



# **CENTRO UNIVERSITÁRIO LUTERANO DE PALMAS**

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

Melina Amaral Brito

ESTUDO DE TRAÇADO PARA ELABORAÇÃO DE PROJETO GEOMÉTRICO DA  
RODOVIA TO-239 (PRESIDENTE KENNEDY-TO A ITAPORÃ-TO)

Palmas - TO  
2017

Melina Amaral Brito

ESTUDO DE TRAÇADO PARA ELABORAÇÃO DE PROJETO GEOMÉTRICO DA  
RODOVIA TO-239 (PRESIDENTE KENNEDY-TO A ITAPORÃ-TO)

Projeto de pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas.

Palmas– TO  
2017

Melina Amaral Brito

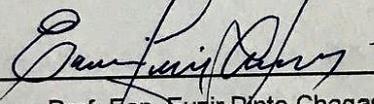
**ESTUDO DE TRAÇADO PARA ELABORAÇÃO DE PROJETO GEOMÉTRICO DA  
RODOVIA TO 239 (PRESIDENTE KENNEDY-TO A ITAPORÃ-TO)**

Projeto de pesquisa elaborado e apresentado como requisito parcial para aprovação na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II (TCC II) em Engenharia Civil pelo Centro Universitário Luterano de Palmas (CEULP/ULBRA).

Orientador: Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas

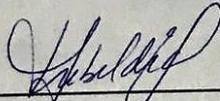
Aprovada em: 16 de maio de 2017.

**BANCA EXAMINADORA**



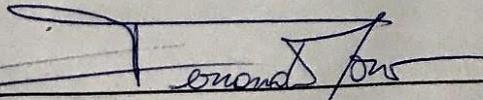
Prof. Esp. Euzir Pinto Chagas

Centro Universitário Luterano de Palmas



Profª. Msc. Elizabeth Hernández Zubeldia

Centro Universitário Luterano de Palmas



Prof. Esp. Fernando Moreno Júnior

Centro Universitário Luterano de Palmas

**Palmas – TO**

**2017**

A Deus que em todos os momentos de nossas vidas está presente, guiando-nos com sua luz divina, pelos benefícios que nos tem concedido, indignos seria se os atribuíssemos ao acaso dos acontecimentos ou apenas aos nossos próprios esforços. Mais importante que o lugar que ocupas em nós é a intensidade de sua presença em que fazemos.

## AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, pois não vai muito longe o tempo em que aquela criança travessa lhes tirava o sono e o sossego. Parece que foi outro dia mesmo, quando me tomavam pela mão e me guiavam pelo caminho certo. E quero novamente tomar as suas mãos amigas entre as minhas, olhá-los bem nos olhos, e agradecer comovida por este lugar que conquistei.

Ainda aos meus pais e agora também aos meus amigos, porque me acompanharam em minha caminhada, respeitaram as minhas limitações, souberam afagar minha cabeça diante das incertezas, conviveram com as minhas ausências, obrigada.

Aos mestres, aqueles que me conheceram ainda leiga e cheia de vontade de aprender, e comigo compartilharam seus conhecimentos e amizade, não medindo esforços para que, além da ciência, pudesse descobrir que sou e sempre serei aprendiz. Àqueles que não souberam nos transmitir essas verdades, agradeço por ter me mostrado caminhos que não devo trilhar.

Aos colegas que compartilharam comigo os anos de estudo e experiências no cotidiano da vida acadêmica. E que mesmo agora, quando cada um de nós parte em busca do seu caminho, não se apaguem ou esmaçam os brilhos do companheirismo e do respeito mútuo.

“A construção de uma estrada deve ser tecnicamente possível, economicamente viável e socialmente abrangente”. PONTES FILHO, 1998

## RESUMO

BRITO, Melina Amaral. **Estudo de traçado para elaboração de Projeto Geométrico da Rodovia TO 239 (Presidente Kennedy-To A Itaporã-To)**. 2017. 99 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Curso de Engenharia Civil, Centro Universitário Luterano de Palmas, Palmas/TO, 2017.

O presente trabalho apresenta o projeto geométrico e de terraplenagem desenvolvido para rodovia de classe III, localizada em região de relevo ondulado. Os projetos apresentam metodologia indicada e atendem às normatizações em vigência. A base utilizada para o desenvolvimento dos projetos foram consultas ao Manual de Projeto Geométrico para Rodovias Rurais (DNER, Edição 1999). Foram adotados parâmetros indicados para rampas, raio de curvas, largura de pista e acostamento, distância de visibilidade, superelevação e superlargura. Os estudos buscam apresentar a melhor geometria para a rodovia de classe III em região de relevo ondulado que atendam os aspectos de segurança dos usuários, a viabilidade econômica e conforto. O projeto geométrico é o componente primordial do projeto de rodovias que observam as distintas características geométricas do traçado em atribuição das leis do movimento, do comportamento dos motoristas, das características de operação dos veículos e do tráfego, de modo proporcionar uma rodovia segura, confortável, eficiente, com o custo mais viável possível. A abertura de uma nova rodovia possibilita o escoamento da produção, a circulação de cargas e passageiros.

**Palavras-chave:** Projeto Geométrico e Terraplenagem. Projeto de Rodovia Classe III, Região de relevo ondulado.

## ABSTRACT

BRITO, Melina Amaral (2017). **Trace study for the elaboration of the Geometric Project of Highway TO-239 (President Kennedy-TO a Itaporã-TO)** 2017. **99 f.** Course Completion Work - Civil Engineering Course, Lutheran University Center of Palmas, Palmas / TO.

The present work presents the earthmoving and geometric project developed for class III highway, located in region of corrugated relief. The projects present an indicated methodology and comply with current regulations. The base used for the development of the projects were consultations to the Manual of Geometric Projects for Rural Routes DNIT, Edition 1999. Parameters indicated for ramps, radius of curves, track width and shoulder, distance of visibility, super elevation and super width were adopted. The studies seek to present the best geometry for the class III highway in a region of corrugated relief that meet the safety aspects of users, economic viability and comfort. The geometric project is the primary component of the road project that observes the different geometric characteristics of the route in attribution of the laws of movement, the behavior of the drivers, the characteristics of operation of the vehicles and the traffic, so as to provide a safe, efficient, at the most feasible cost. The opening of a new highway makes possible the flow of production, the movement of cargo and passengers.

