeto geométrico se dá por um conjunto de plantas e desenhos com a totalidade dos trechos.

Com métodos e equipamentos topográficos avançados, usando a aerofotogrametria, o GPS etc., é possível a digitalização da topografia do terreno (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Na maioria dos projetos, projetistas experientes, olhando plantas e perfis de trechos, conseguem com razoável sucesso visualizar o comportamento tridimensional das estradas. Em casos especiais, como em interseções, onde várias estradas interligam-se por meio de ramos complexos, ou em locais de topografia acidentada, onde curvas horizontais e verticais coexistem em sucessão complexa de curvas tridimensionais, a falta de uma visão global pode criar dificuldades para o projetista (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004, p.14).

2.3 ELEMENTOS DO PROJETO GEOMÉTRICO

O projeto geométrico estuda as propriedades geométricas do traçado, conforme o movimento, a conduta do motorista, as características de operação dos veículos e o tráfego, isso tudo visando garantir uma estrada com mais conforto, eficiência, e segurança, buscando o menor custo (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

2.3.1 Velocidades

Em relação a estrada, a velocidade depende das características geométricas, das condições do volume e do tráfego, da pista de rolamento, das condições climáticas, etc. Pois em uma estrada sempre tem veículos trafegando com velocidades diferentes, por isso se faz necessário definir valores de velocidades para estudo de características geométricas (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

2.4.1.1 Velocidades máxima de projeto (VP)

É a maior velocidade que pode ser atingida em uma estrada em condições normais de segurança por um veículo- padrão (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

A velocidade de projeto está diretamente associada à função da estrada, e a definição do seu padrão. As propriedades geométricas terão que oferecer em toda a estrada segurança ao usuário que percorre na velocidade estabelecida em projeto. A recomendação dos valores para velocidade se dá no quadro a seguir (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Quadro 3 - Valores para velocidade máxima de projeto recomendado.

Classe da rodovia	VMD*	Tipo de terreno	Velocidade de projeto (Km/h)	
			Desejável	Mínima
0	4.401 a 50.000	Plano	120	100
		Ondulado	100	80
		montanhoso	80	60
I	1.501 a 1.500	Plano	100	100
		Ondulado	80	80
		Montanhoso	60	60
II	500 a 1.500	Plano	80	80
		Ondulado	60	60
		Montanhoso	40	40
III	Até 500	Plano	60	60
		Ondulado	40	40
		Montanhoso	30	30

* VDM: Volume diário médio de tráfego esperado.

Fonte: Pimenta e Oliveira, (2004, adaptado).

2.3.1.2 Velocidade média de percurso (VM)

É a média das velocidades do tráfego, obtida dividindo-se a somatória das distâncias percorridas pela somatória dos tempos (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Devido a vários fatores, especialmente as situações do tráfego, veículos não conseguem percorrer toda a estrada na velocidade determinada no projeto. Desta maneira, existem algumas características geométricas, que precisam ser determinadas conforme a velocidade de operação em vez da velocidade de projeto (PONTES FILHO, 1998).

2.3.2 Distância de visibilidade

“Um dos fatores mais significativo para a segurança e eficiência operacional de uma estrada é a sua capacidade de poder proporcionar boas condições de visibilidade aos motoristas que por ela trafegam” (PONTES FILHO, 1998, p. 59).

“O projeto de uma estrada deve sempre ser definido de forma que o motorista tenha a melhor visibilidade possível em toda a estrada” (PONTES FILHO, 1998, p. 59).

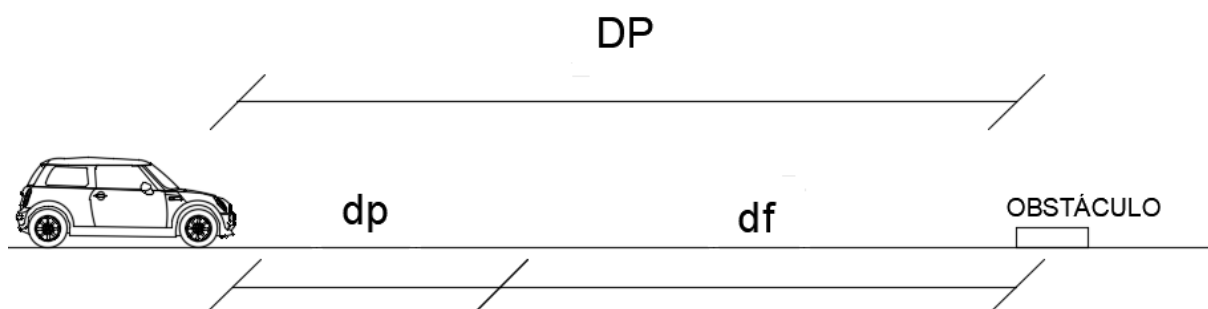
2.3.2.1 Distância de visibilidade de parada (DP)

É a distância mínima de visibilidade para um veículo que esteja na velocidade máxima de projeto, possa efetuar a parada com segurança antes de atingir um obstáculo que possa surgir (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Existem dois grupos para determinar esses valores mínimos da distância de visibilidade, são eles, os mínimos valores recomendados, cuja o veículo reduzira a velocidade nas condições de chuva, para um valor médio e menor que a velocidade de diretriz, como mostrado em tabela. Há também os valores excepcionais, que se dá pelos motoristas trafegarem com velocidade igual a motriz mesmo em condições climáticas desfavoráveis (PONTES FILHO, 1998).

A figura 1 esquematiza o momento em que o motorista a vista o osbstáculo e inicia o movimento de frenagem é determinado o tempo de reação. O cálculo do DP se dá através da distância que o veículo percorre durante o tempo de reação d_p , e a distância que o veículo percorre durante a frenagem d_f (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Figura 1 - Distância de visibilidade de parada



Fonte: Fontes (1995, adaptado).

Pimenta e Oliveira (2004) afirma que para definir d_p , é necessário estimar um tempo de reação (t_r).

Foram feitos diversos estudos para encontra um valor para “ t_r ”, a *American Association of State Highway and Transportation officials* - AASHTO recomenda t_r =

2,5 s no cálculo de dp , que se dá pela fórmula (AASHTO, 1994 apud PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

$$dp = 0,7.V \quad (1)$$

De com Pimenta Filho (2004), para calcular df e posteriormente DP , usa-se as seguintes equação:

$$df = 0,0039.V^2 \quad (2)$$

$$DP = 0,7.V + 0,0039.V^2 \quad (3)$$

Em rampas o comprimento de frenagem nas subidas é menor, que em trecho planos e maior nas decidas, para cálculos de df e DP levando em consideração o efeito da rampa usa-se as equações a seguir:

$$df = \left(\frac{V^2}{255}\right). (f + i) \quad (4)$$

$$DP = 0,7.V + \frac{V^2}{255.(f + i)} \quad (5)$$

Onde:

- DP : Distância de parada (m)
- df : Distância de frenagem (m)
- dp : Distância percorrida no tempo de percepção (m)
- V : Velocidade do veículo (km/h)
- f : Coeficiente de atrito longitudinal, de acordo com as tabelas 5 e 6.
- i : Inclinação de rampa (positiva na subida).

Medidas experimentais mostram que o valor para f não é o mesmo para qualquer velocidade. Além disso, esse coeficiente também varia com o tipo, condições dos pneus do veículos, tipo e estado do pavimento, e especialmente se o pavimento está molhado ou está seco (PONTES FILHO, 1998).

O quadro 4 e o quadro 5 indicam o coeficiente de atrito de acordo com as velocidades.

Quadro 4 - Coeficientes de Atrito longitudinal para velocidade diretriz.

Parâmetros	Valores de f para V_{dir} (velocidade diretriz)									
V_{dir} km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
f	0,40	0,37	0,35	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28	0,28	0,27

Fonte: DNER (1999, adaptado).

Quadro 5 - Coeficientes de Atrito longitudinal para velocidade média.

Parâmetros	Valores de f para V_{dir} (velocidade diretriz)									
V_{dir} (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
V_{med} (km/h)	30	38	46	54	62	71	79	86	92	98
f	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,30	0,30

Fonte: DNER (1999, adaptado).

2.3.2.2 Distâncias de visibilidade de ultrapassagem (D_u)

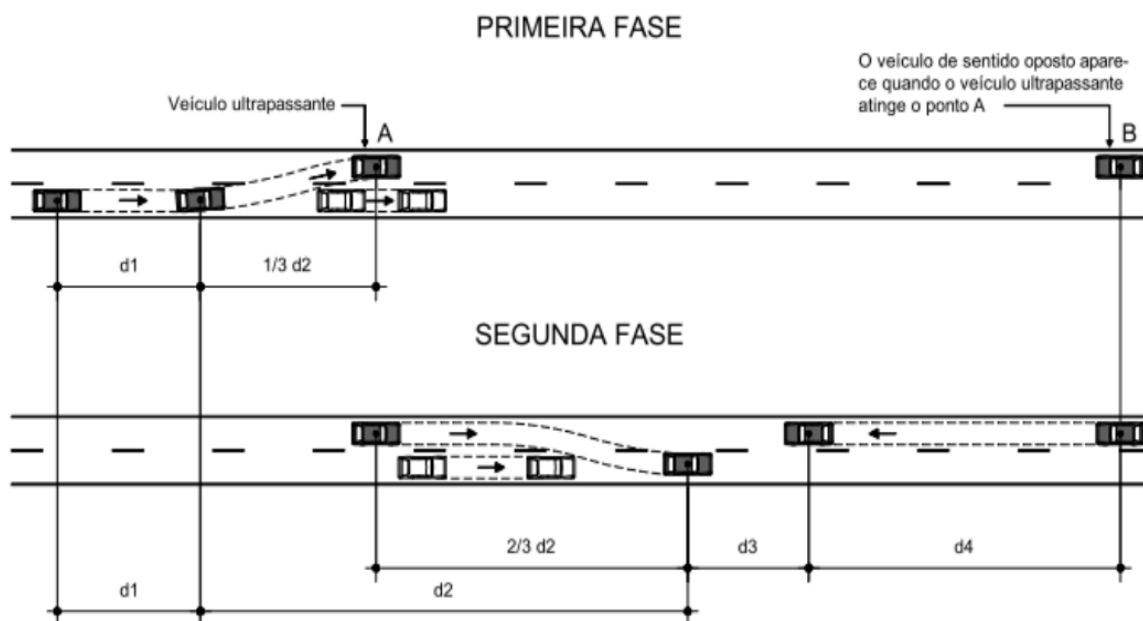
É a distância necessária para um veículo ultrapassar outro veículo com segurança e conforto (PONTES FILHO, 1998).

"Nas estradas de pista única, com dois sentidos de tráfego, é necessário que existam trechos com visibilidade suficiente para que os veículos mais rápidos possam ultrapassar os mais lentos" (PIMENTA; OLIVEIRA, 1998, p.23).

Na segurança da ultrapassagem se faz necessário que o condutor veja um vazio no trânsito no sentido oposto, para que seja efetuada a ultrapassagem sem oferecer risco ao próprio motorista e os demais usuários da via (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Pontes Filho (1998) sugere projetar trechos com visibilidade de ultrapassagem a cada 1,5 a 3,0km e que esses trechos sejam os mais longos possíveis. É interessante deixar distâncias superiores, elevando as oportunidades de uma quantidade maior de veículos para realizar a ultrapassagem. Na figura 2 está esquematizado a forma de realizar a ultrapassagem.

Figura 2 - Esquema de manobras de ultrapassagem



Fonte: AASHTO (1994, apud Moreira, 2014, p.21).

A AASHTO assumiu critérios para calcular o D_u baseando na conduta dos motoristas, os valores adotados foram usados em todo o mundo (AASHTO, 1994, apud MOREIRA, 2014).

A AASHTO (1994, apud PIMENTA; OLIVEIRA, 2004) assume as hipóteses:

- O veículo que sofre a ultrapassagem deve estar a uma velocidade constante menor que a determinada no projeto;
- O veículo que irá executar a manobra de ultrapassagem reduz a sua velocidade até avistar um espaço suficientemente seguro para realizar a ultrapassagem;
- Ao verificar um espaço suficiente o condutor leva um tempo para percepção e iniciar a aceleração para ultrapassar o veículo mais lento;
- O motorista realiza a ultrapassagem pela faixa esquerda até alcançar uma velocidade superior ao veículo ultrapassado de 15km/h;
- Ao término da ultrapassagem o veículo volta para sua faixa e fica a uma distância segura de possíveis veículos que trafeguem no sentido contrário.

Segundo a AASHTO (1994, apud PIMENTA; OLIVEIRA, 2004) o cálculo da distância ultrapassagem D_u é dada pela formula:

$$D_u = d_1 + d_2 + d_3 + d_4 \quad (6)$$

Onde:

$d1$: Distância percorrida entre o tempo da percepção e a aceleração inicial (m)

$d2$: Distância percorrida no instante de ocupação da faixa oposta (m)

$d3$: Distância de segurança (m).

$d4$: Distância que o veículo da faixa oposta se desloca (m)

Para os cálculos dos demais fatores a AASHTO (1994, apud PIMENTA; OLIVEIRA, 2004) utiliza as seguintes fórmulas, considerando m : a diferença de velocidade entre o veículo que realiza a ultrapassagem e o que sofre a ultrapassagem:

$$d1 = 0,278 \cdot t1 \cdot \left(Vu - m + \left(a \cdot \left(\frac{t1}{2} \right) \right) \right) \quad (7)$$

$$d2 = 0,278 \cdot Vu \cdot t2 \quad (8)$$

$$d4 = \left(2 \cdot \frac{d2}{3} \right) \quad (9)$$

Onde:

Vu : Velocidade de ultrapassagem (km/h)

m : Adotar 15km/h

$t1$ e $t2$: Tempo (s)

a : Aceleração média (km/h/s)

$d3$: Valor de acordo com o quadro 6.

Quadro 6 - Distância de visibilidade de ultrapassagem.

Componentes da manobra de ultrapassagens	Velocidade km/h			
	56,2	70	84,5	99,8
Manobra inicial:	2,25	2,3	2,37	2,41
A – Aceleração média (km/s/s)				
T1 – tempo (s)	3,6	4	4,3	4,5
D1 – distância percorrida (m)	45	66	89	113
Ocupação da via esquerda t2-tempos(s)	9,3	10	10,7	11,3
D2-distância percorrida (m)	145	195	251	314
Distancia livre no final da manobra	30	55	75	90
Veículo oposto = d4 distância percorrida	97	130	168	209
Distancia total: d1+d2+d3+d4	317	446	583	726

Fonte: AASHTO (1994, apud MOREIRA, 2014, p.23).

