

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO
TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL**

Samuel Rodrigues da Costa Neto

**DIMENSIONAMENTO DE TRAÇADO GEOMÉTRICO PARA RODOVIA RURAL EM
TRECHO ENTRE LAGOA DO TOCANTINS E CACHOEIRA DA VELHA NO
PARQUE ESTADUAL DO JALAPÃO.**

PALMAS

2019

SAMUEL RODRIGUES DA COSTA NETO

**DIMENSIONAMENTO DE TRAÇADO GEOMÉTRICO PARA RODOVIA RURAL EM
TRECHO ENTRE LAGOA DO TOCANTINS E CACHOEIRA DA VELHA NO
PARQUE ESTADUAL DO JALAPÃO.**

Trabalho de conclusão de curso apresentado
como requisito parcial para obtenção de
título de Bacharel no Curso Superior de
Engenheiro Civil do Instituto Federal do
Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Prof. Msc. Edivaldo Santos

PALMAS

2019

FOLHA DE APROVAÇÃO

SAMUEL RODRIGUES DA COSTA NETO
DIMENSIONAMENTO DE TRAÇADO GEOMÉTRICO PARA RODOVIA RURAL EM
TRECHO ENTRE LAGOA DO TOCANTINS E CACHOEIRA DA VELHA NO
PARQUE ESTADUAL DO JALAPÃO.

Trabalho de conclusão de curso
apresentado à Coordenação do curso de
Engenharia Civil Instituto Federal do
Tocantins - Campus Palmas, como
exigência à obtenção do grau em
Engenheiro Civil.

Aprovado em: ____/____/____

BANCA AVALIADORA

Prof. MSc. Edivaldo A. Santos
Orientador

Prof. Dr. Thiago Dias de Araújo e Silva

Prof. Euzir Pinto Chagas

RESUMO

RODRIGUES DA COSTA NETO, Samuel. **DIMENSIONAMENTO DE TRAÇADO GEOMÉTRICO PARA RODOVIA RURAL EM TRECHO ENTRE LAGOA DO TOCANTINS E CACHOEIRA DA VELHA NO PARQUE ESTADUAL DO JALAPÃO.** 2019. 126 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia Civil. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2019.

Visto que no Brasil o sistema rodoviário é o principal meio de transporte para cargas e pessoas, são necessários estudos cada vez mais avançados nessa área, bem como profissionais preparados para tais desafios. A região do Jalapão no Tocantins se destaca pelo turismo, que pode ser alavancado desde que o acesso às belezas naturais da região seja facilitado. O dimensionamento e análises das curvas da TO-247 permite verificar a segurança e a necessidade de curvas de transição do trecho em estudo. A análise do terreno em relação à altimetria permitiu o dimensionamento das curvas verticais côncavas e convexas. Foram observadas curvas com raios mínimos menores que os admitidos pela legislação e foi feita a adequação, bem como a definição de seus elementos.

Palavras-chave: Projeto geométrico de estradas. Dimensionamento de curvas. Jalapão.

ABSTRACT

RODRIGUES DA COSTA NETO, Samuel. **DESIGN OF GEOMETRIC TRACE FOR RURAL ROAD IN THE STRETCH BETWEEN LAGOA DO TOCANTINS AND CACHOEIRA DA VELHA IN THE JALAPÃO STATE PARK.** 2019. 126 f. Final Paper) – Civil Engineering. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Tocantins. Palmas, 2019.

Since in Brazil the road system is the main mean of transportation for cargo and people, increasingly advanced studies are needed in this area, as well as well prepared professionals for such challenges. The region of Jalapão in Tocantins stands out for tourism, which can be leveraged as long as the access to the region's natural beauty is facilitated. The design and analysis of the TO-247's curves allows to verify the safety and the necessity of transition curves of the studied stretch. The analysis of the terrain in relation to the altimetry allowed the design of the concave and convex vertical curves. There were found curves with minimum radius smaller than the allowed ones and the adequacy was made, as well as the definition of their elements.

Keywords: Geometric design of roads. Curve sizing. Jalapão.

Lista de Figuras

Figura 1 - Classificação das rodovias tocantinenses em relação ao pavimento.....	17
Figura 2 - Classificação das rodovias tocantinenses em relação à sinalização	17
Figura 3 - Classificação das rodovias tocantinenses em relação à geometria da via.....	17
Figura 4 - Resumo das informações das condições das vias tocantinenses	18
Figura 5 - Diferenças entre as rodovias estaduais e federais no Tocantins	19
Figura 6 - Traçado entre Lagoa do Tocantins e Cachoeira da Velha	20
Figura 7 - Relação entre velocidade de projeto e velocidade média de percurso	42
Figura 8 - Principais características dos veículos a se considerar no projeto	46
Figura 9 - Principais dimensões de curvatura para veículos tipo VP	47
Figura 10 - Principais dimensões de curvatura para veículos tipo CO	48
Figura 11 - Principais dimensões de curvatura para veículos tipo O	48
Figura 12 - Principais dimensões de curvatura para veículos tipo SR	49
Figura 13 - Modelo padrão de ultrapassagem para cálculos.....	54
Figura 14 - Referência de plano para azimutes.....	57
Figura 15 - Demonstração das deflexões em curvas	58
Figura 16 - Elementos de curva horizontal circular	59
Figura 17 - Elementos da locação de curva circular por deflexão	62
Figura 18 - Raio calculado com base em diferentes taxas de superelevação	66
Figura 19 - Elementos da curva horizontal de transição e legenda.....	68
Figura 20 - Elementos do espiral da curva de transição	70
Figura 21 - Ilustração da aplicação da superelevação em curva horizontal	75
Figura 22 - Ilustração da rotação da superelevação em torno do eixo	78
Figura 23 - Elementos da parábola de 2º grau composta	81
Figura 24 - Tipos de curvas verticais.....	81
Figura 25 - 1º caso da curva convexa	82
Figura 26 - 2º caso da curva convexa	83
Figura 27 - 1º caso da curva côncava	84
Figura 28 - 2º caso da curva côncava	84
Figura 29 - Detalhe da flecha (F) na curva vertical.....	86
Figura 30 - Fluxograma da 1ª fase da pesquisa.....	87
Figura 31 - Fluxograma da 2ª fase da pesquisa.....	87
Figura 32 - Resumo das atividades da primeira etapa da pesquisa.....	89

Figura 33 - Resumo das atividades da segunda etapa da pesquisa	92
Figura 34 - Detalhe da localização na estaca inicial e final no traçado	93
Figura 35 - Destaque em vermelho da direção da rodovia.....	95
Figura 36 - Indicação das curvas existentes no trecho do traçado da rodovia em estudo	98
Figura 37 - Determinação dos ângulos das deflexões das curvas em análise	100
Figura 38 - Elementos calculados da curva circular 01	101
Figura 39 - Representação gráfica da curva de transição 01	102
Figura 40 - Elementos calculados da curva circular 05	103
Figura 41 - Representação gráfica da curva de transição 05	105
Figura 42 - Elementos calculados da curva circular 07	106
Figura 43 – Representação gráfica da curva de transição 07	107
Figura 44 - Diagrama de superelevação da curva 01.....	109
Figura 45 - Diagrama ajustado de superelevação da curva 01	110
Figura 46 - Ilustração dos cortes da superelevação da curva 01	110
Figura 47 - Diagrama de superelevação da curva 05.....	111
Figura 48 - Diagrama ajustado de superelevação da curva 05	112
Figura 49 - Ilustração dos cortes da superelevação da curva 05	112
Figura 50 - Diagrama de superelevação da curva 07.....	114
Figura 51 - Diagrama ajustado de superelevação da curva 07	114
Figura 52 - Ilustração dos cortes da superelevação da curva 07	115
Figura 53 - Representação transversal de todo o trecho em estudo.....	115
Figura 54 - Trecho escolhido para cálculos das curvas verticais	116
Figura 55 - Rampas, contra-rampas e PIV do trecho em análise (sem escala).	116
Figura 56 - Ilustração da curva convexa 01	121
Figura 57 - Ilustração da curva côncava 03	121

Lista de Tabelas

Tabela 1 - Principais características das classes de projetos	37
Tabela 2 - Relação entre classes funcionais de classes de projeto	39
Tabela 3 - Velocidades diretrizes de acordo com classe de projeto.....	42
Tabela 4 - Descrição dos tipos de veículos	45
Tabela 5 - Velocidade média de acordo com a velocidade de projeto	50
Tabela 6 - Fator de atrito para velocidade diretriz e velocidade média	51
Tabela 7 - Distância de visibilidade de ultrapassagem de acordo com a velocidade diretriz	55
Tabela 8 - Modelo de planilha de locação de curva circular.....	64
Tabela 9 - Coeficientes de atrito máximo de acordo com a velocidade diretriz.....	66
Tabela 10 - Valores dos raios acima dos quais podem ser dispensadas curvas de transição.....	68
Tabela 11 - Tabela de locação para curva de transição.....	72
Tabela 12 - Resumo do estaqueamento das curvas horizontais.....	73
Tabela 13 - Resumo das condições para empregos de superelevações máximas...	74
Tabela 14 - Valores dos raios acima dos quais é dispensável superelevação.....	76
Tabela 15 - Rampas máximas de acordo com classe de projeto e relevo	80
Tabela 16 - Detalhes das estacas iniciais e finais do traçado de estudo	93
Tabela 17 - Raios das curvas existentes.....	98
Tabela 18 - Tipologia das curvas verticais	117

SUMÁRIO

FOLHA DE APROVAÇÃO	3
RESUMO.....	4
ABSTRACT.....	5
1 INTRODUÇÃO.....	14
2 PROBLEMA DE PESQUISA	16
3 JUSTIFICATIVA	21
4 OBJETIVO.....	22
4.1 Objetivo Geral	22
4.2 Objetivos específicos	22
5 REVISÃO DA LITERATURA.....	23
5.1 Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais	23
6 REVISÃO CONCEITUAL E METODOLOGIA DE CÁLCULO.....	23
6.1 Reconhecimento e exploração	24
6.2 Fatores para escolha do traçado.....	24
6.3 Classificação	25
6.3.1 Quanto à posição geográfica.....	25
6.3.1.1 Aplicação no Tocantins	26
6.3.2 Quanto à função	28
6.3.2.1 Arterial	28
6.3.2.1.1 Arterial principal.....	29
6.3.2.1.2 Arterial primário	29
6.3.2.1.3 Arterial secundário.....	30
6.3.2.2 Coletor	30
6.3.2.2.1 Coletor primário	31
6.3.2.2.2 Coletor secundário	31

6.3.2.3	Local.....	32
6.3.3	Quanto à jurisdição.....	32
6.3.4	Quanto às condições técnicas.....	33
6.3.5	Posição hierárquica dentro da classificação funcional	33
6.4	Volume médio diário de tráfego	34
6.5	Nível de serviço.....	35
6.6	Outros condicionantes	35
6.7	Classe de projeto	36
6.8	Relação entre classe funcional e classe de projeto	38
6.9	Características técnicas básicas para projetos	39
6.9.1	Velocidade de projeto	40
6.9.2	Velocidade de operação	42
6.9.3	Veículo de projeto.....	43
6.9.4	Dimensões e peso dos veículos	44
6.9.5	Tipos dos veículos	45
6.9.6	Determinação do veículo de projeto	47
6.9.7	Distância de visibilidade	49
6.9.8	Distância de visibilidade de parada	50
6.9.9	Distância de visibilidade de ultrapassagem	52
6.10	Curvas horizontais circulares.....	56
6.10.1	Azimuthes e ângulos de deflexão	56
6.10.2	Geometria da curva circular.....	59
6.10.2.1	Raio (R)	60
6.10.2.2	Ângulo central (AC)	60
6.10.2.3	Tangente externa (T)	61
6.10.2.4	Desenvolvimento (D)	61
6.10.2.5	Grau da curva (G).....	61

6.10.2.6	Afastamento (E).....	61
6.10.2.7	Deflexão por metro (dm).....	62
6.10.3	Locação de curvas circulares por deflexão	62
6.10.3.1	Deflexões sucessivas	63
6.10.3.2	Deflexões acumuladas	64
6.10.4	Raio mínimo de curvatura horizontal	65
6.11	Curvas horizontais de transição.....	66
6.11.1	Necessidade de curva de transição.....	67
6.11.2	Curva horizontal com transição simétrica.....	68
6.11.3	Cálculo dos elementos da espiral.....	69
6.11.4	Locação de curvas de transição	72
6.11.5	Resumo das curvas horizontais.....	73
6.12	Superelevação.....	73
6.12.1	Valores limites de superelevação	73
6.12.2	Variação da seção da pista na implantação da superelevação	75
6.12.3	Taxas de superelevação para raios acima dos mínimos	76
6.12.4	Diagramas de superelevação	77
6.13	Curvas verticais	79
6.13.1	Tipos de curvas verticais	81
6.13.2	Comprimento mínimo de curvas verticais.....	82
6.13.2.1	Comprimento mínimo de curvas convexas.....	82
6.13.2.2	Comprimento mínimo de curvas côncavas.....	83
6.13.3	Flechas da parábola simples	85
7	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	87
7.1	Caracterização da pesquisa.....	88
7.2	Primeira etapa	89
7.2.1	Estudo inicial sobre o tema	90

7.2.2	Formulação do Problema de Pesquisa	90
7.2.3	Definição dos objetivos.....	90
7.2.4	Estruturação do trabalho para a primeira fase	90
7.2.5	Apresentação e qualificação do TCC I	91
7.3	Segunda etapa	92
7.3.1	Estudo de caso.....	92
7.3.2	Dimensionamento das curvas	93
7.3.3	Estruturação do trabalho para a segunda fase.....	94
7.2.5	Apresentação e defesa do TCC II	94
8	RESULTADOS	94
8.1	Classificações da rodovia.....	94
8.1.1	Classificação geográfica.....	94
8.1.2	Classificação funcional	95
8.1.3	Classificações técnicas	96
8.2	Classe de projeto	96
8.3	Características básicas para projeto	96
8.3.1	Velocidade de projeto e de operação	96
8.3.2	Veículo de projeto.....	97
8.3.3	Distâncias de visibilidade.....	97
8.4	Cálculos das curvas horizontais	98
8.4.1	Raio mínimo de curvatura.....	99
8.4.2	Deflexões das tangentes	99
8.4.3	Cálculo da curva horizontal 01	100
8.4.4	Cálculo da curva horizontal 05	102
8.4.5	Cálculo da curva horizontal 07	105
8.5	Cálculos das superelevações das curvas	107
8.5.1	Cálculo da superelevação da curva 01.....	108

8.5.2	Cálculo da superelevação da curva 05.....	110
8.5.3	Cálculo da superelevação da curva 07.....	113
8.6	Cálculos das curvas verticais.....	115
8.6.1	Tipologias das curvas.....	116
8.6.2	Cálculo das curvas	117
8.6.2.1	Cálculo curva convexa 1	117
8.6.2.2	Cálculo curva convexa 2	118
8.6.2.3	Cálculo curva côncava 3	118
8.6.2.4	Cálculo curva convexa 4	119
8.6.2.5	Cálculo curva côncava 5	120
8.6.2.6	Cálculo curva côncava 6	120
8.6.3	Ilustração da curva vertical.....	121
9	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	122
10	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	124

1 INTRODUÇÃO

O Brasil é um país em que o transporte de cargas e de pessoas é feito expressivamente através de malha rodoviária. De acordo com a Confederação Nacional de Transportes - CNT (2017) o transporte rodoviário é responsável pelo tráfego de aproximadamente 90% dos passageiros e de mais de 60% das cargas que circulam no país. Ao compararmos isso com outros países podemos perceber quão relevante é esse tipo de transporte para o Brasil. Nos Estados Unidos, por exemplo, a participação das rodovias no transporte de carga é de 26%, na Austrália é de 24% e na China é de apenas 8% (BARTHOLOMEU, 2006, p. 23).

A falta de investimentos em alternativas de transportes, como ferroviários e hidroviários, contribuem para que as rodovias sejam a principal forma de acesso para produtores e turistas. Recentemente, um estudo publicado pela CNT (2018) mostrou que os investimentos em ferrovias, de 2017 caíram cerca de 11,9%, comparados ao ano anterior, isso equivale a um valor de aproximadamente 700 milhões de reais.

Uma recente paralisação (2018) dos caminhoneiros do Brasil trouxe a tona o quanto o Brasil é dependente do seu transporte rodoviário. Os efeitos na economia foram considerados por grande maioria como catastróficos. O governo federal publicou em Maio de 2018 uma notícia evidenciando os efeitos da paralisação do transporte rodoviário, causando falta de combustível e alta nos preços, comprometendo o transporte público, cancelamentos de voos, prateleiras vazias, escolas ficando sem merendas, alunos sem aulas, produção de carros interrompida, hospitais ficando desabastecidos, creches paralisadas, viaturas e ambulâncias ficando inoperantes e afetou até o tratamento de água em algumas cidades (GOVERNO DO BRASIL, 2018). Tudo isso para mostrar como a malha rodoviária brasileira é de fundamental importância.

O setor de transporte absorve grande parcela dos investimentos do país. O capital investido, contudo, justifica se plenamente em virtude de seu papel desencadeador de produção e de outras atividades, pois de outra forma ter-se-ia um baixo rendimento. Assim sendo, para que seja possível alcançar o que se pretende é importante que o setor de transporte participe do planejamento global. (PAULO MENDES et. al., 2010, p. 01)

O Anuário CNT do Transporte de 2018 traz alguns dados referentes à malha rodoviária do Brasil, onde atualmente existe uma extensão total de 1.720.700 Km de rodovias no país, sendo que 86,4% dessas são caracterizadas como estaduais transitórias ou estaduais e municipais. Dados também sobre o número de transportadoras indicam o grande uso, sendo 147.177 empresas transportadoras, 332 cooperativas transportadoras e 492.408 trabalhadores autônomos. Isso apenas os regularmente inscritos até 2018.

Também no Anuário CNT do Transporte de 2018 é possível verificar a frota de veículos circulantes nas estradas, sendo um total de 98.201.128 unidades (dentre eles automóveis, caminhões, caminhonete, ônibus, motocicleta, etc.). O total de empresas que trabalham com transporte de passageiros, até 2017, é de 5.392, com uma quantidade de 28.464 ônibus circulando regularmente. Alguns dados de transporte turístico se tornam relevantes para esse trabalho. A quantidade de empresas habilitadas para a realização de transporte de passageiros, por tipo de fretamento eventual e turístico é de 3.387, até 2013. Quase um milhão de pessoas utilizavam esse tipo de transporte turístico no Brasil até 2013, segundo a CNT.

O Tocantins é atualmente é caminho de várias rodovias federais importantes, sendo a principal delas a BR-153, com a função de ligar diferentes Estados entre si. As rodovias estaduais, por sua vez, buscam viabilizar o deslocamento mais rápido e seguro entre cidades dentro do Estado, ligando pontos turísticos, facilitando o escoamento de produtos e agilizando os serviços prestados por diversos profissionais. Diversas obras já foram realizadas e ainda estão em andamento para cada vez mais melhorar essas condições.

Dentre os diversos pontos turísticos do Tocantins, um dos mais conhecidos é o Parque Estadual do Jalapão, que fica a 195 km de Palmas, sendo uma área de 34 mil km² de área de preservação ambiental (TURISMO DO TOCANTINS, 2018). De acordo com o Portal Tocantins (2017), o fluxo de visitantes tem aumentado anualmente, sendo que em 2015 foram 11.111 frequentadores, chegando a 16.649 em 2017, isso só até Setembro. Um crescimento de quase 15% comparado a 2016.

Para acessar o Parque Estadual do Jalapão, a partir da capital Palmas, um dos caminhos mais conhecidos é através de Lagoa do Tocantins, passando pela

TO 247. No ano de 2007, segundo a Casa Civil do Tocantins, foram realizadas obras na TO 247, entre as cidades de Santa Tereza e Lagoa do Tocantins, pavimentando esse trecho da rodovia. De acordo com Flávio Herculano (2008) “para os turistas, a pavimentação significa mais facilidade no acesso ao principal atrativo do Tocantins: o Jalapão”. Porém ainda há um trecho após Lagoa do Tocantins que ainda não é pavimentado, e os turistas tem que acessar através de estrada de chão, onde dependendo da estação do ano só pode ser acessado por carros traçados, dificultando assim o turismo na região.

2 PROBLEMA DE PESQUISA

Visto que a introdução mostrou quão significativo é o transporte rodoviário para o Brasil, surge a necessidade da realização da pavimentação desse trecho a fim de alavancar o turismo na região, gerando mais renda para o Estado. Também a necessidade de profissionais capacitados para tal área da engenharia, tanto para a parte de projetos geométricos quanto para a parte de pavimentação de estradas de rodagem.

O Anuário CNT do Transporte (2018) elucidou as condições das vias em todo território nacional. De uma forma geral, 61,8% das vias encontram-se em um estado classificado como regular, ruim ou péssimo. É um número bastante expressivo. Em relação ao projeto geométrico isso piora ainda mais, pois apenas 5,1% são considerados ótimo. Sendo que 17% encontra-se em um estado bom. E 77,9% são regular, ruim ou péssimo. Sendo que desses 77,9%, 31,1% é considerado péssimo.

Em relação ao Tocantins a Confederação Nacional do Transporte (CNT) também divulgou, em 2018, o relatório anual das condições das vias do Estado do Tocantins (analisando tanto rodovias federais quanto estaduais), sendo avaliados 3519 quilômetros (1688 km federais e 1831 km estaduais). De um modo geral, as conclusões foram que o Estado tem apenas 19% de suas vias classificadas como ótimas ou boas (apenas 2,6% ótima), o restante é tudo regular, ruim ou péssimo. As figuras a seguir demonstram as condições em relação a alguns critérios:

Figura 1 - Classificação das rodovias tocantinenses em relação ao pavimento

Classificação do Pavimento	Extensão Total	
	km	%
Ótimo	708	20,1
Bom	50	1,4
Regular	2.154	61,3
Ruim	61	1,7
Péssimo	546	15,5
TOTAL	3.519	100,0

Fonte: CNT (2018)

Figura 2 - Classificação das rodovias tocantinenses em relação à sinalização

Classificação da Sinalização	Extensão Total	
	km	%
Ótimo	352	10,0
Bom	1.016	28,9
Regular	1.055	29,9
Ruim	421	12,0
Péssimo	675	19,2
TOTAL	3.519	100,0

Fonte: CNT (2018)

Figura 3 - Classificação das rodovias tocantinenses em relação à geometria da via

Classificação da Geometria da Via	Extensão Total	
	km	%
Ótimo	2	0,1
Bom	686	19,5
Regular	582	16,5
Ruim	1.352	38,4
Péssimo	897	25,5
TOTAL	3.519	100,0

Fonte: CNT (2018)

A figura 4 a seguir, retirada do Relatório das Condições das Rodovias do Tocantins, resume as condições das vias:

Figura 4 - Resumo das informações das condições das vias tocantinenses



Fonte: CNT (2018)

Quando comparados os dados das rodovias federais com as estaduais, percebe-se uma clara diferença entre eles, sendo as estaduais encontradas em condições bem piores do que as federais.

Figura 5 - Diferenças entre as rodovias estaduais e federais no Tocantins

Classificação do Estado Geral - Extensão Federal		
Estado Geral	Extensão Federal	
	km	%
Ótimo	72	4,3
Bom	517	30,6
Regular	897	53,1
Ruim	143	8,5
Péssimo	59	3,5
Total	1.688	100,0

Classificação do Estado Geral - Extensão Estadual		
Estado Geral	Extensão Estadual	
	km	%
Ótimo	20	1,1
Bom	60	3,3
Regular	903	49,3
Ruim	381	20,8
Péssimo	467	25,5
Total	1.831	100,0

Fonte: CNT (2018)

A partir desses dados da CNT é possível identificar que há um problema em relação à geometria das vias brasileiras e tocaninenses em geral. Daí surge à necessidade de profissionais capacitados para elaboração de projetos e também profissionais que saibam executar os projetos elaborados, da maneira correta.

O projeto de uma obra de engenharia, em particular, de uma “estrada”, chamado de Projeto Final de Engenharia, Projeto Final ou simplesmente Projeto de Engenharia, deve ser o mais completo (abrangente) possível, de fácil entendimento, perfeitamente exequível para as condições vigentes, com identificação e solução dos prováveis problemas, observar padronização conforme normas estabelecidas, conter todos os elementos quantitativos, qualitativos e técnicos nos níveis de detalhamento ideal para a sua melhor integral aplicação. (DJALMA MARTINS et. al., 2009, p. 04)

“A fase de construção de uma obra de engenharia deve orientar se rigorosamente pelo correspondente projeto” (DJALMA MARTINS et. al., 2009, p. 09). Glauco Pontes (1998) definiu projeto geométrico de uma estrada como “processo de correlacionar os seus elementos físicos com as características de operação, frenagem, aceleração, condições de segurança, conforto, etc.”

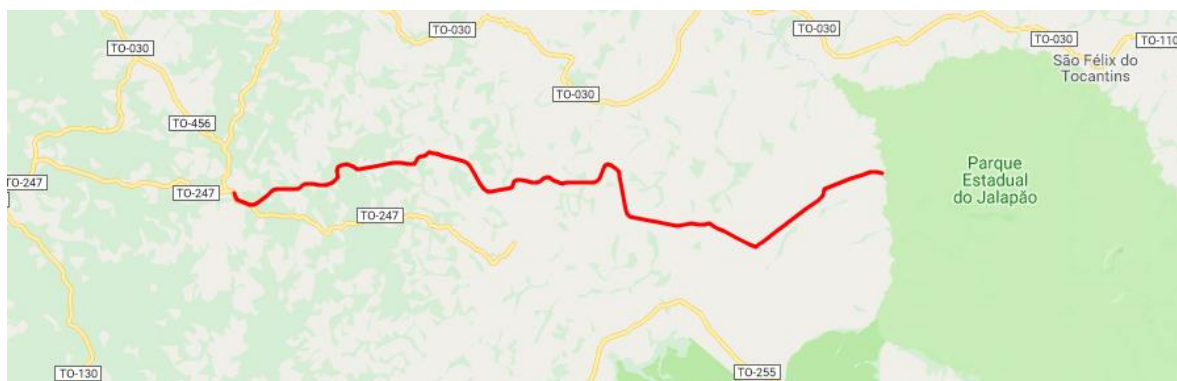
Os critérios para o projeto geométrico de estradas baseiam-se em princípios de geometria, de física e nas características de operação dos veículos. Incluem não somente cálculos teóricos, mas também resultados empíricos deduzidos de numerosas observações e análises do comportamento de motoristas, reações humanas, capacidade das estradas, entre outras. A construção de uma estrada deve ser tecnicamente possível, economicamente viável e socialmente abrangente. (PONTES, 1998, p.01)

James Possap, superintendente de Turismo do Tocantins, afirmou ao Naturatins que “a chegada do asfalto irá melhorar o acesso às belezas naturais e a qualidade de vida da população”, referindo-se à região do Jalapão.

“O Governo irá asfaltar o trecho que vai do município de Lagoa do Tocantins a Mateiros. Este percurso foi escolhido visando dar mais competitividade ao destino Jalapão e também pelo fato de haver um encurtamento nessa distância de cerca de 50 quilômetros, em relação ao percurso saindo de outros pontos”, explicou James Possap, informando ainda que serão pavimentados 200 quilômetros de rodovia e que o financiamento para aquisição dos recursos será assinado em breve com o governo federal e o órgão financiador, por meio do Programa Regional de Desenvolvimento do Turismo (Prodetur). (JESUINO SANTANA JR, 2017)

Nota-se que há interesse por parte do Estado do Tocantins em investir em pavimentação para alavancar o turismo na região e também melhorar a qualidade de vida dos moradores. Atualmente existe uma estrada não pavimentada que liga o município de Lagoa do Tocantins ao Parque Estadual do Jalapão, conforme indica a figura 6 abaixo.

Figura 6 - Traçado entre Lagoa do Tocantins e Cachoeira da Velha



Fonte: Google Maps

O ponto inicial do traçado na cor vermelha (início na esquerda) indica a localização do município de Lagoa do Tocantins, esse trajeto tem aproximadamente 90 km. Tal traçado mostra onde passa uma atual estrada não pavimentada muito utilizada pelos turistas como acesso ao Jalapão. Porém não foi feito nenhum tipo de projeto geométrico para tal traçado, e provavelmente apresentam curvas, tanto horizontais quanto verticais, fora das recomendações normativas.