**Keywords:** Geometric Project and Earthworks. Highway Project Class III, Region of corrugated relief.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Diretrizes de uma estrada.....	24
Figura 2 - Elementos geométricos de uma estrada .....	29
Figura 3 - Eixo de estrada de rodagem.....	30
Figura 4 - Concordância horizontais compostas.....	31
Figura 5 - Geometria da curva circular .....	32
Figura 6 - Curva de concordância horizontal composta com transição simétrica.....	35
Figura 7 - Problema de invasão de faixa adjacente nas curvas simples .....	36
Figura 8 - Perfil de uma estrada.....	42
Figura 9 - Parábolas de 2° grau simples .....	42
Figura 10 - Parábolas de 2° grau composta .....	43
Figura 11 - Esquema de cálculo das cotas e flechas da parábola .....	43
Figura 12 - Comprimento mínimo de curvas convexas caso 1 .....	46
Figura 13 - Comprimento mínimo para curvas convexas caso 2 .....	47
Figura 14 - Distância de visibilidade de parada .....	48
Figura 15 - Esquema de ultrapassagem.....	49
Figura 16 - Comprimento da curva côncava caso 1 .....	50
Figura 17 - Comprimento da curva côncava caso 2 .....	51
Figura 18 - Perfil longitudinal e diagrama de massas .....	57
Figura 19 - Mapa de localização da área .....	58
Figura 20 - Imagem da localização da área .....	59
Figura 21- Topografia preliminar.....	61
Figura 22 - Perfil longitudinal do leito natural.....	61
Figura 23 – Ponto inicial do leito natural .....	62
Figura 24 - Ponto final do leito natural .....	63
Figura 25 – Ponto inicial do traçado proposto .....	63
Figura 26- Ponto final do traçado proposto .....	64
Figura 27 - Traçado horizontal 1° alternativa.....	65
Figura 28 - Perfil longitudinal da 1° alternativa .....	65
Figura 29 - Traçado horizontal 2° alternativa.....	66
Figura 30 - Perfil longitudinal da 2° alternativa .....	66
Figura 31 - Traçado horizontal 3° alternativa.....	67
Figura 32 - Perfil longitudinal da 3° alternativa .....	67
Figura 33 - Alternativas de traçados .....	68

Figura 34 – 1ª curva horizontal.....	70
Figura 35 - Perfil de distribuição da superelevação .....	72
Figura 36 – 6ª curva horizontal.....	72
Figura 37 - Perfil transversal da rodovia .....	74
Figura 38– Perfil transversal da rodovia com superelevação e superlargura .....	74
Figura 39 – 2º curva vertical .....	76
Figura 40 – 1º curva vertical .....	78
Figura 41 – Traçado horizontal.....	81

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tipos de modais.....	22
Tabela 2 - Classes de projeto.....	27
Tabela 3 - Locação de curvas circulares simples .....	34
Tabela 4 - Valores mínimos de raios sem uso de curvas de transição.....	37
Tabela 5 - Locação de curva de transição.....	38
Tabela 6 - Valores máximo admissíveis do coeficiente de atrito transversal f .....	39
Tabela 7 - Valores de R que dispensam superelevação.....	39
Tabela 8 - Inclinações máximas de superelevação admissíveis $e_{máx}$ .....	39
Tabela 9 - Valores de superlargura para projeto (m).....	41
Tabela 10 - Rampas máximas para estradas de rodagem - % .....	45
Tabela 11 - Coeficiente de atrito longitudinal pneu / pavimento ( $V_{diretriz}$ ).....	48
Tabela 12 - Coeficiente de atrito longitudinal pneu/pavimento ( $V_{média}$ ).....	49
Tabela 13 - Distância de visibilidade de ultrapassagem.....	50
Tabela 14 - Nota de serviço de terraplenagem .....	53
Tabela 15 - Cálculo de Volumes e Ordenadas de Brückner.....	55
Tabela 16 - Comparativo dos traçados .....	68
Tabela 17 – Tabela de coordenadas.....	80
Tabela 18 - Comprimento dos raios .....	82
Tabela 19 – Relação de curvas horizontais .....	83
Tabela 20 – Resumo dos elementos da curva horizontais .....	83
Tabela 21 – Resumo dos elementos das curvas verticais .....	84
Tabela 22 – Inclinações das rampas .....	85
Tabela 23 – Comprimento do “taper” nas terceiras faixas .....	86
Tabela 24 – Resumo dos elementos de curvas verticais.....	88
Tabela 25 – Resumo nota de serviço de terraplenagem .....	89
Tabela 26 – Resumo de volumes acumulados.....	90

## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1 - Tangente externa .....	32
Equação 2 - Afastamento da flecha .....	33
Equação 3 - Desenvolvimento da curva .....	33
Equação 4 - Ponto de curva ou ponto de concordância horizontal.....	33
Equação 5 - Ponto de tangente .....	33
Equação 6 - Grau da corda .....	33
Equação 7 - Grau da corda de 20m .....	33
Equação 8 - Primeira deflexão sucessiva .....	34
Equação 9 - Última deflexão sucessiva .....	34
Equação 10 - Demais deflexões.....	34
Equação 11 - Comprimento mínimo de transição .....	37
Equação 12 - Comprimento máximo de transição.....	37
Equação 13 - Comprimento adotado .....	37
Equação 14 - Ângulo de transição (em radianos).....	37
Equação 15 - Abscissa dos pontos SC e CS .....	37
Equação 16 - Ordenada dos pontos SC e CS.....	37
Equação 17 - Ângulo central do trecho circular .....	37
Equação 18 - Desenvolvimento do trecho circular.....	37
Equação 19 - Abscissa do centro O' .....	37
Equação 20 - Afastamento da curva circular.....	37
Equação 21 - Tangente total .....	38
Equação 22 - Ângulo de transição .....	38
Equação 23 - Abscissa de um ponto genérico A .....	38
Equação 24 - Ordenada de um ponto genérico A.....	38
Equação 25 - Ângulo de deflexão.....	38
Equação 26 - Raio mínimo .....	40
Equação 27 - Superelevação adotada .....	40
Equação 28 - Variação da declividade do greide .....	43
Equação 29 - Cálculo da flecha da parábola de 2° grau simples.....	44
Equação 30 - Cálculo da flecha máxima da parábola de 2° grau simples.....	44
Equação 31 - Cálculo da flecha máxima da parábola de 2° grau composta.....	44
Equação 32 - Cálculo da flecha 1 da parábola de 2° grau composta.....	44
Equação 33 - Cálculo da flecha 2 da parábola de 2° grau composta.....	44
Equação 34 - Cotas dos pontos PCV e PTV.....	45