A velocidade para ultrapassagem está ligada a quantidade do tráfego da rodovia, a AASHTO admite para rodovias de mão dupla, proporcional a velocidade de projeto, os valores para a velocidade do veículo ultrapassado e o que ultrapassa estão de acordo com o quadro 7 (AASHTO, 1994, apud PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Quadro 7 – Distância de visibilidade de ultrapassagem.

Velocidade de Projeto (km/h)	Velocidade adotada		Distância de ultrapassagem (m)
	Veículo ultrapassado (km/h)	Veículo que ultrapassa (km/h)	
30	29	44	217
40	36	51	285
50	44	59	345
60	51	66	407
70	59	74	482
80	65	80	541
90	73	88	605
100	79	94	670
110	85	100	728
120	91	106	792

Fonte: AASHTO (1994, apud, Pimenta; Oliveira, 2004, p.27, adaptado).

2.4 CURVAS CIRCULARES

É possível dizer que estradas são constituídas de trechos retos que são denominados tangentes, e trechos curvos (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Para Pontes Filho (1998), o traçado geométrico de uma estrada é composto por trechos retos associados a trechos curvos horizontais, trechos esses que são usados para desviar caminhos que não podem ser viáveis economicamente. De início uma estrada busca o menor trajeto possível, porém algumas deflexões, sempre que necessárias podem adequar o traçado com a topografia do terreno.

“Primeiramente, vamos considerar as curvas horizontais como sendo formadas por arcos de circunferência que se ligam diretamente às tangentes. Essas curvas são denominadas curvas horizontais circulares” (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004, P.29).

Normalmente os fatores exploratórios (características geotécnicas e geológicas, hidrografia, problemas de desapropriações, etc.), acusam se é preciso curvas horizontais (PONTES FILHO, 1998).

“O raio adotado para cada curva circular deve ser aquele que melhor adapte o traçado ao terreno, respeitando valores mínimos que garantam a segurança dos

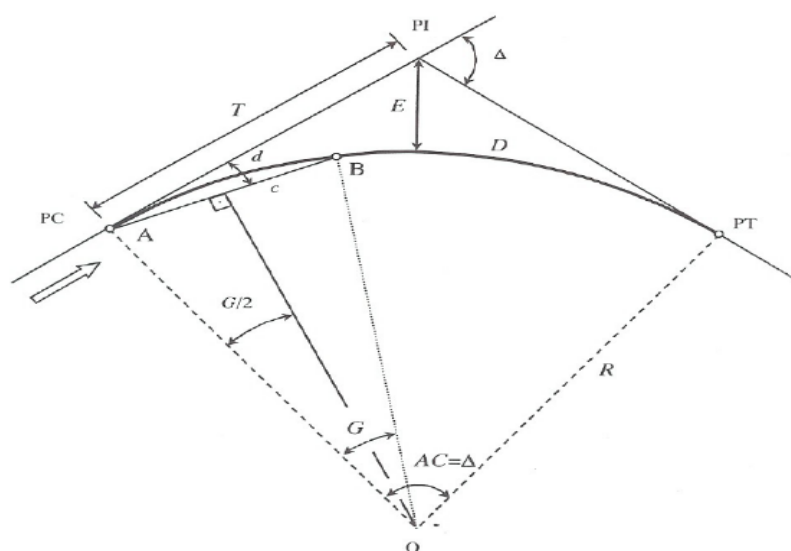
veículos que percorrem a estrada na velocidade de projeto” (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004, p.29).

2.4.1 Geometria das Curvas Circulares.

Curvas horizontais circulares são muito usadas em projetos de estradas, devido a sua simplicidade para ser projetada e locada. Esse tipo de concordância se dá por duas tangentes combinada com um arco de círculo (PONTES FILHO, 1998).

A figura 3 a seguir mostra detalhadamente os principais elementos e a nomenclatura utilizada.

Figura 3 - Curva Horizontal Circular



Fonte: Ponte Filho, 1998.

Onde:

PC:	Início da curva	AC:	Ângulo central da curva
PT:	Fim da curva	R:	Raio da curva circular
PI	Ponto de encontro das tangentes	T	Tangente
Δ:	Ângulo de deflexão	O	Centro da curva
AC	Ângulo central da curva	E	Afastamento
d	Deflexão sobre a tangente	G	Grau da curva
D	Desenvolvimento da curva	C	Corda

As principais relações entre os elementos das curvas circulares, segundo Pontes Filho (1998), se dão pelas seguintes equações:

$$T = R. \tan\left(\frac{Ac}{2}\right) \quad (10)$$

$$D = \pi. R. \frac{Ac}{180}^{\circ} \quad (11)$$

$$E = T. \tan\left(\frac{Ac}{4}\right) \quad (12)$$

$$G = \frac{180^{\circ}. c}{\pi. R} \quad (13)$$

Segundo Pontes Filho (1998), quando se faz a substituição de um arco (AB) pela sua corda, comete-se um erro, a sua grandeza pode ser maior na maneira que o comprimento da corda aumenta. Se utilizarmos $c = 20\text{m}$ o erro será menor que $0,001\text{m}$, tornando-se desprezível, logo a equação do grau fica:

$$G20 = \frac{1145,92}{R} \quad (14)$$

PC e PT são denominadas pelas seguintes equações (PONTES FILHO, 1998).

$$E(PC) = E(PI) - [T]^2 \quad (15)$$

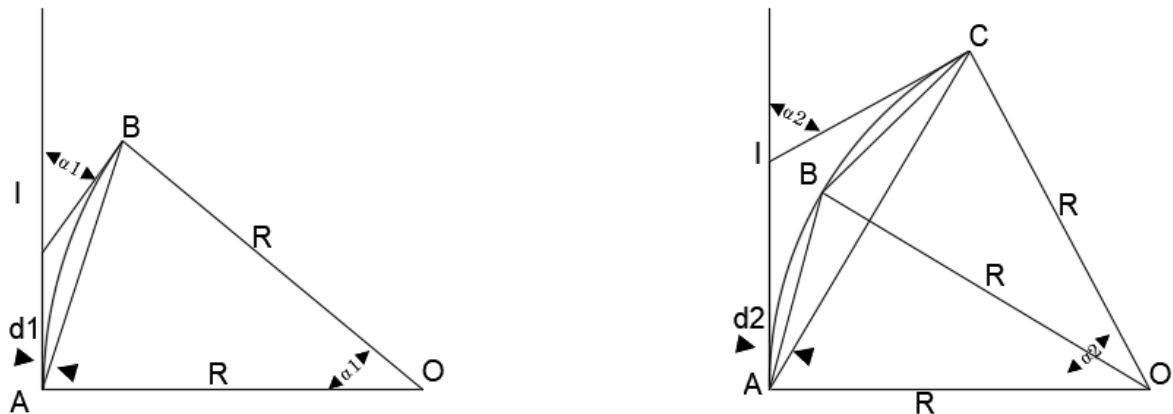
$$E(PT) = E(PC) + [D] \quad (16)$$

2.4.2 Locação das Curvas Circulares

Após a determinação do projeto a locação definirá o posicionamento da estrada no campo. Inicialmente são locados os PI's, verificado os ângulos Ac , e em seguida locada as curvas e o restante dos itens geométricos como mostrado na figura 4 (PIMENTA; OLIVEIRA 2004).

² [T]: significa valor da tangente em estaca
E: significa a abreviação de estaca.

Figura 4 - A locação de curvas através do processo de deflexão e cordas



Fonte: Pimenta e Oliveira, (2004, adaptado).

Pimenta e Oliveira (2004), define os seguintes padrões para o cálculo de locação através da deflexões e cordas:

- Primeiramente determina-se a deflexão $d1$ para locar B, que está a um espaço $L1$ do ponto A.
- $\alpha1$ Que é o ângulo central do arco de comprimento $L1$, teremos:

$$\alpha1 = \frac{G \cdot L1}{20} \quad (17)$$

$$d1 = G \cdot \frac{L1}{40} \quad (18)$$

- Para locar o ponto C, calcula-se $d2$, distante $L2$ do ponto A

$$d2 = \frac{\alpha2}{2} \rightarrow d2 = \frac{G \cdot L2}{40} \quad (19)$$

- A deflexão para locar um arco de comprimento onde $G/40$ é uma constante para 1m, se dá através:

$$d = L \cdot \left(\frac{G}{40} \right) \quad (20)$$

- Para locar uma curva partindo do ponto de início da curva (PC), considerando $[Npc+Fpc]^3$, e a deflexão para locar a primeira estaca inteira da curva $[Estaca\ Npc+1]$ se dá através da equação:

$$di = (20 - Fpc) \cdot \left(\frac{G}{40} \right) \quad (21)$$

- Para locar as próximas estaca inteiras, basta somar $d1 + \left(\frac{G}{2} \right)$ sucessivamente.

³ Npc, corresponde ao número de estacas inteiras.

Fpc, corresponde ao número de estacas em fração de metro.

Para a locação de curvas constrói-se uma tabela, conforme mostrado a seguir com as informações obtidas de estaca em estaca (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Quadro 8 - Planilha de locação de curvas circulares

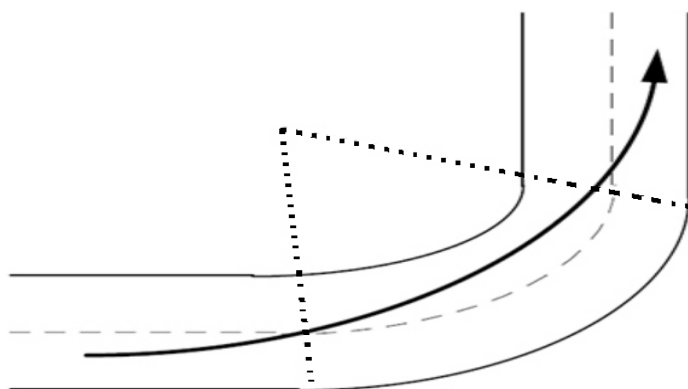
Estacas	Distância	Corda	Deflexão
(Npc) + Fpc	0	0	0
(Npc + 1) + 0,00	20 – Fpc	20 – Fpc	d1
(Npc + 2) + 0,00	40 – Fpc	20	$d1 + (\frac{G}{2})$
>>	>>	>>	>>
(Npt) + Fpt	D	Fpt	$Ac/2$

Fonte: Pimenta e Oliveira, 2004 adaptado.

2.5 CURVAS COM TRANSIÇÃO

Um veículo ao deslocar-se de um alinhamento reto para uma curva circular, há uma variação repentina do raio infinito para finito, surgindo uma força centrífuga repentina que tende a tirar o veículo da sua trajetória, conforme mostrado na figura 5. Com o intuito de gerar segurança, e uma maior comodidade, além de amenizar o desconforto dessa mudança brusca da aceleração centrífuga, alterna-se entre a tangente e a curva circular com a curva de transição (PONTES FILHO, 1998).

Figura 5 - Trajetória da transição



Fonte: Macedo (2008).

A inconstância da curva na ligação da tangente até a circular PC, e na ligação da circular com a tangente PT não é aceito por não ser um traçado coerente. Deste modo os PCs e PTs necessitam ter distâncias com curvas progressivas para atender as funções a seguir (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

- a) Proporcionar uma mudança constante da superelevação

Em trechos circulares é indispensável as superelevações, pois sem elas não teria como construir uma estrada, pois teria um degrau no ponto PC, já que na tangente não se tem superelevações. Ao adotar uma curvatura variável entre a tangente e a curva circular permite uma variação constante da inclinação transversal da pista até alcançar a superelevação.

- b) Gerar uma mudança constante de aceleração centrípeta na ligação do trecho reto com o trecho circular

O aparecimento de uma força transversal de forma inesperada gera impacto no veículo e nas pessoas, causando desconforto e instabilidade ao veículo.

- c) Produzir um traçado que proporcione ao veículo conservar-se ao meio da sua faixa de rolamento

- d) Oferecer um trecho coerente, sem inconstância da curvatura e visivelmente agradável

O DNER (1999), só dispensam o uso de curvas de transição em casos onde a concordância horizontal com curvas circulares de raios superiores aos indicados no quadro 9.

Quadro 9 - Raios de curvas que dispensam curvas de transição.

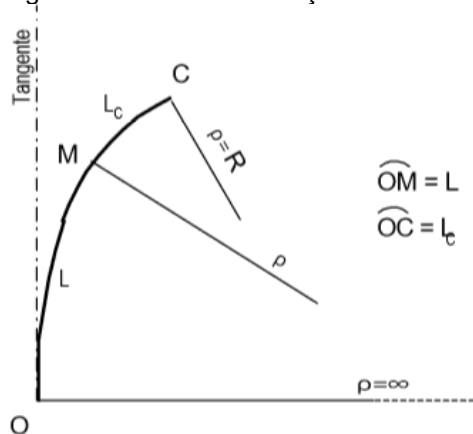
V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
R (m)	170	300	500	700	950	1.200	1.550	1.900	2.300	2.800

Fonte: DNER, 1999 adaptado.

2.5.1 A Clotóide ou espiral de transição

Conforme o DNER (1999) a curva tem a função de permitir a passagem de um traçado em tangente para um em curva circular. Na figura 6 mostras onde a curva de transição de origem O e com a extremidade em C, tem comprimento de transição LC (neste trabalho será usado Ls, para o comprimento de transição).

Figura 6 - Curva de transição



Fonte: Lee, Bucciano e Haliski (2000).

A curva espiral é uma curva que apresenta a equação a seguir, onde o valor adotado para a constante K tem ligação direta ao comprimento adotado para a transição e o raio do trecho circular, os seus elementos são apresentados na figura 7 (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

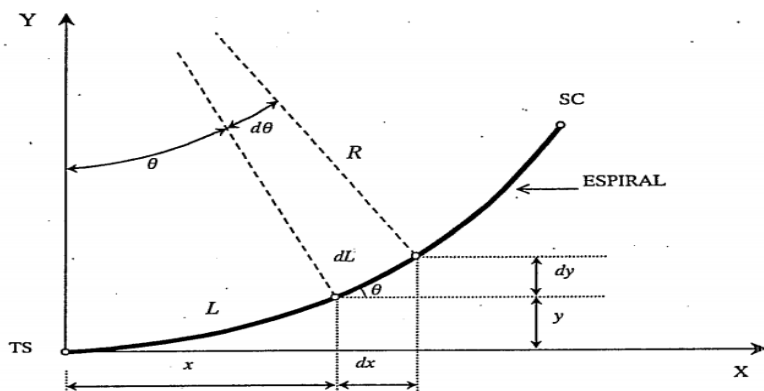
$$K = R \cdot L \quad (22)$$

Onde:

- K : Constante (m^2)
 R : Raio
 L : Comprimento percorrido

K define o comprimento do arco que será andado até que o grau de curvatura varie de zero à $G=1.146/R$, que é onde se inicia o trecho circular. Para cada K adotado corresponderá a escolha de uma curva dentro do grupo do Clotóide A figura 7 representa os elementos da espiral.