3 JUSTIFICATIVA

Partindo dessa problemática apresentada, a necessidade desse trabalho se justifica em relação a demonstrar os conhecimentos na área de projetos geométricos de estradas, sendo uma área que apresenta, como visto anteriormente, tantos problemas nas vias. Provar os conhecimentos técnicos para elaboração de um bom e executável projeto faz se importante para o mercado de trabalho.

Também com a intenção de dimensionar as curvas no trecho da estrada escolhida, propondo a adequação caso sejam verificados parâmetros que estejam em desacordo com as normas técnicas e metodologias de cálculos.

“Uma estrada, quando bem projetada, não deverá apresentar inconvenientes como curvas fechadas e frequentes, greide muito quebrado e com declividades fortes ou visibilidade deficiente.” (GLAUCO PONTES, 1998, p.8). Para atender os critérios de segurança, um bom projeto de rodovias deve levar em consideração diversos fatores, e um deles é a velocidade para o qual a estrada será projetada. “Em uma estrada sempre há veículos trafegando com velocidades diferentes; assim, é necessário que sejam definidos valores para o estudo das características geométricas.” (PIMENTA, R.T., 2004, p.16)

“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, R.T., 2004, p.29). Partindo desse conceito, analisar as curvas e verificar se estão atendendo aos critérios de segurança, e caso não estejam, propor

melhorias tornam esse trabalho importante para segurança de pessoas que utilizam aquela estrada.

4 OBJETIVO

4.1 Objetivo Geral

Dimensionar algumas curvas horizontais e verticais de um trecho de uma via rural que liga a cidade de Lagoa do Tocantins ao Parque Estadual do Jalapão, com base nas determinações estabelecidas pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT) e utilizando métodos consagrados, como o método apresentado pelo engenheiro civil Glauco Pontes Filho, em seu livro Estrada de Rodagem Projeto Geométrico (1998).

4.2 Objetivos específicos

- Analisar a classificação da rodovia quanto a aspectos geográficos, funcionalidade, jurisdição e condições técnicas, bem como o nível de serviço;
- Determinar a classe de projeto da rodovia;
- Determinar características técnicas para o projeto geométrico, como velocidade diretriz, veículo de projeto e distâncias de visibilidade;
- Dimensionar algumas curvas horizontais, tanto as circulares como, eventualmente, as de transições;
- Dimensionar superelevação das curvas horizontais calculadas; e
- Dimensionar as curvas verticais de parte do trecho objeto de estudo.

5 REVISÃO DA LITERATURA

5.1 Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais

O Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, do Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, 1999, é um dos principais orientadores e regulamentadores para os projetistas desta área. Surgiu de uma atualização e revisão das “Instruções para Projeto Geométrico de Rodovias Rurais”, de 1979.

A sua elaboração teve como objetivo sintetizar as obras já realizadas até o momento, unificando e buscando um denominador comum para que o DNER pudesse contar com um documento base relacionado a projetos geométricos de rodovias. Foi comparado também com normas internacionais, como a “A Policy on Geometric Design of Highways and Streets” (Critérios para Projeto Geométrico de Rodovias e Logradouros), da associação americana AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials).

O “Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais” contém as informações essenciais para a elaboração do projeto geométrico de rodovias rurais, de acordo com as normas em vigor no Brasil. O método de apresentação escolhido é didático e, portanto fartamente ilustrado, de modo a facilitar a compreensão do leitor. (MANUAL 706 DNER, 1999)

6 REVISÃO CONCEITUAL E METODOLOGIA DE CÁLCULO

As definições quanto ao conceito, bem como a metodologia para os elementos de projeto e os cálculos que foram utilizados foram definidos a seguir, com base em materiais do DNIT e autores consagrados na engenharia de estradas de rodagem.

6.1 Reconhecimento e exploração

De acordo com Glauco Pontes (1998, p.03) o reconhecimento “é a primeira fase da escolha do traçado de uma estrada. Tem por objetivo principal o levantamento e a análise de dados da região necessários à definição dos possíveis locais por onde a estrada possa passar”. Já a exploração “consiste no levantamento topográfico de uma faixa limitada do terreno, dentro da qual seja possível projetar o eixo da estrada”.

Para definir um traçado entre dois pontos (geralmente cidades) a distância mais curta entre eles é uma reta, porém raramente isso é possível. De acordo com DJALMA (2009, p.10) existem os pontos obrigatórios de condição e os pontos obrigatórios de passagem, onde o primeiro são os pontos extremos do traçado, e o segundo são os lugares onde são obrigatórias as passagens do traçado, seja para agregar mais uma comunidade ao acesso, ou por outros motivos.

Na etapa de reconhecimento as principais informações coletadas são os dados quanto à topografia da área, imagens fotográficas (ou via satélite), informações sobre pontos obrigatórios de passagem, interferências hidrológicas (rios, etc.). A exploração visa detalhar melhor os locais onde possivelmente a estrada poderá passar, e nessa fase são necessários levantamentos planimétricos e altimétricos bem detalhados. Para esse trabalho, toda a exploração já foi fornecida pelo topógrafo Solon Lima, com dados da região onde atualmente já há uma “estrada de chão”, ou seja, não pavimentada. Os levantamentos fornecem as coordenadas cartesianas dos pontos da estrada (a cada 20 metros), cotas em relação ao nível do mar, interceptações de rios ou córregos, azimuth e extensão progressiva do traçado existente.

6.2 Fatores para escolha do traçado

Diversos fatores podem influenciar para a determinação de um traçado de uma rodovia, tais como topografia, geologia, geotecnia, hidrologia, propriedades privadas, etc. A determinação deve sempre levar em consideração os melhores aspectos técnicos visando uma viabilidade econômica.

Como no caso desse trabalho já existe um traçado com o levantamento de dados, não foi necessário realizar a escolha de um trajeto em uma área, porém foi necessário definir o trecho do trajeto que foi objeto de estudo, dimensionando curvas horizontais e verticais. Esse trecho foi definido de acordo com os pontos que permitam melhor análise das curvas, buscando pontos onde seja possível traçar tangentes mais retilíneas para posteriormente indicar os pontos de intercessões entre elas que serviram de base para o dimensionamento.

6.3 Classificação

6.3.1 Quanto à posição geográfica

O Brasil possui uma série de nomenclaturas para as rodovias federais, estabelecidas no PNV (Plano Nacional de Viação), por meio da Lei 12.379 de 6 de Janeiro de 2011, e permite que os Estados definam suas próprias nomenclaturas.

O Art. 13 define que: As rodovias integrantes do Subsistema Rodoviário Federal são classificadas, de acordo com a sua orientação geográfica, nas seguintes categorias:

I - Rodovias Radiais: as que partem da Capital Federal, em qualquer direção, para ligá-la a capitais estaduais ou a pontos periféricos importantes do País;

II - Rodovias Longitudinais: as que se orientam na direção Norte-Sul;

III - Rodovias Transversais: as que se orientam na direção Leste-Oeste;

IV - Rodovias Diagonais: as que se orientam nas direções Nordeste-Sudoeste ou Noroeste-Sudeste; e

V - Rodovias de Ligação: as que, orientadas em qualquer direção e não enquadradas nas categorias discriminadas nos incisos I a IV, ligam pontos importantes de 2 (duas) ou mais rodovias federais, ou permitem o acesso a instalações federais de importância estratégica, a pontos de fronteira, a áreas de

segurança nacional ou aos principais terminais marítimos, fluviais, ferroviários ou aeroviários constantes do SNV.

Art. 14. As rodovias integrantes do Subsistema Rodoviário Federal são designadas pelo símbolo “BR”, seguido de um número de 3 (três) algarismos, assim constituído:

I - o primeiro algarismo indica a categoria da rodovia, sendo:

- a) 0 (zero), para as rodovias radiais;
- b) 1 (um), para as rodovias longitudinais;
- c) 2 (dois), para as rodovias transversais;
- d) 3 (três), para as rodovias diagonais; e
- e) 4 (quatro) para as rodovias de ligação;

II - os outros 2 (dois) algarismos referem-se à posição geográfica da rodovia relativamente a Brasília e aos pontos cardeais, segundo sistemática definida pelo órgão competente.

6.3.1.1 Aplicação no Tocantins

A secretaria de Cidades e Infraestrutura do Estado do Tocantins (SEINF, 2018) dispõe sobre a classificação das rodovias estaduais quanto à posição geográfica, o que foi aplicado para determinação de possível nomenclatura neste presente trabalho.

A definição quanto a uma rodovia estadual é a seguinte:

São estradas de rodagem, sob jurisdição do Governo Estadual, constantes deste Sistema Rodoviário Estadual, cuja administração pode ser direta ou por Contrato de Restauração e Manutenção de Rodovias (CREMA) à iniciativa privada. São precedidas da sigla “TO” e constituem a maior parte da rede rodoviária. (SEINF/TO, 2018)

A respeito da nomenclatura e numeração das rodovias do Tocantins, é trazida a seguinte recomendação:

A nomenclatura das rodovias estaduais é definida pela justaposição do prefixo “TO” a três algarismos. Os dois últimos algarismos, no caso das Rodovias Longitudinais, Transversais e Diagonais, indicarão a posição da rodovia em relação a Palmas e aos limites extremos do Estado (Norte, Sul, Leste, Oeste, Noroeste, Sudoeste, Nordeste, Sudeste) numa sistemática de cálculo semelhante à utilizada pelo DNIT. Para qualquer categoria de rodovia, os dois últimos algarismos poderão variar de 0 (zero) a 99 (noventa e nove). (SEINF/TO, 2018)

Ainda outras definições quanto as rodovias radiais, longitudinais, transversais, diagonais e de ligação, o Tocantins, por meio de sua administração, optou por seguir as mesmas orientações usadas para as rodovias nacionais, dispostas na Lei 12.379/2011. Sendo uma rodovia radial aquelas que “partem da capital, Palmas, e começam com o numeral “0”, (...) promovem a ligação da Capital ao interior em todas as direções e podem ir até as divisas territoriais com os demais estados. Sua numeração vai de 000 a 099” (SEINF/TO. 2018).

As longitudinais seguem o sentido Norte-Sul, “a numeração para as longitudinais acontece de 101 a 199. (...) A quilometragem nestas rodovias inicia-se do Norte para o Sul” (SEINF/TO). As transversais ligam as regiões leste ao oeste e “sua numeração inicia com o numeral 201 e termina em 299. Nas transversais a quilometragem inicia-se sempre no sentido Leste para Oeste”. (SEINF/TO, 2018).

As rodovias diagonais podem assumir as direções noroeste-sudeste ou nordeste-sudeste e “a quilometragem dessas rodovias, independentes se pares ou ímpares, sempre é marcada no sentido do Norte para o Sul”. (SEINF/TO, 2018). As rodovias de ligação “conectam duas rodovias estaduais ou pelo menos uma rodovia estadual e um ponto importante, por exemplo, a uma rodovia federal. São as rodovias que seguem em qualquer direção, não se enquadrando nas categorias precedentes”. (SEINF/TO, 2018)

6.3.2 Quanto à função

Outra forma de classificar as rodovias é quanto a sua função. “A classificação funcional rodoviária é o processo de agrupar rodovias em sistemas e classes, de acordo com o tipo de serviço que as mesmas proporcionam e as funções que exercem.” (GLAUCO PONTES, 1998, p.23).

As rodovias são agrupadas em Sistemas e Classes de acordo com o tipo de serviço que proporcionam e as funções que exercem. O serviço é avaliado pelas possibilidades operacionais, levando-se em consideração a mobilidade de tráfego e de acesso disponível e também outras funções de caráter político-administrativo. As rodovias brasileiras são classificadas em três grandes sistemas funcionais. (PAULO MENDES et. al., 2010, p. 11)

O objetivo em definir quanto à função é posteriormente classificar a rodovia em estudo como uma via arterial, coletora ou local. Buscando conhecer as características da rodovia quanto ao fluxo, funcionalidade e demanda.

6.3.2.1 Arterial

Para Glauco Pontes (1998, p.24), vias arteriais “proporcionam alto nível de mobilidade para grandes volumes de tráfego. Sua principal função é atender ao tráfego de longa distância, seja internacional ou interestadual”.

O Manual de Projeto Geométrico traz algumas funcionalidades importantes para sistema arterial, tais como “Promover ligação de cidades e outros centros geradores de tráfego capazes de atrair viagens de longa distância”; “Integrar municípios, estados e países vizinhos”.

De acordo com Paulo Mendes (2010, p.12) esse tipo de sistema também pode, “ocasionalmente servir ao tráfego local”, mesmo que sua função principal seja as supracitadas.

Alguns autores subdividem uma via arterial em três ramos, arterial principal, arterial primário e arterial secundária. O próprio Manual do DNER (Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes) traz essa divisão.

6.3.2.1.1 Arterial principal

Paulo Mendes Antas definiu o sistema arterial principal como:

Compreende as rodovias utilizadas para viagens internacionais e inter-regionais. Em uma região devem proporcionar um sistema contínuo, conectando se com rodovias similares das regiões vizinhas, atendendo essencialmente à função mobilidade. Com as características do quadro adiante, devem promover a conexão entre as capitais dos Estados e destas com Brasília. (PAULO MENDES et. al., 2010, p. 12)

A definição apresentada acima é bem semelhante à descrita no Manual de Projeto Geométrico do DNER, vale acrescentar apenas algumas especificações, em que essas vias devem “conectar cidades com população acima de 150 mil habitantes”.

A extensão total das rodovias integrantes deste sistema situa-se entre 2,0 e 3,5% da rede rodoviária, atendendo de 30 a 35% dos veículos-quilômetros realizados, tendo o percurso das viagens nestas rodovias uma extensão média de 120 km. Proporciona ao tráfego velocidades de operação de 60 a 120 km/h. (MANUAL 706 DNER, 1999)

6.3.2.1.2 Arterial primário

De acordo com Paulo Mendes (2010, p.12), “destinam-se a viagens inter-regionais e interestaduais, em área não servidas pelo Sistema Arterial Principal.” Apesar de ainda terem função de mobilidade, seu fluxo de operação é menor do que o principal.

De um modo geral, conectam cidades com população em torno de 50.000 habitantes, a menos que estas já estejam servidas por rodovias do Sistema

Arterial Principal. A extensão total das rodovias integrantes deste sistema situa-se entre 1,5 e 3,5% da rede rodoviária, atendendo de 15 a 20% dos veículos-quilômetros realizados, tendo o percurso das viagens uma extensão média de 80 km. Proporciona ao tráfego velocidades de operação de 50 a 100 km/h. (MANUAL 706 DNER, 1999)

6.3.2.1.3 Arterial secundário

Ainda de acordo com Paulo Mendes (2010, p.12), Sistema Arterial Secundário “Atendem essencialmente a viagens intra-estaduais, não servidas por sistema de nível superior”. Ou seja, apenas ligação dentro de um mesmo Estado, que ainda não foram atendidas pelo Sistema Arterial Primário ou Principal.

De um modo geral, devem conectar cidades com população acima de 10.000 habitantes, a não ser que já estejam atendidas por rodovias de nível superior. A extensão das rodovias desse sistema situa-se entre 2,5 e 5,0% da rede rodoviária, atendendo de 10 a 20% dos veículos-quilômetros realizados, tendo o percurso das viagens uma extensão média de 60 km. Proporciona ao tráfego velocidades de operação de 40 a 80 km/h. (MANUAL 706 DNER, 1999)

6.3.2.2 Coletor

Para Glauco Pontes (1998, p.24), vias coletoras “atendem a núcleos populacionais ou centros geradores de tráfego de menor vulto, não servidos pelo Sistema Arterial. A função deste sistema é proporcionar mobilidade e acesso dentro de uma área específica”.

O Sistema Coletor tem como função atender o tráfego intermunicipal e centros geradores de tráfego de menor vulto não servidos pelo Sistema Arterial. Independentemente dos volumes de tráfego as distâncias das viagens são menores que nas rodovias arteriais e são mais comuns velocidades mais moderadas. Esse sistema complementa o sistema arterial, formando uma rede contínua que possibilita a ligação de áreas rurais e centros municipais à malha arterial, proporcionando mobilidade e acesso dentro de uma área específica do Estado. (MANUAL 706 DNER, 1999)

Esse sistema pode ser subdividido em duas classes, o Sistema Coletor Primário e o Sistema Coletor Secundário.

6.3.2.2.1 Coletor primário

De acordo com Paulo Mendes (2010, p.12), “as rodovias desse sistema têm a função de atender ao tráfego intermunicipal, proporcionando mobilidade e acesso dentro de uma área específica do Estado”.

Ligar cidades acima de 5.000 habitantes não servidas por rodovias de nível superior. A extensão das rodovias que compõem o sistema situa-se entre 4 e 8% da rede rodoviária, atendendo de 8 a 10% dos veículos-quilômetros realizados, tendo o percurso das viagens uma extensão média de 50 km. Proporciona ao tráfego velocidades de operação de 30 a 70 km/h. (MANUAL 706 DNER, 1999)

6.3.2.2.2 Coletor secundário

Para Paulo Mendes (2010, p.12), “as rodovias deste sistema devem proporcionar não só mobilidade, mas principalmente acesso as área dentro do Estado”.

Ligar centros com população acima de 2.000 habitantes e sedes municipais que não estejam servidas por rodovias de nível superior. A extensão total das rodovias desse sistema situa-se entre 10 e 15% da rede rodoviária, atendendo de 7 a 10% dos veículos-quilômetros realizados, tendo o percurso das viagens uma extensão média de 35 km. Proporciona ao tráfego velocidades de operação de 30 a 60 km/h.

6.3.2.3 Local

De acordo com Glauco Pontes (1998, p.24), vias locais são “constituídas geralmente por rodovias de pequena extensão, destinadas basicamente a proporcionar acesso ao tráfego intra-municipal de áreas rurais e de pequenas localidades às rodovias mais importantes”.

Este sistema é constituído por rodovias geralmente de pequena extensão, destinadas essencialmente a proporcionar acesso ao tráfego intra-municipal de áreas rurais e de pequenas localidades às rodovias de nível superior, pertencentes em geral ao Sistema Coletor Secundário. Pode apresentar descontinuidades, mas não pode ser isolado do restante da rede rodoviária. A extensão total das rodovias deste sistema situa-se entre 65 e 80% da rede rodoviária, atendendo de 5 a 30% dos veículos-quilômetros realizados, tendo o percurso das viagens uma extensão média de 20 km. Proporciona ao tráfego velocidade de operação de 20 a 50 km/h. (MANUAL 706 DNER, 1999)

6.3.3 Quanto à jurisdição

Quanto à jurisdição uma rodovia pode ser classificada, de acordo com Glauco Pontes (1998, p.24), em quatro categorias, sendo elas Federais, Estaduais, Municipais e Vicinais. Basicamente, as Federais são rodovias nacionais que ligam mais de dois Estados e estão sob responsabilidade do governo federal.

As Estaduais, como o próprio nome já induz, encontram-se apenas dentro de um Estado, ligando cidades entre si, ou partindo das capitais, geralmente são vias arteriais ou coletoras. As municipais são vias dentro das cidades e geralmente não ligam cidades, porém isso é possível, e estão sob responsabilidade da prefeitura referente. As vicinais são definidas como “estradas municipais, pavimentadas ou não, de uma só pista, locais, e de padrão técnico modesto”.

6.3.4 Quanto às condições técnicas

Para a classificação de uma rodovia quanto às condições técnicas, alguns fatores precisam ser levados em consideração, sendo que “as principais características geralmente consideradas nesse tipo de classificação são aquelas que se relacionam diretamente com a operação do tráfego” (PONTES 1998, p.25).

(...) os trechos integrantes da rede nacional são agrupados, para fins de projeto, em cinco classes de rodovias, numeradas de 0 a IV, correspondendo a os menores números a características técnicas mais exigentes. Essas classes só se aplicam em sua totalidade a rodovias novas. As rodovias existentes em geral foram projetadas com outros critérios, que não coincidem com os agora recomendados. (MANUAL 706 DNER, 1999)

Com base no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais do DNER, os principais critérios usados para definir a classe de um trecho de rodovia são:

- Posição Hierárquica Dentro da Classificação Funcional
- Volume Médio Diário de Tráfego
- Nível de Serviço
- Outros condicionantes

6.3.5 Posição hierárquica dentro da classificação funcional

Anteriormente foi descrito quanto à classificação em relação à função da rodovia, podendo admitir três tipos de classes, arterial, coletora ou local. Podendo ainda conter subdivisões dentro das classes. Essa posição interfere na classificação técnica de uma rodovia, portanto faz-se necessário, para a atual classificação, que previamente haja a determinação da função da rodovia, com base na Lei 12.379/2011. A ordem hierárquica da rodovia segue uma sequência de fluxo, onde, do maior para o menor, temos a seguinte ordem: Sistema Arterial, Sistema Coletor e Sistema Local.

Tem sido então a norma fixar a classe de uma rodovia rural atendendo à sua classificação funcional, mesmo que os volumes de tráfego momentaneamente não o justifiquem. Os projetos de engenharia em seu estágio definitivo obedecerão aos critérios das classes de projeto correspondentes à classe funcional, admitindo-se que com o tempo se justificará essa decisão e que a construção por etapas permitirá soluções economicamente viáveis. Haverá exceções, podendo uma rodovia de classe funcional inferior ser enquadrada numa classe de projeto superior, quando os volumes de tráfego o justificarem. (MANUAL 706 DNER, 1999)

6.4 Volume médio diário de tráfego

O Manual do DNER tem como base a contagem do volume médio diário de tráfego os dados do Plano Nacional de Contagem de Tráfego (PNTC) do DNER de 1996. A metodologia é considerada pelo Manual, como satisfatória para as finalidades.

O desenvolvimento do Plano Nacional de Contagem de Tráfego procurou e procura cobrir os trechos mais representativos da malha rodoviária de cada estado e, sem dúvida, de fundamental importância, pois seus resultados são subsídios básicos para os estudos de planejamento em geral, estudos econômicos e projetos rodoviários (...). (DNIT/PNTC)

Porém, existem dados mais recentes disponibilizados pelo DNIT, inclusive a metodologia foi modificada em cooperação técnica estabelecida com o Exército Brasileiro, e a partir de 2013 parâmetros como Peso Bruto Total, Peso por Eixo, Distância entre Eixos e Velocidade Instantânea do Veículo passam a ser consideradas.

A contagem dos veículos médios é feita por postos permanentes, e apenas em rodovias federais, no Estado do Tocantins existe apenas um posto, na BR153, localizado entre os municípios de Araguaína e Wanderlândia. Para o caso de estudo desse trabalho, o volume médio diário foi considerado para uma rodovia estadual de pequeno fluxo, pois como já visto anteriormente, a média anual de turistas na região do Jalapão foi inferior a 20 mil.

6.5 Nível de serviço

O nível de serviço, de acordo com Glauco Pontes (1998, p.27), pode admitir 6 tipos de níveis, ordenados de A até F, em ordem crescente de estabilidade de fluxo.

O nível A refere-se à condição de escoamento livre, onde não há ocorrências de congestionamentos, o fluxo é rápido e os volumes são baixos. Já o nível B é relacionado ao fluxo estável, onde as velocidades de operação são restringidas pelas condições do tráfego, as condições de operação não permitem tanta liberdade para o motorista quanto no nível A, porém ainda é possível a realização de ultrapassagens e uma velocidade de condução consideravelmente boa.

No nível C o fluxo ainda está estável, porém nesse nível o volume de veículos é maior que os anteriores, impedindo que o motorista tenha a mesma liberdade. O nível D é considerado como uma zona de transição entre o estável e o instável, porém as velocidades de operação ainda são toleráveis, porém podem possuir um alto gradiente.

Com relação ao nível E, Glauco Pontes define que “a via trabalha a plena carga e o fluxo é instável, sem condições de ultrapassagem”. O último nível é considerado o mais crítico, onde o escoamento é forçado. Nesse tipo de situação, o volume já excede os limites para o qual a via foi projetada, gerando grandes congestionamentos, e em casos de incidentes, ao fluxo pode ficar totalmente paralisado.

6.6 Outros condicionantes

Existem alguns fatores que podem interferir também na classificação técnica de uma via, geralmente esses fatores não podem ser removidos ou se tornam financeiramente inviáveis. A topografia é uma das mais relevantes, pois pode haver terreno planos, ondulados ou montanhosos.

Algumas definições trazidas pelo Manual, com base na publicação A Policy on Geometric Design of HighWays and Streets – AASHTO – 1995, ajudam a compreender esses condicionantes.

Região plana é aquela que permite a implantação de rodovias com grandes distâncias de visibilidade, sem dificuldades de construção e sem custos elevados. (MANUAL 706 DNER, 1999)

Região ondulada é aquela onde as inclinações naturais do terreno exigem frequentes cortes e aterros de dimensões reduzidas para acomodação dos greides das rodovias, e que eventualmente oferecem alguma restrição à implantação dos alinhamentos horizontal e vertical. (MANUAL 706 DNER, 1999)

Região montanhosa é aquela onde são abruptas as variações longitudinais e transversais da elevação do terreno em relação à rodovia, e onde são frequentemente necessários aterros e cortes laterais das encostas para se conseguir implantar alinhamentos horizontais e verticais aceitáveis. (MANUAL 706 DNER, 1999)

As definições trazidas são em relação ao entorno de onde espera que o traçado seja passado, e não em relação ao todo do terreno, o que poderia distorcer a realidade do traçado.

6.7 Classe de projeto

Ao longo dos anos de desenvolvimento e experiência no âmbito de projetos de estradas, o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem desenvolveu categorias para enquadrar as estradas “de forma economicamente viável e com condições adequadas de segurança à demanda crescente do tráfego” (MANUAL 706 DNER, 1999). Na segregação dessas classes, os fatores predominantes foram “as funções exercidas pela rodovia e os volumes de tráfego, associados ao grau de dificuldade de implantação resultante da natureza do terreno atravessado” (MANUAL 706 DNER, 1999)

Em um extremo, situam-se as rodovias do mais alto nível, com mais de uma pista, interseções em desnível e controle total de acesso de veículos e

bloqueio total de pedestres – as Vias Expressas. No outro extremo, tem-se as estradas vicinais e pioneiras. Essas rodovias se destinam a canalizar a produção para o sistema viário troncal e centros de armazenagem, consumo, industrialização, comercialização ou exportação, a assegurar acesso a grupos populacionais com baixa acessibilidade e a áreas inexploradas passíveis de ocupação ou, ainda, a atender decisões de colonização e integração à comunidade nacional de áreas ou territórios isolados. (MANUAL 706 DNER, 1999)

Podendo se dividir em quatro classes, sendo enumeradas de 0 a 4, em uma ordem decrescente em relação ao porte da rodovia, a classe 0 refere-se a “rodovia de mais elevado padrão técnico, com pista dupla e controle total de acesso” (MANUAL 706 DNER, 1999). A classe I é subdividida em outras duas, A e B, onde enquadram-se pistas simples e duplas. A classe II é rodovia simples possuindo algumas delimitações quanto ao volume médio diário de veículos, assim como a classe III. Por último, a classe IV possui a menor capacidade de tráfego de veículos e menor rigor técnico em suas características.

A tabela abaixo resume as diferentes classes de projeto, com suas principais características, com base no Manual de Projeto Geométrico do DNER:

Tabela 1 - Principais características das classes de projetos

Classe de projeto		Principais características
0		-Via expressa, elevado padrão técnico, pista dupla; -Possui rigorosos critérios para seu enquadramento nessa classe, avaliadas pela administração de órgão competente.
I	A	-Pista dupla; -Rodovia Arterial com grande demanda de tráfego; -Possui mais interferências por acessos do que a classe 0 (classe especial).
	B	-Pista simples de elevado padrão; -Projetado para 10 anos após a abertura do tráfego dentro dos

		limites: <u>Inferior</u> de 1400 v/d (veículo/dia) ou VHP (volume horário de projeto) de 200 veículos. Corresponde ao nível C em região montanhosa com boa visibilidade ou nível B em região plana com má visibilidade. <u>Superior</u> de 5500 v/d para região plana com excelente visibilidade ou 1900 v/d em região ondulada com má visibilidade.
II		-Pista simples; -Projetado para 10 anos após a abertura do tráfego dentro dos limites: <u>Inferior</u> de 700 v/d (veículo/dia). <u>Superior</u> de 1400 v/d.
III		-Pista simples; -Projetado para 10 anos após a abertura do tráfego dentro dos limites: <u>Inferior</u> de 300 v/d (veículo/dia). <u>Superior</u> de 700 v/d.
IV	A	-Pista simples com características técnicas suficientes para atender o mínimo do tráfego previsto no ano de abertura; -Geralmente não pavimentada; -Sistema local; -Tráfego médio diário de 50 a 200 veículos no ano de abertura.
	B	-Pista simples com características técnicas suficientes para atender o mínimo do tráfego previsto no ano de abertura; -Geralmente não pavimentada; -Sistema local; -Tráfego médio diário inferior a 50 veículos no ano de abertura.