Equação 35 - Comprimento mínimo máximo .....	45
Equação 36 - Comprimento mínimo de curva convexa caso 1 .....	46
Equação 37 - Comprimento mínimo para curvas convexas caso 2 .....	47
Equação 38 - Distância de frenagem .....	48
Equação 39 - Comprimento da curva côncava caso 1 .....	50
Equação 40 - Comprimento da curva côncava caso 2 .....	51
Equação 41 - Para curvas convexas.....	52
Equação 42 - Para curvas côncavas .....	52
Equação 43 - Momento de transporte.....	56

## LISTA DE ABREVIATURA E SIGLAS

AASHTO .....	American Association of State Highway and Transportation Officials
CNT .....	Confederação Nacional de Transporte
DERTINS.....	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Tocantins
DNER.....	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT.....	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
HCM.....	Highway Capacity Manual
IBGE.....	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
SIG.....	Sistemas de Informação Geográfica
SRTM.....	Shuttle Radar Topography Mission
VMD.....	Volume Médio Diário

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	18
1.1	OBJETIVOS .....	19
1.1.1	Objetivo Geral .....	19
1.1.2	Objetivos Específicos .....	19
1.2	JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO .....	20
1.3	PROBLEMA DE PESQUISA .....	21
2	REFERENCIAL TEÓRICO .....	22
2.1	ESTUDOS NECESSÁRIOS PARA A ELABORAÇÃO DE UMA ESTRADA .....	23
2.2	ESTUDO DE TRAÇADO DE UMA ESTRADA .....	24
2.2.1	Fatores que influenciam na escolha do traçado .....	25
2.3	ELABORAÇÃO DO PROJETO-GEOMÉTRICO DE UMA ESTRADA .....	25
2.3.1	Classificação de rodovias .....	26
2.3.2	Velocidade do projeto .....	27
2.3.3	Veículos do projeto .....	28
2.4	ELEMENTOS DE PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS .....	29
2.4.1	Elementos planimétricos de uma rodovia .....	30
2.4.2	Tangente .....	30
2.4.3	Curvas horizontais .....	31
2.4.3.1	Curvas horizontais circulares sem transição .....	32
2.4.3.2	Curvas horizontais circulares com transição .....	34
2.4.3.3	Superelevação 38	
2.4.4	Raio mínimo de curva horizontal .....	40
2.4.5	Superlargura .....	40
2.5	CURVAS VERTICAIS .....	41
2.5.1	Comprimento de curvas verticais .....	45
2.5.1.1	Comprimento mínimo .....	45
2.5.1.2	Rampas máximas e mínimas .....	45
2.5.2	Comprimento mínimo de curvas convexas .....	46
2.6	DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE .....	47
2.6.1	Distância de visibilidade de parada .....	47
2.6.2	Distância de visibilidade de ultrapassagem .....	49
2.7	PARÂMETROS .....	50
2.7.1	Comprimento mínimo de curvas côncavas .....	50
2.7.2	Parâmetro da parábola (K) .....	51

2.8 SOFTWARE AUTOCAD CIVIL 3D .....	52
2.9 NOTA DE SERVIÇO DE TERRAPLENAGEM.....	53
2.9.1 Cálculo do volume de terraplenagem de uma estrada.....	53
2.9.1.1 Jazidas de caixas de empréstimos .....	53
2.9.1.2 Bota-fora, aterros não servíveis a curto prazo.....	54
2.9.2 Cálculo das áreas das seções transversais .....	55
2.9.3 Diagrama de Brückner o cálculo de volumes .....	55
2.9.4 Momento de transporte .....	56
3 METODOLOGIA.....	58
3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA PARA O TRAÇADO DO PROJETO.....	58
3.2 RECONHECIMENTO DO TRAÇADO .....	59
3.2.1 Fases de reconhecimento.....	59
3.2.2 Coleta de dados sobre a região.....	59
3.2.3 Observação do terreno.....	62
3.2.4 Características topográficas .....	64
3.3 TRAÇADO HORIZONTAL GEOMÉTRICO .....	64
3.3.1 Escolha do traçado .....	64
3.3.1.1 Primeira alternativa de traçado.....	65
3.3.1.2 Segunda alternativa de traçado.....	66
3.3.1.3 Terceira alternativa de traçado .....	67
3.3.2 Procedimentos de cálculo.....	69
3.3.2.1 Cálculos das curvas horizontais .....	70
3.3.2.1.1 Estaqueamento da primeira curva .....	71
3.3.2.1.2 Locação da curva circular simples .....	71
3.3.2.1.3 Superelevação da primeira curva.....	71
3.3.2.1.4 Superlargura da primeira curva .....	72
3.3.2.1.5 Superelevação da sexta curva.....	74
3.3.2.1.6 Superlargura da sexta curva.....	74
3.3.2.1.7 Locação da sexta curva.....	75
3.3.2.1.8 Estaqueamento da sexta curva circular com transição .....	75
3.3.2.2 Cálculo das curvas verticais .....	76
3.3.2.2.1 Locação da curva simétrica .....	77
3.3.3 Desenvolvimento do projeto .....	79
4 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS.....	80
4.1 DEFINIÇÃO DO TRAÇADO.....	80
4.2 CLASSIFICAÇÃO DA RODOVIA .....	81

4.3 VELOCIDADE DA RODOVIA.....	81
4.4 VEÍCULOS DO PROJETO .....	81
4.5 RAIOS MÍNIMOS DA CURVA HORIZONTAL.....	82
4.5.1 Definição dos raios.....	82
4.6 CÁLCULO DAS CURVAS HORIZONTAIS.....	82
4.6.1 Resumo dos elementos da curva circular .....	83
4.7 CÁLCULO DAS CURVAS VERTICAIS.....	84
4.7.1 Comprimento das curvas verticais .....	84
4.7.2 Comprimento mínimo .....	84
4.7.3 Determinação das rampas máximas e mínimas .....	85
4.7.4 Largura .....	86
4.7.5 Declividade transversal .....	86
4.7.6 “Tapers” .....	86
4.7.7 Comprimento das curvas verticais .....	87
4.8 NOTA DE SERVIÇO .....	88
4.9 DIAGRAMA DE BRUCKNER .....	90
5 CONCLUSÃO .....	93
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	94

## **1 INTRODUÇÃO**

O transporte rodoviário no Brasil é o principal modal do país e conta com uma rede de 1.603.031 quilômetros de estradas e rodovias nacionais, sendo a quarta maior do mundo, por onde passam 61% de todas as cargas movimentadas no território brasileiro (COLAVITE & KONISHI, 2015).