Figura 7 - Elementos da espiral



Fonte: Pontes Filho (1998).

Pontes Filho (1998) determina para o cálculo da Clotóide as seguintes equações:

$$\theta_s = L_s / (2 \cdot R_c) \text{ (Em radianos)} \quad (23)$$

$$X_s = L_s \left(1 - \left(\frac{\theta_s^2}{10} \right) + \left(\frac{\theta_s^4}{216} \right) \right) \quad (24)$$

$$Y_s = L_s \left(\left(\frac{\theta_s}{3} \right) - \left(\frac{\theta_s^3}{42} \right) \right) \quad (25)$$

$$k = X_s - R_c \cdot \text{sen} \theta_s \quad (26)$$

$$p = Y_s - R_c \cdot (1 - \cos \theta_s) \quad (27)$$

$$TT = k + (R_c + p) \cdot \text{tg} \frac{AC}{2} \quad (28)$$

$$D = (AC - 2 \cdot \theta_s) \cdot R_c \text{ (Radianos)} \quad (29)$$

$$TL = X_s - Y_s \cdot \cot \theta_s \quad (30)$$

$$TC = Y_s / \text{sen} \theta_s \quad (31)$$

$$E = \frac{(R_c + p)}{\cos \left(\frac{AC}{2} \right)} - R_c \quad (32)$$

Para o cálculo das estacas de pontos notáveis se dá as seguintes formulas:

$$TS = PI - TT \quad (33)$$

$$SC = TS - L_s \quad (34)$$

$$CS = SC + D \quad (35)$$

$$ST = CS + L_s \quad (36)$$

O DNER (1999) determina o desenvolvimento circular mínimo com superelevação total há á $D = 0,56 \cdot Vp$.

A figura 8 mostra os componentes para parâmetros de cálculo da curva de transição.

2.5.3.1 Comprimento mínimo de transição:

A taxa máxima que a diferença de aceleração centrípeta pode alcançar em um certo tempo (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

O DNER (1999), recomenda para fins práticos dois parâmetros para comprimento mínimo, sempre recomendando usar o maior entre eles.

$$L_{smin} \geq 30m$$

Ou também para a distância percorrida pelo veículo na velocidade diretriz no tempo de 2 segundos.

$$L_{smin} = 0,56 V_p \quad (37)$$

Onde:

L_{smin} Comprimento mínimo de transição (m)

V_p Velocidade diretriz de projeto (Km/h)

O DNER (1999) define também o critério de conforto para o L_{smin} . Esse critério é a taxa da máxima variação da aceleração centrífuga, que procura determinar o menor comprimento de transição de modo que não gere ao usuário a sensação de desconforto e insegurança devido a passagem do trecho em tangente para a curva circular. Esse parâmetro se dá com a fórmula a seguir:

$$L_{smín} = \frac{V_p^3}{46,656 \cdot C \cdot R} - \frac{e \cdot V_p}{0,367 \cdot C} \quad (38)$$

Onde:

$L_{smín}$ Comprimento mínimo de transição (m)

V_p Velocidade diretriz de projeto (Km/h)

C Taxa (máxima admissível) de variação da aceleração transversal (m/s³)

R Raio da curva circular (m)

e Superelevação (m/m)

O valor para C que o DNER (1999) recomenda para atender as condições de conforto e segurança é estabelecido pela fórmula a seguir:

$$C = 1,5 - 0,009 \cdot V_p \quad (39)$$

Outro critério adotado pelo DNER (1999), para determinação do L_{smin} , é o da máxima rampa para superelevação.

Este critério se baseia no controle da elevação dos bordos da pista de rolamento em relação ao eixo de rotação da pista, que ocorre quando se efetua a distribuição da superelevação, visando assegurar valores razoáveis, do ponto de vista de conforto e de segurança, para a velocidade de giro (transversal) dos veículos, ao percorrer os trechos em transição. (: Lee, Bucciano e Haliski. 2000, p.96).

O DNER (1999), estabelece os máximos valores admissíveis para rampas de superelevação, considerando o caso de uma pista simples, com duas faixas de tráfego e desenvolvimento da superelevação mediante giro da seção transversal em torno do eixo. O quadro 10 estabelece para diferentes velocidades diretrizes de projeto o valor da rampa máxima.

Quadro 10 - Rampa de superelevação admissível (pista simples)

V_p (km/h)	40	50	60	70	80	90	≥ 100
$r_{m\acute{a}x}$	1:137	1:154	1:169	1:185	1:200	1:213	1:233

Fonte: DNER (1999, p107) adaptado.

A formula a seguir estabelece o valor de $L_{smín}$, para a máxima rampa de superelevação, considerando o caso básico de uma pista com duas faixas de tráfego o valor de F_m será 1,0 que corresponde ao giro da largura de uma faixa em relação ao eixo.

$$L_{smín} = F_m x L_f \cdot \frac{e}{r_{m\acute{a}x}} \quad (40)$$

Onde:

$L_{smín}$ Comprimento mínimo de transição (m)

F_m Fator multiplicador em função da largura de rotação da pista

L_f Largura da faixa de trânsito (m)

e Superelevação (m/m)

$r_{m\acute{a}x}$ Rampa de superelevação admissível

2.5.3.2 Comprimento máximo de transição:

É o comprimento máximo admissível para a transição.

O primeiro critério que o DNER (1999) delimita para evitar comprimentos de Clotóide muito elevado em relação ao raio é:

$$Ls_{m\acute{a}x} = \text{Raio da curva circular} \quad (41)$$

O segundo critério determinado pelo DNER (1999), para estipular $Ls\ máx$ é a distância que o veículo percorre em um intervalo de tempo de 8 segundos na velocidade diretriz de projeto em Km/h (Vp).

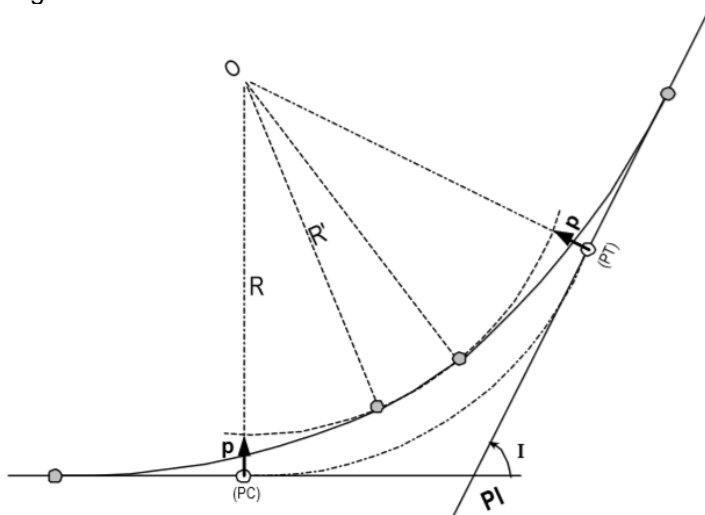
$$Ls\ máx = 2,2 Vp \quad (42)$$

O DNER (1999) recomenda arredondar os valores dos comprimentos de transição para múltiplos de 10, para facilitar os cálculos.

2.5.4 Concordeância da curva

a) Centro Conservado: é a diminuição do raio, mantém o centro da curva circular e evita o deslocamento da tangente, conforme ilustrado a seguir:

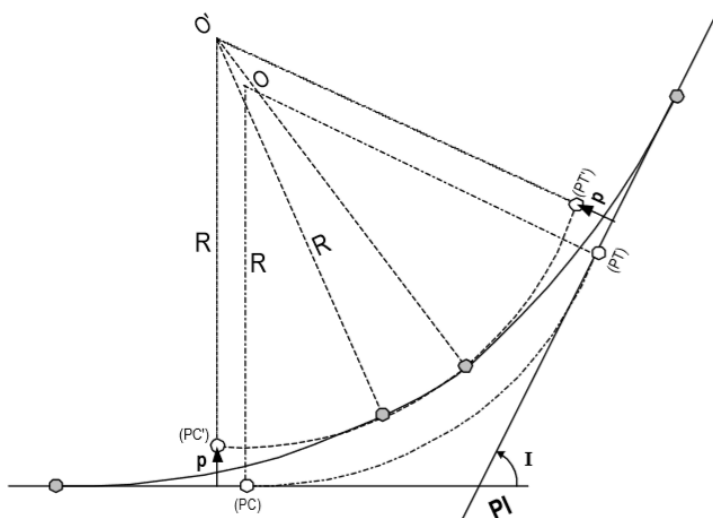
Figura 9 - Centro conservado



Fonte: Lee, Bucciano e Haliski (2000).

b) Raio conservado: Consiste no afastamento do centro, mantendo o raio e as tangentes. Esse tipo é mais indicado, pois evita problemas quando a curva possuir o raio mínimo, conforme ilustrado a seguir:

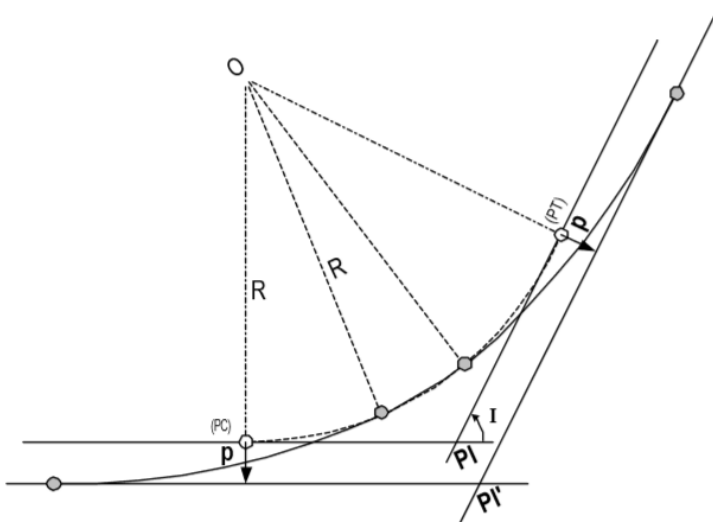
Figura 10 - Raio Conservado



Fonte: Lee, Bucciano e Haliski (2000).

c) Centro e raio conservados: Método que consiste no afastamento da tangente. Usado em casos extremos, pois pode provocar grandes dificuldades na execução, conforme ilustrado a seguir:

Figura 11 - Centro e raio conservados



Fonte: Lee, Bucciano e Haliski (2000).

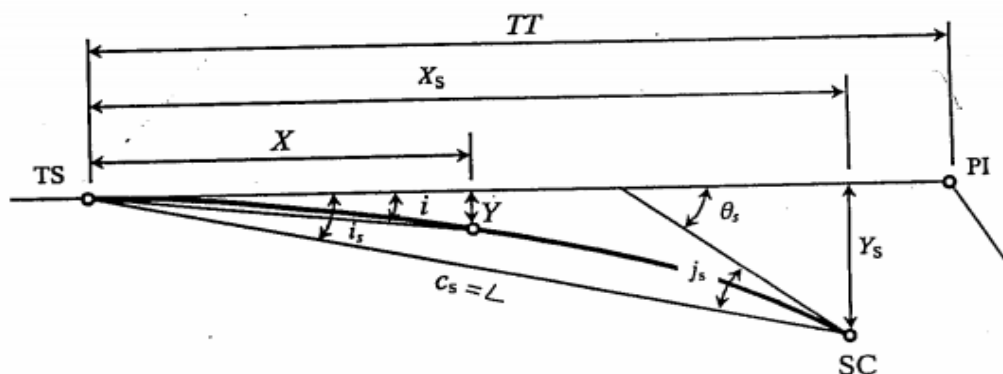
2.5.5 Locação de Curvas Circulares.

A locação se inicia após efetuar os cálculos das coordenadas X e Y que originam em TS ou ST, com o eixo x no sentido da tangente e o sentido do TS ou ST

para o PI. Ou também pode ser feito através das deflexões sobre a tangente, conforme figura 12 (PIMENTA; OLIVEIRA 2004).

$$d = \text{deflexão} = \arctg\left(\frac{Y}{X}\right) \quad (43)$$

Figura 12 - Locação de curva de transição



Fonte: Pontes Filho (1998).

Para a locação de curvas constrói-se uma tabela com as informações obtidas de estaca em estaca. Em casos de raios pequenos é possível se fazer a locação de estacas a cada 10m, conforme mostrado a seguir (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Quadro 11 - Locação de curvas de transição

Estaca	L	θ	X	Y	Deflexão
TS (ou ST)	0	0	0	0	0
N1	L1	θ_1	X1	Y1	d1
...
SC (ou CS)	Ls	θ_s	Xs	Ys	ds

L: distância de TS(ou ST) ao ponto considerado no decorrer da curva.

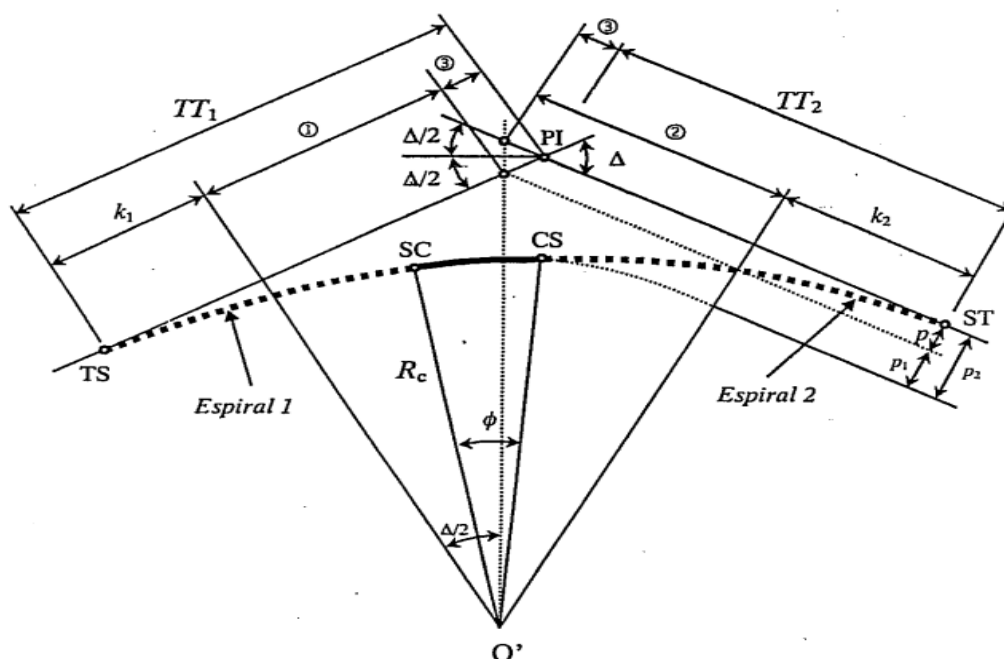
Fonte: Pimenta e Oliveira (2004, adaptado).