Fonte: Desenvolvido pelo autor, adaptado do Manual 706 do DNER

6.8 Relação entre classe funcional e classe de projeto

Conforme o Manual 706 do DNER há uma relação entre a classificação quanto à função e as classes de projeto, e isso não por acaso, porque o

desenvolvimento dessas classes foi feito já com o intuito de compatibiliza-las com a classificação funcional.

Os projetos de engenharia deverão obedecer em princípio aos critérios da classe de projeto correspondente à classe funcional da rodovia, sem quaisquer outras considerações, admitindo-se a previsão de implantação por etapas. Entretanto, cada caso deve ser examinado especialmente, levando em conta os critérios expostos (...) um rodovia de classe funcional inferior poderá ser enquadrada numa classe de projeto superior, em razão dos volumes de tráfego projetados ou com base em outras considerações justificadas. (MANUAL 706 DNER, 1999)

A tabela 2 mostra a relação estabelecida entre as classes funcionais e as classes de projetos:

Tabela 2 - Relação entre classes funcionais de classes de projeto

Sistema	Classes funcionais	Classes de projeto
Arterial	Principal	Classes 0 e I
	Primário	Classes I
	Secundário	Classes I e II
Coletor	Primário	Classes II e III
	Secundário	Classes III e IV
Local	Local	Classes III e IV

Fonte: Manual 706 do DNER (1999)

6.9 Características técnicas básicas para projetos

De acordo com C. R. T. Pimenta (2004, p.15), “o projeto geométrico é a parte do projeto de estradas que estuda as diversas características geométricas do traçado em função das leis de movimento, do comportamento dos motoristas, das características de operação dos veículos e do tráfego”.

Para se projetar a geometria de uma estrada, fatores precisam ser estabelecidos, pois o dimensionamento deve ser feito para tais características de operação da via. É sabido que veículos possuem dimensões diferentes, qualidades diferentes, que tornam suas demandas distintas. Um chamado veículo de passeio

costuma ser menor e mais leve do que um caminhão de transporte de veículos, denominado popularmente de “cegonha”.

Uma rodovia também é dimensionada para uma determinada velocidade básica, pois as condições de segurança são estabelecidas a partir de uma velocidade, para o qual as condições serão seguras. De acordo com Glauco Pontes (1998, p.53) “definida a velocidade de projeto, a maioria das características geométricas serão calculadas em função dessa velocidade”.

R. T. Pimenta (2004, p.15) destaca que “a escolha de boas características geométricas nem sempre acarreta grandes acréscimos no custo”, mas que se depois de pronta a rodovia, alguma alteração tiver que ser realizada, esse custo pode se tornar muito alto, como também comprometer serviços para o qual ela foi destinada.

Entretanto, mais importante que a escolha de um determinado valor é a manutenção de um padrão homogêneo ao longo de todo o trecho, evitando surpresas para o motorista e conduzindo-o a um padrão também uniforme de operação. Em alguns casos especiais, poderá se tornar necessário empregar valores inferiores aos recomendados, à luz das circunstâncias locais. Essa decisão, bem como os valores então a adotar, deverão ser cuidadosamente ponderados, objetivando encontrar a solução de compromisso entre as exigências de projeto e as restrições físicas ou econômicas. (MANUAL 706 DNER, 1999)

6.9.1 Velocidade de projeto

Conforme a AASHTO “velocidade de projeto, ou velocidade diretriz, é a máxima velocidade que um veículo pode manter, em determinado trecho, em condição normas, com segurança”. Como mencionado anteriormente, a escolha do valor adotado para a velocidade de projeto é um fator essencial para o dimensionamento de diversos elementos geométricos das vias, posteriormente nos cálculos foi possível perceber como a geometria da rodovia está diretamente ligada à velocidade básica, alguns exemplos disso serão: curvatura, superelevação e distâncias de visibilidade.

Em uma determinada estrada deve-se sempre adotar uma única velocidade de projeto, usando-se velocidades diferentes em casos especiais. A variação acentuada na topografia da região é um motivo para o uso de trechos com velocidades de projetos diferentes. Um dos principais fatores que governam a adoção de valores para a velocidade diretriz é o custo de construção resultante. Velocidades diretrizes elevadas requerem características geométricas mais amplas (principalmente no que se refere a curvas verticais e horizontais, acostamento e larguras) que geralmente elevam consideravelmente o custo da construção. (PONTES, 1998, p.52)

De acordo com o Manual de Projeto Geométrico do DNER “a velocidade diretriz não deve ser inferior às velocidades de operação que efetivamente deverão predominar, representativas da maioria do tráfego futuro”, visando maior segurança aos motoristas.

A topografia é um dos fatores importantes para definição da velocidade de projeto, ela influencia na determinação das classes de projeto, onde conseqüentemente gera impacto na determinação da velocidade diretriz. Porém o Manual do DNER recomenda que por mais que a rodovia apresente trechos com diferentes características, a velocidade padrão não deve ser reduzida em locais onde o terreno seja muito acidentado, por mais que isso gere certa redução dos custos, porque isso muda o padrão da via em certo ponto, o que não é desejado.

“Velocidades diretrizes elevadas proporcionam vantagens sob os aspectos de aumento da segurança, do conforto e da velocidade média de viagem” (MANUAL 706 DNER, 1999). Quanto maior forem as velocidades melhores serão as condições das vias em diversos fatores, diferentemente se forem dimensionadas apenas para atenderem os requisitos mínimos estabelecidos pelo DNER, porém os custos aumentam conforme há uma elevação dessa velocidade de projeto, que é “um dos principais fatores que governam a adoção de valores para a velocidade diretriz”. (MANUAL 706 DNER, 1999)

R. T. Pimenta (2004, p.16) define que “a velocidade de projeto está sempre associada à função da estrada. Estradas com funções importantes justificam valores altos para a velocidade de projeto”. Por isso, o Manual do DNER traz uma tabela onde são correlacionados os valores de velocidade de projeto tanto com as

classes de projeto quanto com as características do relevo, observe na tabela 3 a seguir:

Tabela 3 - Velocidades diretrizes de acordo com classe de projeto

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

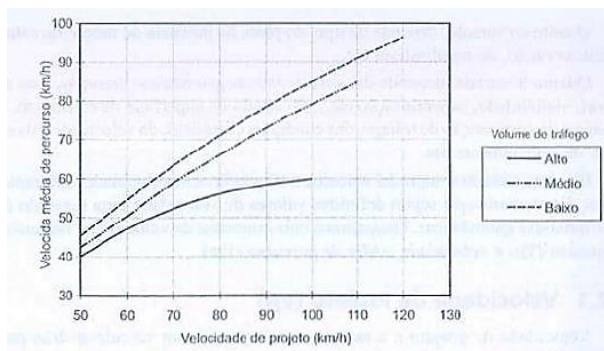
Fonte: Manual 706 do DNER (1999)

6.9.2 Velocidade de operação

A velocidade de operação pode ser definida como “a média de velocidades para todo o tráfego ou parte dele, obtida pela soma das distâncias percorridas dividida pelo tempo de percurso” (PONTES, 1998, p.53). Por mais que a rodovia seja projetada com base em uma velocidade diretriz, como descrito anteriormente, nem sempre os veículos estarão operando em tal velocidade, e isso ocorre por uma série de fatores, principalmente pelas condições de tráfego.

O professor R. T. Pimenta traz em seu livro Projeto Geométrico de Rodovias (2004, p.19) um gráfico que relaciona a velocidade de projeto com a velocidade média de percurso. Veja na figura 7 abaixo.

Figura 7 - Relação entre velocidade de projeto e velocidade média de percurso



Fonte: R. T. PIMENTA (2004)

A velocidade de operação é aquela que é efetivamente constatada na via, usada pelos veículos em seus deslocamentos. Em uma rodovia há diversos fatores que interferem no deslocamento dos veículos, tais como segurança, custo, número de veículos, características da via e da frota de veículos. A velocidade de operação pode ser definida como a mais alta velocidade possível nas condições de tráfego existentes na via, em condições climáticas favoráveis, sem exceder a velocidade máxima permitida, estabelecida pelas regras de segurança e limitada pelas condições físicas da via, cujos elementos restritivos foram dimensionados para a velocidade de projeto. Uma análise operacional possibilitará definir a velocidade que o veículo poderá desenvolver na via. (PAULO MENDES et. al., 2010, p. 07)

6.9.3 Veículo de projeto

“Denomina-se veículo de projeto o veículo teórico de certa categoria, cujas características físicas e operacionais representam uma envoltória das características da maioria dos veículos existentes nessa categoria” (PONTES, 1998, p.54). Vários fatores de uma pista são determinados de acordo com o veículo para o qual ela está sendo projetada. Pista de rolamento, superlargura, raios mínimos, largura dos canteiros, verificação de necessidade de pista adicional, etc. são exemplos dessas influências.

Portanto, para fins de projeto é necessário examinar todos os tipos de veículos, selecionando-os em classes e estabelecendo a representatividade dos tamanhos dos veículos dentro de cada classe. A grande variedade de veículos existentes conduz à escolha, para fins práticos, de tipos representativos, que em dimensões e limitações de manobra, excedam a maioria dos de sua classe. A estes veículos é dada a designação de veículos de projeto, os quais são definidos como veículos selecionados cujo peso, dimensões e características de operação serviços de base para estabelecer os controles do projeto de rodovias. (MANUAL 706 DNER, 1999)

6.9.4 Dimensões e peso dos veículos

O Código de Trânsito Brasileiro – CTB, instituído pela Lei nº 9.503, de 23 de setembro de 1997, através da resolução nº 12, de 6 de fevereiro de 1998, estabelece os limites relativos às dimensões e os pesos dos veículos:

Art. 1º As dimensões autorizadas para veículos, com ou sem carga, são as seguintes:

I - largura máxima: 2,60m;

II - altura máxima: 4,40m;

III - comprimento total:

a) veículos simples: 14,00m;

b) veículos articulados: 18,15m; c) veículos com reboque: 19,80m.

Art. 2º Os limites máximos de peso bruto total e peso bruto transmitido por eixo de veículo, nas superfícies das vias públicas, são os seguintes:

I - peso bruto total por unidade:

a) 45 toneladas;

b) ou Combinação de Veículos de Carga - CVC de até 57 toneladas, com duas ou mais unidades, incluída a unidade tratora, devendo estas atender aos incisos IV, V e VI do artigo 2º da Resolução nº 68/98 - CONTRAN.

II – peso bruto por eixo isolado: 10 t;

III – peso bruto por conjunto de dois eixos em tandem, quando a distância entre os dois planos verticais, que contenham os centros das rodas, for superior a 1,20m e inferior ou igual a 2,40 m: 17 t;

IV – peso bruto por conjunto de dois eixos não em tandem, quando a distância entre os dois planos verticais, que contenham os centros das rodas, for superior a 1,20m e inferior ou igual a 2,40m: 15 t;

V – peso bruto por conjunto de três eixos em tandem, aplicável somente a semirreboque, quando a distância entre os três planos verticais, que contenham os centros das rodas, for superior a 1,20 m e inferior ou igual a 2,40 m: 25,5t;

VI – peso bruto por conjunto de dois eixos, sendo um dotado de quatro pneumáticos e outro de dois pneumáticos interligados por suspensão especial, quando a distância entre os dois planos verticais que contenham os centros das rodas for:

a) inferior ou igual a 1,20m: 9 t;

b) superior a 1,20m e inferior ou igual a 2,40m: 13,5t.

6.9.5 Tipos dos veículos

De acordo com o Manual do DNER, existem quatro tipos de veículos comumente utilizados no Brasil, e foram classificados com base nos usados pela AASHTO.

Tabela 4 - Descrição dos tipos de veículos

Tipo	Descrição
VP	Representa os veículos leves, física e operacionalmente assimiláveis ao automóvel, incluindo vans, utilitários, pick-ups e similares.
CO	Representa os veículos comerciais rígidos (não articulados) compostos de unidade tratora simples. Estes abrangem os caminhões e ônibus convencionais, normalmente de dois eixos e seis rodas.
O	Representa os veículos comerciais rígidos de maiores dimensões. Entre estes se incluem ônibus de longo percurso e de turismo, bem como caminhões longos, frequentemente com três eixos (tracção), de maiores dimensões que o veículo CO básico. Ademais seu comprimento aproxima-se do limite máximo legal de comprimento admissível para veículos rígidos, superior ao comprimento do veículo CO.

SR	Representa os veículos comerciais articulados, compostos de uma unidade tratora simples e um semi-reboque. Seu comprimento aproxima-se do limite máximo legal para veículos dessa categoria.
-----------	--

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Normalmente no Brasil, as rodovias são projetadas para os veículos tipo CO, pois representam significativa parcela de composição do tráfego, apesar de a maior ser composta por veículos tipo VP, o dimensionamento feito para esse tipo de veículos poderia tornar a via insegura para as outras categorias maiores. O tipo CO é considerável aceitável, por em vias comuns, estes atenderiam as demandas dos VP, e ainda seria aceitável para os demais. Dimensionar uma rodovia para um SR por exemplo, a não ser em casos onde haja comprovadamente um grande fluxo dessa categoria que a justifique, seria um superdimensionamento, elevando os custos de construção.

A figura 8 abaixo, retirada do Manual do DNTER, traz as principais características, para se utilizar em projetos geométricos, com relação às categorias de veículos apresentadas acima.

Figura 8 - Principais características dos veículos a se considerar no projeto

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

Fonte: Manual 706 do DNTER (1999)

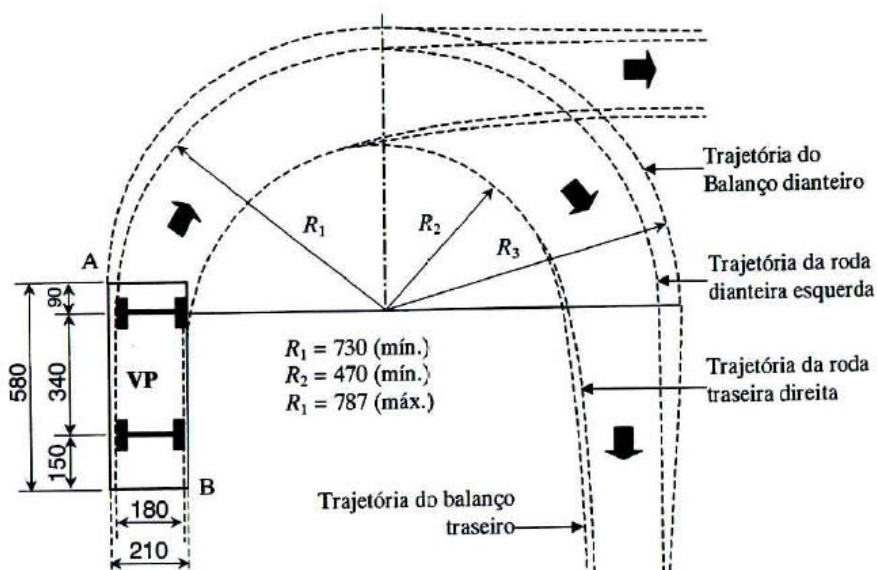
6.9.6 Determinação do veículo de projeto

Para Glauco Pontes (1998, p.55) “a escolha do veículo de projeto deve levar em consideração a composição do tráfego que utiliza ou utilizará a rodovia, obtida em contagens de tráfego ou de projeções que considerem o futuro desenvolvimento da região”. Paulo Mendes Antas (2010, p.25) complementa falando que a escolha dos veículos deve ser feita “de modo que a participação dos veículos com características mais desfavoráveis que a do veículo de projeto seja reduzida ao mínimo e os efeitos adversos consequentes possam ser desprezados”.

Projetar uma rodovia para um determinado veículo de projeto significa, em termos gerais, proporcionar a todos os veículos com características ou dimensões iguais ou mais favoráveis que as do veículo de projeto adotado condições operacionais iguais ou mais favoráveis do que aquelas a que estaria sujeito o veículo de projeto. Isso não significa que determinados veículos (e que, por definição, representam uma parcela muito pequena do tráfego), com características ou dimensões mais desfavoráveis que as do veículo de projeto adotado, fiquem impossibilitado de percorrer a rodovia. (MANUAL 706 DNER, 1999)

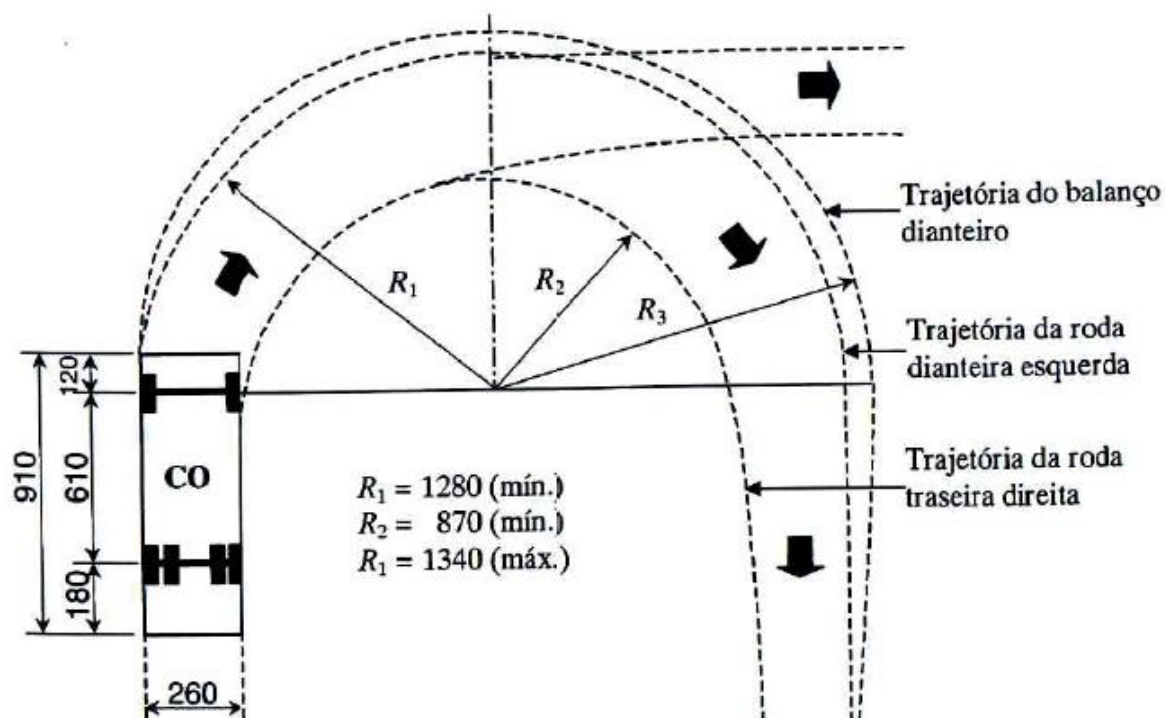
O livro do professor Glauco Pontes (1998, p.57) traz algumas imagens apresentando graficamente as dimensões básicas (em cm) para os quatro grupos básicos de veículos. Veja a seguir:

Figura 9 - Principais dimensões de curvatura para veículos tipo VP



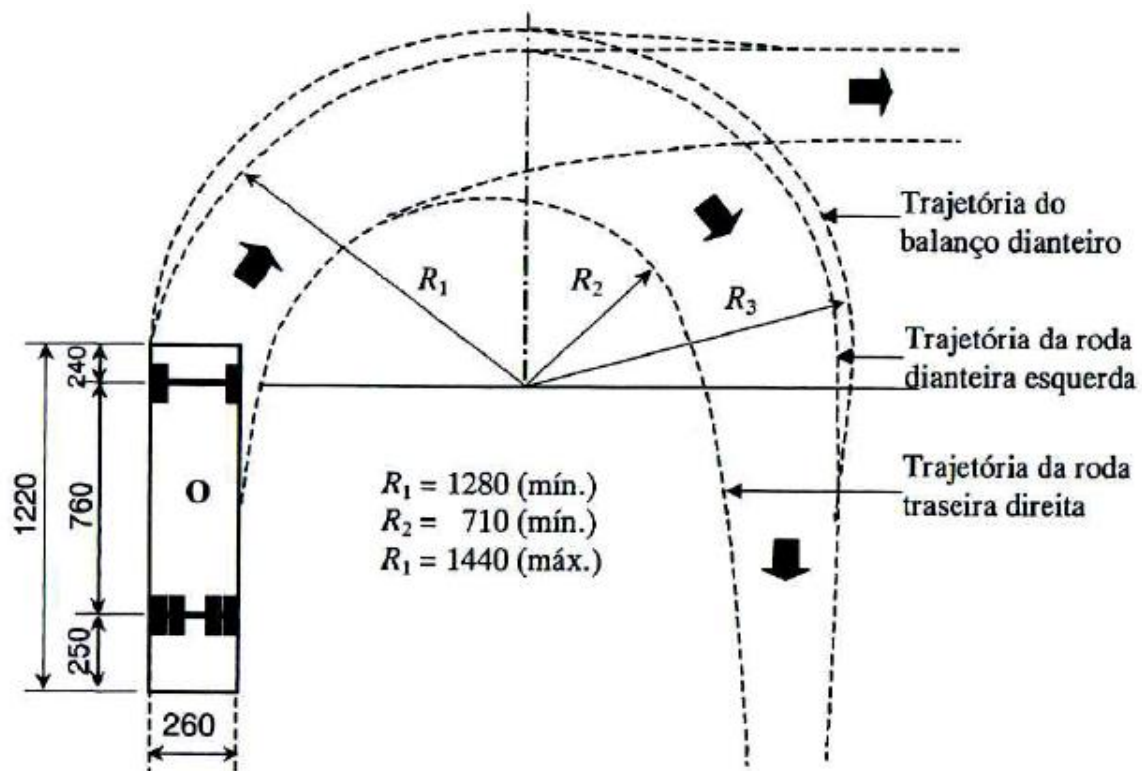
Fonte: GLAUCO PONTES (1998)

Figura 10 - Principais dimensões de curvatura para veículos tipo CO



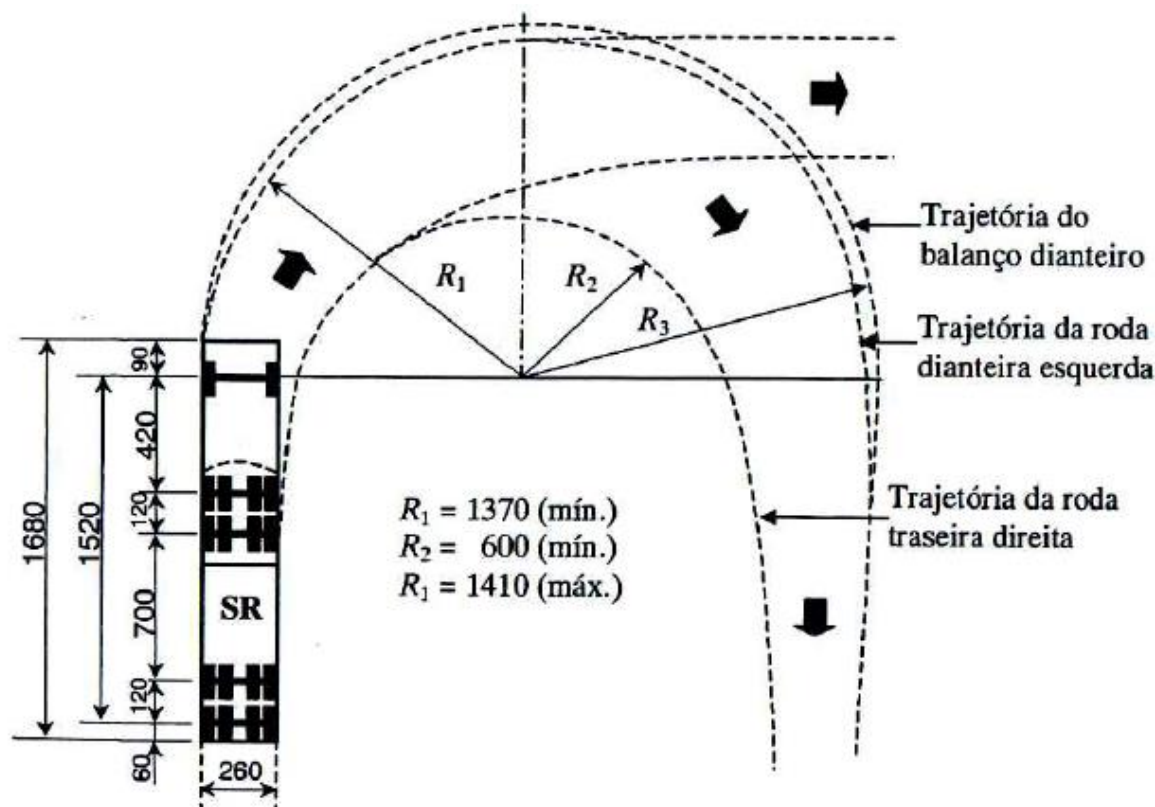
Fonte: GLAUCO PONTES (1998)

Figura 11 - Principais dimensões de curvatura para veículos tipo O



Fonte: GLAUCO PONTES (1998)

Figura 12 - Principais dimensões de curvatura para veículos tipo SR



Fonte: GLAUCO PONTES (1998)

6.9.7 Distância de visibilidade

Segundo o DNER “as distâncias de visibilidade traduzem os padrões de visibilidade a serem proporcionados ao motorista, de modo que ele possa sempre tomar a tempo as decisões necessárias à sua segurança”. Durante um tráfego em uma pista o motorista deve sempre poder visualizar o que o aguarda a frente, para que seja o mais seguro possível, permitindo ao condutor tomar as decisões mais corretas. Alguns fatores podem influenciar, atrapalhando ou contribuindo para a visibilidade, como por exemplo, topografia (relevo), condições climáticas, etc.

O DNIT estabelece que para o projeto rodoviário, apenas a distância de visibilidade de parada é obrigatória, sendo distância para tomada de decisão e para ultrapassagem apenas recomendações estabelecidas.

Paulo Mendes Antas (2010, p.129) afirma que “o projeto geométrico deve ser elaborado, tanto em planta como em perfil, de maneira à obrigatoriamente

garantir uma distância mínima de visibilidade que permita parar o veículo no seu sentido de deslocamento”.

6.9.8 Distância de visibilidade de parada

Para R. T. Pimenta (2004, p.19) a definição de distância de visibilidade de parada “é a distância de visibilidade mínima necessária para que o veículo que percorre a estrada, na velocidade de projeto, possa parar, com segurança, antes de atingir um obstáculo que possa surgir em sua trajetória”. Como já foi dito anteriormente, a distância de parada é a única que o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem considera obrigatória para projetos, ou seja, indispensável, pois é um critério essencial para segurança dos motoristas.

Glauco Pontes (1998, p.61) afirma que essa distância de parada é referente ao somatório de duas parcelas, onde “a primeira parcela D1, é relativa à distância percorrida pelo veículo no intervalo de tempo entre o instante em que o motorista vê o obstáculo e o instante em que inicia a frenagem”. Para a outra parcela, a definição que o professor Glauco trouxe foi que é a “distância percorrida pelo veículo durante a frenagem”.

De acordo com o Manual do DNER, “verifica-se na prática que em uma rodovia de Velocidade Diretriz V nos dias chuvosos os motoristas dirigem com velocidade média inferior a V”. O Manual também traz um quadro apresentando essas velocidades médias, que foi utilizado tanto pelo professor Glauco Pontes (1998), quanto pelo professor Paulo Mendes Antas (2010). Veja na tabela 5.