O sistema rodoviário é o principal meio de transporte de cargas e passageiros no tráfego do país. A importância desse tipo de transporte se dá desde o início da república, quando os governos começaram a priorizar o transporte rodoviário, em detrimento ao transporte ferroviário e fluvial.

A medida que o desenvolvimento surge na região, torna-se necessário melhorar os meios de locomoção, evidentemente construindo uma rodovia para suprir tal demanda, sendo uma das funções básicas dos governos federal, estadual e municipal, atender as necessidades da população (SENÇO, 2008).

Os critérios para o projeto de rodovia 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 dos motoristas, reações humanas, capacidade das estradas, entre outras. A construção de uma estrada deve ser tecnicamente possível, economicamente viável e socialmente abrangente (PONTES FILHO, 1998).

Dessa forma, o projeto deverá estabelecer uma nova rota para o desenvolvimento da região norte do Tocantins. Portanto este estudo visa dar solução para a pavimentação asfáltica da rodovia TO-239 facilitando o deslocamento dos usuários, acelerando o desenvolvimento econômico nas áreas de mineração, pecuária intensiva e agricultura, reduzindo as externalidades e satisfazendo às necessidades relacionadas ao transporte naquela região.

## **1.1 OBJETIVOS**

### **1.1.1 Objetivo Geral**

O objetivo geral deste estudo é a elaboração de Estudo de Novo Traçado para o Projeto Geométrico da Rodovia Estadual TO-239, na extensão de 31 km, que liga a cidade de Presidente Kennedy-TO a Itaporã do Tocantins-TO.

### **1.1.2 Objetivos Específicos**

Para facilitar e atingir o objetivo geral do trabalho os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

- Elaborar um estudo topográfico com o auxílio de cartas topográficas;
- Propor um estudo de traçado;
- Propor melhorias para o traçado já existente, se necessário;
- Elaborar o projeto geométrico;

## 1.2 JUSTIFICATIVA E IMPORTÂNCIA DO TRABALHO

O trecho da rodovia TO-239 que liga as cidades de Presidente Kennedy-TO e Itaporã do Tocantins-TO, possui aproximadamente 31 km e de acordo com o último Censo do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) 454 famílias vivem na zona rural entre essas duas cidades. Tendo em vista a importância da rodovia para a região, considerando que um estudo de viabilidade técnica-econômica e ambiental resultasse em ótimo custo x benefício, considerando ainda a agropecuária dominante, verificou-se a necessidade de pavimentação asfáltica, sendo a infraestrutura viária necessária para o transporte e locomoção da população bem como escoamento da produção pecuária e agrícola local.

Sem a pavimentação, o referido trecho compromete significativamente a segurança da população que faz uso da mesma além de dificultar o deslocamento trazendo prejuízos materiais e desconforto.

O tráfego em condições seguras na estrada em questão irá proporcionar melhorias de acesso a centenas de tocantinenses, ligando rapidamente os municípios beneficiados às principais cidades do estado por tratar-se de uma importante rodovia de função estruturante ligada diretamente a BR-153, cortando uma região do estado em acelerado desenvolvimento econômico nas áreas de mineração, pecuária intensiva e agricultura. O movimento de cargas será principalmente com granéis minerais e agrícolas, combustíveis, fertilizantes dentre outros. A rodovia proporcionará a redução dos custos de transporte via o aumento da qualidade de serviço da malha rodoviária.

A sociedade de modo geral será beneficiada com a redução dos custos operacionais e do tempo de viagem. Irá usufruir ainda do aumento do conforto e de uma provável redução do número de acidentes. Considerando a grande deficiência de rodovias pavimentadas nos sentidos Leste-Oeste, principalmente nas regiões centrais do país, a TO-239, ao ser implantada e pavimentada nos padrões do Departamento de Estradas de Rodagem do Estado do Tocantins (DERTINS) e do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT), representará uma importante artéria de escoamento das produções acima mencionadas, transformando-se em um importante veículo de acesso ao progresso e ao desenvolvimento socioeconômico das regiões central do estado do Tocantins.

### **1.3 PROBLEMA DE PESQUISA**

Quais medidas a serem tomadas no Projeto Geométrico para a implantação da rodovia TO-239, a fim de reduzir às perdas materiais e humanas, eventualmente atribuídas as más condições da via?

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A necessidade de movimentação de um local a outro é designada por transporte, dos quais são determinados pelo ato ou efeito de transporte ou de transportar-se (no caso de pessoas), e também, a logística responsável pelo deslocamento de cargas em geral, através de vários modais existentes, ao longo da cadeia de abastecimento. O transporte é realizado por modais conforme detalhado na tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Tipos de modais

<b>MODAL</b>	<b>MEIO DE TRANSPORTE</b>
Rodoviário	Terrestre por vias de acesso.
Aquaviário	Hidroviário por mar, rios e lagos.
Ferrovário	Sobre a superfície de ferro.
Aéreo	Por voos aéreos realizado por aeronaves.
Dutoviário	Tubulação para transporte de produtos a granel.

Fonte: SENÇO, (2008).

O modal rodoviário no Brasil é muito influente, pois se estabelece por vias de acesso (estradas e rodovias). Sendo necessária vias de acesso que possibilitem trafegar para realizar os trabalhos mencionados e que possam garantir segurança aos usuários e veículos.

A solicitação do tráfego exige que as vias de acesso tenham desenho ou traçado de percurso que consiga atender a otimização do tempo de transporte.

Compreende-se por projeto geométrico de uma estrada, o processo de correlacionar os seus elementos físicos com as características de operação, aceleração, conforto, frenagem, condições de segurança e tempo de viagem as pessoas e cargas de materiais e bens de consumo.