Para se locar pelo método das deflexões calculas, localizando o zero do teodolito para a direção do PI, e se intercepta com uma corda (20 ou 10m) do ponto anterior. Caso seja o ponto inicial a corda será o que fala para alcançar a primeira estaca ou o valor da estaca mais 10m. Caso seja o último ponto será o valor que falta p atingir SC (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

2.5.6 Curvas horizontais com transição assimétrica

São curvas que apresentam transições com tamanhos diferentes, ou seja, valores para L_s diferentes na entrada e saída das curvas. Esses tipos de curvas não são aconselhadas, sendo usadas apenas em circunstâncias especiais (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004). Sua ilustração se dá de acordo a figura 13.

Figura 13 - Curvas horizontais com transição assimétrica



Fonte: Pontes Filho (1998).

Pimenta Oliveira (2004) afirma para finalidade de cálculo após o conhecimento das tangentes, localização da estaca PI, o valor de R_c , e ser escolhido os valores para L_{s1} e L_{s2} , pode-se iniciar os cálculos de θ_s , X_s , Y_s , K , e p , para cada transição. São usadas as mesmas equações das curvas de transição, porém para cada transição é usado seus dados específicos.

Pimenta e Oliveira (2004) descreve que $L_{s1} \neq L_{s2}$, resultará em $p_1 \neq p_2$, logo ocorrerá valores diferentes para os afastamentos em relação a tangente circulares.

A diferença entre os afastamentos, as tangentes e o comprimento do trecho circular dá através da equação (PIMENTA; OLIVEIRA 2004):

$$TT1 = K1 + (Rc + p1) \cdot \operatorname{tg} \left(\frac{AC}{2} \right) + \left(\frac{\Delta p}{\operatorname{sen} AC} \right) \quad (44)$$

$$TT2 = K2 + (Rc + p2).tg\left(\frac{AC}{2}\right) - \left(\frac{\Delta p}{senAC}\right) \quad (45)$$

2.5.7 Curvas compostas com transição

Consiste na harmonização entre duas curvas circulares de diferentes raios, neste caso a concordância entre as curvas usa-se trecho de Clotóide (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Os parâmetros de cálculo que Pimenta e Oliveira (2004) indica para concordar com uma curva de transição é as equações a seguir:

Adotando os parâmetros 1 para a curva 1, e o 2 para a curva 2, de acordo com a figura 14.

$$Ls = L1 - L1 \quad (46)$$

$$K = Rc_1.L_1 \Leftrightarrow K = Rc_2.L_2 \quad (47)$$

$$L_1 = L_s \left(\frac{Rc_2}{Rc_1 - Rc_2} \right) \Leftrightarrow L_2 = L_s \left(\frac{Rc_1}{Rc_1 - Rc_2} \right) \quad (48)$$

$$\theta_1 = \frac{L_1}{2.Rc_1} \Leftrightarrow \theta_2 = \frac{L_2}{2.Rc_2} \quad (49)$$

$$X_1 = L_1 \cdot \left(1 - \frac{\theta_1^2}{10} + \frac{\theta_1^4}{216} - \dots \right) \Leftrightarrow X_2 = L_2 \cdot \left(1 - \frac{\theta_2^2}{10} + \frac{\theta_2^4}{216} - \dots \right) \quad (50)$$

$$Y_1 = L_1 \cdot \left(\frac{\theta_1}{3} - \frac{\theta_1^3}{42} + \frac{\theta_1^5}{1320} - \dots \right) \Leftrightarrow Y_2 = L_2 \cdot \left(\frac{\theta_2}{3} - \frac{\theta_2^3}{42} + \frac{\theta_2^5}{1320} - \dots \right) \quad (51)$$

$$K_1 = X_1 - Rc_1.sen\theta_1 \Leftrightarrow K_2 = X_2 - Rc_2.sen\theta_2 \quad (52)$$

$$p_1 = Y_1 - Rc_1.(1 - cos\theta_1) \Leftrightarrow p_2 = Y_2 - Rc_2.(1 - cos\theta_2) \quad (53)$$

$$\theta_c = arctg\left(\frac{K_1 - K_2}{(Rc_1 + p_1) - (Rc_2 + p_2)}\right) \quad (54)$$

$$\alpha = \theta_c - \theta_1 \quad (55)$$

$$\beta = \theta_2 - \theta_c \quad (56)$$

$$\theta_s = \alpha + \beta = \theta_2 - \theta_1 \quad (57)$$

$$p_c = (Rc_1 - Rc_2) - ((Rc_1 + p_1) - (Rc_2 + p_2))/\cos\theta_c \quad (58)$$

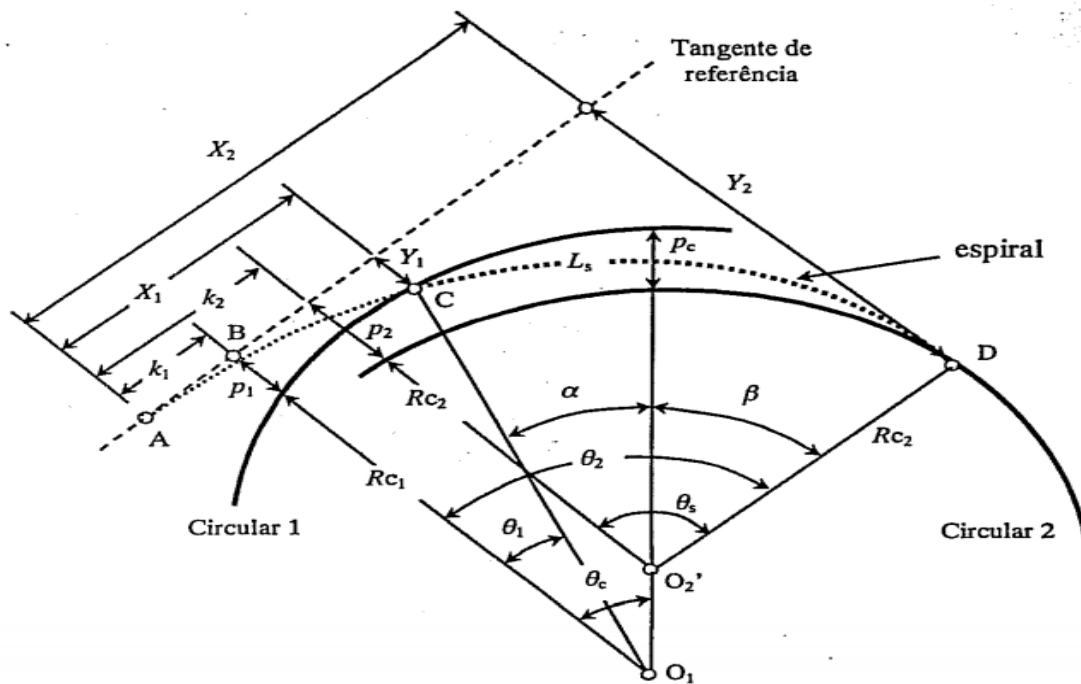
Onde:

L_1 : comprimento da espiral de A até CS (começo da transição entre curvas)

L_2 : comprimento da espiral de A até SC (fim da transição entre as curvas)

θ_s : ângulo da transição correspondente ao trecho da espiral entre os CS e SC.

Figura 14 - Parâmetros da curva.



Fonte: Pontes Filho (1998).

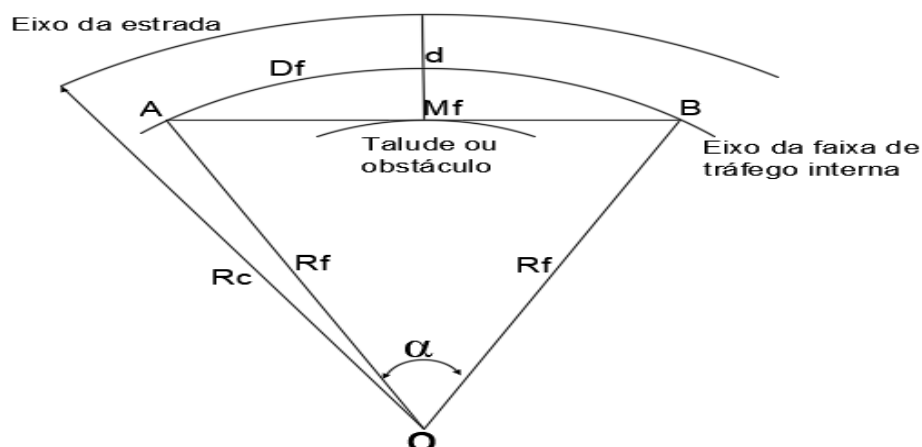
2.5.8 Recomendações do traçado

Deve ser evitado traçados com curvas seguidas de pequeno raio, pois gerar desconforto e é perigoso, além disso deve se evitar curvas com pequenos raios no final de grandes tangentes (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

2.5.9 Visibilidade em curvas

Todas as curvas devem ter a distância de visibilidade maior ou igual à distância de frenagem, a figura 15 dá detalhes da visibilidade em curvas.

Figura 15 - Visibilidade em curvas horizontais



Fonte: Pimenta e Oliveira (2004, adaptado).

Os valores das distâncias mínimas entre o eixo da rodovia e o obstáculo, deve-se sempre atender $M \geq M_{\text{mín.}}$, caso não atenda é necessário um raio maior. Esses parâmetros são obtidos através das equações (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

$$M = d + Mf \quad (59)$$

$$Rf = Rc - d \quad (60)$$

$$\alpha = \frac{Df}{Rf} \text{ (rad)} \quad (61)$$

$$Mf = Rf \left(1 - \frac{\cos \alpha}{2}\right) = Rf \left(1 - \frac{\cos Df}{2Rf}\right) \quad (62)$$

$$M_{\text{mín}} = d + (Rc - d) \left(1 - \cos \frac{Df}{2(Rc - d)}\right) \quad (63)$$

Tem-se:

M: distâncias mínimas entre eixo da estrada e o obstáculo (m)

Mf: distâncias entre eixo da estrada e o obstáculo (m)

d: distâncias entre eixo da estrada e o eixo da faixa interna (m)

Rc: raio da curva (m)

Rf: raio do eixo da faixa de tráfego (m)

Df: Distância mínima para frenagem (m)

2.6 SUPERELEVAÇÃO

Corresponde à inclinação transversal em curvas que faz com que o veículo reaja contra a força centrífuga evitando a derrapagem, isso tudo depende do raio da curva e a velocidade (PONTES FILHO, 1998).

2.6.1 Valores máximo para superelevação

Por motivos de segurança é estabelecido limites para a superelevação em curva. Em Curva com superelevação excessiva, quando o veículo tiver velocidade pequena, pode provocar deslizamentos para o lado dentro da curva (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Segundo a AASHTO (apud PIMENTA; OLIVEIRA, 2004) os valores máximos de superelevação são escolhidos através dos fatores:

- Fatores climáticos
- Topografia local
- Localização
- Velocidade do tráfego

Em rodovias com velocidade de projeto elevada a inclinação máxima recomendada fica em torno de 10% a 12% (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

2.6.2 Valores limites para coeficiente de atrito

O contato entre o pavimento e o pneu do veículo gera uma força de atrito, força essa que é gerada pelo produto do coeficiente de atrito e a força normal. Ao atingir um valor máximo o veículo começa a deslizar, para condições de projeto, como o coeficiente varia de caso para caso (conforme quadro 12) aconselha-se utilizar os fatores mais desfavoráveis (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Quadro 12 - coeficiente de atrito máximo para rodovias de alta velocidade

Velocidade de projeto (km)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<i>f_{máx}</i>	0,17	0,17	0,16	0,15	0,15	0,14	0,13	0,12	0,10	0,09

Fonte: Pimenta e Oliveira (2004, adaptado).

2.6.3 Superelevação e o raio mínimo

Para efeitos de cálculo que a superelevação e , se dá da seguinte maneira (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

$$R = \frac{Vp^2}{127.(e + f)} \quad (64)$$

Onde

Vp : Velocidade diretriz de projeto (km/h)

e : Superelevação

f : Coeficiente de atrito

R : Raio da curva (m)

O cálculo do menor raio que se pode ter em segurança para a rodovia se dá utilizando o coeficiente de atrito máximo para a velocidade determinada em projeto e a máxima superelevação possível para a rodovia, conforme mostrado no quadro 13 (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

$$R_{mín} = \frac{Vp^2}{127.(emáx + fmáx)} \quad (65)$$

Onde:

Vp : Velocidade diretriz de projeto (km/h)

$emáx$: Superelevação máxima

$fmáx$: Coeficiente de atrito máximo

$R_{mín}$: Raio mínimo da curva (m)

Quadro 13 - Raios mínimos em função das taxas máx. de superelevação.

Emáx	Velocidade Diretriz (km/h)									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
4%	30	60	100	150	205	280	355	465	595	755
6%	25	55	90	135	185	250	320	415	530	665
8%	25	50	80	125	170	230	290	375	475	595
10%	25	45	75	115	155	210	265	345	435	540
12%	20	45	70	105	145	195	245	315	400	490

Fonte: DNER (1999, adaptado).

2.6.4 Superelevação em trechos circulares

Existem quatro parâmetros para determinar a superelevação nas curvas circulares (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

I Parâmetro: Busca oferecer o máximo conforto possível para o usuário que trafegue na rodovia com velocidade prevista para projeto. Se tem o maior conforto quando $f = 0$, ou seja, o atrito é nulo.

II Parâmetro: Busca uma superelevação que proporcione conforto máximo a veículos que percorram a rodovia na velocidade média de operação.