Tabela 5 - Velocidade média de acordo com a velocidade de projeto

Vdir (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Vmed (km/h)	30	38	46	54	62	71	79	86	92	98

Fonte: Manual 706 do DNER (1999)

Também para o cálculo dessa distância de visibilidade de parada, é necessário levar em consideração o atrito entre o pneu e a pista e a eficiência dos freios. O Manual informa que em condições de pista molhada, o atrito entre pneu e

pista é considerado a hipótese mais crítica, portanto, para ir a favor da segurança, é utilizado o fator para pistas molhadas. Na tabela 6 é possível perceber os fatores determinados pelo DNER.

Tabela 6 - Fator de atrito para velocidade diretriz e velocidade média

Parâmetros	Valor de f para Vmed (velocidade média)									
Vdir (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Vmed (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: Manual 706 do DNER (1999)

Para determinação de D1 (distância de reação do motorista), conforme Glauco Pontes (1998, p.61), a fórmula utilizada é a seguinte:

$$(01) \quad D1 = 0,7 \cdot V$$

Onde:

V = a velocidade de projeto, em Km/h.

D1 = distância percorrida durante o tempo de percepção e reação, em metros.

O primeiro termo da fórmula ($0,7 \cdot V$) corresponde à distância percorrida durante o tempo de percepção, decisão e reação do motorista médio, que se sucede a partir da visão do obstáculo, adotando-se o valor médio estatístico de 2,5 segundos, desprezando-se o efeito de freio-motor e eventuais influências de greide. (MANUAL 706 DNER, 1999)

Para determinação de D2 (distância de frenagem efetiva), conforme Glauco Pontes (1998, p.63) e o Manual do DNER, a fórmula utilizada é a seguinte:

$$(02) \quad D2 = \frac{V^2}{255 \cdot (f + i)}$$

Onde:

V = a velocidade de projeto, em Km/h.

D2 = distância percorrida durante o tempo de frenagem efetiva, em metros.

f = coeficiente de atrito que exprime a atuação do processo de frenagem, considerando a eficiência dos freios e o atrito entre pneus e pista, para o caso de pavimento molhado, com rugosidade normal, em condições superficiais razoáveis, e não especialmente lamacento ou escorregadio.

i = greide, em m/m (positivo no sentido ascendente e negativo no sentido descendente)

A distância de parada, denominada de DP, nada mais é do que o somatório de D1 com D2, resultando da seguinte equação:

$$(03) \quad Dp = (0,7 * V) + \left(\frac{V^2}{255 * (f + i)} \right)$$

O DNER estabelece que o projetista possa adotar a distância de visibilidade mínima para greide nulo (considerando a distância de visibilidade horizontal), ou seja, $i = 0$. Isso caso não seja possível determinar a situação real para cada distância de visibilidade.

Apenas se exige a obediência da Distância de Visibilidade Mínima para o greide nulo. Os valores assim obtidos são considerados como aceitáveis para fins de projeto em quaisquer circunstâncias, por englobarem suficiente margem de segurança, podendo-se desprezar as influências dos greides ascendentes ou descendentes. (MANUAL 706 DNER, 1999)

Os valores de distância de visibilidade são adotados para uma altura de 1,10 metros referentes à altura da visão do motorista em um carro de passeio. De acordo com o DNER apesar dos caminhões exigirem maiores distâncias para parar do que os carros leves, isso é compensado por causa dos condutores de caminhões possuírem um campo de visão mais alto do que os condutores de veículos de passeio.

6.9.9 Distância de visibilidade de ultrapassagem

Em uma rodovia é possível e comum que haja diversos tipos de veículos, com finalidades de tráfego diferentes bem como com características dos veículos desiguais. Justamente por esse motivo, as velocidades tendem a ser distintas entre

os veículos. Portanto, há uma necessidade de se estabelecer a ultrapassagem de veículos, para que haja um fluxo mais dinâmico de automóveis. Se isso não fosse possível, os veículos mais rápidos poderiam ter sua velocidade limitada a um veículo mais lento que estivesse à sua frente.

Porém, para que uma ultrapassagem seja realizada, o motorista necessita do conhecimento da pista em relação à visibilidade, pois é necessário verificar a ausência de obstáculos. Glauco Pontes (1998, p.67) define distância de visibilidade de ultrapassagem como “a distância que deve ser proporcionada ao veículo, numa pista simples e de mão dupla para que, quando estiver trafegando atrás de um veículo mais lento, possa efetuar uma manobra de ultrapassagem em condições aceitáveis de segurança”.

De acordo com Paulo Mendes Antas (2010, p.132), “no caso de rodovias com pistas simples há necessidade de se prever trechos onde os veículos mais rápidos tenham possibilidade de passar à frente dos veículos mais lentos”. Ou seja, para um bom projeto de estradas de rodagem, é necessário, ainda que não obrigatório pelo DNER, estabelecer esses trechos que permitam ultrapassagens seguras.

É interessante que existam trechos, com frequência entre 1,5 e 3 km e tão extensos quanto possível, que ofereçam possibilidade de ultrapassagem. Entretanto, essa frequência é restringida pelos custos de implantação. É importante ressaltar que à medida que cresce o volume de tráfego diminui o número de oportunidades efetivas de ultrapassagem. (PAULO MENDES et. al., 2010, p. 132)

A AASHTO realizou uma pesquisa, em 1957, considerada de grande confiabilidade pelo DNER, tanto que a tomou como base para o seu Manual, que estabelece as seguintes condições de uma ultrapassagem:

- a) O veículo B, a ser ultrapassado, desenvolve velocidade uniforme.
- b) O veículo A, que irá ultrapassar, reduz sua velocidade, igualando-a à do veículo B e o acompanha, aguardando uma seção da estrada favorável à ultrapassagem.

c) Atingida a seção favorável, há um curto espaço de tempo em que o motorista do veículo A percebe a oportunidade da ultrapassagem, certifica-se de que nada se opõe à sua manobra, inicia a aceleração de seu veículo.

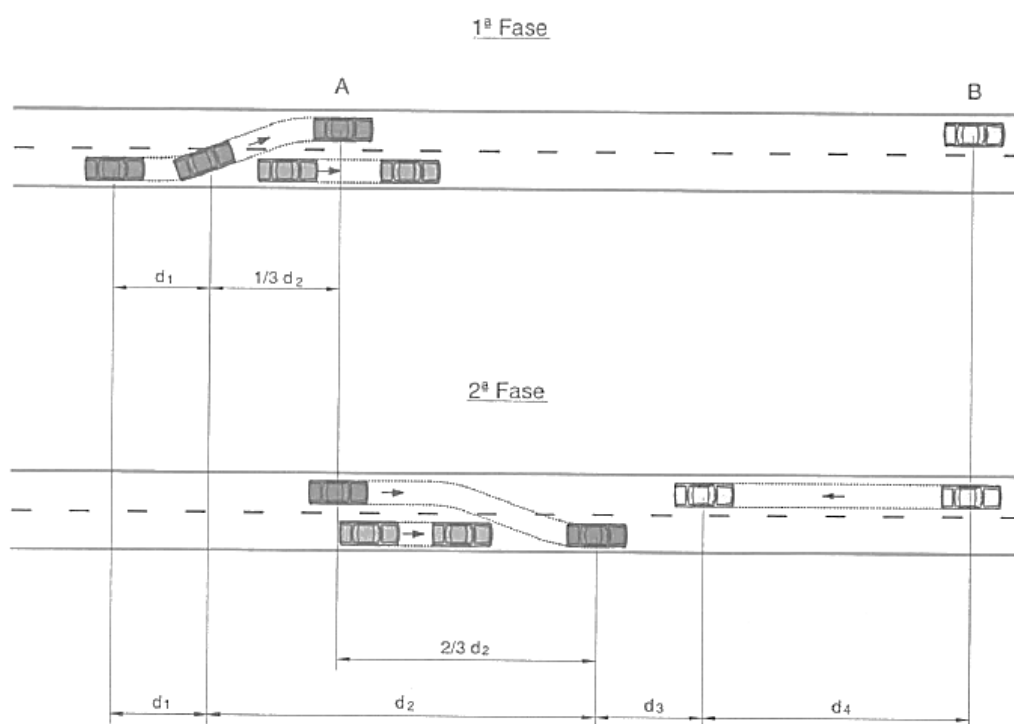
d) O veículo A é acelerado durante a manobra de ultrapassagem, deslocando-se na faixa à sua esquerda com velocidade média cerca de 15 km/h acima da velocidade do veículo B.

e) Durante a manobra de ultrapassagem surge um veículo C, deslocando-se em sentido oposto na sua faixa, com velocidade média idêntica à de A.

f) O veículo A retorna à sua faixa da direita, à frente de B, sem perturbar seu deslocamento normal, e a tempo de deixar um intervalo de segurança do veículo C, que se aproxima em sentido oposto.

Ainda que seja sabido que nem todas as ultrapassagens ocorram nesse esquema acima, a pesquisa da AASHTO informou que a maioria ocorre nessas condições, e que ela é a ideia para segurança dos condutores. Portanto, o dimensionamento da distância de visibilidade de ultrapassagem é feito para essas condições. A figura 13, apresentada pelo Manual do DNER, representa esse esquema, denominando cada trecho percorrido.

Figura 13 - Modelo padrão de ultrapassagem para cálculos



Fonte: Manual 706 do DNER (1999)

O Manual do DNER traz as fórmulas e definições dos termos para cálculo dessas distâncias (d1, d2, d3 e d4), apresentadas a seguir:

$$(04) \quad d1 = 0,278 * t1 * (V - M + \left(\frac{a * t1}{2}\right))$$

Onde:

V = a velocidade média do veículo rápido A, em Km/h;

M = diferença entre as velocidades de A e B, em km/h;

A = aceleração média do veículo mais rápido na passagem, em km/h/s;

t1 = tempo decorrido entre o momento em que o veículo A atinge o ponto inicial PI do intervalo de ultrapassagem e inicia a manobra de ultrapassagem, em s.

$$(05) \quad d2 = 0,278 * V * t2$$

Onde:

V = a velocidade média do veículo rápido A, em Km/h;

t2 = tempo de A na faixa esquerda da rodovia, em seg.

A distância d3, conforme Paulo Mendes Antas (2010, p.135) “é o intervalo de segurança entre o veículo que ultrapassou, ao retomar sua posição na faixa da direita, e o veículo que se desloca em sentido contrário, na faixa da esquerda. Distância compreendida entre 30 e 90 m”.

$$(06) \quad d2 = 0,667 * t2$$

Em resumo, o DNER apresenta um quadro resumindo esses cálculos, onde já apresenta os resultados para determinadas velocidades diretrizes, veja a tabela 7.

Tabela 7 - Distância de visibilidade de ultrapassagem de acordo com a velocidade diretriz

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

Fonte: Manual 706 do DNER (1999)

6.10 Curvas horizontais circulares

Há um conceito na Geometria Analítica onde, segundo Gabriel Alessandro, do Brasil Escola, a menor distância entre dois pontos é uma linha reta entre eles. Baseado nisso, e visando reduzir custos, para uma estrada busca se adotar trechos mais retilíneos possíveis, porém diversos fatores impossibilitam isso no projeto de uma rodovia, tais como fatores topográficos, condições de segurança de fadiga, formações geológicas e geotécnicas, problemas de desapropriações, etc.

De acordo com R. T. Pimenta (2004, p.29), “o traçado de uma rodovia é constituído por trechos retos e trechos curvos, alternadamente. Os trechos retos recebem o nome de tangentes e os trechos curvos, de curvas horizontais”. Para Glauco Pontes (1998) “o traçado em planta é composto de trechos retos concordados por curvas horizontais”.

Partindo desse princípio, um traçado de uma rodovia é basicamente feito de retas, ligadas entre si por curvas circulares. Mas para que essas curvas sejam seguras, adequadas às condições de projeto, é necessário realizar o seu correto dimensionamento, para que veículos com alta velocidade, ou veículos mais longos possam realizar a mudança de reta, por meio das curvas, de forma eficiente e segura. Para R. T. Pimenta (2004, p.29), “reduzir o número de curvas não é tão importante quanto ter curvas com raios grandes. O traçado deve acompanhar a topografia da região, alterando-a quando necessário”.

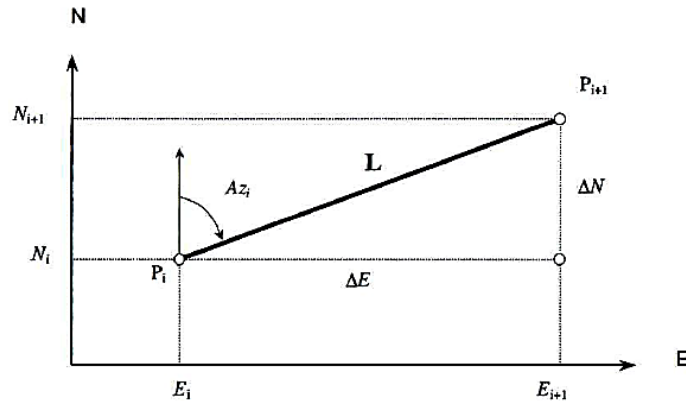
A curva é mais interessante por trazer ao campo visual do motorista um maior quinhão de áreas marginais, por oferecer uma visão variada e dinâmica, por estimular o sentido de previsão e, principalmente, por proporcionar muito melhor condução ótica, permitindo ver de frente o que na tangente seria visto perifericamente. (MANUAL 706 DNER, 1999)

6.10.1 Azimutes e ângulos de deflexão

“O azimuth é o ângulo formado entre o Norte e o alinhamento”, assim definiu Edilson Alves (2008). Para Glauco Pontes (1998, p.31) “os azimutes estão

compreendidos entre 0° e 180° porque o traçado das estradas é uma poligonal aberta e nos projetos seus alinhamentos têm desenvolvimento da esquerda para direita”. A figura 14 demonstra o azimuth em um plano.

Figura 14 - Referência de plano para azimutes



Fonte: GLAUCO PONTES (1998)

Glauco Pontes (1998, p.32) também trouxe algumas equações para encontrar o valor do azimuth, baseadas na figura 19. O azimuth compreendido entre 0° e 90° é obtido com a equação para Azi1, já o azimuth entre 90° e 180° com a equação para Azi2. E o comprimento a partir da equação para L.

$$(07) \quad Azi1 = \arctan\left(\frac{E_{i1} - E_i}{N_{i1} - N_i}\right)$$

$$(08) \quad Azi2 = 180^\circ + \arctan\left(\frac{E_{i1} - E_i}{N_{i1} - N_i}\right)$$

$$(09) \quad L = \sqrt{((\Delta E)^2 + (\Delta N)^2)}$$

Há também uma possibilidade de se encontrar as coordenadas do ponto seguinte, conhecida a coordenada no ponto anterior, o azimuth e o comprimento da reta que liga esses dois pontos. Isso pode ser importante quando se trabalha com coordenadas.

$$(10) \quad Nb = N0 + L0 * \cos(az0)$$

Onde:

Nb = Norte no ponto posterior (considerando o atual ponto de A e o posterior de B).

L0 = Comprimento da reta entre A e B.

Az0 = azimuth formado pela reta AB.

$$(11) \quad Eb = N0 + L0 * \text{sen}(az0)$$

Onde:

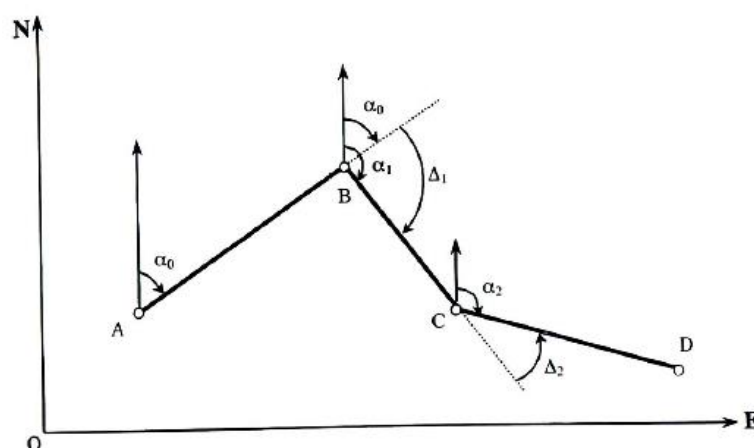
Eb = Leste no ponto posterior (considerando o atual ponto de A e o posterior de B).

L0 = Comprimento da reta entre A e B.

Az0 = azimuth formado pela reta AB.

Os azimutes podem ser calculados, uma vez que já se tem o azimuth inicial. A figura 15 possibilita esse entendimento, com a equação abaixo.

Figura 15 - Demonstração das deflexões em curvas



Fonte: GLAUCO PONTES (1998)

$$(12) \quad Az_{n1} = Az_n \pm \Delta_{n1}$$

Em relação à equação acima, Glauco Pontes (1998, p.36) “deduz que o ângulo de deflexão entre dois alinhamentos de azimutes conhecidos é igual à diferença entre eles, sendo a deflexão direita ou esquerda, se o resultado for positivo ou negativo, respectivamente”.

Legenda:

PC = ponto de curva	T = tangente externa (m)
PT = ponto de tangente	O = centro da curva
PI = ponto de interseção das tangentes	E = afastamento (m)
D = desenvolvimento da curva (m)	G = grau da curva (°)
Δ = ângulo de deflexão (°)	c = corda (m)
AC = ângulo central da curva (°)	d = deflexão sobre a tangente (m)
R = raio da curva circular (m)	

6.10.2.1 Raio (R)

De acordo com DJALMA (2009, p.21) “o raio da curva é a distância do centro da curva ao ponto PC ou PT”. Existem parâmetros para a definição desse raio, o raio mínimo, por exemplo, porém esse assunto será abordado posteriormente.

Raio do arco de círculo empregado na concordância, expresso em metros. É um elemento selecionado por ocasião do projeto, de acordo com as características técnicas da rodovia e a topografia da região. A escolha do valor do raio pode ser feita também por meio de gabaritos, que representam, na escala da planta, trechos de curvas circulares de diversos raios, de valores convenientemente escalonados. (PONTES, 1998, p.74)

6.10.2.2 Ângulo central (AC)

De acordo com Glauco Pontes (1998, p.74) é o “ângulo formado pelos raios que passam pelo PC e PT e que se interceptam no ponto O. Pode-se demonstrar facilmente que o ângulo central é numericamente igual à deflexão entre os alinhamento ($AC=\Delta$)”.

6.10.2.3 Tangente externa (T)

De acordo com DJALMA (2009, p.21) “são os segmentos retos das tangentes originais, compreendidos entre o PC e o PI ou também entre o PT e o PI”.

Obtido através da expressão:

$$(13) \quad T = R * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

6.10.2.4 Desenvolvimento (D)

Glauco Pontes (1998, p.75) definiu como “o comprimento do arco de círculo, desde o PC até o PT”. Obtido na seguinte equação:

$$(14) \quad D = \frac{\pi * R * \Delta}{180}$$

6.10.2.5 Grau da curva (G)

Definido por DJALMA (2009, p.21) como “o ângulo central formado pelos raios que passam pelos extremos da corda base adotada”. Equação:

$$(15) \quad G = \frac{180 * c}{\pi * R}$$

6.10.2.6 Afastamento (E)

Segundo Glauco Pontes (1998, p.75) afastamento “é a distância entre o PI e o ponto médio da curva”. Calculado através da expressão:

$$(16) \quad E = R * \left(\sec\left(\frac{\Delta}{2}\right) - 1 \right)$$

6.10.2.7 Deflexão por metro (dm)

Para DJALMA (2009, p.21) “é a deflexão de uma corda de 1,00m em relação à primeira ou qualquer outra tangente a curva, no ponto de início da corda”. Calculado por:

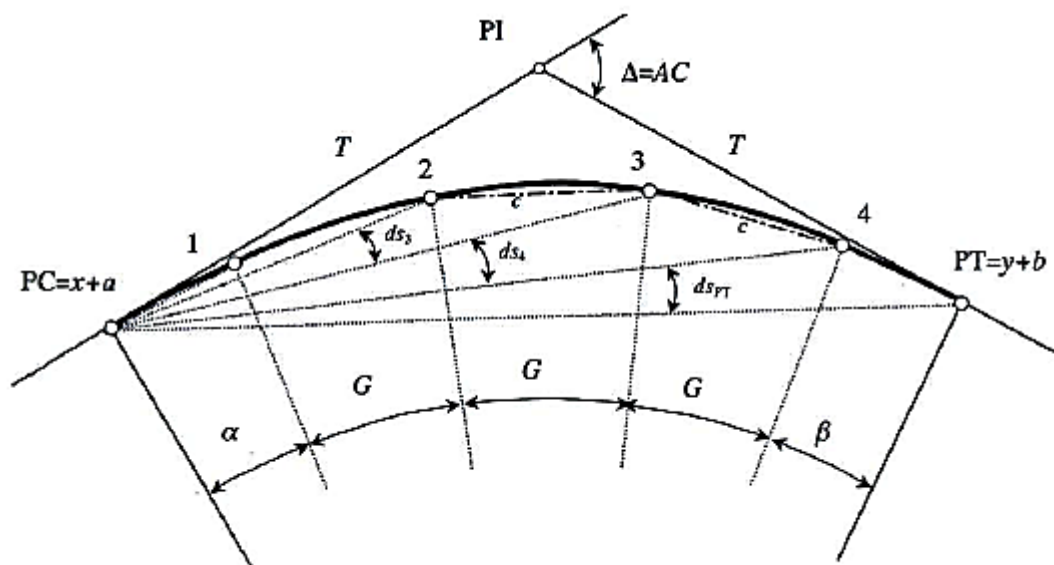
$$(17) \quad dm = \frac{G}{2 * c}$$

6.10.3 Locação de curvas circulares por deflexão

A locação de uma curva pode ser realizada por dois métodos principais, tanto por deflexão quanto por offsets. Para objeto de estudo desse trabalho, foi utilizado o método por deflexão. De acordo com R. T. PIMENTA (2004, p.31) “escolhido o projeto, é a locação que define a posição da estrada no campo”.

A figura 17 a seguir foi retirada do livro do professor Glauco Pontes, que servirá como base para a locação das curvas, através das deflexões.

Figura 17 - Elementos da locação de curva circular por deflexão



Fonte: GLAUCO PONTES (1998)

6.10.3.1 Deflexões sucessivas

Glauco Pontes (1998, p.83) definiu deflexão sucessiva como “aquela correspondente a cada estaca isoladamente, ou seja, é o ângulo que a visada a cada estaca forma com a tangente ou com a visada da estaca anterior”.

Basicamente, o cálculo é realizado para três deflexões, a inicial, a final e as intermediárias (que são iguais). Geralmente o estaqueamento é realizado de 20 em 20 metros, o que significa uma estaca, mas nem sempre a primeira estaca da curva coincide em um número redondo, o que faz necessário uma ajuste dessa distância até a próxima estaca, o mesmo acontece com a última estaca da curva, por isso necessitam de um cálculo a parte.

Para a primeira deflexão da curva, tem se a seguinte expressão:

$$(18) \quad ds1 = (20 - a) * \left(\frac{G}{2 * c}\right)$$

Onde:

ds1 = primeira deflexão sucessiva da curva;

a = parte em metros da primeira estaca da curva que não foi suficiente para completar outra estaca;

G = grau da curva;

c = corda, utilizada de 20 metros referentes à deflexão média.

Para a última deflexão da curva, é utilizada a seguinte equação:

$$(19) \quad dsPT = (b) * \left(\frac{G}{2 * c}\right)$$

Onde:

dsPT = última deflexão sucessiva da curva;

b = parte em metros da última estaca da curva que não foi suficiente para completar outra estaca;

G = grau da curva;

c = corda, utilizada de 20 metros referentes à deflexão média.

E por fim, para as deflexões das partes intermediárias, é utilizada a seguinte equação:

$$(20) \quad ds = \frac{G}{2}$$

Onde:

ds = deflexões sucessivas intermediárias;

G = grau da curva;

6.10.3.2 Deflexões acumuladas

Conforme Glauco Pontes (1998, p.84) “estas são referidas sempre em relação à tangente e apresentam valores acumulados das deflexões sucessivas”. Para a deflexão acumulada, foram realizadas anotações através de uma tabela, comumente utilizada por projetistas, apresentada a seguir, na tabela 8:

Tabela 8 - Modelo de planilha de locação de curva circular

ESTACAS	DEFLEXÕES SUCESSIVAS	DEFLEXÕES ACUMULADAS
PC	0°	0°
1	ds1	da1
2	ds	da2
3	ds	da3
...	...	...
PT	dsPT	daPT = $\Delta/2$

Fonte: GLAUCO PONTES (1998)

Sendo “dan” as deflexões acumuladas, somando a sucessiva atual, com o acumulado anterior.

De acordo com o Manual de Implantação Básica de Rodovia do DNIT (2010) as curvas circulares devem ser estaqueadas com as seguintes condições:

- Para raio até 95,50m e $G5 = 3^\circ$, de 5m em 5m;
- Para raio até 2455,55m e $G10 = 14^\circ$, de 10m em 10m;
- Para raios superiores a 2455,55m e $G20 = 28^\circ$, de 20m em 20m.

6.10.4 Raio mínimo de curvatura horizontal

Glauco Pontes definiu raio mínimo de curvatura horizontal como “os menores raios das curvas que podem ser percorridas em condições limite com a velocidade diretriz e à taxa máxima de superelevação admissível, em condições aceitáveis de segurança e de conforto de viagem”.

Ao percorrer uma curva um veículo é sujeito à ação da força centrífuga, que é contrabalançada pelo atrito entre os pneus e a superfície da rodovia. O coeficiente de atrito correspondente é chamado de coeficiente de atrito transversal e a experiência mostra que seu valor varia com a velocidade no intervalo de 0,50 para 30 km/h a 0,35 para 95 km/h, para o caso de pneus novos e pavimento de concreto em bom estado, molhado. Esses valores são inferiores para pneus lisos e pavimento menos rugoso. (MANUAL 706 DNER, 1999)

O DNER estabelece a seguinte equação para cálculo de raio mínimo de curvatura horizontal:

$$(21) \quad R_{\text{mín}} = \frac{V^2}{127 * (e_{\text{máx}} + f_{\text{máx}})}$$

Onde:

$R_{\text{mín}}$ = Raio mínimo da curva

V = Velocidade diretriz (km/h)

$e_{\text{máx}}$ = máxima taxa de superelevação adotada (m/m)

$f_{\text{máx}}$ = máximo coeficiente de atrito transversal admissível entre o pneu e o pavimento (adimensional)

O DNER traz um quadro expressando os valores máximos admissíveis de coeficientes de atrito transversal, veja na tabela 9 a seguir:

Tabela 9 - Coeficientes de atrito máximo de acordo com a velocidade diretriz

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Coeficiente de atrito transversal $f_{m\acute{a}x}$	0,20	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11

Fonte: Manual 706 do DNER (1999)

Também é trazido pelo DNER um quadro aplicando a equação acima, supondo diferentes taxas de superelevação, mostrada na figura 18 a seguir:

Figura 18 - Raio calculado com base em diferentes taxas de superelevação

Velocidade diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
$e_{max}(\%)$										
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: Manual 706 do DNER (1999)

6.11 Curvas horizontais de transição

Em uma rodovia o veículo percorre em uma tangente e, ao entrar em uma curva, a mudança de direção do veículo pode causar um desconforto por ser uma mudança brusca. Visando minimizar esse efeito, as curvas de transição tem a função de suavizar a mudança de uma reta para uma curva. Glauco Pontes (1998,

p.127) expôs isso da seguinte maneira: “Ao passar um veículo de um alinhamento reto a uma curva circular, há uma variação instantânea do raio infinito da reta para o raio finito da curva circular, surgindo bruscamente uma força centrífuga que tende a desviar o veículo de sua trajetória”.

De acordo com R. T. Pimenta (2004, p.35) existem quatro funções para a curva horizontal de transição, que são elas: Permitir uma variação contínua da superelevação; Criar uma variação contínua de aceleração centrípeta na passagem do trecho reto para o trecho circular; Gerar um traçado que possibilite ao veículo manter-se no centro de sua faixa de rolamento e; Proporcionar um trecho fluente, sem descontinuidade da curvatura e esteticamente agradável.

Dentre os tipos de curvas de transição, Glauco Pontes (1998, p.129) afirmou que os tipos mais comuns são: Clotóide ou espiral de Cornu (onde o raio instantâneo de curvatura é inversamente proporcional ao desenvolvimento da curva); Lemniscata de Bernouille (onde o raio instantâneo de curvatura é inversamente proporcional ao raio vetor correspondente) e; Parábola cúbica ($y=k.x^3$).