A elaboração do projeto geométrico comporta uma série de operações que consistem nas seguintes fases: Reconhecimento, Exploração e Projeto.

PONTES FILHO (1998), entende que o reconhecimento é a fase da escolha do traçado de uma estrada e 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; a exploração consiste no levantamento topográfico de uma faixa limitada do terreno, dentro do qual seja possível projetar o eixo da estrada.

Durante a fase de exploração, são desenvolvidos outros estudos, além dos topográficos. Estes estudos possibilitam a elaboração dos anteprojetos de terraplenagem, da pavimentação, geométrico, etc.; o projeto é a fase de detalhamento do anteprojeto, ou seja, o cálculo de todos os elementos necessários à perfeita definição do projeto em planta, perfil longitudinal e seções transversais.

## 2.1 ESTUDOS NECESSÁRIOS PARA A ELABORAÇÃO DE UMA ESTRADA

Para a construção de uma estrada faz-se necessário à realização de estudos de planejamento de transportes, tendo por objetivo verificar o grau de desempenho do sistema rodoviário existente para, assim, estabelecer prioridades de ligação com elevada consideração às demandas de tráfego detectadas.

A definição da oportunidade de construir uma determinada estrada, em uma determinada época, deve começar por um planejamento dos transportes em geral que, analisando as necessidades e características regionais, defina os meios de transportes a serem utilizados para atender convenientemente a essas necessidades (PIMENTA & OLIVEIRA, 2001).

PONTES FILHO (1998) define que as principais atividades para elaboração de um projeto rodoviário que devem ser realizados são:

- Estudos de tráfego;
- Estudos geológicos e geotécnicos;
- Estudos hidrológicos;
- Estudos topográficos;
- Projeto geométrico;
- Projeto de obras de terra;
- Projeto de terraplenagem;
- Projeto de pavimentação;
- Projeto de drenagem;
- Projeto de obras de arte corrente e especiais;
- Projeto de viabilidade econômica;
- Projeto de desapropriação;
- Projetos de interseções, retornos e acessos;
- Projeto de sinalização;
- Projeto de elemento de segurança;
- Orçamento da obra e plano de execução;
- Relatório de impacto ambiental.

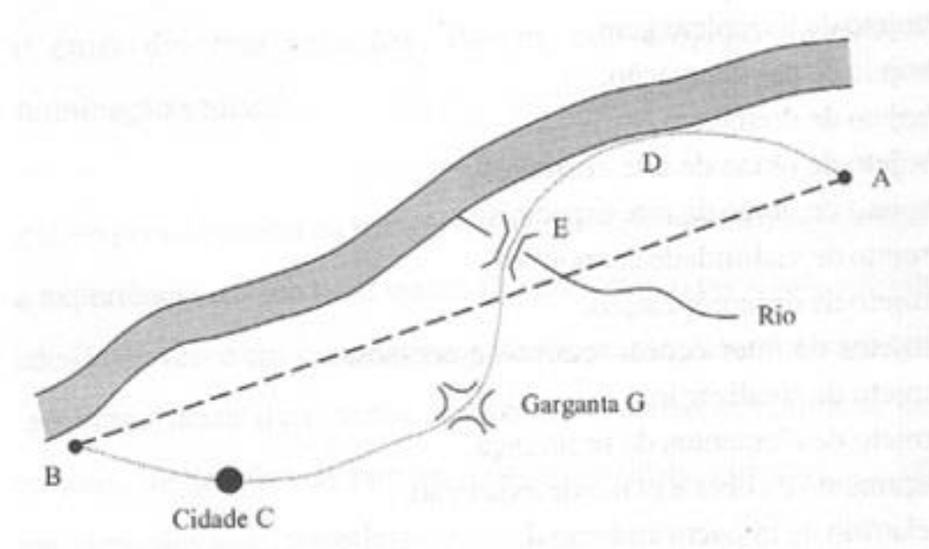
A construção de uma rodovia admite, deste modo, uma série de operações, desde os inícios dos trabalhos na elaboração do anteprojeto de engenharia até a abertura ao tráfego (AMORIM, 2005).

Assim, um bom projeto deve atender às necessidades de tráfego, respeitar as características técnicas de um bom traçado e de um bom perfil, estar em harmonia com a região que atravessa e, na medida do possível, ter um baixo custo (PIMENTA & OLIVEIRA, 2001).

## 2.2 ESTUDO DE TRAÇADO DE UMA ESTRADA

A necessidade da ligação entre dois pontos gera o problema da escolha do traçado de uma estrada. Considera-se a ligação de dois pontos A e B de uma determinada região, conforme na figura 1.

Figura 1 - Diretrizes de uma estrada



Fonte PONTES FILHO, 1998.

A linha reta que une esses dois pontos nem sempre é recomendada, por razões de segurança. Mesmo que a topografia permita, traçados com longos trechos retos devem ser evitados, pois a monotonia da estrada gera sonolência e desatenção dos motoristas (PIMENTA & OLIVEIRA, 2001).

A finalidade do Estudo de Traçado é garantir melhoria física e operacional ao segmento de travessia urbana com disciplinamento do tráfego por meio de adequação geométrica, proporcionando melhor fluidez, segurança e conforto ao usuário, tanto do tráfego de passagem quanto o tráfego local (DNIT, 2006).

Para PONTES FILHO (1998), o traçado da rodovia em planta é o alinhamento horizontal, sendo constituído por trechos retos, também nominados tangentes, e por curvas de concordância horizontais. Já o traçado da rodovia em perfil, é o alinhamento vertical que é composto por trechos retos, também nominados de greides, e trechos em curvas de

concordância verticais. A seção transversal é formada por elementos essenciais como largura de faixa, largura de acostamento, sarjetas, canteiro central, entre outros fatores determinantes.

### 2.2.1 Fatores que influenciam na escolha do traçado

São vários os fatores que interferem na definição do traçado de uma estrada. Dentre eles, destacam-se:

- A topografia da região;
- As condições geológicas e geotécnicas do terreno;
- A hidrologia e a hidrografia da região;
- A presença de benfeitorias ao longo da faixa de domínio da estrada.