Quando $f = 0$, temos:

$$e = \frac{Vm^2 \cdot G}{g \cdot 1146} \quad (66)$$

Onde:

G : Grau da curva

g : Aceleração da gravidade

e : Superelevação

III Parâmetro: Oferece mais conforto que os demais parâmetros para os veículos que trafeguem na rodovia com velocidade menor que a média. Adotado em projetos de rodovias com volume alto de tráfego de veículos pesados ou é esperado um volume de tráfego grande.

IV Parâmetro: É o mais utilizado, pois gera um conforto maior a veículos que trafeguem com velocidade próxima a V_m em curvas horizontais.

2.6.5 Superelevação para raios superiores aos mínimos

O DNER (1999) descreve que em casos onde o raio vai aumentando há uma diminuição na aceleração centrífuga e não se tem necessidade de usar $e_{máx}$. Sendo assim para maior conforto e segurança dos motoristas a superelevação se dá através da equação:

$$e = e_{máx} \cdot \left[\frac{2 \cdot R_{min}}{R} - \frac{R_{min}^2}{R^2} \right] \quad (67)$$

Onde:

e : Superelevação (%)

$e_{máx}$: Superelevação máxima adotada

R : Raio da curva (m)

$R_{mín}$: Raio mínimo para $e_{máx}$ (m)

O quadro 14 indica situações onde as superelevações não são necessárias, pois a curva apresenta raios grandes (SOUZA, 2012).

Quadro 14 - valores de raios dos quais a superelevação é dispensável

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	≥100
R (m)	450	800	1250	1800	2450	3200	4050	5000

Fonte: DNER (1999, adaptado).

O valor permitido para superelevações varia de 2% à 12%, o quadro 15, indica os valores para superelevação máxima com as suas respectivas situações para uso (SOUZA,2012).

Quadro 15 - Valores Máximos admissíveis para superelevação.

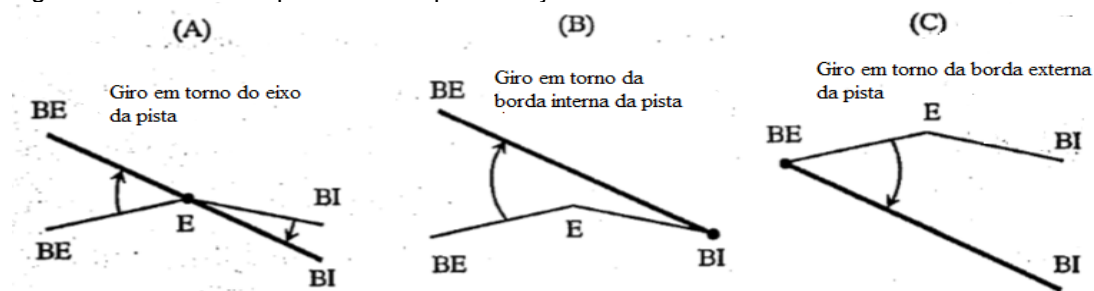
Superelevação máxima ($e_{máx}$)	Situações que se aplicam
12%	Onde se necessita melhorias e correções de situações que apresentem perigos
10%	Rodovias com classe 0 e classe 1
8%	Classe 1 (terreno montanhoso) e as demais classes
6%	Áreas urbanas com interseções frequentes
4%	Área com ocupação intensa e poucas condições de inclinar a pista

Fonte: DNER (1999, adaptado)

2.6.6 Distribuição da superelevação na pista simples

Pontes Filho (1998), define que a mudança do trecho da tangente para um com superelevação deve ser realizada de maneira que mantenha o conforto do motorista, evitando variações bruscas. Segundo o autor os métodos mais utilizados são os baseados na posição do centro de giro. Conforme ilustrado na figura 16.

Figura 16 - Processos para obter superelevação.

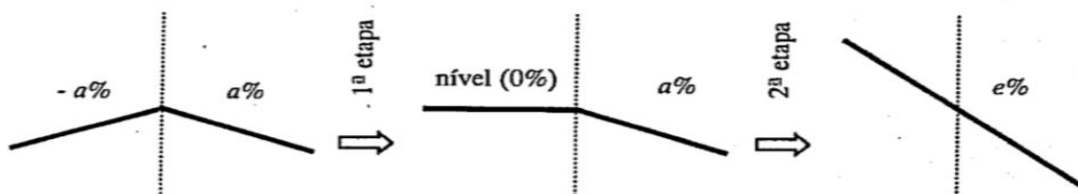


Fonte: Pontes Filho (1998).

Segundo Pontes Filho (1998) o modelo A é o mais indicado, pois gera uma menor distorção do terreno e poucas alterações nas cotas, além de deixar menor a sensação de variação da superelevação.

Em trechos de tangentes a rodovia tem inclinação simétrica em relação a $\alpha\%$, sendo assim os processos de distribuição é dividido em 2 etapas, como mostrado na figura a seguir (PONTES FILHO, 1998).

Figura 17 - Seção transversal de uma estrada

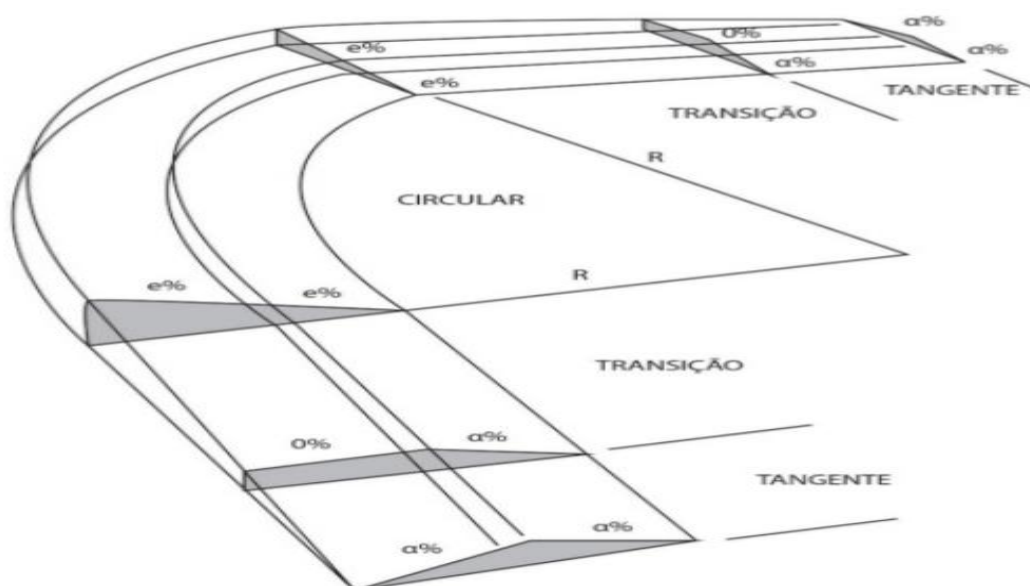


Fonte: Pontes Filho (1998).

Em trechos circulares precedido por curva de transição 2ª etapas (diferença da superelevação) se dá dentro da curva, onde L_s (tamanho da transição) determina L_e (tamanho do trecho da variação da superelevação) e também α_2 (inclinação longitudinal). Na 1ª etapa, L_1 é determinado em relação a α_1 .

A figura 18 ilustra o esquema de distribuição da superelevação.

Figura 18- Esquema mostrando a variação da superelevação

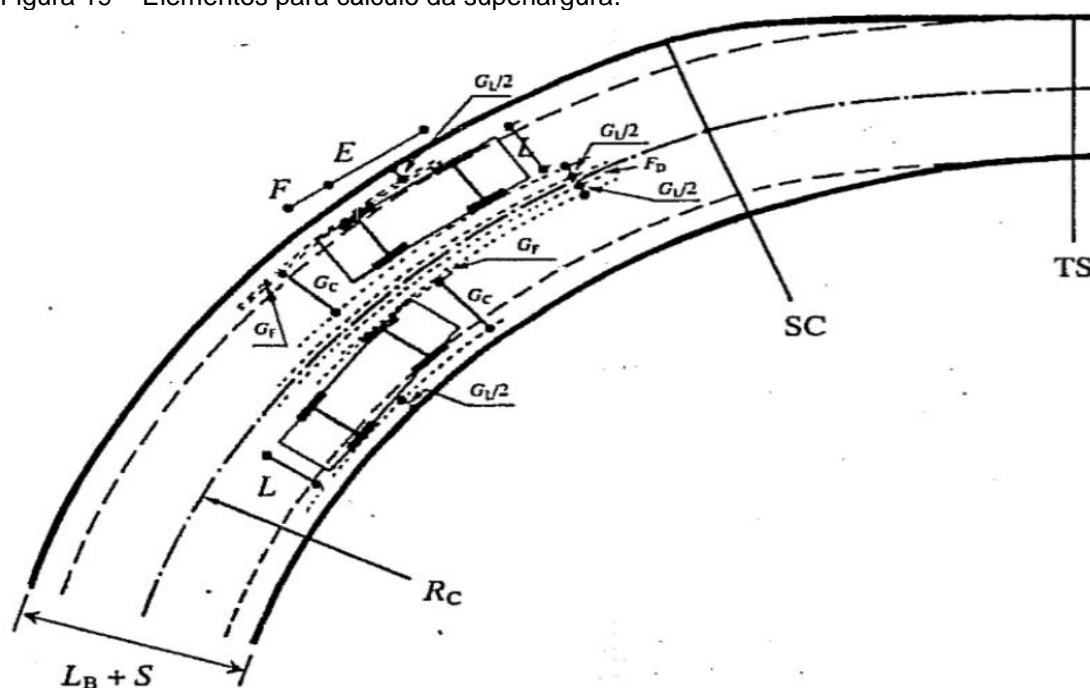


Fonte: Pontes Filho (1998).

2.7 SUPERLARGURA

É o alargamento nas curvas para a ideal inscrição dos veículos, dando a mesma segurança das regiões de tangente, a figura 19 demonstra o esquema de distribuição (PONTES FILHO, 1998).

Figura 19 – Elementos para cálculo da superlargura.



Fonte: Pontes Filho (1998).

Para o dimensionamento da Superlargura em pistas simples o DNER (1999) define os seguintes parâmetros de cálculo:

$$S = 2 \cdot \left(L + \frac{E^2}{2R} + GL \right) + \sqrt{R^2 + F \cdot (F + 2E)} - R + \frac{V}{10\sqrt{R}} - Lb \quad (68)$$

Onde:

- S*: Superlargura (m)
L: Largura do Veículo (m)
E: Distância entre eixos (m)
F: Balanço direito do veículo (m)
R: Raio da curva (m)
V: Velocidade diretriz (km/h)
Lb: Largura básica da pista em tangente (m)
GL: Folga lateral (m), conforme quadro 16

Quadro 16 - Valores para GL

Lb (m)	6,00/6,40	6,60/6,80	7,00/7,20
GL (m)	0,60	0,75	0,90

Fonte: Pontes Filho (1998, adaptado).

AASHTO (1994, apud PIMENTA; OLIVEIRA, 2004, p.84) sugere as seguintes medidas para os veículos padrões em pistas de 7,20m:

- Veículo de passeio: largura :1,80m, distância dos eixos: 3,40m, frente: 1,50m, distância lateral:0,15m, espaço de segurança:0,90m.
- Caminhão SU: largura:2,60m, distância dos eixos: 6,10m, frente: 1,80m, distância lateral:0,00m, espaço de segurança:0,50m.

Sempre utilizar *S*= 0,60m para superlargura que derem menor que esse valor, porem em superlargura inferior à 0,20m pode ser descartada, pois não irá gerar grandes benefícios (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

2.7.1 Distribuição da superlargura

A distribuição da superlargura em curvas circulares é feita no lado interno, a borda externa poderá apresentar uma curva reversa. Já nas curvas de transição a distribuição se dá metade para cada lado, ou toda na parte interna. Nesse caso a execução é simples e a curva terá um aspecto melhor (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

2.8 ELEMENTOS BÁSICOS

Os componentes da seção transversal de uma rodovia têm interferência direta nas suas características operacionais, de segurança e aparência. Esses componentes devem se adequar aos padrões estabelecidos para a via (DNER, 1999).

2.8.1 Pista de rolamento e faixa de tráfego

A pista de rolamento compreende as faixas de tráfego e os acostamentos (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Senço (2008) descreve a faixa de tráfego como sendo a pista de trânsito que permite que veículos se desloquem com segurança um atrás do outro, e geralmente apresentam 3,5m de largura.

DNER (1999) estabelece que a largura da faixa é obtida seguindo alguns critérios estabelecidos em projeto e que pode variar de 3,00m a 3,60m.

O “ANEXO A” deste trabalho apresenta a largura da faixa de rolamento conforme a classificação de projeto e a topografia local, de acordo como o DNER (1999) recomenda.

2.8.2 Acostamento

Espaços destinados a paradas emergenciais. É aconselhável que se tenha faixa de acostamento por toda a extensão da rodovia, sendo item indispensável (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Os acostamentos devem atender os padrões de segurança que oferece a via, auxilia também na drenagem do pavimento protegendo as bordas da pista, melhora a visibilidade da motorista.

A largura dos acostamentos conforme a recomendação do DNER (1999), está no “ANEXO A” deste trabalho, dependendo da classificação do projeto, e a topografia local.