Para esse trabalho, o tipo adotado foi o espiral de Cornu, pois de acordo com R. T. PIMENTA (2004, p.37) “a Clotóide é a mais vantajosa do ponto de vista técnico e é a mais indicada para um traçado racional porque é a curva descrita pelo veículo e o grau G varia linearmente com o comprimento percorrido”.

6.11.1 Necessidade de curva de transição

De acordo com o DNIT, o critério para determinação da necessidade ou não de curva de transição utilizado é o associado à aceleração centrífuga. Que afirma que “por esse critério dispensa-se o uso de curva de transição quando a aceleração centrífuga a que o veículo é submetido na curva circular for igual ou inferior a $0,4m/s^2$, ou seja quando $R > 0,193V^2$ ”. A tabela 10 a seguir foi retirada do Manual 706 do DNER, e traz os valores dos raios acima dos quais podem ser dispensadas curvas de transição.

6.11.3 Cálculo dos elementos da espiral

Para a introdução das espirais de transição numa curva circular, há a necessidade do afastamento da curva em relação à tangente. Este afastamento (p) pode ser obtido de três modos: método do centro conservado (redução do raio R_c para o valor $R_c - p$), método do raio conservado (afastamento do centro O da curva circular para uma nova posição O') e método do raio e centro conservados (afastamentos das tangentes a uma distância p da curva circular). (PONTES, 1998, p.132)

Para esse trabalho, o método utilizado para o cálculo dos elementos da espiral foi o método do raio conservado. A primeira etapa das definições é a definição do comprimento do trecho de transição (L_s). Glaucio Pontes (1998, p.143) define que o comprimento mínimo do trecho de transição ($L_{smín}$) é definido pela seguinte equação:

$$(22) \quad L_{smín} = 0,036 * \left(\frac{V^3}{R_c} \right)$$

Onde:

V = Velocidade de projeto;

R_c = raio da curva circular.

O DNIT estabelece que haja um comprimento máximo de transição ($L_{smáx}$), e é estabelecido pela seguinte equação:

$$(23) \quad L_{smáx} = \frac{R_c * \Delta^\circ * \pi}{180^\circ}$$

Onde:

Δ = deflexão das tangentes, em graus;

R_c = raio da curva circular.

De acordo com Glaucio Pontes (1998, p.143), “sempre que possível devem ser adotados para L_s valores maiores que o mínimo calculado, de

Os afastamentos k e p podem ser calculados através das expressões:

$$(27) \quad k = X_s - Rc * \text{sen}(\theta_s)$$

$$(28) \quad p = Y_s - Rc * (1 - \cos(\theta_s))$$

Com os valores de k e de p , torna se possível o cálculo da tangente total (TT), por meio da fórmula:

$$(29) \quad TT = k + (Rc + p) * \tan\left(\frac{\Delta}{2}\right)$$

A distância mais próxima do PI à curva circular (E), pode ser calculado da seguinte maneira:

$$(30) \quad E = \left(\frac{Rc + p}{\cos\left(\frac{\Delta}{2}\right)} \right) - Rc$$

O desenvolvimento da curva circular pode ser obtido com as seguintes equações:

$$(31) \quad \phi = \left(\Delta * \frac{\pi}{180} \right) - 2 * \theta_s$$

$$(32) \quad D = \phi * Rc$$

Para o estaqueamento dos pontos notáveis da curva são utilizadas as seguintes expressões:

$$E(TS) = E(PI) - TT$$

$$E(SC) = E(TS) + L_s$$

$$E(CS) = E(SC) + D$$

$$E(ST) = E(CS) + L_s$$

6.11.4 Locação de curvas de transição

De acordo com Glauco Pontes (1998, p.152) “a locação da curva de transição é iniciada pela localização do ponto TS sobre a primeira tangente a uma distância TT do ponto de interseção PI, quando este for acessível”. Conforme com o Manual de Implantação Básica de Rodovia do DNIT (2010), as curvas de transição, para um Lc de até 60 metros, devem ser estaqueadas de 5 em 5 metros. E para Lc maior que 60 metros, de 10 em 10 metros.

Para o detalhamento da locação das estacas da curva de transição, foi necessário calcular o ângulo de transição para cada estaca, o que foi chamado de φ , e foi calculado pela seguinte expressão:

$$(33) \quad \varphi = \frac{L^2}{2 * Rc * Ls}$$

Onde:

L = comprimento do trecho de transição até a estaca calculada;

Ls = comprimento do trecho de transição;

Rc = raio da curva circular.

Na tabela abaixo, o X e o Y são calculados com as mesmas fórmulas utilizadas para Xs e Ys, porém o ângulo usado agora será o φ , (ângulo de transição para a estaca). Após isso, deverá ser realizado o preenchimento da seguinte tabela:

Tabela 11 - Tabela de locação para curva de transição

TABELA DE LOCAÇÃO					
ESTACA		L	φ	X	Y
Inteira	Fração				

Fonte: Adaptada pelo autor, com base em GLAUCO PONTES (1998)

6.11.5 Resumo das curvas horizontais

Para finalizar a parte de curvas horizontais, tanto circulares como de transição, a tabela 12 seguinte deverá ser preenchida, com a finalidade de permitir uma melhor visualização dos resultados, com os dados de cada curva, com relação a raio, tangente, tangente total, desenvolvimento, comprimento de transição e o estaqueamento dos pontos notáveis de cada curva.

Tabela 12 - Resumo do estaqueamento das curvas horizontais

RESUMO DO MEMORIAL DE CÁLCULO												
Curva	R	T	TT	D	Ls	PC	PT	TS	SC	CS	ST	EF

Fonte: Edivaldo Santos

6.12 Superelevação

R. T. PIMENTA (2004, p.69) definiu superelevação como “a inclinação transversal da pista, feita com o objetivo de criar uma componente do peso do veículo na direção do centro da curva que, somada à força do atrito, produzirá a força centrípeta”. Para GLAUCO PONTES (1998, p.171) “superelevação é a inclinação transversal necessária nas curvas a fim de combater a força centrífuga desenvolvida nos veículos e dificultar a derrapagem. Ela é função do raio de curvatura e da velocidade do veículo”.

6.12.1 Valores limites de superelevação

Existem valores que limitam a superelevação de uma pista, evitando que a pista fique muito plana, dificultando o escoamento da água, ou que fique excessivamente íngreme, desequilibrando a força centrípeta.

Para facilitar a drenagem das águas pluviais, a seção transversal dos trechos em tangente apresenta declividade mínima transversal de 2%, considerada adequada para as condições brasileiras em geral. Pela mesma razão se adota esse valor para superelevação mínima, que não deve ser reduzido, a não ser em casos especiais, devidamente justificados. Evidentemente, por considerações de coerência, a declividade mínima de uma pista superelevada será igual à declividade transversal fixada para seção normal em tangente. (MANUAL 706 DNER, 1999)

Em relação aos valores máximos de superelevação admissíveis, o Manual do DNER traz algumas considerações relacionando a possibilidade do fluxo de tráfego de uma pista, que caso seja intenso a velocidade de operação pode ser bem abaixo da velocidade de projeto, também a velocidade diretriz e a classe de projeto, o comprimento de transição e razões econômicas. Em resumo, tem-se as seguintes superelevações máximas descritas na tabela 13:

Tabela 13 - Resumo das condições para empregos de superelevações máximas

SUPERELEVAÇÃO MÁXIMA ($e_{máx}$)	CONDIÇÃO
12%	Taxa máxima absoluta; Empregado em situações especiais.
10%	Rodovias de padrão elevado; Classes 0 e I, regiões planas e onduladas.
8%	Padrão intermediário; Classe I região montanhosa e demais classes.
6%	Projetos condicionados por urbanização adjacente.
4%	Situações extremas, com intensa ocupação do solo adjacente e reduzida flexibilidade para variar as declividades.

Fonte: Desenvolvido pelo autor

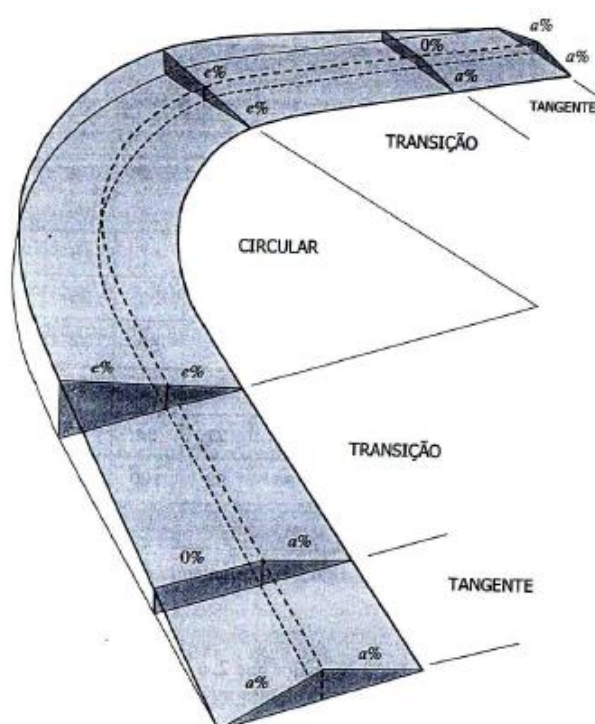
6.12.2 Variação da seção da pista na implantação da superelevação

De acordo com o Manual do DNER, as rodovias “nos trechos em tangente a seção transversal da pista de rolamento de uma rodovia de pista simples apresenta uma forma abaulada, em que as duas faixas de trânsito são inclinadas em torno do eixo para os bordos”. Geralmente essa inclinação é de 2%, pois é a mínima, conforme já dito anteriormente.

Então, para que haja uma transição, até a superelevação ideal, são necessárias algumas distâncias que permitam essa adequação, chamados comprimentos de transição. O DNIT estabelece que existem dois comprimentos de transições, a tangente e a transição.

De acordo com o DNIT, a tangente é “a extensão que antecede o comprimento de transição da superelevação e ao longo da qual se processa a rotação da pista, ou a parte dela, até torna sua seção horizontal”. Depois da tangente, inicia-se o processo de transição entre a parte horizontal até chegar a taxa de superelevação ideal. A figura 21 ilustra isso.

Figura 21 - Ilustração da aplicação da superelevação em curva horizontal



Fonte: GLAUCO PONTES (1998)

O trecho da transição ainda é dividido em duas sub partes, onde na primeira somente a faixa externa da pista continua o processo de rotação até que toda a pista esteja com uma só inclinação. A segunda parte é onde as duas faixas fazem um mesmo movimento, até adequar se a inclinação ideal indicada (e).

6.12.3 Taxas de superelevação para raios acima dos mínimos

As taxas de superelevação vistas na tabela 13 foram determinadas para os raios mínimos calculados com base na equação $R_{mín} = ((V^2)/(127 * (e + f)))$, porém geralmente os raios adotados são bem maiores do que o mínimo, o que diminui a necessidade da taxa de superelevação ser tão alta. Podendo chegar até ao ponto onde se torna desnecessária, veja na tabela 14, retirada do Manual do DNER, os valores relacionados às velocidades para os quais a superelevação é dispensável.

Tabela 14 - Valores dos raios acima dos quais é dispensável superelevação

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

Fonte: Manual 706 do DNER (1999)

Para o raio mínimo permitido para uma determinada velocidade diretriz emprega-se a superelevação máxima correspondente. Para raios maiores que o mínimo, a aceleração centrífuga diminui e não há mais a necessidade de manter essa superelevação máxima. A experiência mostrou ser aconselhável a adoção de valores variáveis, decrescentes em função do raio, que dessem ao motorista condições de conforto para os diversos raios adotados em um projeto. (MANUAL 706 DNER, 1999)

Visando solucionar isso, o DNIT traz a seguinte equação para adequar a superelevação:

$$(34) \quad e = e_{máx} * \left(\left(\frac{2 * R_{mín}}{R} \right) - \left(\frac{R_{mín}^2}{R^2} \right) \right)$$

Onde:

e = Taxa de superelevação a adotar (m/m);

$e_{m\acute{a}x}$ = taxa máxima de superelevação adotada (m/m);

R = Raio da curva (m);

$R_{m\acute{i}n}$ = Raio mínimo para a taxa máxima de superelevação adotada para a velocidade diretriz em questão (m).

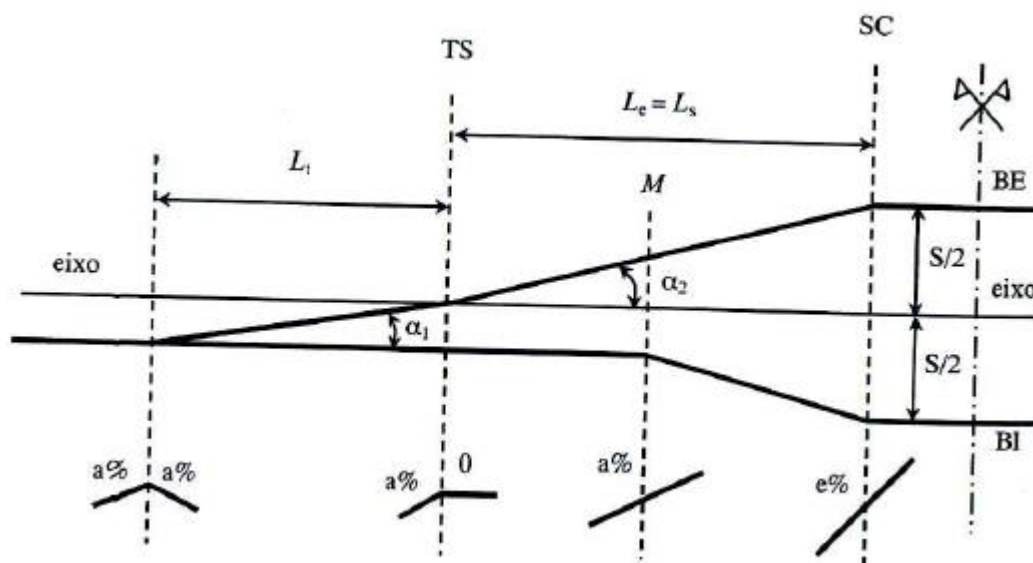
6.12.4 Diagramas de superelevação

A determinação do eixo de rotação permite a correta interpretação dos diagramas de superelevação. O Manual do DNER define que “o eixo de rotação é uma linha fictícia longitudinal à pista, mantendo constante em cada trecho seu afastamento horizontal e vertical do eixo da rodovia. Em torno dele a pista gira ao longo do comprimento de transição da superelevação”.

Basicamente a inclinação transversal simétrica em relação ao eixo, no trecho em tangente pode ter três disposições de giro: em torno do bordo interno, em torno do eixo e em torno do bordo externo. Para esse trabalho, a referência adotada foi em torno do eixo da pista, onde há a rotação do bordo interno e externo, porém o centro da pista permanece constante. Pois, de acordo com Glauco Pontes (1998, p.183) “o processo do giro em torno do eixo é mais usado porque acarreta menores alterações das cotas do pavimento em relação ao perfil de referência, resultando numa distorção menor do pavimento”.

A figura 22 a seguir, retirada do livro do professor Glauco Pontes (1998, p.190) ilustra como se dará essa rotação:

Figura 22 - Ilustração da rotação da superelevação em torno do eixo



Fonte: GLAUCO PONTES (1998)

O cálculo dos elementos da figura 22 acima, conforme Glauco Pontes (1998, p.190) foi realizado com as seguintes equações:

$$(35) \quad h1 = l * \frac{\alpha'}{100}$$

$$(36) \quad Le1 = \frac{100 * h1}{\alpha2}$$

$$(37) \quad \frac{S}{2} = L * \frac{e}{100}$$

$$(38) \quad Lt = \frac{100 * h1}{\alpha1}$$

$$(39) \quad Le2 = \frac{100 * (S - 2 * h1)}{2 * \alpha2}$$

$$(40) \quad Le = Le1 + Le2$$

Onde:

$h1$ = altura do eixo central da pista em relação as bordas;

l = tamanho de uma faixa da pista;

α' = inclinação do abaulamento da pista;

L_t = distância necessária da tangente, antes da curva de transição, para deixar a faixa externa da pista com inclinação zerada;

L_{e1} = distância na curva de transição para alinhar a borda externa com a interna, onde apenas a externa rotacionou;

L_{e2} = distância onde a borda interna e externa rotacionam juntas, para se adequarem a superelevação necessária na curva circular;

S = altura entre a borda interna e externa na superelevação;

α_1 = ângulo formado no alinhamento antes da curva de transição;

α_2 = ângulo formado no alinhamento durante a transição;

De acordo com o critério de BARNETT, os valores máximos para α_1 e α_2 são, respectivamente, 0,25% (1:400) e 0,50% (1:200).

6.13 Curvas verticais

Assim como no alinhamento horizontal, há uma necessidade quanto ao dimensionamento do alinhamento vertical, objetivando curvas mais confortáveis, bem como um trajeto que possibilite ao motorista trafegar com segurança. A busca pelo conceito de “tangente curta – curva longa” também é algo necessário para o traçado vertical.

Os greides de projeto de uma rodovia, visto em perfil, podem ser ascendentes ou descendentes, tendo como base, via de regra, a sequência adotada no estaqueamento dos pontos. De acordo com GLAUCO PONTES (1998, p.209), “nos greides ascendentes os valores das rampas (i) são considerados positivos e nos greides descendentes negativos”.

A intercessão entre os greides formam pontos, comumente chamados de PIV (ponto de intercessão vertical), e a função das curvas verticais é justamente concordar os greides retos. O DNER estabelece algumas orientações em relação à definição dos greides verticais, onde é possível destacar a necessidade de se evitar várias quebras seguidas dos pontos de intercessão verticais em um mesmo sentido, causando desconforto aos motoristas, portanto sempre que possível reduz se o

número de PIV, linearizando o greide reto, uniformizando também a declividade do trecho.

As limitações para rampas máximas estabelecidas pelo DNIT são:

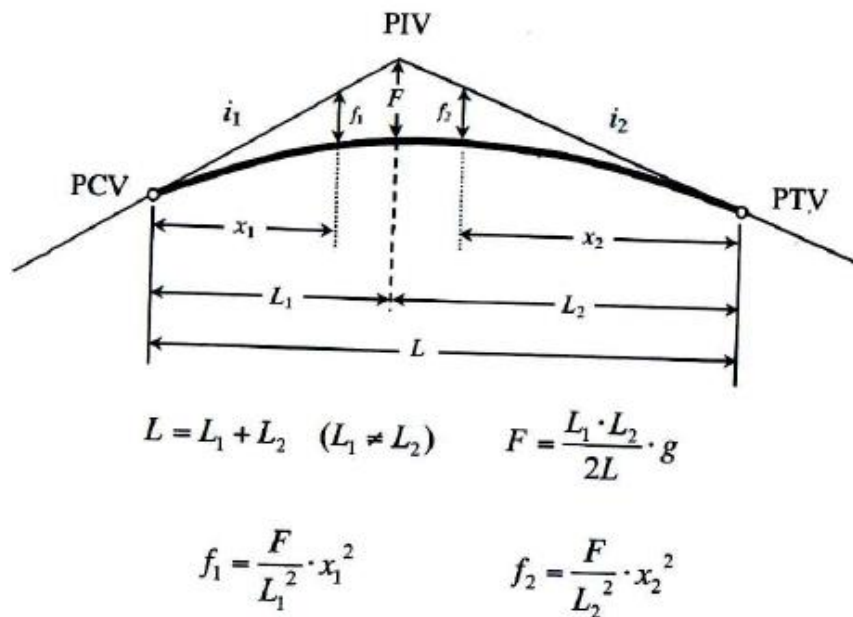
Tabela 15 - Rampas máximas de acordo com classe de projeto e relevo

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

Fonte: Manual 706 do DNER (1999)

De acordo com Paulo Mendes Antas (2010, p.139), “vem sendo empregados diversos tipos de curvas geométricas, tais como circunferência, a elipse, as parábolas dos 2º e 3º graus. Em virtude das propriedades favoráveis, a maior parte dos órgãos recomenda a parábola do 2º grau”. O DNER estabelece que “podem ser dispensadas curvas verticais quando a diferença algébrica das rampas for inferior a 0,5%”.

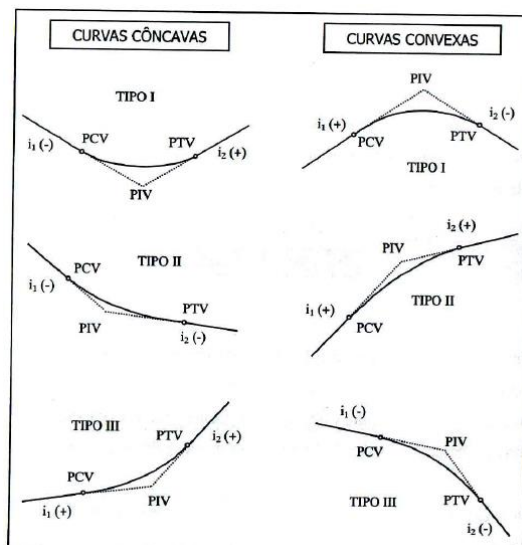
Dentre as vantagens de se trabalhar com parábola de segundo grau, GLAUCO PONTES (1998, p.211) destacou principalmente que: A equação da curva é simples; a transformada da parábola devido as 2 escalas no perfil é também uma parábola; a taxa de variação da parábola é constante; o PCV e o PTV podem ser locados em estaca inteira ou +10,00, com convém no projeto e no perfil definitivo; é desnecessário o uso de tabelas ou gabaritos para desenhar a curva no projeto.

Figura 23 - Elementos da parábola de 2º grau composta

Fonte: GLAUCO PONTES (1998)

6.13.1 Tipos de curvas verticais

As curvas verticais podem ser tanto convexas quanto côncavas, porém mesmo dentre essas duas classificações elas podem assumir três subdivisões cada uma. A figura 24 a seguir, retirada do livro do professor Glauco Pontes ilustra isso.

Figura 24 - Tipos de curvas verticais

Fonte: GLAUCO PONTES (1998)

6.13.2 Comprimento mínimo de curvas verticais

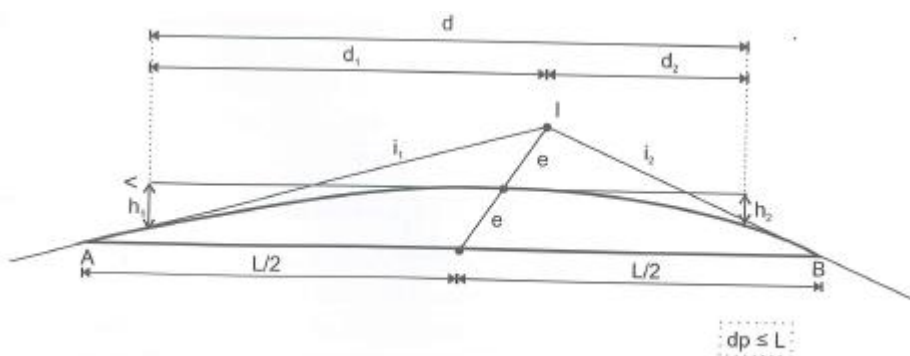
Para determinação do comprimento mínimo de curvas verticais, foi adotado o critério da distância de visibilidade.

6.13.2.1 Comprimento mínimo de curvas convexas

O mínimo comprimento das curvas verticais convexas é determinado em função das condições necessárias de visibilidade nas curvas, de forma a dar ao motorista o espaço necessário a uma frenagem segura, quando este avista um obstáculo para em sua trajetória. O critério recomendado requer que um motorista com seu campo de visão situado a uma altura $H = 1,10$ m acima do plano da pista enxergue um obstáculo situado sobre a pista, com altura $h = 0,15$ m. (PONTES, 1998, p.221)

No 1º caso, a distância de visibilidade é inferior ou igual à extensão do comprimento da curva.

Figura 25 - 1º caso da curva convexa



Fonte: PAULO MENDES (2010)

$$(41) \quad L_{min} = \frac{A * dp^2}{412}$$

Onde:

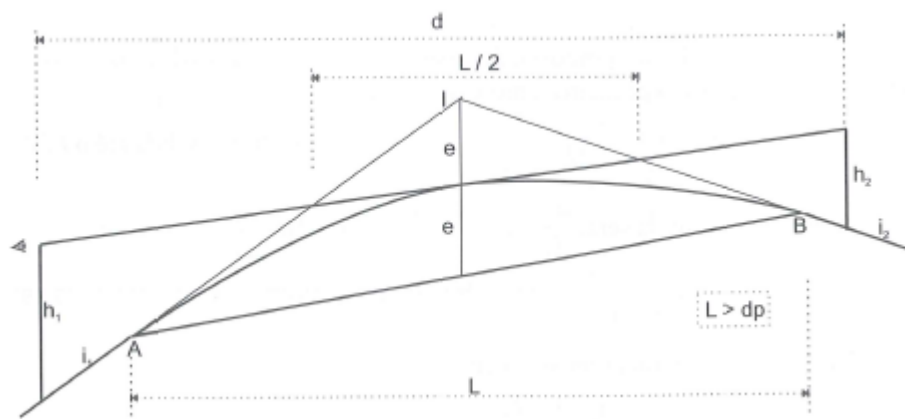
L_{min} = comprimento mínimo da curva vertical, em metros;

Dp = distância de visibilidade de parada, em metros;

A = diferença algébrica das rampas, em %;

No 2º caso, a distância de visibilidade ultrapassa a extensão da concordância.

Figura 26 - 2º caso da curva convexa



Fonte: PAULO MENDES (2010)

$$(42) \quad L_{min} = 2 * Dp - \left(\frac{412}{A}\right)$$

Onde:

L_{min} = comprimento mínimo da curva vertical, em metros;

Dp = distância de visibilidade de parada, em metros;

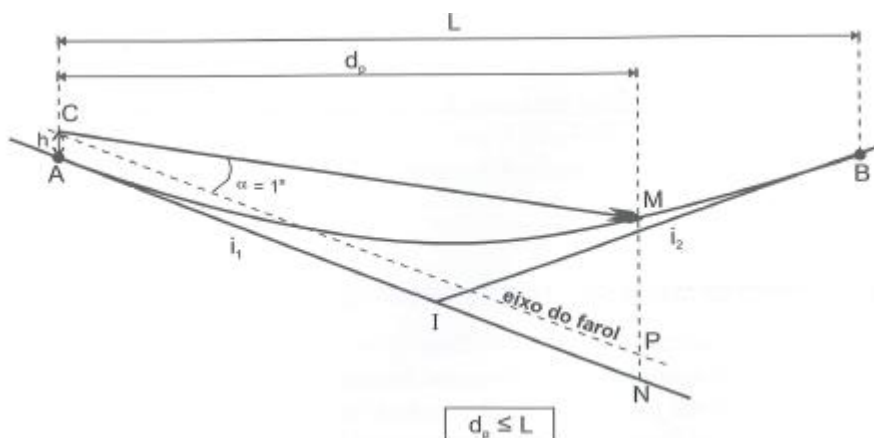
A = diferença algébrica das rampas, em %;

6.13.2.2 Comprimento mínimo de curvas côncavas

Durante o dia e no caso de pistas iluminadas artificialmente, geralmente não ocorrem problemas de visibilidade. Para pistas não iluminadas, aplica-se o critério da visibilidade noturna, ou seja, a pista deve ser iluminada à distância de visibilidade de parada pelo farol do veículo, por hipótese situado a 0,61 m acima do plano da pista, supondo que o seu fecho luminoso diverge de 1º eixo longitudinal do veículo. (PONTES, 1998, p.227)

No 1º caso, a distância de visibilidade é menor ou igual ao comprimento da curva.