De acordo com PIMENTA & OLIVEIRA (2001) na escolha do local por onde passará a estrada, todos os fatores que possam influir no custo ou nas características do projeto deverão ser avaliados e balanceados para que se possa conseguir um local adequado à construção de uma estrada de boas características técnicas de baixo custo na construção e manutenção.

A topografia é o fator predominante para a escolha da localização da estrada. O estudo topográfico é primordial, para a escolha do melhor traçado, desviando de regiões montanhosas, rochosas, alagadiças e etc. A geometria de uma rodovia é definida pelo traçado do seu eixo em planta e pelos perfis longitudinais e transversais (COSTA & FIGUEIREDO, 2007).

O estudo topográfico na fase preliminar tem como objetivo agrupar modelos topográficos digitais do terreno, e também, se necessários para a identificação das alternativas de traçado. Estes modelos topográficos do terreno geralmente podem ser obtidos por processo de reconhecimento por aerofotografia, cartografia e fotos terrestres.

## 2.3 ELABORAÇÃO DO PROJETO-GEOMÉTRICO DE UMA ESTRADA

Citando *Highway Capacity Manual* (HCM, 2010), as características geométricas da rodovia determinam a sua capacidade e refletem em fatores determinantes. A geometria da rodovia é escolhida a partir de suas características espaciais, incluindo greides, quantidade e largura das faixas, acostamentos e curvas, entre outros. Esses elementos compõem as características básicas do projeto geométrico, tais como: alinhamento horizontal, alinhamento vertical e seção transversal.

O Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte (DNIT, 2010) afirma que as características geométricas do projeto comprometem as condições de segurança rodoviária nos aspectos relacionados à habilidade do motorista em manter o controle do veículo, de identificar situações e características perigosas, da existência de oportunidades de conflitos tanto em

relação à quantidade quanto ao tipo do comportamento e atenção dos condutores. Portanto, a implantação de projetos geométricos impróprios como consequência, resultam em acidentes (segurança), limitações da capacidade de tráfego da rodovia e no aumento dos custos operacionais (manutenção futura).

PIMENTA & OLIVEIRA (2001) diz que o projeto geométrico de rodovia é fundamental para desenvolver parâmetros de velocidade operacional do percurso, rampas e curvas horizontais e verticais do trecho, proporcionando o conforto e garantia de segurança aos condutores.

O transporte rodoviário é o principal responsável pela grande parte de transporte de pessoas, bens e mercadorias, e por isso necessita de elaboração contínua de novas estradas.

A Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2014) aconselha, no caso de rodovias construídas em terrenos com ondulações e/ou montanhosos, a implantação de faixas adicionais de subida, para conceder a ultrapassagem de veículos, por isso é possível aumentar a capacidade da rodovia e, portanto, minimizar o número de acidentes.

### 2.3.1 Classificação de rodovias

As rodovias são classificadas de acordo com a posição geográfica e administrativa, alinhando-se as características físicas e condições técnicas segundo o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem (DNER, 1999).

Para COSTA (2014, p.11), podemos classificar as rodovias em classes descritas a seguir:

- Classe 0 - (via expressa): rodovia do mais elevado padrão técnico, com controle total de acesso. A seleção dessa classe será por decisão administrativa dos órgãos competentes;
- Classe I: as rodovias desta classe são divididas em classe IA e classe IB. A rodovia da classe IA possui pista dupla e controle parcial de acesso, a sua necessidade ocorre quando o volume de tráfego se elevar numa simples pista. Já as rodovias da classe IB possuem pistas simples qualificadas por rodovias de alto padrão, suportando volumes de tráfego, conforme projetados para 10 anos após a abertura ao tráfego, com Volume Médio Diário (VMD),  $VMD > 1400$  veículos, operando em duas direções;
- Classe II: rodovia de pista simples, suportando volumes de tráfego em 10 anos compreendidos entre os seguintes limites:  $1400 > VMD \geq 700$  veículos, operando em duas direções;

- Classe III: rodovia de pista simples, suportando volumes de tráfego em 10 anos compreendidos entre os seguintes limites:  $700 > VMD \geq 300$  veículos, operando em duas direções;
- Classe IV: rodovia de pista simples, as quais podem ser subdivididas em rodovias de classe IVA (veículos, operando em duas direções) e rodovias de classe IVB ( $VMD < 50$  veículos, operando em duas direções).

### 2.3.2 Velocidade do projeto

A velocidade de projeto é a velocidade determinada para fins de projeto da via e que relaciona as principais características da mesma, tais como distâncias de visibilidade, raios de curvatura e superelevação, das quais depende a operação segura e confortável dos veículos. A velocidade de projeto de um determinado segmento de estrada deve estar coerente com a topográfica da região e a classe da rodovia (EDIVALDO LINS, 2011).

Na elaboração dos projetos de estradas, o elemento que definirá as demais condições técnicas é a velocidade de diretriz, ou seja, a velocidade básica para o cálculo dos elementos de projeto (SENÇO, 2008).

A *American Association of State Highway and Transportation Officials AASHTO* (2001) define velocidade de projeto ou velocidade diretriz, como a máxima velocidade que um veículo consegue permanecer em um trecho com condições normais, segurança e conforto.

De acordo com a classe de projeto constante na tabela 2, é possível identificar as características, critérios de classificação técnica, assim como a velocidade de projeto em km/h por características de região (DNER, 1999).

Tabela 2 - Classes de projeto

CLASSES DE PROJETO	CARACTERÍSTICAS	CRITÉRIO DE CLASSIFICAÇÃO TÉCNICA *1	VELOCIDADE DE PROJETO (km/h)		
			Plano	Ondulado	Montanhoso
0	Via expressa (Controle total de acessório)	Decisão administrativa.	120	100	80
I	A Pista dupla (Controle parcial de acessórios)	O projeto em pista simples resultaria em níveis de serviço inferiores ao aceitável *2.	100	80	60
	B Pista simples	Volume de tráfego projetado: >200 vph ou > 1.400 vpd.			
II	Pista simples	Volume de tráfego projetado: 700 vpd a 1.400 vpd.	100	70	50
III	Pista simples	Volume de tráfego projetado: 300 vpd a 700 vpd.	80	60	40
IV	A Pista simples	Tráfego na data de abertura:	60	40	30

		50 vpd a 200 vpd.		
<b>B</b>	Pista simples	Tráfego na data de abertura: <50 vpd.		