2.8.3 Plataforma

Inicia-se nos pontos iniciais do talude, e compreende a pista de tráfego, acostamento e espaços de drenagem (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

2.8.4 Seções e inclinações transversais

Seções transversais são os cortes realizados em plano vertical, perpendicular o eixo da estrada, define a posição dos elementos do projeto na direção transversal. A seção padrão é definida como seção tipo, localizados na estaca inteira, e em pontos necessários, onde se tem alteração dos elementos básicos (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

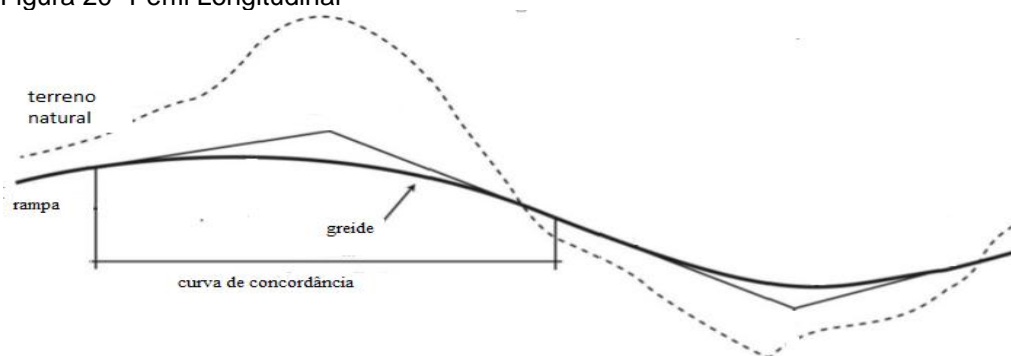
A inclinação nas seções transversais é necessária para que as águas pluviais possam escoar rapidamente, normalmente usa-se 2% em cada faixa na direção oposta do eixo central (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Em acostamentos se faz necessário uma inclinação maior, tendo a inclinação entre 2% e 5% (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

2.9 PERFIL LONGITUDINAL

Por questões de segurança é sempre necessário substituir o perfil original do terreno por um perfil projetado, (figura 20), denominado greide. O que compõem o greide é uma sequência de rampas que são concordadas por curvas verticais. O indicado é que sempre que for possível, usar rampas mais suaves, raios maiores em curvas verticais, permitindo ao veículo trafegar com a mesma velocidade durante o trajeto (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Figura 20- Perfil Longitudinal



Fonte: Macedo (2008, adaptado).

2.9.1 Alinhamento Vertical

Rampas máxima

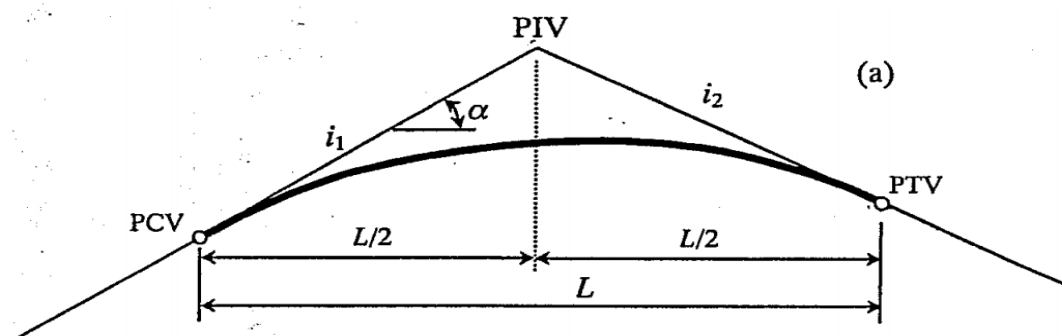
A determinação de rampas máximas visa determinar o equilíbrio entre o fator econômico, a redução do tempo da viagem e o desempenho do veículo. As inclinações devem estar de acordo com as especificações técnicas e operacionais da rodovia (DNER, 1999).

O DNER (1999) resume no “ANEXO A” deste trabalho, os máximos valores para rampas nas diferentes classes de rodovias, porém recomenda-se evitar usar os valores máximos.

Concordância Vertical

Gera concordância entre duas rampas, são projetadas visando atender a quesitos de segurança, visibilidade dos motoristas. A curva mais utilizada para essa concordância é a de parábola simples de eixo vertical, (figura 21), pois dá boa aparência às curvas e uma melhor concordância entre tangentes (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Figura 21 - Curva vertical parabólica



Fonte: Pontes Filho (1998).

Pontes Filho (1998) determina que:

- PIV: Encontro das tangentes
- PCV: Começo da curva vertical
- PTV: Fim da curva vertical
- L : Comprimento da curva
- i_1 : Inclinação da 1ª rampas
- i_2 : Inclinação da 2ª rampa

Pontes Filho (1998) define a equação a seguir como sendo a equação geral da parábola, onde y fornece qualquer ponto x da curva, sendo assim permite determinar as coordenadas nos pontos da curva em relação ao PCV:

$$y = \frac{-g}{2.L} \cdot x^2 + i_1 \cdot x \quad (75)$$

Para a determinação das cotas em relação a P, e das flechas f da parábola, Pontes Filho (1998) indica as seguintes formulas:

$$Cota(P) = y + cota(PCV) \quad (76)$$

$$f = \frac{-g}{2.L} \cdot x^2 \quad (77)$$

Para a flecha máxima em PIV, temos:

$$F = \frac{g.L}{8} \quad (78)$$

Para calcular os pontos máximos e mínimos, determina-se:

$$L_0 = \frac{i_1.L}{g} \quad (79)$$

$$y_0 = \frac{i_1^2.L}{2g} \quad (80)$$

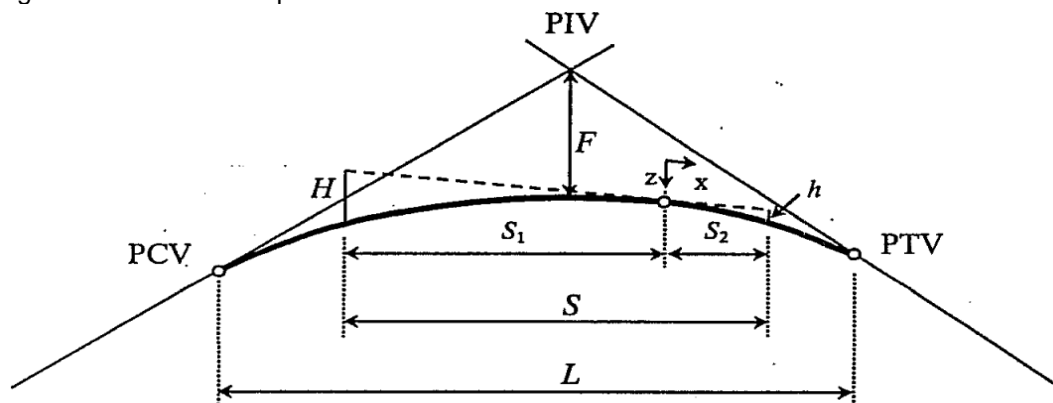
2.9.2 Comprimento mínimo de curvas verticais

Fator importante para as questões de visibilidade para parada e para ultrapassagem. É importante também para se obter um greide econômico e satisfatório (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

Curvas convexas: O seu comprimento se dá em função da visibilidade, é escolhido de maneira que quando se avista um obstáculo proporcione uma segura frenagem. Logo, todas as curvas devem apresentar $S \geq D_f$, onde S é a distância de visibilidade e D_f a distância mínima para frenagem (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

a) Caso 1: $S = D_f \leq L$

Figura 23 - Mínimo comprimento de curvas convexas



Considerando que a altura dos olhos do motorista seja h_1 e h_2 seja a altura do obstáculo

Fonte: Ponte Filho (1998).

O cálculo se dá através da equação (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

$$L_{\text{mín}} = \frac{g \cdot Df^2}{2 \cdot (h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2})} \quad (81)$$

Onde:

$L_{\text{mín}}$: menor comprimento da curva (m)

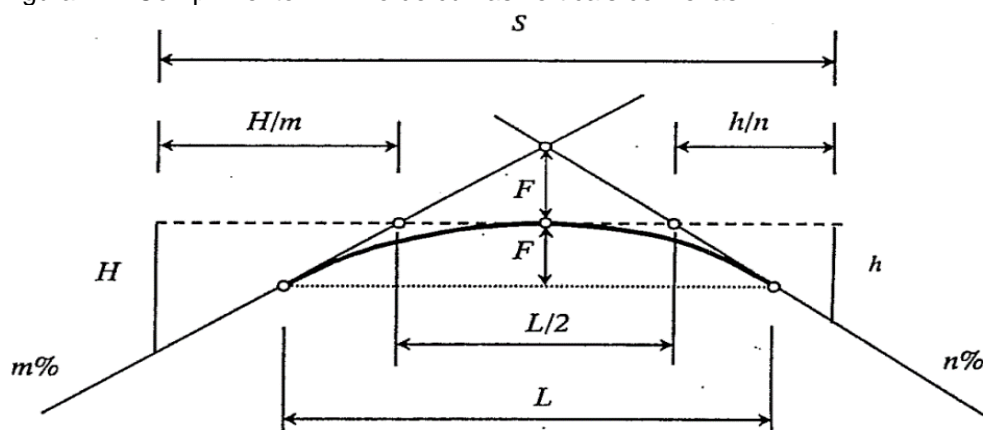
$K_{\text{mín}}$: Parâmetro da parábola (m)

A AASHTO (1994, apud PIMENTA; OLIVEIRA, 2004) determina que considerando $h_1=1,07\text{m}$ e $h_2=0,15\text{m}$, se tem:

$$K_{\text{mín}} = \frac{g \cdot Df^2}{4,04} \quad (82)$$

b) Caso 2: $S = Df \geq L$

Figura 24 - Comprimento mínimo de curvas verticais convexas



Fonte: Pontes Filho (1998).

O cálculo se dá através da equação (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

$$L_{\min} = 2.Df - \frac{2}{g} \cdot (h_1 + h_2 + 2 \cdot \sqrt{h_1 \cdot h_2}) \quad (83)$$

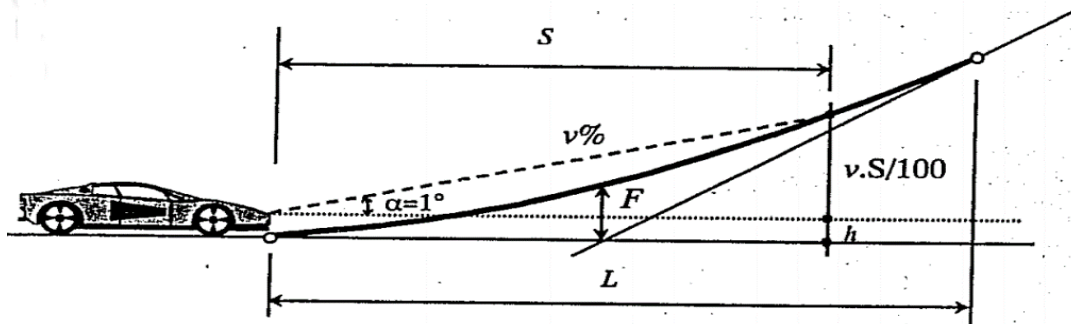
A AASHTO (1994, apud PIMENTA; OLIVEIRA, 2004) determina que considerando $h_1=1,07\text{m}$ e $h_2=0,15\text{m}$, se tem:

$$K_{\min} = 2.Df - \frac{4,04}{g} \quad (84)$$

Curvas verticais côncavas: O comprimento dessa curva se dá em função da visibilidade noturna, ou seja, o alcance dos faróis. Aconselha-se usar o $h=0,6\text{m}$ (altura dos faróis), e $\alpha=1^\circ$ (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

a) Caso 1: $S = Df \leq L$

Figura 25 - Mínimo Comprimento das curvas côncavas



Fonte: Pontes Filho (1998).

O cálculo se dá através da equação (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

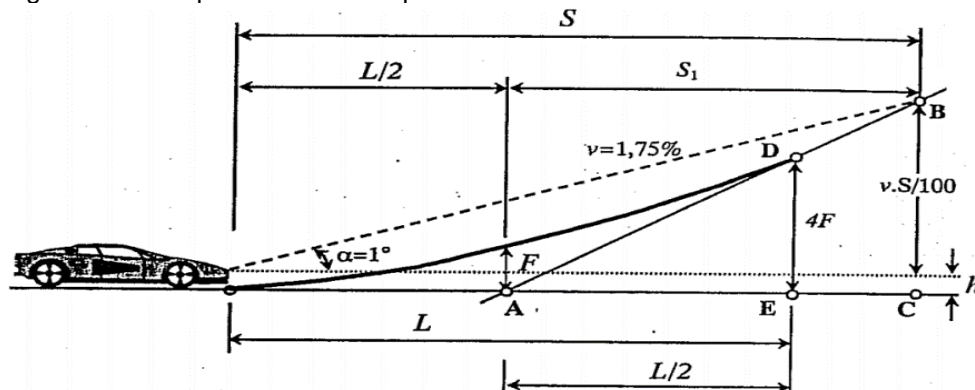
$$L_{\min} = \frac{g.Df^2}{2 \cdot (h + Df \cdot \tan \alpha)} \quad (m) \quad (85)$$

Para $h=0,6\text{m}$ e $\alpha=1^\circ$:

$$K_{\min} = \frac{g.Df^2}{1,2 + 0,035.Df} \quad (m) \quad (86)$$

b) Caso 2: $S = Df \geq L$

Figura 26 - Comprimento mínimo para curvas côncavas



Fonte: Pontes Filho (1998).

O cálculo se dá através da equação (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

$$L_{mín} = 2.Df - \frac{2.(h + Df.tg\alpha)}{g} (m) \quad (87)$$

Para $h=0,6m$ e $\alpha=1^\circ$:

$$K_{mín} = 2.Df - \frac{1,2 + 0,035.Df}{g} (m) \quad (88)$$

Não é indicado usar curvas verticais com L pequenos, sendo assim L deve atender o seguinte critério (PIMENTA; OLIVEIRA, 2004).

$$L_{mín} = 0,6.Vp \quad (89)$$

Vp: velocidade de projeto (km/h).

3. METODOLOGIA

3.1 DESENHO DO ESTUDO

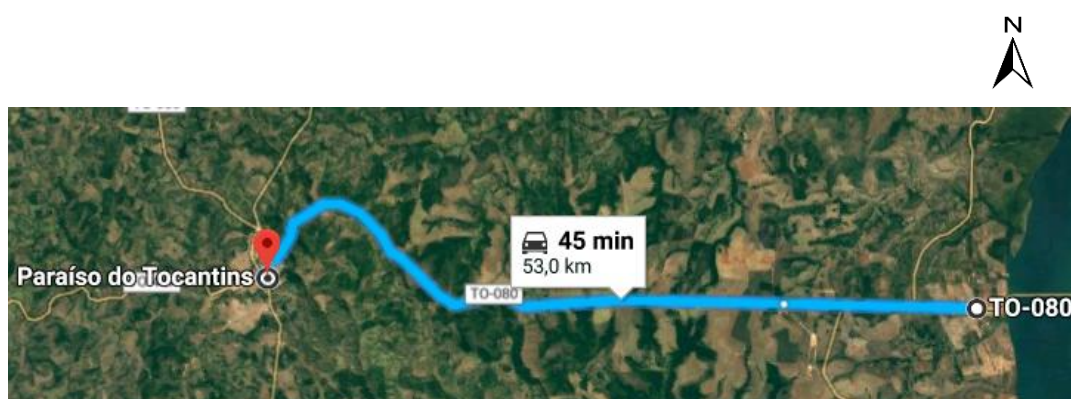
A presente pesquisa tem como finalidade desenvolver um estudo que possa ser possivelmente usado para solucionar, se necessário, os problemas abordados no presente trabalho, coletando dados de forma exploratória, buscando tornar claro os problemas levantados, mesmo que não se atinja a verdade absoluta das hipóteses.