Figura 27 - 1º caso da curva côncava



Fonte: PAULO MENDES (2010)

$$(43) \quad L_{min} = \frac{A * dp^2}{122 + 3,5 * dp}$$

Onde:

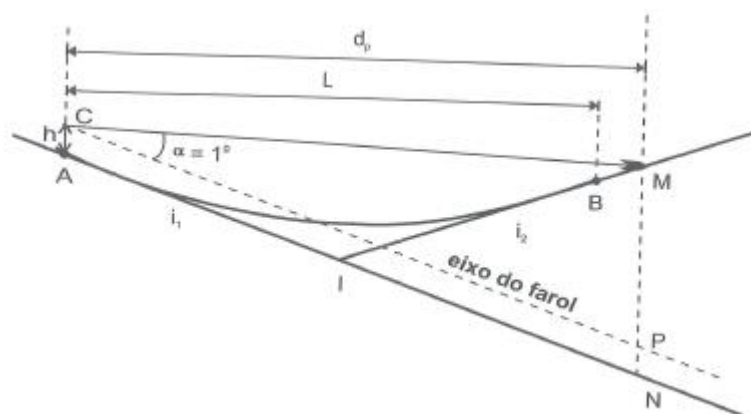
L_{min} = comprimento mínimo da curva vertical, em metros;

D_p = distância de visibilidade de parada, em metros;

A = diferença algébrica das rampas, em %;

No 2º caso, a distância de visibilidade é maior que o comprimento da curva.

Figura 28 - 2º caso da curva côncava



Fonte: PAULO MENDES (2010)

$$(44) \quad L_{min} = 2 * dp - \left(\frac{122 + 3,5 * dp}{A} \right)$$

Onde:

L_{min} = comprimento mínimo da curva vertical, em metros;

Dp = distância de visibilidade de parada, em metros;

A = diferença algébrica das rampas, em %;

Em ambos os casos, valores muito pequenos para o comprimento não são desejáveis. Portanto, pelo critério do mínimo valor absoluto, adota-se a seguinte equação:

$$(45) \quad L_{min} = 0,6 * V$$

Onde:

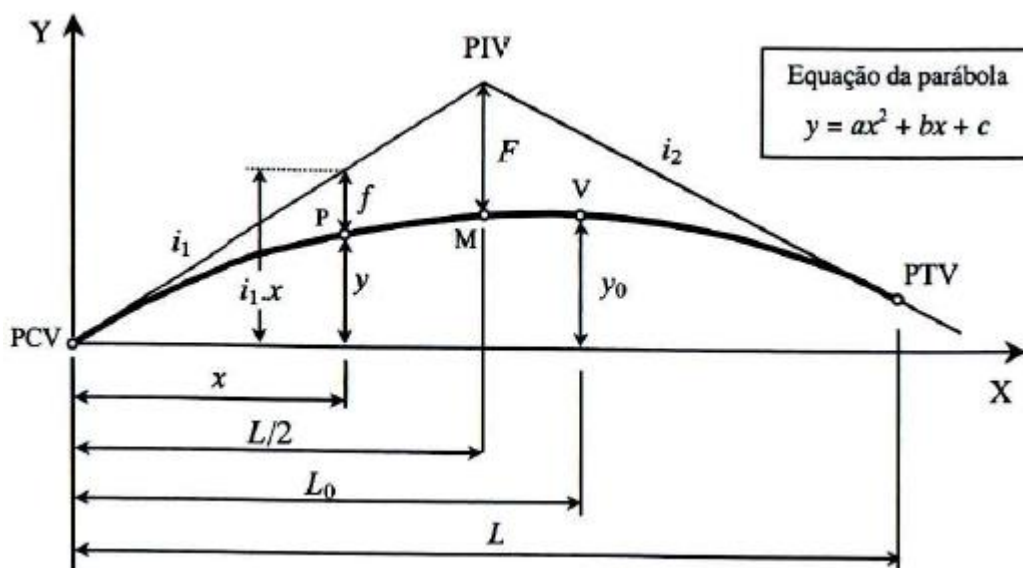
L_{min} = comprimento mínimo da curva vertical, em metros;

V = velocidade diretriz, em km/h;

6.13.3 Flechas da parábola simples

A partir do PIV tem-se a flecha que determina o afastamento que o ponto intermediário da curva terá desse ponto, a partir do qual é possível determinar a cota da curva.

Figura 29 - Detalhe da flecha (F) na curva vertical



Fonte: GLAUCO PONTES (1998)

Para cálculo da flecha, utiliza a seguinte equação:

$$(46) \quad f = \left(\frac{g}{2 * L} \right) * x^2$$

Onde:

f = flecha da parábola;

g = diferença algébrica das rampas;

L = comprimento da curva vertical;

x = distância horizontal do ponto de cálculo da flecha ao PCV.

No ponto PIV, tem se a flecha máxima (F), definida pela equação:

$$(47) \quad F = \frac{g * L}{8}$$

Onde:

g = diferença algébrica das rampas;

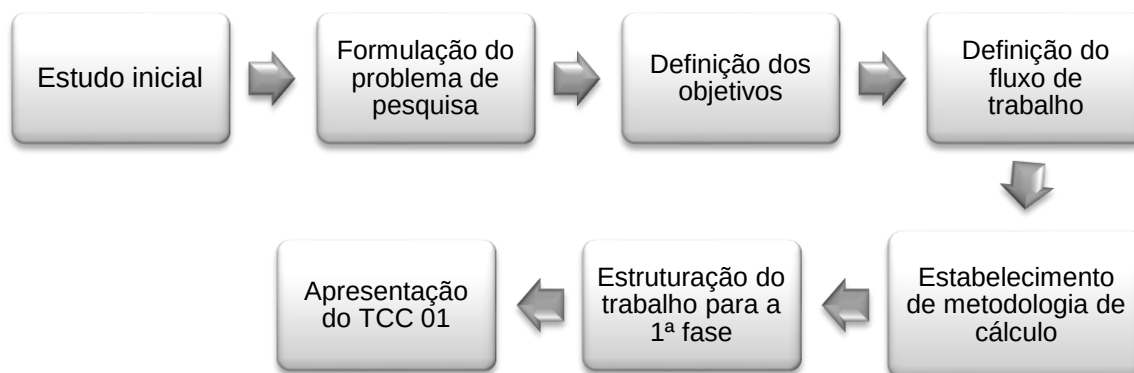
L = comprimento da curva vertical.

7 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com base nos objetivos apresentados e com a literatura base do Departamento de Estradas de Rodagem, surge a necessidade da apresentação da metodologia que foi adotada para o trabalho.

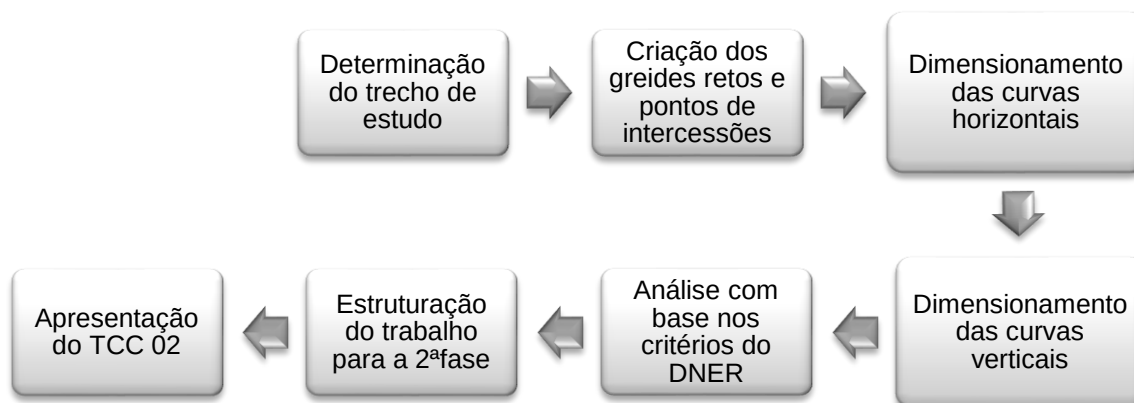
Esse trabalho consistiu no dimensionamento do traçado geométrico de trecho entre Lagoa do Tocantins e Cachoeira da Velha, no Parque Estadual do Jalapão, visto anteriormente na figura 6. O levantamento planialtimétrico foi fornecido pelo topógrafo Solon Lima (CREA 5063227023 TD/SP), contendo o estaqueamento a cada 20 metros de uma via já existente, porém ainda em estrada de chão e sem o devido projeto geométrico. As informações fornecidas de cada ponto são: extensão progressiva, coordenadas, cotas e azimutes.

Figura 30 - Fluxograma da 1ª fase da pesquisa



Fonte: Desenvolvido pelo autor

Figura 31 - Fluxograma da 2ª fase da pesquisa



Fonte: Desenvolvido pelo autor

7.1 Caracterização da pesquisa

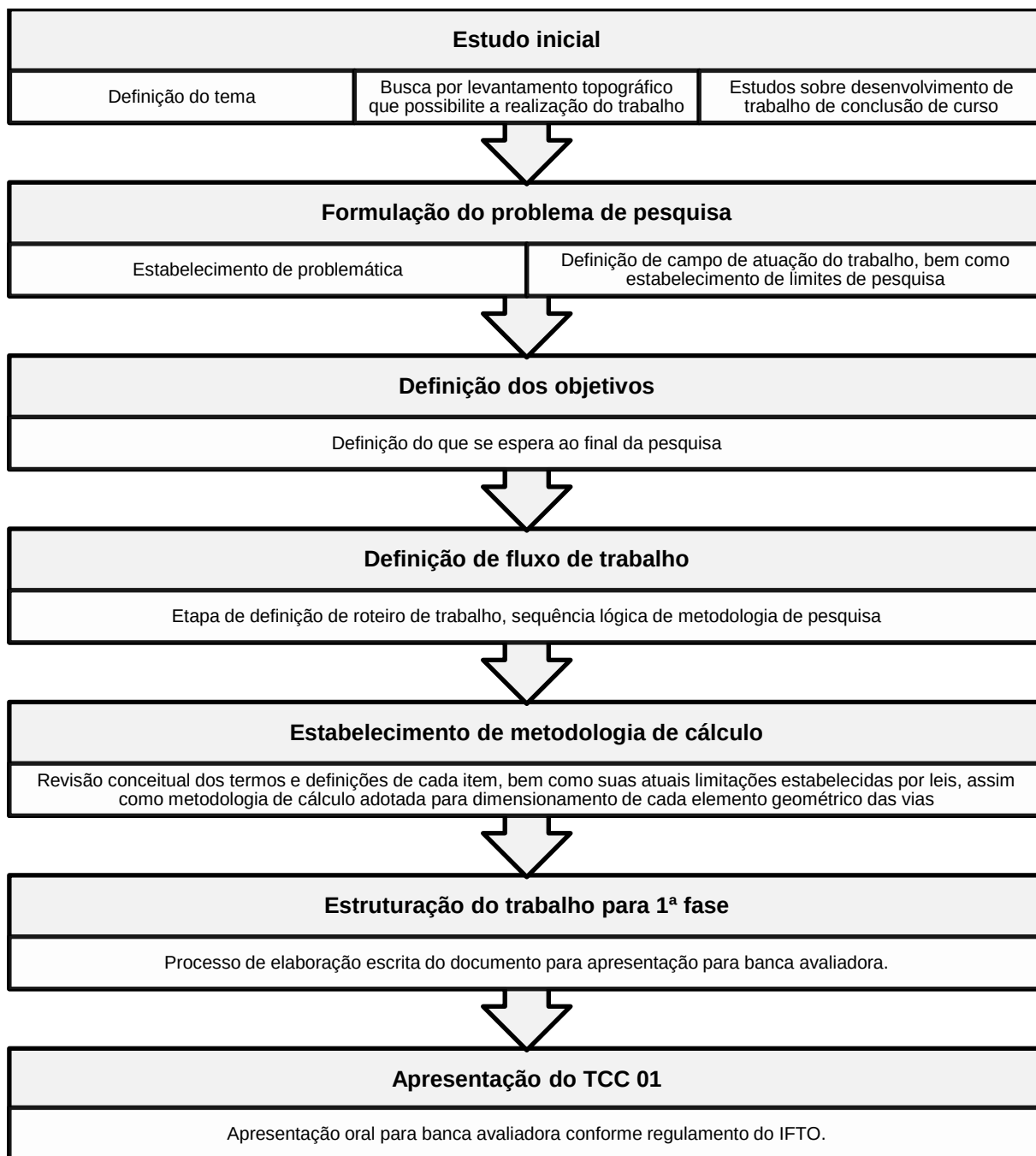
O trabalho é constituído por uma pesquisa experimental. Gil (2002) define que a pesquisa experimental “consiste em determinar um objeto de estudo, selecionar as variáveis que seriam capazes de influencia-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a variável produz no objeto”.

A pesquisa se deu com base no levantamento supracitado, e o objeto de estudo foi um trecho desse levantamento, onde foi necessário definir as variáveis que influenciaram no projeto geométrico da rodovia, utilizando como base de controle parâmetros estabelecidos por órgão competente, que a nível nacional é o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem.

7.2 Primeira etapa

A primeira etapa desse estudo consistiu em uma análise de biografias, e estudos por parte do autor para se familiarizar com o tema, bem como estudo sobre a região e obtenção de levantamentos topográficos.

Figura 32 - Resumo das atividades da primeira etapa da pesquisa



Fonte: Desenvolvido pelo autor

7.2.1 Estudo inicial sobre o tema

Essa fase consistiu numa análise de literaturas, verificação de possibilidades de campos de pesquisa na área de estradas de rodagem. Leituras de livros, trabalhos, dissertações, artigos, etc. A fase de estudos, apesar de intensa no início, permaneceu constante até a apresentação final do TCC 02, na segunda etapa.

7.2.2 Formulação do Problema de Pesquisa

Com a orientação e supervisão do orientador do trabalho, o problema de pesquisa foi definido a fim de ter uma área de atuação, delimitando até onde a pesquisa deverá inferir.

7.2.3 Definição dos objetivos

Como o tema de estradas de rodagem pode se tornar bem abrangente, fez-se necessário o estabelecimento de objetivos, gerais e específicos, para definição do produto final desejado ao término da pesquisa. Gil (2002) ressalta a importância de que o problema pesquisado seja reduzido a uma dimensão que torne possível a sua análise em uma dimensão viável.

7.2.4 Estruturação do trabalho para a primeira fase

A estruturação do trabalho na primeira fase integra os levantamentos bibliográficos e as impressões do pesquisador, por meio do auxílio do professor orientador, foram definidos o problema de pesquisa, sua caracterização, sua justificativa, objetivos e metodologia de execução.

A disposição dos tópicos e a formatação seguiram o recomendado pelo regulamento e diretrizes da instituição de ensino a qual foi apresentado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFTO) – campus Palmas.

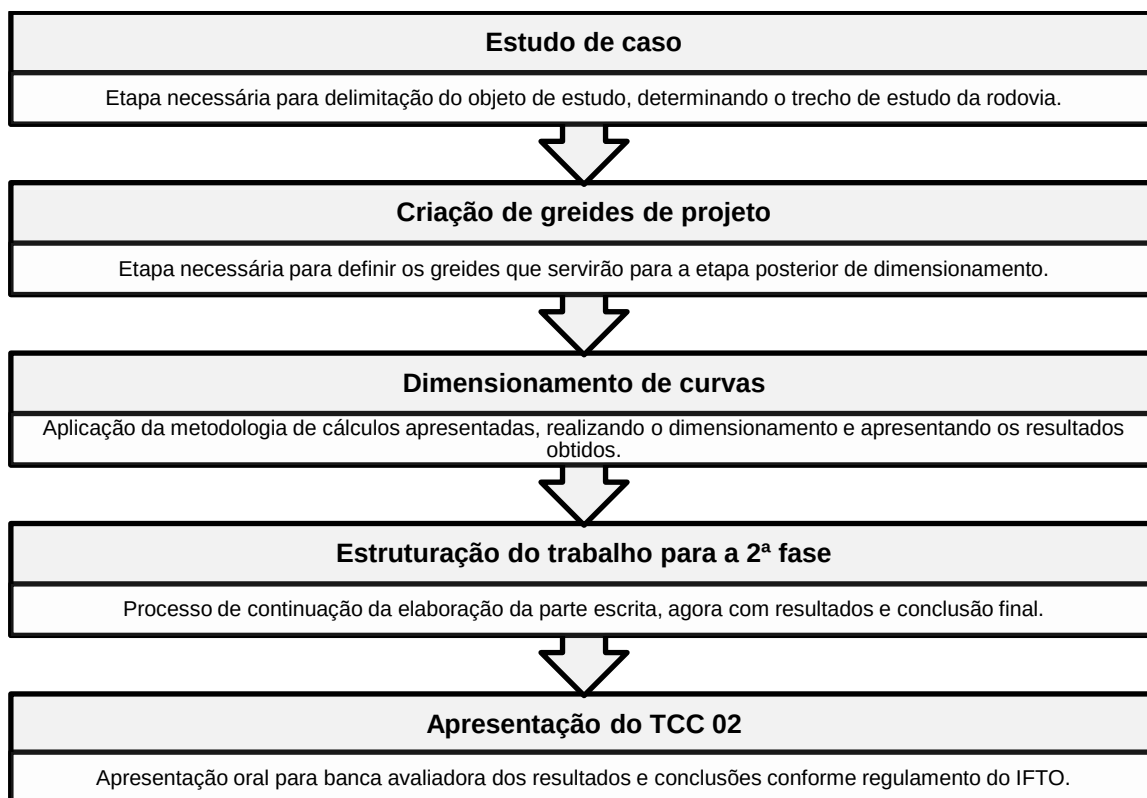
7.2.5 Apresentação e qualificação do TCC I

A qualificação do TCC I segue o regulamento e as diretrizes da instituição de ensino a qual foi apresentada, IFTO – Campus Palmas.

7.3 Segunda etapa

Com base no levantamento teórico e prático feito na primeira etapa do trabalho, surge a necessidade da aplicação e execução da metodologia informada. A segunda etapa teve o enfoque principalmente no dimensionamento e apresentação dos resultados.

Figura 33 - Resumo das atividades da segunda etapa da pesquisa



Fonte: Desenvolvido pelo autor

7.3.1 Estudo de caso

O trecho adotado para esse trabalho foi o traçado a partir da estaca 2900 até a estaca 4450, totalizando uma extensão de 31 km. Nesse espaço, foram traçados greides retos formando pontos de intercessão que serviram para o dimensionamento de curvas.

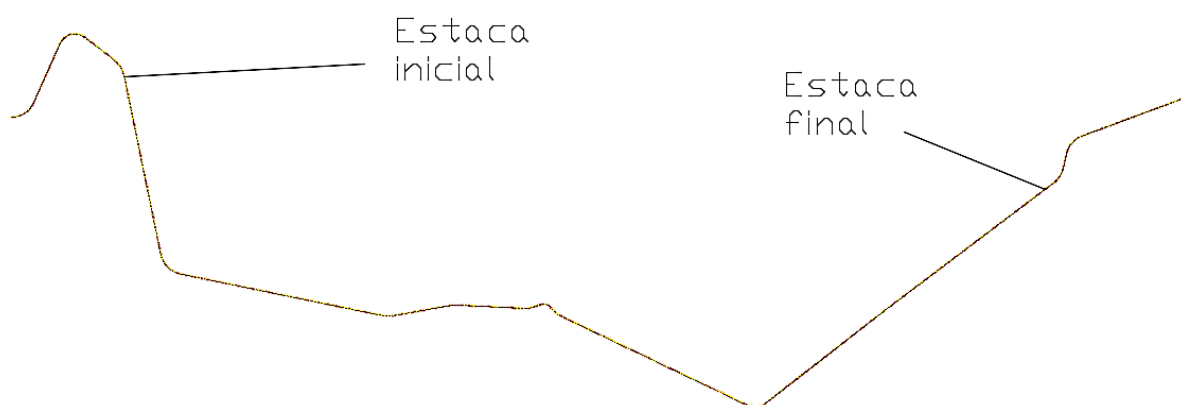
Os dados do levantamento topográfico foram apresentados conforme o exemplo da tabela 16 a seguir, que também já apresenta as informações da estaca inicial e da estaca final, respectivamente.

Tabela 16 - Detalhes das estacas iniciais e finais do traçado de estudo

Estaca	Progressiva	Norte	Este	Cota	Azimute
2900	58000	8.858.056,1616	265.314,5185	397,664	11°36'29"
4450	89000	8.863.414,0063	292.642,6748	372,576	353°54'27"

Fonte: Desenvolvido pelo autor

Figura 34 - Detalhe da localização na estaca inicial e final no traçado



Fonte: Desenvolvido pelo autor

A partir do traçado visto na figura 34 acima, através da ferramenta AutoCAD, foram traçadas retas tangentes aos trechos mais retilíneos, onde o encontro entre essas tangentes forneceram o ponto PI. A locação iniciará a partir da estaca inicial, como se fosse um traçado isolado, com o objetivo de ser mais didático.

7.3.2 Dimensionamento das curvas

A partir da definição dos greides de projeto, as curvas foram dimensionadas conforme descrito nas metodologias de cálculos.

7.3.3 Estruturação do trabalho para a segunda fase

Com o auxílio do professor orientador, a estruturação do trabalho se deu, nessa segunda etapa, com a inclusão dos resultados, bem como considerações em cada aspecto, informando e descrevendo as particularidades de cada curva.

A disposição dos tópicos e a formatação seguiram o recomendado pelo regulamento e diretrizes da instituição de ensino a qual foi apresentado, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia (IFTO) – campus Palmas.

7.2.5 Apresentação e defesa do TCC II

A defesa do TCC II segue o regulamento e as diretrizes da instituição de ensino a qual foi apresentada, IFTO – Campus Palmas.

8 RESULTADOS

A partir dos dados levantados, metodologia estabelecida, a etapa dos resultados vem com o objetivo de apresentar os cálculos e dimensionamentos utilizados para esse trabalho. O primeiro passo foi a classificação da rodovia, bem como a determinação dos parâmetros de projeto que foram decisivos para as etapas de dimensionamento.

8.1 Classificações da rodovia

8.1.1 Classificação geográfica

A rodovia em estudo, TO-247, já possui essa classificação quanto à posição geográfica. Então, a fim de averiguar se a numeração está correta foi

tomada como base a lei 12.379/11, onde afirma que para rodovias transversais o primeiro dos três dígitos da numeração deverá ser dois, como é o caso. Na figura 34 é possível perceber que se trata de uma rodovia transversal, sentido Leste-Oeste.

Figura 35 - Destaque em vermelho da direção da rodovia



Fonte: Google Maps

8.1.2 Classificação funcional

A rodovia em questão foi classificada como uma coletora primária, por atender viagens apenas dentro de um mesmo Estado, não sendo algo interestadual, e também por conectar municípios com populações em torno de 5 mil habitantes, sendo a maior delas Lagoa do Tocantins, com uma população estimada de 4237 habitantes até 2018, segundo dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Por mais que a cidade, até o ano de 2018, que é o ano mais atual com dados fornecidos pelo IBGE, ainda não tenha atingido o patamar de 5 mil habitantes (limite estabelecido para enquadrar a rodovia como coletora primária) é aceitável a classificação por considerar o crescimento populacional, atingindo esse valor dentro de um curto espaço de tempo.

Apesar da classificação de Arterial Secundário também atender rodovias intraestaduais, não se justifica esse enquadramento porque o Manual do DNER

estabelece que deva ligar cidades com no mínimo 10 mil habitantes, que não é o caso da rodovia em questão.

8.1.3 Classificações técnicas

O nível de serviço dessa rodovia pode ser determinado como nível B, pois é um fluxo estável, sem muita presença de veículos, onde dificilmente haverá algum tipo de congestionamento em condições normais de tráfego. Como a região não possui um elevado gradiente altimétrico ela é uma região considerada plana, permitindo elevadas distâncias de visibilidade e não necessitando de grandes movimentações de corte e aterro, isso considerando apenas a topografia.

8.2 Classe de projeto

Em concordância com a tabela 1 desse documento, a classe de projeto dessa rodovia deverá ser a classe III, por ser um pista simples, projetada para 10 anos após a abertura do tráfego dentro do limite máximo de 700 veículos/dia. Isso também mostra que há coerência com o que foi apresentado na tabela 2, estabelecendo a relação entre a classificação funcional da rodovia e a classe de projeto.

8.3 Características básicas para projeto

8.3.1 Velocidade de projeto e de operação

Definida a classe de projeto da rodovia e o tipo de relevo, com base na tabela 3 desse documento, é possível determinar a velocidade de projeto, sendo ela, para a Classe III e o relevo plano, 80 km/h. Já a velocidade de operação é

considerada de 72km/h, de acordo com a figura 7, isso porque o volume de tráfego é considerado baixo.

8.3.2 Veículo de projeto

A tipologia mais comum dos veículos para o dimensionamento de rodovias é o tipo CO, pois representam uma porção que atendem a maioria dos veículos, para essa rodovia não é diferente, visto que trata se de uma estrada que tem finalidade turística, e a classe CO contempla também os ônibus de turismo, geralmente com largura de 2,6m, comprimento total 9,1m, raio mínimo da roda externa dianteira 12,8m e raio mínimo da roda interna traseira 8,7m, conforme figuras 8 e 10.

8.3.3 Distâncias de visibilidade

Para as distâncias de visibilidade temos duas principais situações a considerar, a primeira delas é a distância de visibilidade e parada, que foi calculada da seguinte forma:

$$(01) \quad D_p = (0,7 * 80) + \left(\frac{80^2}{255 * (0,31 + 0)} \right) = 136,96m$$

Portanto, a distância necessária para visualizar e parar o veículo, a 80km/h, quando observado algum obstáculo na pista é de 136,96 metros.

Já para a distância de ultrapassagem, a tabela 7 indicada que para uma velocidade diretriz de 80km/h é necessária uma distância mínima de 560 metros para a ultrapassagem segura.

8.4 Cálculos das curvas horizontais

Para o traçado em estudo foram identificadas 7 curvas horizontais mais relevantes, que dentre essas foram escolhidas 3 curvas que permitiram as melhores análises dos elementos das ligações das tangentes.

Figura 36 - Indicação das curvas existentes no trecho do traçado da rodovia em estudo



Fonte: Google Maps

Essas 7 curvas horizontais são as já existentes no traçado, e os raios delas são apresentados na tabela 17 a seguir:

Tabela 17 - Raios das curvas existentes

Curva	Raio existente
Curva 01	651,25 m
Curva 02	673,84 m
Curva 03	799,54 m
Curva 04	650,18 m
Curva 05	200,16 m
Curva 06	650,06 m
Curva 07	430,32 m

Fonte: Autoria própria

Para escolha das três curvas que foram estudadas, primeiramente foi verificado e calculado o raio mínimo para o traçado de acordo com as características de projeto previamente estabelecidas. Com base nos raios existentes e nos

parâmetros descritos para dispensa de curva de transição, de imediato já foi possível afirmar que será necessário o cálculo da curva de transição para todas as curvas estudadas, pois nenhuma delas apresenta o raio superior a 1200 metros, que é o limite inferior para dispensa de transição, considerando uma velocidade diretriz de 80km/h.

8.4.1 Raio mínimo de curvatura

Para a aplicação da equação do raio mínimo da curvatura é necessário definir primeiramente a máxima taxa de elevação a ser adotada, que conforme a tabela 13 é de 8% por possuir um padrão intermediário e ser classe de projeto III para uma topografia plana. O coeficiente de atrito considerado para uma velocidade diretriz de 80km/h é de 0,14, de acordo com a tabela 9. Aplicando a equação, obteve o seguinte resultado, coincidindo com a figura 18:

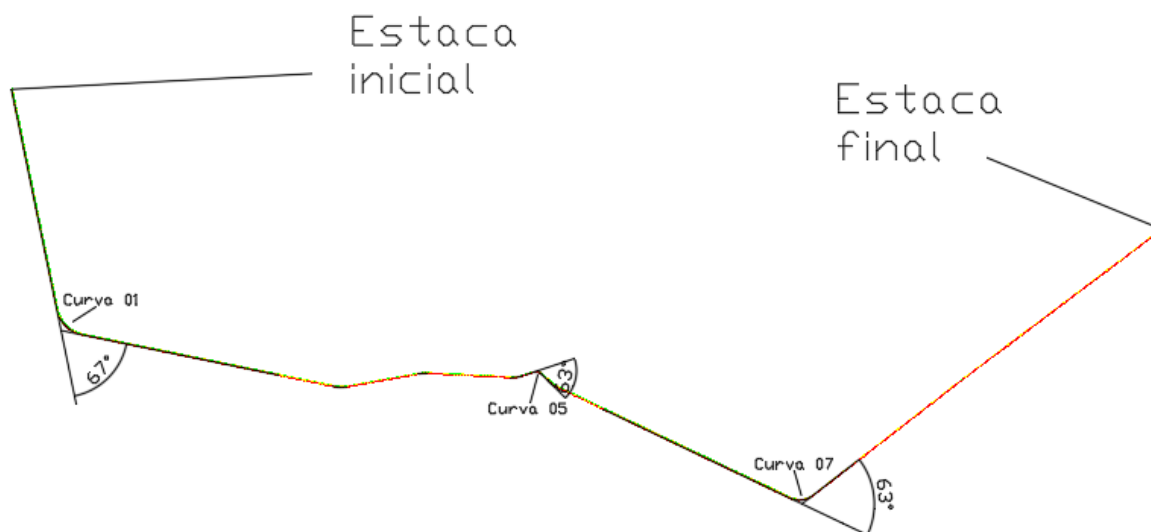
$$(02) \ R_{min} = \frac{80^2}{127 * (0,08 + 0,14)} \cong 230 \ m$$

Com esse dado foi possível escolher as curvas a serem analisadas nesse trabalho, sendo elas as curvas 01 e 07 por permitirem melhor visualização dos elementos, e a curva 05 por não atender ao critério do raio mínimo, sendo necessário um redimensionamento.