OBSERVAÇÕES: \*<sup>1</sup> os volumes de tráfego indicados são bidirecionais e referem-se a veículos mistos; os volumes projetados são os previstos para o fim dos dez primeiros anos de operação da via. \*<sup>2</sup> Conceito e critérios para o Nível de Serviço: vide o “Highway Capacity manual” (TRB, 1994). Fonte: Dnit (2008).

O DNIT (2010) ressalta que a indicação da velocidade de projeto conveniente é um dos pontos iniciais do planejamento e desenvolvimento do projeto de rodovia. É interessante sua escolha porque quase todos os parâmetros de projeto e de operação da rodovia são influenciados pela velocidade.

Os motoristas tendem a aprovar um menor limite de velocidade, onde as adversidades das condições reais são claras. Aparecem exceções onde é dificultoso fornecer a geometria e condições marginais para a velocidade escolhida de projeto, para esses casos, deve ser adotado algum método para advertir os motoristas, como sinais de advertência e de velocidade permitida antes de curvas muito fechada (PIMENTA & OLIVEIRA, 2001).

### 2.3.3 Veículos do projeto

Entende-se de veículo de projeto o veículo relacionado a certa categoria, onde suas características operacionais e físicas abrangem maior porcentagem das características da maioria dos veículos encontrados nessa categoria. Essas características determinam vários aspectos do dimensionamento geométrico de uma estrada (EDIVALDO LINS, 2011).

Para SENÇO (2008) no projeto de rodovias, necessita-se levar em conta qual o tipo de veículo que a mesma vai suportar, esse veículo de projeto deve ter dimensões, peso e potência de motor compatível com as características geométricas da via.

Existem quatro grupos básicos de veículos a serem adotados conforme as características predominantes do tráfego, para a utilização dos projetos geométricos rodoviários no Brasil, normalmente utiliza-se o veículo do tipo CO (PONTES FILHO, 1998).

Ainda de acordo com PONTES FILHO (1998) os grupos em questão são classificados como:

- VP: Veículos de passeio leves, física e operacionalmente assimiláveis ao automóvel, incluindo utilitários, pick-ups, furgões e similares;
- CO: Veículos comerciais rígidos, compostos de unidade tratora simples. Incluem os caminhões e ônibus convencionais, habitualmente de 2 eixos e 6 rodas;

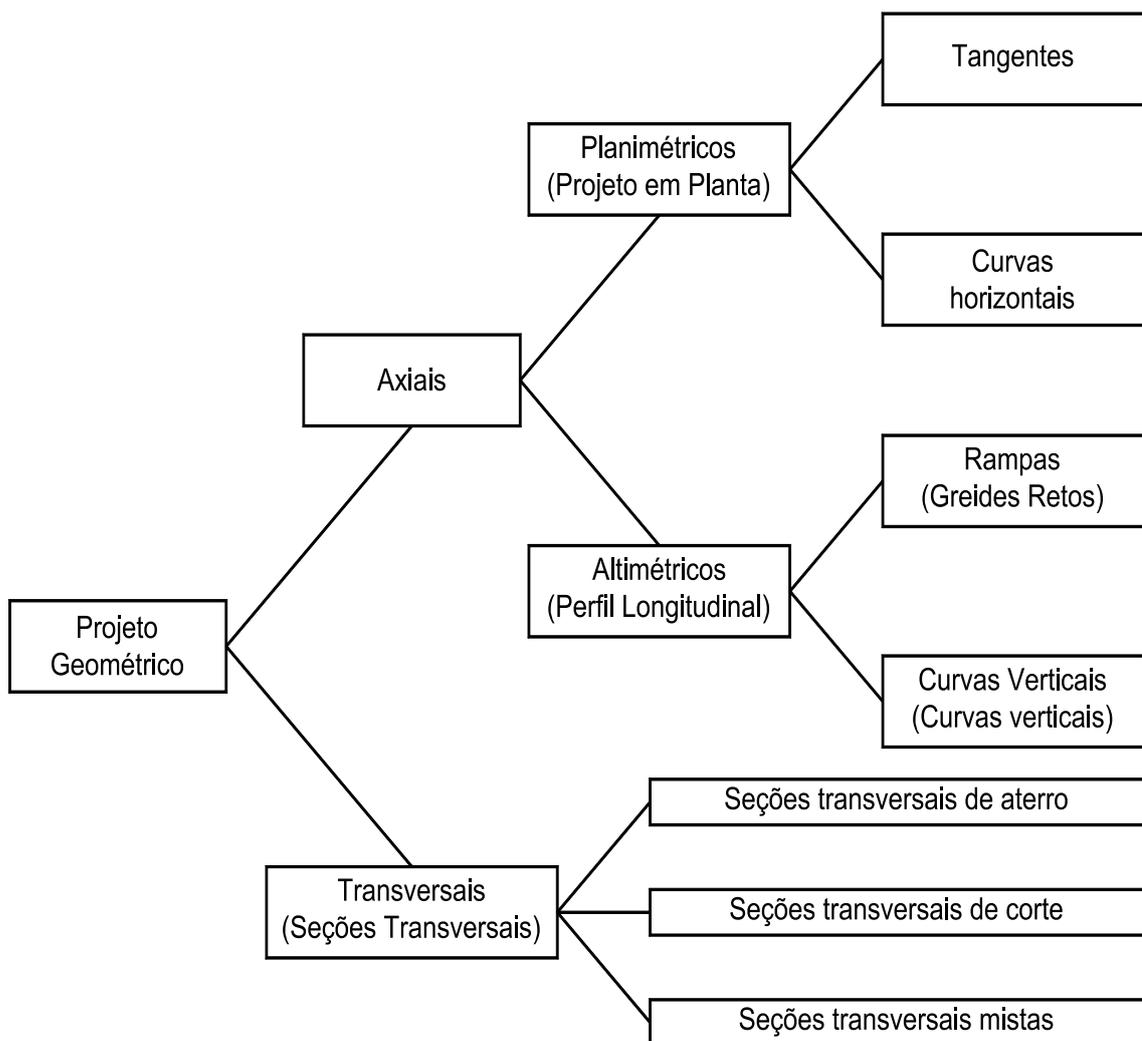
- SR: Veículo comercial articulado, composto normalmente de unidade tratora simples e semirreboque;
- O: Representa os veículos comerciais rígidos de maiores dimensões que o veículo CO básico, como ônibus de longo percurso e de turismo e caminhões longos.