O presente estudo tem caráter quali-quantitativo, pois tem como objetivo uma análise dos dados coletados e a elaboração dos possíveis resultados. Com base nas referências bibliográficas utilizadas serão definidos os conceitos dos elementos que compõem a pesquisa.

3.2 LOCAL E PERÍODO DE REALIZAÇÃO DA PESQUISA

O estudo dos procedimentos metodológicos teve início em fevereiro de 2018 e foi concluído em outubro de 2018. A pesquisa ocorreu inicialmente em Palmas através pesquisas bibliográficas que definiu conceitos e parâmetros de cálculos para a execução dos componentes geométricos da rodovia. Foi levantado dados para que seja possível a confirmação das hipóteses levantadas. Teve-se a coleta de dados do VMD para a caracterização da rodovia. A pesquisa de campo se deu na Rodovia TO 080, no trecho que liga Palmas à Paraíso onde foi levantado pontos através de equipamentos adequados. A figura a seguir mostra o local do estudo:

Figura 27 - Trecho da TO 080 que foi explorado.



Fonte: Google Maps⁴

⁴Disponível em: <<https://www.google.com.br/maps/dir/Ponte+Fernando+Henrique+Cardoso+-+Av.+P%C3%B4rt+o+Nacional+-+Centro,+Porto+Nacional+-+TO/Para%C3%ADso+do+Tocantins+->>

3.3 OBJETO DE ESTUDO

A presente pesquisa consiste na classificação, caracterização, e levantamento do traçado geométrico já existente, buscando através desses dados fazer uma análise do traçado e averiguar se atende ou não aos critérios básicos de segurança, conforto e nível de serviço exigidos pelo DNIT, e demais órgãos responsáveis.

A pesquisa busca identificar se no trecho da Rodovia TO 080 no sentido a Palmas à Paraíso existem falhas no projeto no que tange a características geométricas.

A análise dos dados se deu em todo o trecho da rodovia e nas 16 curvas existentes. A coleta dos dados in loco ocorreu em pontos considerados visualmente mais críticos, locais esses identificados durante visita ao trecho onde se percebeu que se poderia ter maior conflito e possíveis erros de projeto. Através dos cálculos dos componentes geométricos.

3.4 LEVANTAMENTO DOS DADOS

Inicialmente foi feito um levantamento bibliográfico, buscando uma fundamentação teórica para o projeto em questão, onde foi definido os conceitos, características, definição e parâmetros de cálculo para a elaboração e execução de um projeto rodoviário conforme exposto no item 2.0 desse trabalho.

3.4.1 Classificação da via e velocidade máxima de projeto

De acordo com o DNER (1999), conforme mostrado no capítulo 2.1 deste trabalho, a rodovia TO 080 no trecho estudado é classificada quanto ao domínio como estadual, pois liga as cidades do interior a capital, cabendo ao domínio do estado a sua conservação, manutenção e fiscalização.

Ao que cabe a funcionalidade da rodovia, seguindo os parâmetros do DNER (1999), pode-se classificar de acordo com os serviços que ela exerce, no caso da rodovia em análise, seguindo às suas atribuições a organização pode ser classificada de acordo com seu sistema funcional como arterial primária, pois atende as funções

essenciais de mobilidade de viagens interestaduais, ligando cidades com população aproximada de 50.000 habitantes.

Quanto as condições técnicas o DNER (1999), propõem que as rodovias nacionais sejam agrupadas em classe de 0 a IV. Atendendo as características de projeto a rodovia em análise é classificada como I-B, onde atende as características de pista simples e o VMD > 1400, com tráfego regular e como as movimentações de trânsito contidas pela própria situação de trânsito.

Conforme dados levantados na AGETO⁵, no período de 09/05/2017 à 22/05/2017 (ANEXO B e ANEXO C) o VMDa da rodovia é 4.057 veículos⁶, sendo dado de grande importância para a determinação das velocidades. Para a velocidade máxima de projeto (VP), de acordo com Pimenta e Oliveira (2004), como a classe da rodovia é I e o seu VMD está entre 1500 a 4401 e apresenta terreno na maior parte do trajeto com topografia ondulada a velocidade de projeto é 80km/h.

3.4.2 Levantamento e análise dos dados do projeto geométrico.

Os dados referentes ao traçado horizontal foram adquiridos pelo órgão responsável pelo gerenciamento das rodovias estaduais no Tocantins, DERTINS, em formato digital DWG e PDF, conforme apresentado no "ANEXO D". Neste pacote de dados fornecidos pelo órgão, inclui:

- Traçado horizontal do segmento (Palmas / Paraíso), com estaqueamento a cada 20m, com dados das concordâncias horizontais;
- Coordenadas do estaqueamento, incluindo os pontos de início (PC/TS) e fim das curvas (PT/ST);

Posteriormente foi feita uma visita ao local para reconhecimento do trecho a ser explorado.

Após o levantamento dos dados foi realizado uma análise, empregando os conceitos e parâmetros definidos no levantamento bibliográfico. Foi realizado os cálculos dos elementos geométricos coletados e avaliado também as condições de segurança da via de acordo com as exigências do manual do DNER (1999).

⁵ Agência Tocantinense de Transportes e Obras

⁶ Dados recolhido da última coleta do PC – Luzimangues/ Paraíso. Localizado 1km do trevo da TO- 348.

Em um segundo momento foi realizado uma nova visita ao local para a coleta dos dados em loco. Essa coleta se deu por amostragem, onde foi selecionado pontos que visualmente poderiam apresentar falhas de projeto.

O levantamento teve início no sentido Paraiso – Palmas. A primeira curva levantada foi o PI 14, conforme figura 28, por estar localizado em uma região montanhosa, a curva visualmente apresenta ser um ponto problemático, e como a topografia da rodovia é predominantemente ondulada, considerando esse parâmetro para cálculo os PI13 e PI 14 não atenderiam as normas. Porém considerando a topografia da região como montanhosa as curvas citadas acima estão dentro dos padrões de cálculos.

Figura 28 - Levantamento em campo da curva PI 14.



Fonte: Autor.

Com o nível óptico e com a régua graduada foi realizado duas leituras, uma em cada lado da rodovia, conforme figura 29. Em seguida com o diaximetro foi medido a largura da pista de rolamento.

Figura 29 - Levantamento com nível óptico do PI 14



Fonte: Autor.

Logo em seguida foi levantado os pontos do PI 13 (figura 30), ponto escolhido por também estar localizado em uma região montanhosa e aparentar ter possíveis erros como na curva anterior. O procedimento de coleta foi o mesmo adotado na curva anterior.

Figura 30 – Levantamento em campo da curva PI13



Fonte: Autor.

As curvas seguintes que tiveram os dados coletados foi o PI 5, conforme figura 31, e o PI 3 conforme figura 32, localizada em uma região ondulada, e que apresentam

pouca visibilidade. Através da análise dos dados levantados não apresentam nenhum problema no projeto, porém visualmente foi considerado possíveis erros de superelevação. A coleta dos dados se deu da mesma maneira das curvas anteriores.

Figura 31 - Levantamento em campo da curva PI 5.



Fonte: Autor.

Figura 32- Levantamento em campo da curva PI 3.



Fonte: Autor.

Foi realizado a coleta dos dados de uma amostra de curva vertical, onde foi escolhido uma curva para se coletar os dados e reproduzir seu perfil altimétrico, para verificar se estaria atendendo as normas, conforme mostrado na figura 33.

Figura 33 - Levantamento em campo da curva vertical



Fonte: Autor.

O nivelamento geométrico foi realizado conforme figura 34, onde inicialmente foi marcado a distância de estaca em estaca para realizar a leitura. Em seguida foi posicionado a régua graduada na marcação de cada estaca e foi realizado a leitura com o nível óptico da vante e ré dos pontos, posteriormente foi calculado as cotas de cada estaca, a inclinação das tangentes e demais dados verticais. Com esses dados foi reproduzido o perfil altimétrico.

Figura 34 - Levantamento em campo da curva vertical



Fonte: Autor.

Os equipamentos auxiliares utilizados para o levantamento em loco foram o nível óptico, tripé, e a régua graduada, equipamentos esses usados para a leitura das alturas e os desníveis do terreno, o diaximetro foi usado para medir a largura do faixa de rolamento, acostamentos e as distâncias entre estacas. A coleta desses dados se faz importante para a conferência dos cálculos dos pontos obtidos na coleta inicial.

3.4.3. Sugerir possíveis melhorias

Com os dados levantados, a análise feita no que tange a condições do projeto geométrico, a rodovia está dentro dos parâmetros do DNER, porém a rodovia apresenta falhas nos acostamentos onde os mesmos não atendem as dimensões mínimos exigidas, como também em alguns locais chegam a não apresentar acostamento, sendo assim será sugerido uma adequação do acostamento conforme exigido por norma.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na sequência serão apresentados os resultados do levantamento e da análise do projeto geométrico da TO 080 no trecho que liga Palmas a Paraíso do Tocantins. A classificação da via, o levantamento do traçado, os cálculos para análise do projeto e o levantamento feito em campo.

4.1 CLASSIFICAÇÃO DA VIA DE ACORDO COM O MANUAL DO DNER.

A classificação da via se deu primeiramente pelo sistema funcional, levando em conta a sua função básica, onde a presente rodovia é classificada como arterial primária. Quanto ao domínio a rodovia foi classificada de acordo como estadual, pois liga uma cidade do interior, Paraíso do Tocantins, à capital Palmas.

Para classificar quanto as condições técnicas foi necessário a análise do volume médio diário (VMD), dados obtidos na AGETO, conforme “ANEXO B” e “ANEXO C”, a partir desses dados foi possível encontrar a classificação da rodovia conforme a classe de projeto, onde a presente se classifica com I-B.

Sendo assim a rodovia é classificado como arterial primária, pertencente ao domínio do estado e com condições técnicas I-B.

4.2 CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DE PROJETO

Com a classificação da rodovia, foram obtidos através do “ANEXO A” as características técnicas de projeto, como a maior parte do trecho apresenta topografia com característica ondulada e a rodovia tem duplo sentido de tráfego com uma pista para cada sentido, a tabela 2 apresenta a descrição das características técnicas para rodovia.

Tabela 2 - Descrição das características técnicas para rodovias de classe I-B ondulado.

Descrição	Unid.	Valor
Classe		I
Número pista (mesmo sentido)		1
Superelevação Máxima	%	10,00
Raio mínimo	m	210,00
Velocidade Diretriz	km/h	80,00
Largura da faixa de tráfego	m	3,60
Número de faixas de tráfego		2,00
Largura do Veículo Tipo	m	2,60
Distância entre eixos	m	6,10
Balanço Dianteiro	m	1,20
Gabarito Lateral	m	0,90

Fonte: Autor

Fonte dos dados primários: Manual do DNER (1999, p.161-168).

No trecho onde estão localizados o PI 13 e o PI 14 o terreno apresenta topografia com características montanhosas, acredita-se que o projetista adotou esses parâmetros para o projeto, sendo assim algumas características técnicas são diferentes das para topografia ondulada. Na tabela 3 está apresentado as características técnicas para terreno montanhoso.

Tabela 3 - Descrição das características técnicas para rodovias de classe I-B montanhoso.

Descrição	Unid.	Valor
Classe		I
Número pista (mesmo sentido)		1
Superelevação Máxima	%	8,00
Raio mínimo	m	115,00
Velocidade Diretriz	km/h	60,00
Largura da faixa de tráfego	m	3,60
Número de faixas de tráfego		2,00
Largura do Veículo Tipo	m	2,60
Distância entre eixos	m	6,10
Balanço Dianteiro	m	1,20
Gabarito Lateral	m	0,90

Fonte: Autor

Fonte dos dados primários: Manual do DNER (1999, p.161-168).

4.3 LEVANTAMENTO E ANÁLISE DE DADOS.

Com os dados iniciais obtidos foi montado uma planilha em Excel conforme o “APÊNDICIES A” deste trabalho, onde a partir dos dados iniciais foram calculadas as curvas horizontais, para verificação se as mesmas atendem ou não as normas do DNER.

4.3.1 Curvas horizontais

Para a superlargura foi considerado veículo de projeto como Caminhão SU, que apresenta largura 2,60m com distância entre eixos de 6,10m, conforme mostrado no item 2.7 deste trabalho. O cálculo da superlargura se deu através da fórmula (68) presente neste trabalho. Sempre respeitando os parâmetros de superlargura mínima de 0,60m com também de dispensar superlargura em casos de $S < 0,20m$.

O cálculo da superelevação se deu através da fórmula (65), onde a definição da superelevação máxima segue os parâmetros do “ANEXO A”.

4.3.1.1 Curva circular.

As curvas circulares foram calculadas conforme o item 2.4 deste trabalho, onde com o ângulo central e com o raio já conhecido para o cálculo da tangente foi usado a fórmula (10) e para o cálculo do desenvolvimento da curva foi usado a fórmula (11).

4.3.1.2 Curva de transição.

Os dados das curvas estão presentes no “APÊNDICIES A” deste trabalho. As curvas de transição tiveram inicialmente o cálculo dos comprimentos de transição, máximo e mínimo. Os Ls_{min} , seguiu quatro critérios para cálculo:

O primeiro parâmetro é o do $Ls_{min} \geq 30m$. O segundo parâmetro é o que corresponde ao espaço em que o veículo percorre em um instante de 2 segundos, obedecendo a fórmula (37). O terceiro parâmetro é o de conforto para o Ls_{min} , que segue a fórmula (38) deste trabalho. O último critério a se obedecer para determinação do Ls_{min} , é o parâmetro para a máxima rampa de superelevação, de acordo com a fórmula (40). Dentre esses quatro valores o comprimento de transição mínimo escolhido é o maior valor.

O comprimento de transição máximo, $L_s \text{ máx}$, pode ser definido por dois critérios:

O primeiro critério é o do $L_s \text{ máx} = \text{Raio da curva circular}$. O segundo critério é para a determinação do $L_s \text{ máx}$ é a distância que o veículo percorre em um intervalo de tempo de 8 segundos na velocidade de projeto, seguindo a fórmula (42) deste trabalho. Dentre esses dois valores o comprimento de transição máximo escolhido é o maior valor.