8.4.2 Deflexões das tangentes

A determinação do ângulo das deflexões do encontro entre as tangentes se faz necessários para o cálculo dos elementos das curvas, para isso foi feito um alongamento das retas existentes, encontrando o ponto de intercessão (PI) entre eles e sendo possível o reconhecimento dos ângulos através da ferramenta AutoCAD. Na figura 37 são apresentados os ângulos das três curvas em análise. Sendo para a curva 01, 05 e 07, respectivamente, 67°, 63° e 63°.

Figura 37 - Determinação dos ângulos das deflexões das curvas em análise



Fonte: Autoria própria

8.4.3 Cálculo da curva horizontal 01

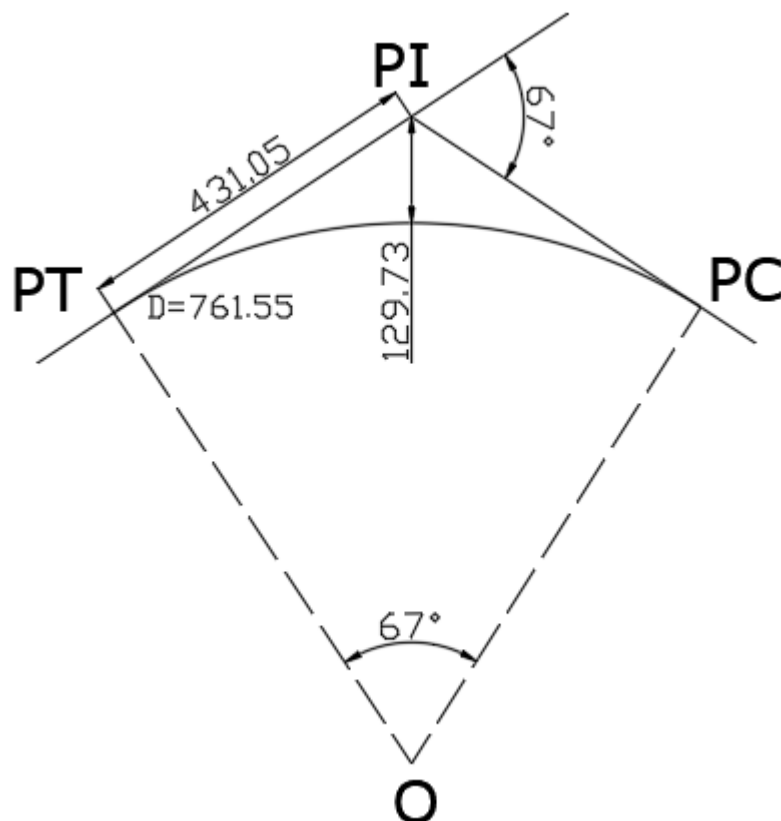
A primeira curva do traçado em estudo apresentava um raio de 651,25 metros, o que atende ao raio mínimo de 230 metros, não havendo a necessidade da alteração do seu raio. Portanto, com posse do raio e da deflexão, foi possível calcular os elementos principais da curva circular, sendo eles desenvolvimento e tangente:

$$(03) \quad D = \frac{651,25m * 67 * \pi}{180} = 761,55m$$

$$(04) \quad T = tg\left(\frac{67}{2}\right) * 651,25 = 431,05m$$

$$(05) \quad E = 431,05 * tg\left(\frac{67}{4}\right) = 129,73m$$

Figura 38 - Elementos calculados da curva circular 01



Fonte: Autoria própria

Como já dito, haverá a necessidade da curva de transição, e seus elementos foram calculados da seguinte maneira:

$$(06) \quad L_{smáx} = \frac{\pi * 651,25 * 67}{180} = 761,55m$$

$$(07) \quad L_{smín} = 0,036 * \left(\frac{80^3}{651,25} \right) = 28,3m$$

$$(08) \quad L_s = 3 * 28,3 = 84,9 \approx 100m$$

$$(09) \quad \theta_s = \frac{100}{2 * 651,25} = 0,0767754 \text{ rad}$$

$$(10) \quad X_s = 100 * \left(1 - \left(\frac{0,0767754^2}{10} \right) + \left(\frac{0,0767754^4}{216} \right) \right) = 99,94m$$

$$(11) \quad Y_s = 100 * \left(\left(\frac{0,0767754}{3} \right) - \left(\frac{0,0767754^3}{42} \right) \right) = 2,56m$$

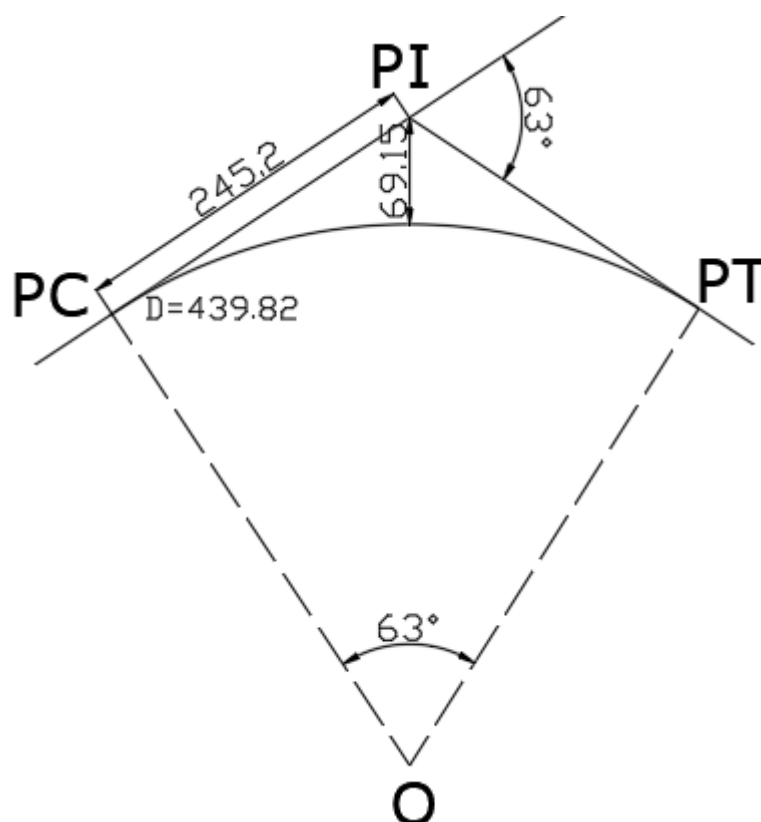
deflexão existente, foi possível calcular os elementos da curva circular, sendo eles desenvolvimento e tangente:

$$(17) \quad D = \frac{400 * 63 * \pi}{180} = 439,82m$$

$$(18) \quad T = tg\left(\frac{63}{2}\right) * 400 = 245,2m$$

$$(19) \quad E = 245,2 * tg\left(\frac{63}{4}\right) = 69,15m$$

Figura 40 - Elementos calculados da curva circular 05



Fonte: Autoria própria

Para o cálculo da curva de transição, e seus elementos foram obtidos da seguinte maneira:

$$(20) \quad L_{smáx} = \frac{\pi * 400 * 63}{180} = 439,82m$$

$$(21) \quad L_{smín} = 0,036 * \left(\frac{80^3}{400}\right) = 46,08m$$

$$(22) \quad Ls = 3 * 46,08 = 138,24 \approx 140m$$

$$(23) \quad \theta_s = \frac{140}{2 * 400} = 0,175 \text{ rad}$$

$$(24) \quad X_s = 140 * \left(1 - \left(\frac{0,175^2}{10} \right) + \left(\frac{0,175^4}{216} \right) \right) = 139,57m$$

$$(25) \quad Y_s = 140 * \left(\left(\frac{0,175}{3} \right) - \left(\frac{0,175^3}{42} \right) \right) = 8,15m$$

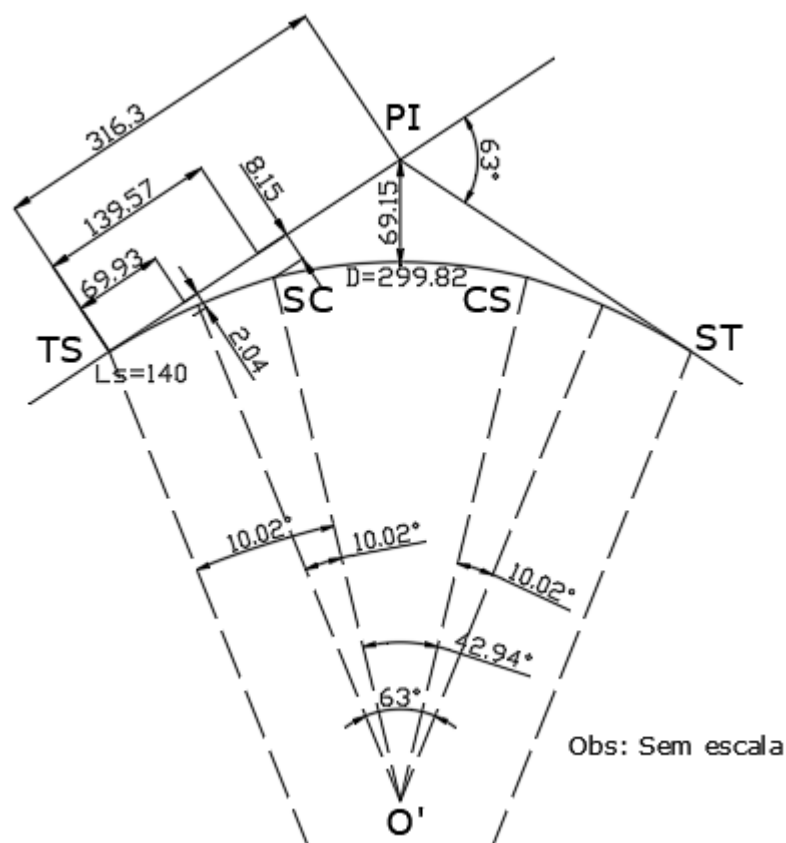
$$(26) \quad k = 139,57 - 400 * \text{sen}0,175 = 69,93m$$

$$(27) \quad P = 8,15 - 400 * (1 - \text{cos}0,175) = 2,04m$$

$$(28) \quad TT = 69,93 + (400 + 2,04) * \text{tg} \left(\frac{63}{2} \right) = 316,30m$$

$$(29) \quad \emptyset = \frac{63 * \pi}{180} - 2 * 0,175 = 0,749557$$

$$(30) \quad D = 0,749557 * 400 = 299,82m$$

Figura 41 - Representação gráfica da curva de transição 05

Fonte: Autoria própria

8.4.5 Cálculo da curva horizontal 07

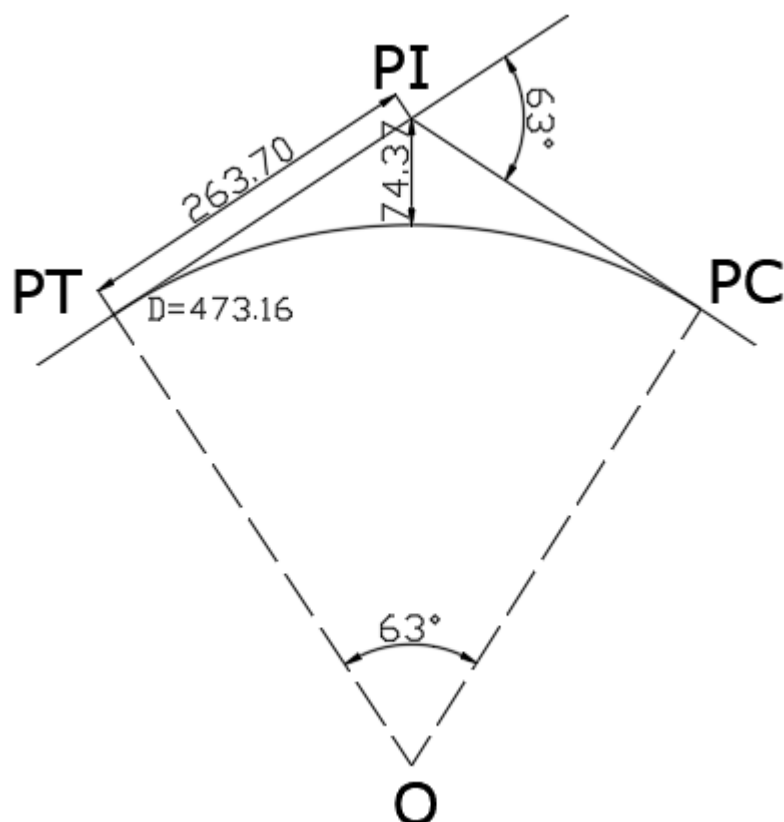
A última curva do traçado em estudo apresentava um raio de 430,32 metros, o que atende ao raio mínimo de 230 metros, não havendo a necessidade da alteração do seu raio. Portanto, com posse do raio e da deflexão, foi possível calcular os elementos principais da curva circular, sendo eles desenvolvimento e tangente:

$$(31) \quad D = \frac{430,32 * 63 * \pi}{180} = 473,16m$$

$$(32) \quad T = tg\left(\frac{63}{2}\right) * 430,32 = 263,70m$$

$$(33) \quad E = 263,7 * tg\left(\frac{63}{4}\right) = 74,37m$$

Figura 42 - Elementos calculados da curva circular 07



Fonte: Autoria própria

Como já dito, haverá a necessidade da curva de transição, e seus elementos foram calculados da seguinte maneira:

$$(34) \quad L_{smáx} = \frac{\pi * 430,32 * 63}{180} = 473,16m$$

$$(35) \quad L_{smín} = 0,036 * \left(\frac{80^3}{430,32} \right) = 42,83m$$

$$(36) \quad L_s = 3 * 42,83 = 128,50 \approx 140m$$

$$(37) \quad \theta_s = \frac{140}{2 * 430,32} = 0,1626696 \text{ rad}$$

$$(38) \quad X_s = 140 * \left(1 - \left(\frac{0,1626696^2}{10} \right) + \left(\frac{0,1626696^4}{216} \right) \right) = 139,63m$$

$$(39) \quad Y_s = 140 * \left(\left(\frac{0,1626696}{3} \right) - \left(\frac{0,1626696^3}{42} \right) \right) = 7,58m$$

$$(40) \quad k = 139,63 - 430,32 * \sin 0,1626696 = 69,94m$$

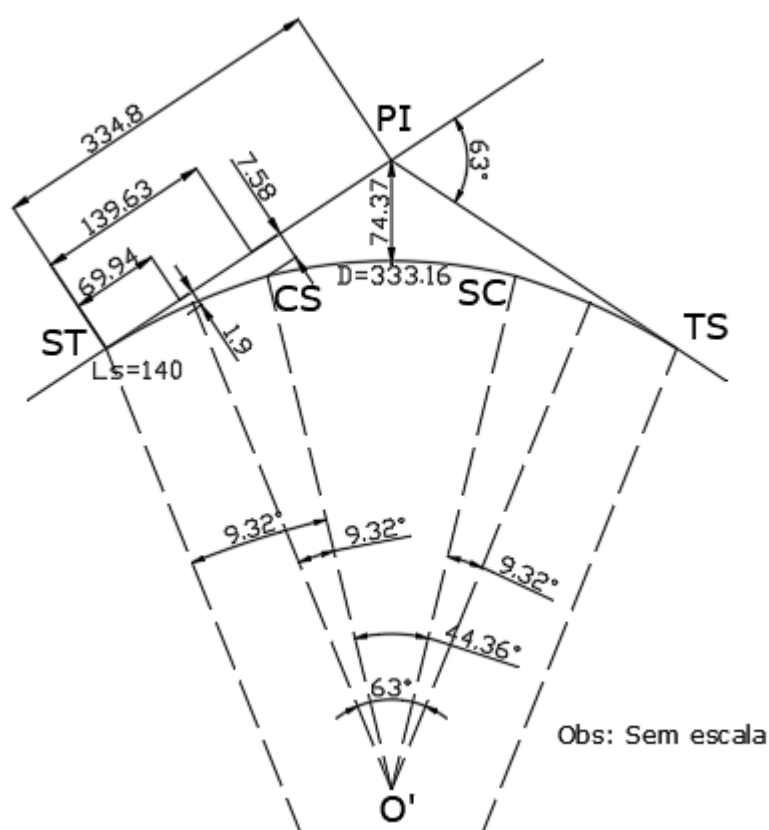
$$(41) \quad P = 7,58 - 430,3 * (1 - \cos 0,1626696) = 1,90m$$

$$(42) \quad TT = 69,94 + (430,32 + 1,90) * \tan\left(\frac{63}{2}\right) = 334,80m$$

$$(43) \quad \phi = \frac{63 * \pi}{180} - 2 * 0,1626696 = 0,774218$$

$$(44) \quad D = 0,774218 * 430,32 = 333,16m$$

Figura 43 – Representação gráfica da curva de transição 07



Fonte: Autoria própria

8.5 Cálculos das superelevações das curvas

De acordo com a tabela 14, para uma velocidade diretriz de 80km/h, o valor acima do qual são dispensadas as superelevações é de 3200 metros de raio.

Sendo assim, nenhuma das curvas em estudo estão dispensadas do uso da superelevação, tornando necessário o cálculo desse elemento da curva.

Para o dimensionamento desse elemento foi adotada a taxa máxima de superelevação de 8% devido as condições serem padrão intermediário de pista e também por causa da classe de projeto ser uma classe III em um região considerada plana.

8.5.1 Cálculo da superelevação da curva 01

Para o cálculo da taxa de superelevação da curva 01, foi realizado o seguinte procedimento:

$$(45) \quad e = 8\% * \left(\left(\frac{2 * 230}{651,25} \right) - \left(\frac{230^2}{651,25^2} \right) \right) = 4,65\%$$

Para a determinação do diagrama de superelevação da pista, considerando o abaulamento inicial de ambas as faixas de 2,8% e a largura de cada faixa da pista de 3,5 metros, foi realizado o seguinte procedimento de cálculo:

$$(46) \quad h1 = \frac{3,5 * 2,8}{100} = 0,098m$$

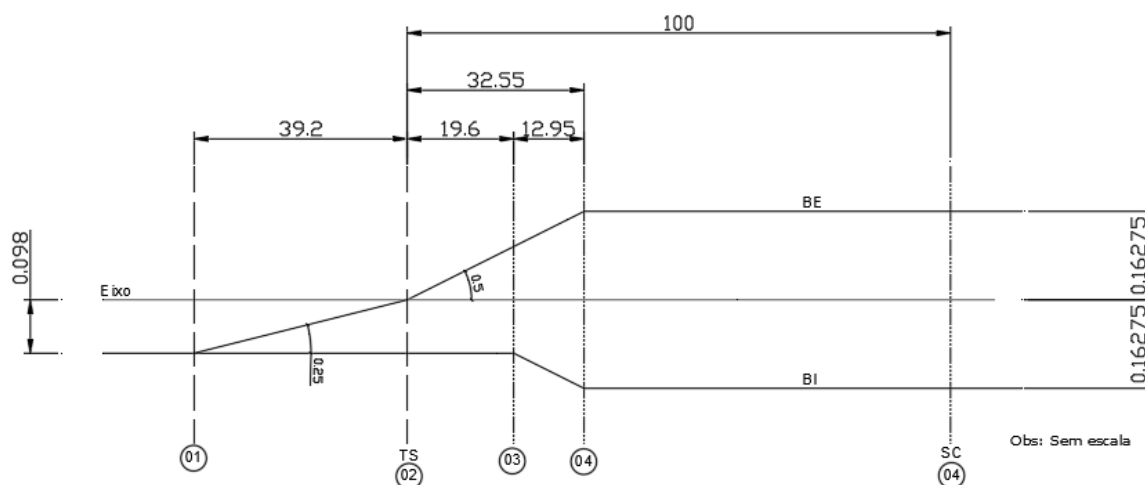
$$(47) \quad Le1 = \frac{100 * 0,098}{0,5} = 19,60m$$

$$(48) \quad \left(\frac{s}{2} \right) = \frac{3,5 * 4,65}{100} = 0,16275m$$

$$(49) \quad Lt = \frac{100 * 0,098}{0,25} = 39,2m$$

$$(50) \quad Le2 = \frac{100 * (0,3255 - 2 * 0,098)}{2 * 0,5} = 12,95m$$

$$(51) \quad Le = 19,60 + 12,95 = 32,55m$$

Figura 44 - Diagrama de superelevação da curva 01

Fonte: Autoria própria

Como nesse trecho temos uma disponibilidade maior do L_s (comprimento do trecho de transição), sendo de 100 metros, há uma possibilidade de aumentar a distância da transição da superelevação suavizando a rotação da pista, e consequentemente diminuindo o ângulo formado no alinhamento durante a transição (α_2). Para isso, foi realizado o seguinte procedimento:

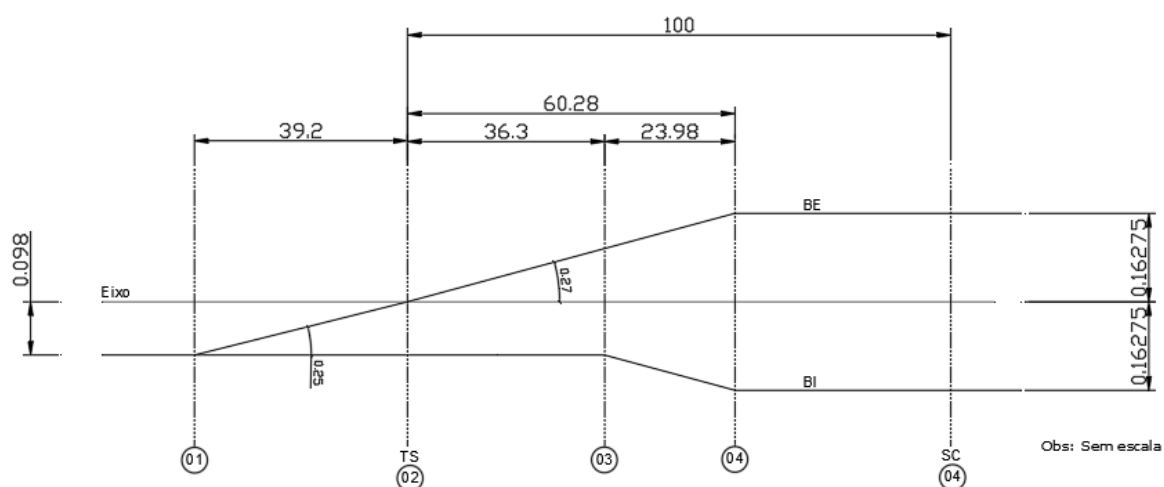
$$(52) \quad \left(\frac{0,25}{100} \right) = \left(\frac{0,16275}{L_s} \right) \rightarrow L_s \cong 60m$$

$$(53) \quad \alpha'_2 = \left(\frac{0,16275}{60} \right) = 0,27$$

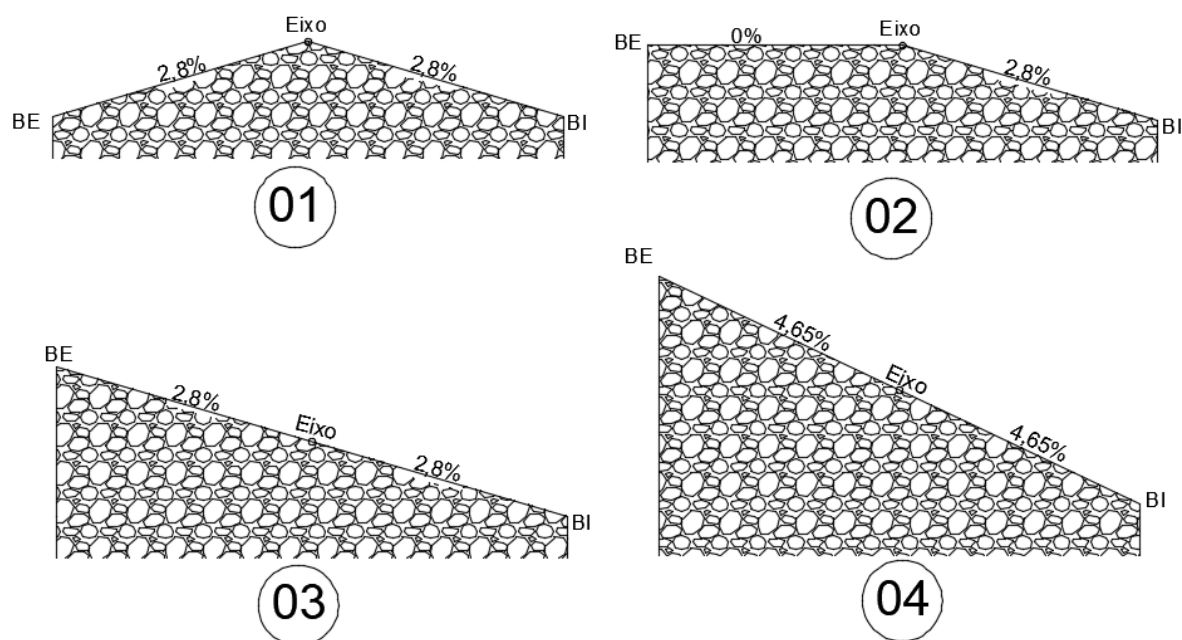
$$(54) \quad Le1' = \frac{100 * 0,098}{0,27} = 36,30m$$

$$(55) \quad Le2' = \frac{100 * (0,3255 - 2 * 0,098)}{2 * 0,27} = 23,98m$$

$$(56) \quad Le' = 36,30 + 23,98 = 60,28m$$

Figura 45 - Diagrama ajustado de superelevação da curva 01

Fonte: Autoria própria

Figura 46 - Ilustração dos cortes da superelevação da curva 01

Fonte: Autoria própria

8.5.2 Cálculo da superelevação da curva 05

Para o cálculo da taxa de superelevação da curva 05, foi realizado o seguinte procedimento:

$$(57) \quad e = 8\% * \left(\left(\frac{2 * 230}{400} \right) - \left(\frac{230^2}{400^2} \right) \right) = 6,55\%$$