A tabela 4 mostra os valores obtidos para o $L_s \text{ mín.}$ e para $L_s \text{ máx}$, das 16 curvas existente no trecho em estudo.

Tabela 4 – Valores para L_s das curvas de transição.

Nº	Ls Mínimo				Ls Máximo	
	Ls 1	Ls 2	Ls 3	Ls 4	Ls 1	Ls 2
PI 1	30,00	44,80	13,11	55,02	408,23	176,00
PI 2						
PI 3	30,00	44,80	15,06	58,18	373,70	176,00
PI 4	30,00	44,80	20,69	64,83	306,82	176,00
PI 5	30,00	44,80	18,97	63,12	323,65	176,00
PI 6						
PI 7						
PI 8						
PI 9						
PI 10						
PI 11	30,00	44,80	7,77	42,94	575,74	176,00
PI 12						
PI 13	30,00	33,60	26,68	48,60	119,72	132,00
PI 14	30,00	33,60	8,95	33,10	264,78	132,00
PI 15	30,00	44,80	12,03	53,03	431,43	176,00
PI 16	30,00	44,80	9,84	48,37	491,66	176,00

Fonte: Autor

Definido os valores para L_s , calcula-se os valores para os ângulos de transição θ_s , utilizando as fórmula (23), com esse valor calcula-se o desenvolvimento circular D , conforme a fórmula (29), em seguida calcula-se os valores Y_s e X_s conforme a fórmula (24 e 25), com esses resultados é possível calcular do afastamento da curva p como mostra a fórmula (27), de acordo com a fórmula (26), é calculado os valores de k , que é o valor das abscissas do ponto O' , por último é calculado o valor de E , que

é o afastamento entre PI e a curva circular, de acordo com a fórmula (32) deste trabalho.

Considerando as 16 curvas contidas em um terreno ondulado, as curvas PI 13 e PI 14 não atendem as condições de segurança exigidas pelo DNIT, conforme mostrado na tabela 5.

Tabela 5 - Concordância horizontal dos PI 13 e PI 14.

N°	AC (dec)	Raio (m)	eR (%)	Sr (m)	Tipo	Transição											
						Ls(mim)	Ls(máx)	Ls	θ_s°	θ_{sr}	q	D	Ys	Xs	p	k	t
PI 13	54,5744	119,715	5,50	1,20	Transição	110,00	170,00	110,00	26,3231	0,45942	1,92822	Não Atende	16,59	107,70	4,18	54,62	4,70
PI 14	24,0293	264,776	9,40	0,80	Transição	70,00	170,00	70,00	7,57377	0,13219	8,88181	Não Atende	3,08	69,88	0,77	34,98	0,79

Fonte: Autor

Como visto na tabela anterior, o desenvolvimento da circular não atende ao exigido por norma. Porém após visita ao local, foi identificado que o local onde as duas curvas são localizadas é uma região com característica montanhosa, sendo assim, acredita-se que o projetista considerou a região como montanhosa.

Neste trabalho foi considerado para o projeto dos PI 13 e PI 14, região com topografia montanhosa, conforme resultado no 'APÊNDICIES A'. Sendo assim o projeto da rodovia não apresenta problemas no projeto das curvas horizontais.

4.3.2 Análise dos dados das curvas horizontais coletados em campo

A análise feita em campo foi através de amostragem. Como as curvas PI 13 e PI 14 inicialmente apresentaram problemas no projeto, foi feito o levantamento em campo para a verificação da superlargura e da superelevação. Outras duas curvas foram selecionadas para o mesmo procedimento, essas duas não apresentaram problemas na análise, porém visualmente poderiam ser consideradas com possíveis erro. A tabela 6 mostra os resultados obtidos in loco para as 4 curvas.

Tabela 6 - Dados levantados in loco na TO 080.

Dados coletados in loco.					
Pontos	1° Med.	2° Med.	Larg. Da pista	Desnivel	e (%)
PI 3	1,232	1,822	7,6	0,590	7,76
PI 5	1,678	2,263	7,6	0,585	7,70
PI 13	1,821	2,808	11,1	0,987	8,89
PI 14	0,457	1,474	10,63	1,017	9,57

Fonte: Autor

O desnível se deu pela diferença da 2ª medição pela 1ª medição, com isso a superelevação foi encontrada através do produto do desnível pela largura da pista de rolamento.

Com esses resultados é possível fazer um comparativo com os valores do “APÊNDICES A”. Respeitando os valores determinado para superelevação máxima de cada curva esse comparativo constatou que as curvas do PI13 e PI14 estão com superelevação acima do máximo permitido para o tipo da rodovia, sendo necessário uma adequação.

4.3.2 Curvas verticais

Para as curvas verticais, foi escolhido uma curva, que visualmente poderia ser considerada com problemas de projeto. A curva que foi analisada tem seu PC na estaca 1511, mais precisamente na distância 30,220 km.

Os dados coletados com o nivelamento geométrico, a ré e a vante, conforme descrito no item 3.3.2 deste trabalho está na tabela 7.

O procedimento de cálculo adotado foi o de nivelamento geométrico, onde para encontrar as cotas foi adotado a cota do P1 como 100,000 m, após isso foi encontrado a altura do aparelho, que é a soma da cota P1 com a ré. As cotas seguintes se dão pela diferença da altura do aparelho e a vante. Sempre que muda o aparelho de posição é necessário recalcular a altura do aparelho.

Tabela 7 – Coordenadas da curva vertical in loco.

Ponto	Ré	Vante	Alt. Do aparelho	Cota
P1	2,550		102,550	100,000
P2		1,442		101,108
P3	2,678	0,361	104,867	102,189
P4		1,792		103,075
P5		0,963		103,904
P6	2,128	0,157	106,838	104,710
P7		1,541		105,297
P8		1,003		105,835
P9		0,568		106,270
P10	1,460	0,242	108,056	106,596
P11		1,180		106,876
P12		1,100		106,956
P13		1,056		107,000
P15		1,255		106,801
AUX	1,228	1,658	107,626	106,398
P14		0,600		107,026
P16		1,100		106,526
P17		1,440		106,186
P18		1,890		105,736
P19	0,030	2,418	105,238	105,208
P20		0,705		104,533
P21		1,372		103,866
P22		2,002		103,236
P23		2,557		102,681

Fonte: Autor

Com essas cotas foi possível a representação altimétrico do perfil da curva vertical convexa, conforme “APÊNDICES B” deste trabalho.

Foram levantadas 23 estacas, tendo os elementos horizontais um comprimento de 440 metro.

O ponto de PIV se deu pelo prolongamento das tangentes dos pontos das estacas iniciais e finais, resultando a localização do PIV na estaca 1519 + 10, 00. Os pontos de PCV e PTV se deram através das fórmulas (70 e 71) respectivamente.

O comprimento da curva se deu entre a distância do PCV e PTV, porém sempre respeitando o valor para $L_{mín}$, de acordo com a fórmula (81) do presente trabalho.

Para encontrar a inclinação da rampa que antecede o PCV foi utilizado a fórmula (72), e para a rampa após o PTV foi através da fórmula (73), com os resultados obtidos a inclinação da rampa posterior ao PTV não atendeu ao exigido por norma, pois de acordo com o “ANEXO A” para esse tipo de rodovia a inclinação máxima permitida é 4,5%.

A curva apresenta distância de parada igual à 140m e o comprimento da curva igual à 340m, sendo assim para o cálculo do parâmetro K, foi usado a fórmula (82) deste trabalho, sempre respeitando o parâmetro máximo para o valor de K para curvas verticais convexas de 48. Sendo assim o K está dentro do parâmetro.

5. CONCLUSÃO

O principal fator para a implantação de uma rodovia em determinada região é o desenvolvimento econômico, além disso ligam cidades, e facilitando o escoamento da produção das cidades circunvizinhas (BELARMINO, 2017).

Deste modo é de suma importância que o projeto geométrico de uma rodovia seja bem executado e atenda a todas as normas e as condições de segurança exigidas pelos órgãos responsáveis. O desenvolvimento do presente estudo possibilitou uma análise do projeto geométrico da rodovia TO 080, no trecho de Palmas à Paraíso do Tocantins, para avaliar se a rodovia atende as normas mínimas de segurança exigidas pelo DNIT.

Após a análise dos resultados gerados com a aplicação dos procedimentos metodológicos, e a realização da pesquisa de campo para obter dados mais precisos, foi concluído que as curvas verticais e horizontais atendem aos parâmetros exigidos pelo manual do DNER, porém com os dados levantados in loco foi possível confirmar que as superelevações das curvas PI13 e PI 14 apresentam superelevação acima do recomendado para a rodovia, sendo necessário uma análise mais detalhada e uma possível readequação, para minimizar os possíveis efeitos da superelevação.

O levantamento realizado na curva vertical a mesma apresentou inadequação na inclinação das rampas, pois apresenta em uma de suas rampas inclinação superior à permitida para a classe da rodovia. Sendo assim é proposto um estudo mais detalhado das curvas verticais de todo o trecho, para se necessário uma adequação do traçado.

Outro fator que deixou a desejar em toda a extensão da rodovia foram os acostamentos, onde em todo o trecho da rodovia encontra-se atualmente com dimensões menores que as exigidas por norma, chegando em alguns trechos ser até inexistente. O acostamento é item obrigatório, destinado a paradas emergenciais e devem acompanhar toda a extensão da rodovia conforme visto no item 2.7.2 deste trabalho, e deve apresentar dimensão de 2,5 m para a classe da rodovia em questão. Sendo assim é sugerido uma adequação do acostamento por toda a extensão da rodovia, para atender as exigências do DNIT e oferecer segurança ao usuário.

Sendo assim pode-se concluir que a rodovia atende em partes ao que tange um projeto como bem executado, sendo necessários apenas algumas intervenções como citado anteriormente.

REFERÊNCIAS.

AASHTO. *A Policy on Geometric Design of Highways and Streets*. Washington, D.C., 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 10520: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 6023:** informação e documentação: referências: elaboração. Rio de Janeiro, 2002.

_____. **NBR 14724:** informação e documentação – trabalhos acadêmicos – apresentação. Rio de Janeiro, 2011.

BRASIL. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. DNIT Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. **ESTATÍSTICAS DE ACIDENTES.** 2009. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/rodovias/operacoes-rodoviaras/estatisticas-de-acidentes>>. Acesso em: 25 abr. 2018.

BRASIL. DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. IPR. PUBL., 741: Manual de projeto e práticas operacionais para segurança nas rodovias. Rio de Janeiro: Instituto de Pesquisas Rodoviárias. 2010. 280 p.

DEPARTAMENTO NACIONAL DE ESTRADAS DE RODAGEM. DNER 706/20: Manual de projeto geométrico de rodovias rurais. Rio de Janeiro, 1999.

EJZENBERG, Sergio. Os veículos pesados e a segurança no projeto das curvas horizontais de rodovias e vias de trânsito rápido. 2009. 245 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Transporte, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <file:///C:/Users/Alana/Downloads/Dissertacao_Sergio_Ejzenberg_final.pdf>. Acesso em: 23 abr. 2018.

FONTES, Luiz Carlos A. de A.. Engenharia de estradas: Projeto geométrico. [s.l.]: Ufba, 1995.

GARCIA, Daniel Sergio Presta; ALBANO, João Fortini. Análise da consistência geométrica de rodovias a partir da velocidade operacional. In: III SEMANA DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO E TRANSPORTE, 3., 2003, Porto Alegre. **Artigo.** Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. p. 1 - 9. Disponível em: <<https://slidex.tips/download/analise-da-consistencia-geometrica-de-rodovias-a-partir-da-velocidade-operaciona>>. Acesso em: 15 mar. 2018.

LEE, Shu Han; BUCCIANO, Caroline Antunes; HALISKI, Camille Ghedin. **INTRODUÇÃO AO PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS**. Florianópolis: Programa Especial de Treinamento Engenharia Civil – Ufsc, 2000. 119 p.

MACEDO, Edivaldo Lins. **Noções de Topografia Para Projetos Rodoviários**. 2008. Disponível em: <http://www.topografiageral.com/Curso/Download_14.pdf>. Acesso em: 04 abr. 2018

MAZZETTO, Luiz Fernando. **AVALIAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE SEGURANÇA EM RODOVIAS FEDERAIS DA REGIÃO METROPOLITANA DE CURITIBA**. 2015. 71 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2015. Disponível em: <http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/3845/1/CT_CEEST_XXIX_2015_22.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2018.

MOREIRA, Mariana Mendes. **DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE DE ULTRAPASSAGEM EM ESTRADAS DE DUAS VIAS**. 2014. 120 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto, Portugal, 2015. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/79451/2/35610.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2018

PIMENTA, Carlos R. T.; **OLIVEIRA**, Márcio P. **Projeto geométrico de rodovias**. 2. ed. São Carlos: Rima, 2004. 195 p.

PONTES FILHO, Glauco. **Estradas de rodagem projeto geométrico**. 2. ed. São Carlos: Ipc, 1998. 432 p.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de técnicas de projetos rodoviários**. São Paulo: Pini, 2008. 761p.

SOUZA, Márcia Lopes Rodrigues de. **Procedimento para avaliação de projeto de rodovias rurais visando a segurança viária**. 2012. 221 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Dep A implantação de uma rodovia numa região tem como fator preponderante o desenvolvimento econômico, interligando cidades, facilitando o escoamento da produção dos municípios circunvizinhos. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Brasília, Brasília, 2012. Disponível em: <http://www.repositorio.unb.br/bitstream/10482/10610/1/2012_MarciaLopesRodriguesSouza.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2018.

BELARMINO, José Aurimar. **ESTUDO DOS ACIDENTES DE TRÂNSITO NA RODOVIA RN093**. 2017. 18 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017. Disponível em: <<https://monografias.ufrn.br/jspui/bitstream/123456789/5212/6/estudo-acidentes-tr%C3%A2nsito-Belarmino.pdf>>. Acesso em: 26 out. 2018.

APÊNDICES A – CONCORDÂNCIA HORIZONTAL.

APÊNDICES B – REPRESENTAÇÃO ALTIMETRICA DA CURVA VERTICAL.

**ANEXO A - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS PARA O PROJETO DE
RODOVIAS NOVAS**

ANEXO B- RELATÓRIO GERAL CLASSIFICATÓRIO

ANEXO C- RALATÓRIO DIA DA SEMANA X HORÁRIO DE PICO

ANEXO D –TRAÇADO DAS CURVAS HORIZONTAIS