Para a determinação do diagrama de superelevação da pista, considerando o abaulamento inicial de ambas as faixas de 2,8% e a largura de cada faixa da pista de 3,5 metros, foi realizado o seguinte procedimento de cálculo:

$$(58) \quad h_1 = \frac{3,5 * 2,8}{100} = 0,098m$$

$$(59) \quad Le_1 = \frac{100 * 0,098}{0,5} = 19,60m$$

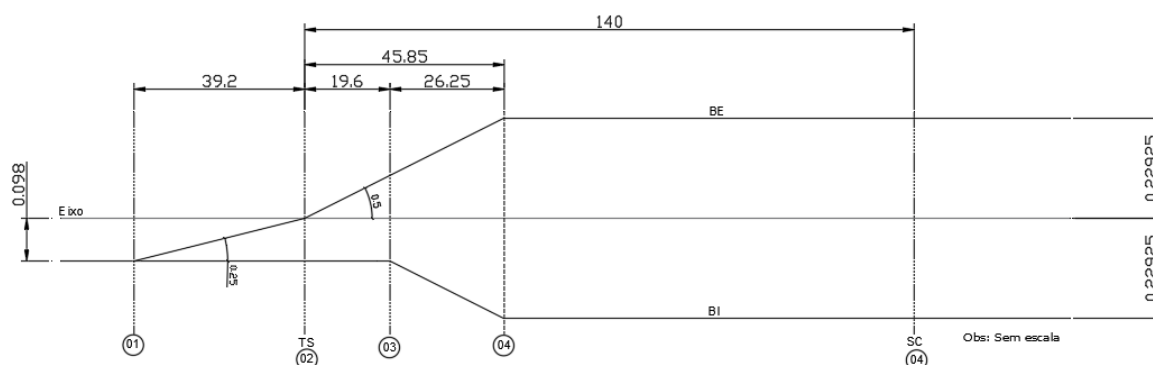
$$(60) \quad \left(\frac{s}{2} \right) = \frac{3,5 * 6,55}{100} = 0,22925m$$

$$(61) \quad Lt = \frac{100 * 0,098}{0,25} = 39,2m$$

$$(62) \quad Le_2 = \frac{100 * (0,4585 - 2 * 0,098)}{2 * 0,5} = 26,25m$$

$$(63) \quad Le = 19,60 + 26,25 = 45,85m$$

Figura 47 - Diagrama de superelevação da curva 05



Fonte: Autoria própria

Assim como na curva anterior, nesse trecho também temos uma disponibilidade maior do Ls (comprimento do trecho de transição), sendo de 140 metros, portanto há uma possibilidade de aumentar a distância da transição da superelevação suavizando a rotação da pista, e consequentemente diminuindo o ângulo formado no alinhamento durante a transição (α_2). Para isso, foi realizado o seguinte procedimento:

$$(64) \quad \left(\frac{0,25}{140}\right) = \left(\frac{0,22925}{L_S}\right) \rightarrow L_S \cong 120m$$

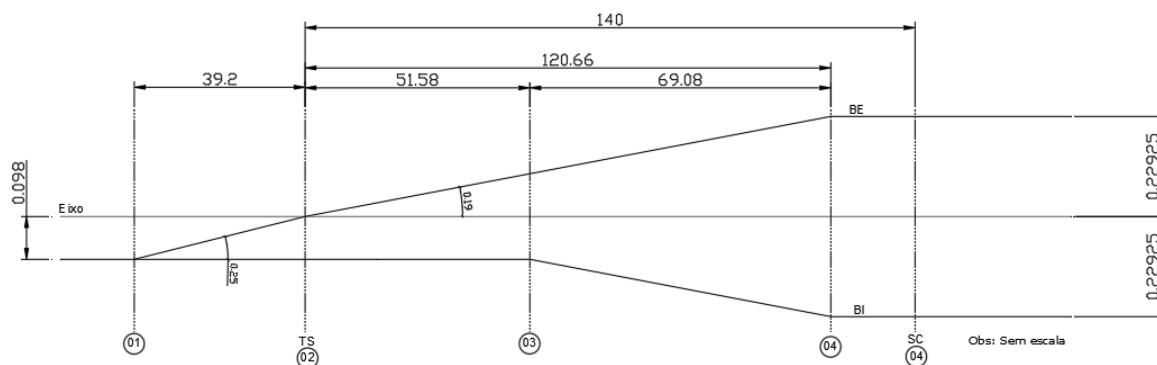
$$(65) \quad \alpha' 2 = \left(\frac{0,22925}{120} \right) = 0,19$$

$$(66) \quad Le1' = \frac{100 * 0,098}{0,19} = 51,58m$$

$$(67) \quad Le2' = \frac{100 * (0,4585 - 2 * 0,098)}{2 * 0,19} = 69,08m$$

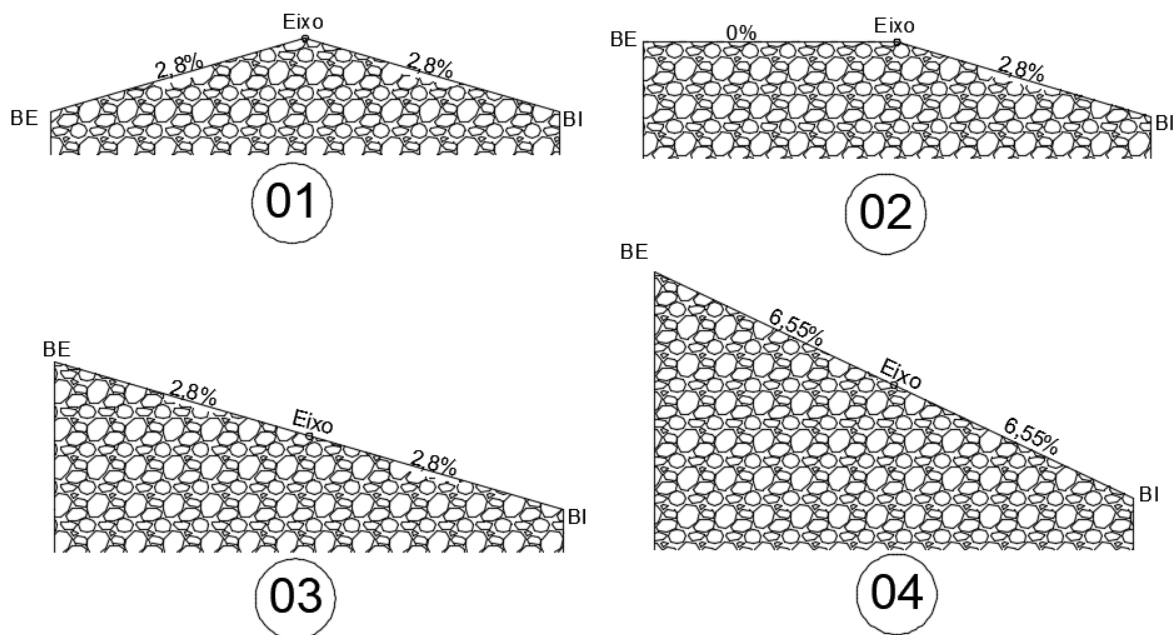
$$(68) \quad Le' = 51,58 + 69,08 = 120,66m$$

Figura 48 - Diagrama ajustado de superelevação da curva 05



Fonte: Autoria própria

Figura 49 - Ilustração dos cortes da superelevação da curva 05



Fonte: Autoria própria

8.5.3 Cálculo da superelevação da curva 07

Para o cálculo da taxa de superelevação da curva 07, foi realizado o seguinte procedimento:

$$(69) \quad e = 8\% * \left(\left(\frac{2 * 230}{430,32} \right) - \left(\frac{230^2}{430,32^2} \right) \right) = 6,27\%$$

Para a determinação do diagrama de superelevação da pista, considerando o abaulamento inicial de ambas as faixas de 2,8% e a largura de cada faixa da pista de 3,5 metros, foi realizado o seguinte procedimento de cálculo:

$$(70) \quad h1 = \frac{3,5 * 2,8}{100} = 0,098m$$

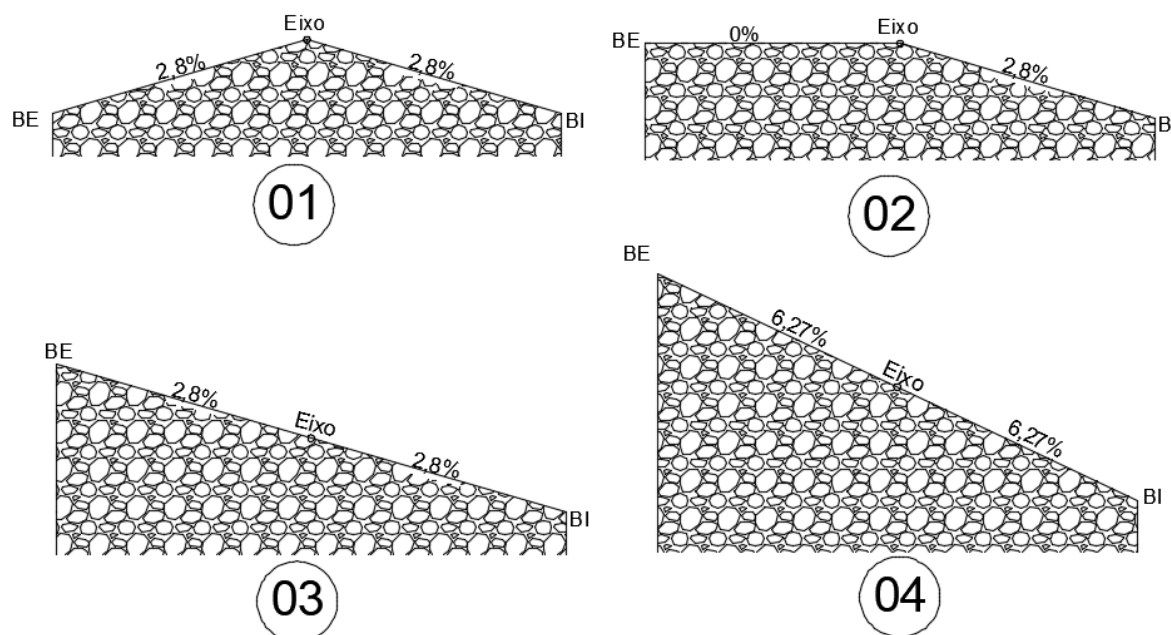
$$(71) \quad Le1 = \frac{100 * 0,098}{0,5} = 19,60m$$

$$(72) \quad \left(\frac{s}{2} \right) = \frac{3,5 * 6,27}{100} = 0,21945m$$

$$(73) \quad Lt = \frac{100 * 0,098}{0,25} = 39,2m$$

$$(74) \quad Le2 = \frac{100 * (0,4389 - 2 * 0,098)}{2 * 0,5} = 24,29m$$

$$(75) \quad Le = 19,60 + 24,29 = 43,89m$$

Figura 52 - Ilustração dos cortes da superelevação da curva 07

Fonte: Autoria própria

8.6 Cálculos das curvas verticais

Para o cálculo das curvas verticais primeiramente foi definido a inclinação máxima permitida das rampas, com base na tabela 15 desse documento. O valor, de acordo com a classe de projeto e o relevo do terreno foi de 4% (Classe III, plano). Porém, como o fluxo não será intenso de veículos de carga, que são os principais responsáveis pelos congestionamentos, essa rodovia pode admitir o limite de 6% de declividade, visto que a perda de rendimento desses veículos não é considerada crítica em estradas de baixo fluxo.

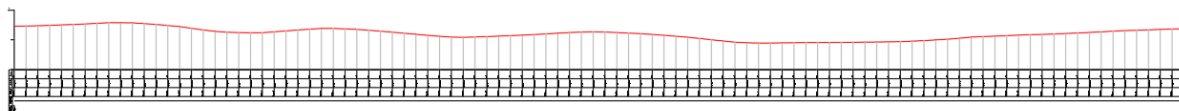
Como o trecho em estudo tem mais de trinta quilômetros, a representação transversal de toda essa estrada fica muito extensa e de difícil visualização numa folha A4. A figura 53 mostra isso de forma superficial.

Figura 53 - Representação transversal de todo o trecho em estudo

Fonte: Autoria própria

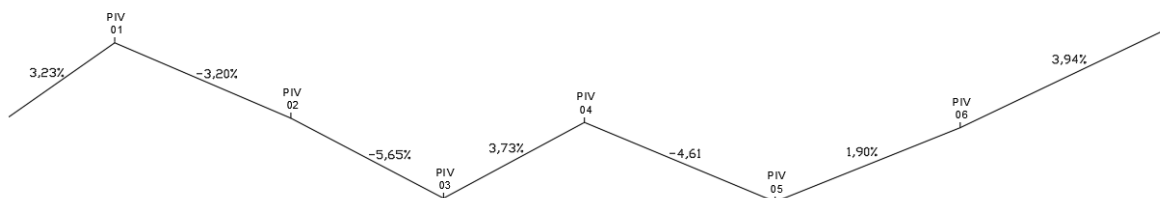
Como o trecho é demasiadamente extenso e o intuito desse trabalho é apenas a exemplificação e demonstração das metodologias de cálculo, não se faz necessário o dimensionamento de todo o trecho. Portanto, foi escolhido um trecho menor, de aproximadamente dois quilômetros para a análise das rampas e curvas, demonstrado na figura 54 a seguir.

Figura 54 - Trecho escolhido para cálculos das curvas verticais



Fonte: Autoria própria

Figura 55 - Rampas, contra-rampas e PIV do trecho em análise (sem escala).



Fonte: Autoria própria

As rampas foram escolhidas de forma a estarem adequadas à inclinação máxima e também de modo a evitar ao máximo as movimentações do solo, seja por aterros ou cortes, tendo uma cota vermelha o mais próximo possível do zero, reduzindo custos financeiros.

8.6.1 Tipologias das curvas

A tabela 18 apresenta a classificação tipológica das curvas, com base na figura 24 desse documento. O trecho em análise possui três curvas convexas (sendo duas do tipo I e duas do tipo III) e três curvas côncavas (sendo duas do tipo I e duas do tipo III). Para esse trecho não surgiu nenhum caso onde se caracterizava como tipo II, seja côncavo ou convexo.

Tabela 18 - Tipologia das curvas verticais

PIV	Parábola	Tipo
01	Convexa	I
02	Convexa	III
03	Côncava	I
04	Convexa	I
05	Côncava	I
06	Côncava	III

Fonte: Autoria própria

8.6.2 Cálculo das curvas

A partir das declividades das rampas e das tipologias das curvas, é possível realizar o cálculo das curvas acima.

8.6.2.1 Cálculo curva convexa 1

Primeiramente é necessário realizar o cálculo da distância de parada considerando a maior inclinação entre rampa e contra-rampa.

$$(81) \quad Dp = (0,7 * 80) + \left(\frac{80^2}{255 * (0,31 + 0,0323)} \right) = 129,32m$$

Após isso, a análise, por tentativa, para saber em qual dos dois casos a curva se encontra. Primeiramente é analisado o Caso I, onde a distância de parada tem que ser menor ou igual ao comprimento mínimo.

$$(82) \quad Lmín = \frac{129,32^2}{412} * 6,43 = 261,01m$$

Como $Dp < Lmín$, então esse é o caso correto para essa curva. Podendo adotar o comprimento de 280 para facilitação de locação.

De acordo com esses dados, o cálculo da flecha máxima se deu da seguinte forma:

$$(83) \quad F_{\text{máx}} = \frac{0,0643 * 280}{8} = 2,25m$$

8.6.2.2 Cálculo curva convexa 2

Cálculo da distância de parada:

$$(84) \quad Dp = (0,7 * 80) + \left(\frac{80^2}{255 * (0,31 - 0,0565)} \right) = 155m$$

Análise para o Caso I:

$$(85) \quad L_{\text{mín}} = \frac{155^2}{412} * 2,45 = 142,88m$$

Análise para o Caso II:

$$(86) \quad L_{\text{mín}} = (2 * 155) - \left(\frac{412}{2,45} \right) = 141,85m$$

Como $Dp > L_{\text{mín}}$, então o caso II é correto para essa curva. Podendo adotar o comprimento de 140 para facilitação de locação, por mais que esse valor esteja abaixo do mínimo, por ser muito próximo, acaba sendo de pouca interferência, pois se fosse adotar 160 estaria acima da distância de parada, não atendendo ao requisito do caso II.

Cálculo da flecha máxima:

$$(87) \quad F_{\text{máx}} = \frac{0,0245 * 140}{8} = 0,43m$$

8.6.2.3 Cálculo curva côncava 3

Cálculo da distância de parada:

$$(88) \quad Dp = (0,7 * 80) + \left(\frac{80^2}{255 * (0,31 - 0,0565)} \right) = 155m$$

Análise para o Caso I:

$$(89) \quad Lmín = \left(\frac{155^2}{122 + 3,5 * 155} \right) * 9,38 = 339,13$$

Como $Dp < Lmín$, então esse é o caso correto para essa curva. Podendo adotar o comprimento de 340 para facilitação de locação.

Cálculo da flecha máxima:

$$(90) \quad Fmáx = \frac{0,0938 * 340}{8} = 3,97m$$

8.6.2.4 Cálculo curva convexa 4

Cálculo da distância de parada:

$$(91) \quad Dp = (0,7 * 80) + \left(\frac{80^2}{255 * (0,31 - 0,0461)} \right) = 151,10m$$

Análise para o Caso I:

$$(92) \quad Lmín = \frac{151,10^2}{412} * 8,34 = 462,19m$$

Como $Dp < Lmín$, então esse é o caso correto para essa curva. Podendo adotar o comprimento de 480 para facilitação de locação.

Cálculo da flecha máxima:

$$(93) \quad Fmáx = \frac{0,0834 * 480}{8} = 5m$$

8.6.2.5 Cálculo curva côncava 5

Cálculo da distância de parada:

$$(94) \quad Dp = (0,7 * 80) + \left(\frac{80^2}{255 * (0,31 - 0,0461)} \right) = 151,10m$$

Análise para o Caso I:

$$(95) \quad L_{\min} = \left(\frac{151,10^2}{122 + 3,5 * 151,10} \right) * 6,51 = 228,37$$

Como $Dp < L_{\min}$, então esse é o caso correto para essa curva. Podendo adotar o comprimento de 240 para facilitação de locação.

Cálculo da flecha máxima:

$$(96) \quad F_{\max} = \frac{0,0651 * 240}{8} = 1,95m$$

8.6.2.6 Cálculo curva côncava 6

Cálculo da distância de parada:

$$(97) \quad Dp = (0,7 * 80) + \left(\frac{80^2}{255 * (0,31 + 0,0394)} \right) = 127,83m$$

Análise para o Caso I:

$$(98) \quad L_{\min} = \left(\frac{127,83^2}{122 + 3,5 * 127,83} \right) * 2,04 = 58,54m$$

Como $Dp < L_{\min}$, então esse é o caso correto para essa curva. Podendo adotar o comprimento de 80 para facilitação de locação.

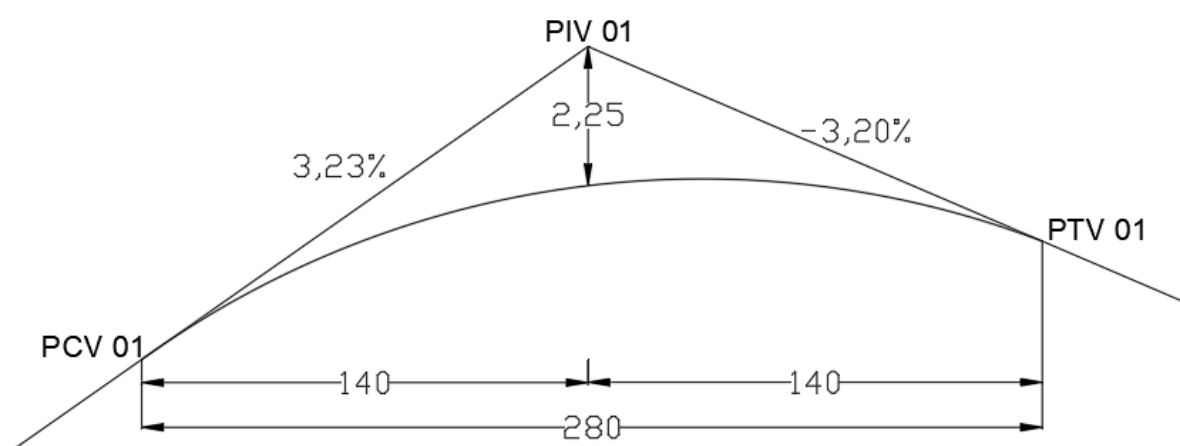
Cálculo da flecha máxima:

$$(99) \quad F_{\max} = \frac{0,0204 * 80}{8} = 0,204m$$

8.6.3 Ilustração da curva vertical

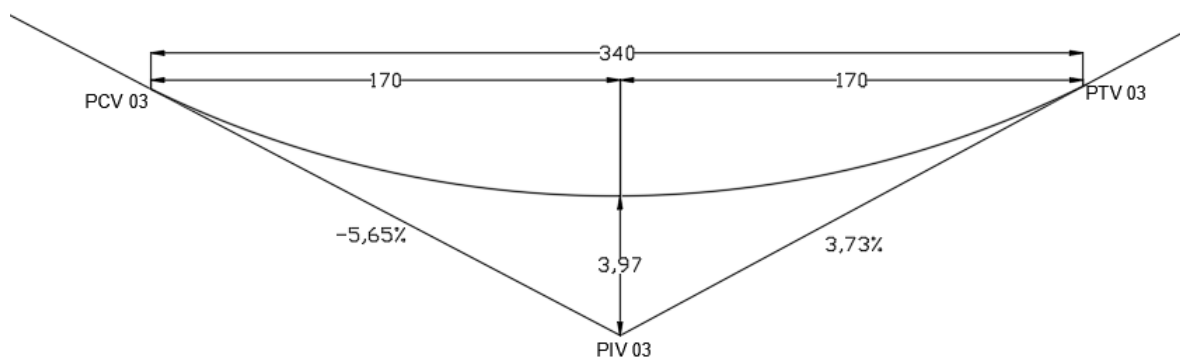
Como as representações gráficas das curvas verticais não apresentam muitos elementos que podem ser analisados mostrando particularidades, para evitar redundâncias vai ser mostrado apenas um exemplo de curva convexa (curva 01) e um de curva côncava (curva 03), mostrados nas figuras 56 e 57 a seguir, estão sem escala para facilitar a visualização.

Figura 56 - Ilustração da curva convexa 01



Fonte: Autoria própria

Figura 57 - Ilustração da curva côncava 03



Fonte: Autoria própria

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com base nos dados que foram apresentados no corpo desse documento, é possível afirmar a importância e relevância do setor rodoviário para o Brasil, que por sua vez, depende das condições das rodovias para que o escoamento de veículos seja o mais eficiente possível e também feito com segurança, atendendo aos requisitos do DNIT.

As condições das rodovias dependem de boa execução, bons materiais e bom projeto. Visto que esse trabalho teve como objetivo demonstrar as habilidades para dimensionamento de curvas horizontais e verticais, foi possível alcançar a meta estabelecida. Formar profissionais que atuem de forma precisa nesse setor é de muita relevância para o crescimento do Brasil.

A metodologia proposta foi suficiente para o correto dimensionamento de todas as curvas, independente dos casos que foram encontrados, mostrando-se eficaz. Em relação aos resultados, das três curvas horizontais analisadas, uma delas (curva 05) apresentava raio inferior ao mínimo exigido para a classe de projeto III, o seu redimensionamento foi realizado, prevendo o conceito de tangentes menores e raios maiores. O trecho de transição foi necessário para todas as curvas devido ao tamanho do raio não ser superior ao mínimo exigido para essa descaracterização.

Todas elas necessitaram do cálculo de superelevação, onde a maior taxa calculada foi justamente na curva 05, sendo um valor de superelevação de 6,55%, isso por possuir um menor raio em relação às curvas 01 e 07. A partir dos diagramas de superelevação foi possível perceber a diferença entre os cálculos previstos pelo Manual do DNER e a adaptação de forma a suavizar a transição entre a rotação em torno do eixo da pista, consumindo um maior trecho de transição, que estava disponível em todas as curvas. Cada caso foi analisado de forma particular e foi encontrada a melhor forma possível para cada um.

Para as curvas verticais foi escolhido um trecho do traçado de estudo, pois realizar o dimensionamento do traçado inteiro era desnecessário de acordo com os objetivos do trabalho. O trecho escolhido apresentava 6 curvas, sendo três convexas e três côncavas. A curva convexa 04 apresentou o maior comprimento,

devido às inclinações das rampas apresentarem a maior variação de direção, sendo o comprimento total de 480 metros, por consequência também foi a maior flecha, atingindo 5 metros.

Conclui se que o trabalho alcançou os objetivos propostos, desenvolvendo todos os cálculos de forma manual e comparando com planilhas do Excel disponíveis, atingindo resultados satisfatórios e dentro dos requisitos normativos exigidos pelo Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes.

10 REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

AASHTO, American Association of State Highway and Transportation Officials. **A policy on Geometric Design of Highways and Streets**. Washington, D.C., 2001.

ALVARES, C. et al, **Gargalhos e demandas da infraestrutura rodoviária e os investimentos do PAC**: Mapeamento IPEA de obras rodoviárias. Brasília: IPEA, 2011.

ANTAS, P.M. et al. **Projeto geométrico e de terraplanagem**. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2010.

BARBOSA, O. **Espiraís de Transição**. [S.l.]: Copavel,1963.

BARTHOLOMEU, D. B. **Quantificação dos impactos econômicos e ambientais decorrentes do estado de conservação das rodovias brasileiras**. 2006. 165 f. Tese apresentada, para a obtenção do título de Doutor em Ciências. Universidade de São Paulo Escola Superior de Agricultura “Luiz Queiroz”, Piracicaba, 2006.

BRASIL. **Lei nº 12.379, de 6 de janeiro de 2011**. Dispõe sobre o Sistema nacional de viação – SNV; altera a Lei nº 9.43, de 8 de janeiro de 1997. Brasília, 6 de janeiro de 2011.

BRASIL. **Normas para o projeto das estradas de rodagem, reeditado em 1973**. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Rio de Janeiro,1973.

CALDAS, Tânia. Portal Tocantins, 2017. Disponível em: <<https://portal.to.gov.br/noticia/2017/10/31/jalapao-registra-crescimento-de-quase-15-no-numero-de-turistas/>>. Acesso em: 02 jan. 2019.

CARVALHO, E. A.; ARAÚJO, P.C. **Leituras cartográficas e interpretações estatísticas I**. Natal, RN: EDUFRN, 2008.

CLUBE DE ENGENHARIA. **Política Preconizada pelo Clube de Engenharia para o Setor de Transportes no País.** [S.l.]: [s.n.], 1982

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE. **57% das rodovias brasileiras apresentam problemas, constata pesquisa da CNT.** Brasil, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE. **Acidentes rodoviários e a infraestrutura.** Brasil, 2017.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE. **Anuário CNT 2018.** Brasil, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE. **O transporte move o Brasil.** Brasília, 2018.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DE TRANSPORTE. **Transporte rodoviário: Por que os pavimentos das rodovias do Brasil não duram?.** Brasil, 2017.

DEPARTAMENTO AUTÔNOMO DE ESTRADAS DE RODAGEM. **Normas de projetos rodoviários.** Porto Alegre, 1991.

DNER. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais.** Rio de Janeiro, 1999.

GIL, Antônio Carlos, 1946. **Como elaborar projetos de pesquisa.** 4.ed. São Paulo Atlas, 2002.

GOMES, Diego. Agência CNT de notícias, 2018. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/imprensa/Noticia/como-funciona-nomenclatura-rodovias-federais>>. Acesso em: 26 dez. 2018.

GOVERNO DO BRASIL, 2018. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/noticias/economia-e-financas/2018/05/saiba-as->

consequencias-da-greve-dos-caminhoneiros-para-a-populacao>. Acesso em: 16 dez. 2018.

HERCULANO, Flávio. Casa Civil do Tocantins, 2008. Disponível em: <<https://casacivil.to.gov.br/noticia/2008/2/9/to-247-facilita-escoamento-da-producao-e-favorece-o-turismo-no-jalapao/>>. Acesso em: 05 jan. 2019.

INSTITUTO DE PESQUISAS RODOVIÁRIAS. **Manual de implantação básica de rodovia**. Rio de Janeiro, 2010.

MATTOS, Carlos Eduardo. DNIT, 2014. Disponível em: <<http://www.dnit.gov.br/planejamento-e-pesquisa/planejamento/contagem-de-trafego>>. Acesso em: 29 dez. 2018.

PIMENTA, C.R.T.; OLIVEIRA, M.P. **Projeto geométrico de rodovias**. RiMa Editora, São Carlos, 2001.

PONTES FILHO, G. **ESTRADAS DE RODAGEM PROJETO GEOMETRICO**. São Carlos: Universidade de São Paulo, 1998.

SANTANA JR, Jesuino. NATURATINS, 2017. Disponível em: <<https://naturatins.to.gov.br/noticia/2017/11/13/atrativos-do-jalapao-registram-aumento-superior-a-100-em-numero-de-visitacao-de-turistas//>>. Acesso em: 03 jan. 2019.

SEINF. Disponível em: <<https://www.seinf.to.gov.br/menu-lateral/rodovias/sistema-rodoviario-estadual/>>. Acesso em: 05 jan. 2019.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ. **Projeto geométrico de rodovias**. Paraná, 2009.