## 2.4 ELEMENTOS DE PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS

A geometria de uma rodovia é estabelecida pelo traçado do seu eixo em planta, pelos perfis longitudinais e transversais.

A ilustração da figura 2 mostra o resumo dos principais elementos geométricos de uma rodovia (PONTES FILHO,1998).

Figura 2 - Elementos geométricos de uma estrada



Fonte: PONTES FILHO (1998).

### 2.4.1 Elementos planimétricos de uma rodovia

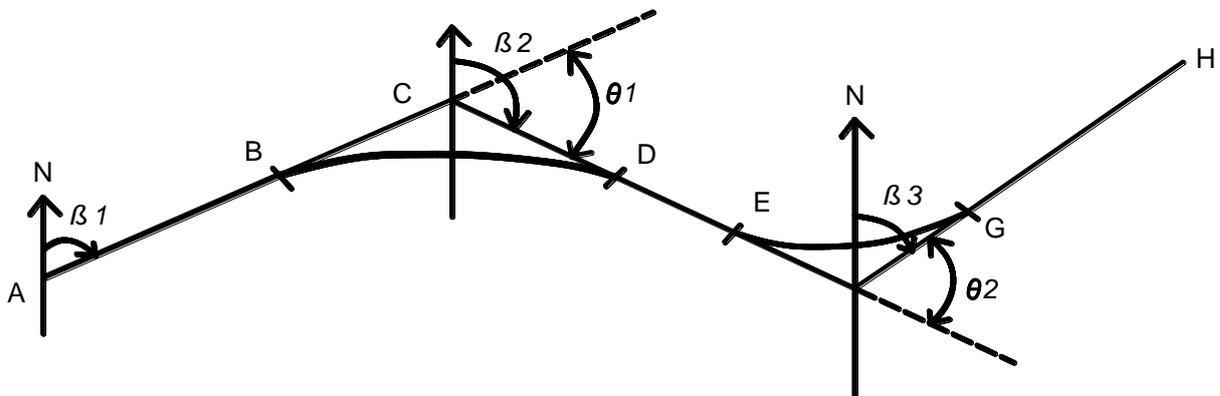
A apresentação de um projeto em planta consiste na disposição de uma série de alinhamentos retos, concordados pelas curvas de concordância horizontal (PONTES FILHO, 1998).

### 2.4.2 Tangente

De acordo com PONTES FILHO (1998), alinhamentos retos são trechos situados entre duas curvas de concordância. Por serem tangentes a essas mesmas curvas, são denominados simplesmente como tangentes. Logo, nos demais alinhamentos retos são classificados como tangentes externas. Um alinhamento caracteriza-se pela sua extensão e pela sua posição relativa a deflexão, ou seja, o ângulo que um alinhamento precedente faz com o precedente ou absoluta que refere-se ao azimute.

A figura 3 apresenta o eixo de um trecho de uma rodovia de rodagem:

Figura 3 - Eixo de estrada de rodagem



Fonte: COMASTRI e CARVALHO (1981).

Em que:  $\beta_1$ ,  $\beta_2$ ,  $\beta_3$  - São os azimutes dos alinhamentos.

AZIMUTE - É o ângulo que a direção faz com o norte magnético, medido no sentido horário.

$\theta_1$ ,  $\theta_2$  - São os ângulos de deflexão.

AB, DE, GH - São as Tangentes.

BC, CD, EF, FG - São as Tangentes Externas.

BD, EG - Desenvolvimento das curvas de concordância.

### 2.4.3 Curvas horizontais

As características geométricas de uma estrada são determinadas pelo traçado do seu eixo em planta e pelos perfis longitudinal e transversal, isto é, o traçado é composto de trechos retos concordados por curvas horizontais.

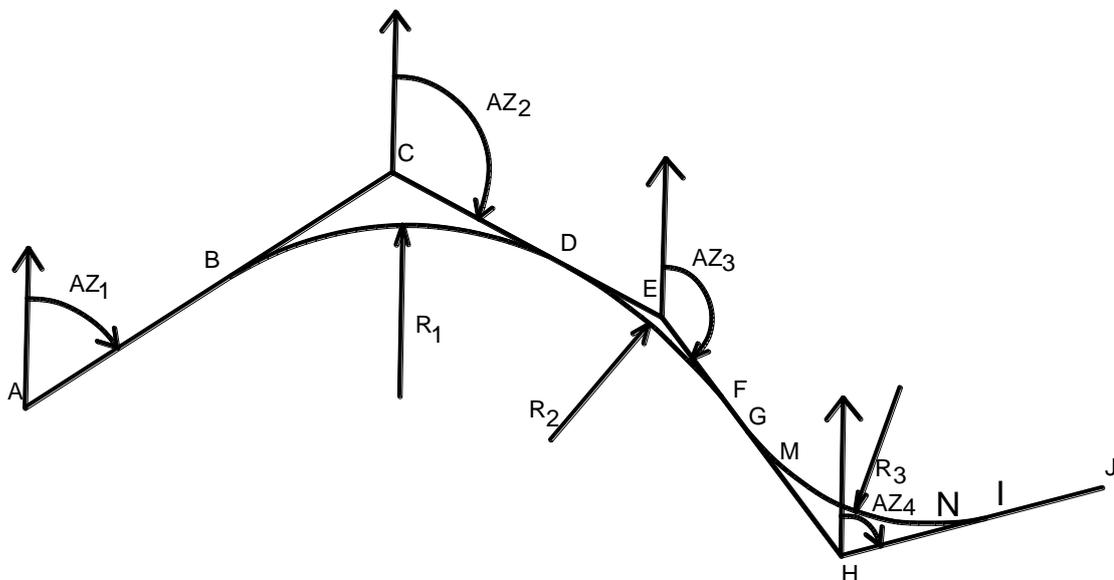
De acordo com PONTES FILHO (1998) as curvas de concordância horizontal podem ser classificadas em curvas simples e compostas, sem e com transição.

CARVALHO et al. (2013), caracteriza-as da seguinte forma:

- Simples: Curvas circulares, que concordam dois ou mais alinhamentos.
- Compostas: Subdividem-se em duas categorias:

Sem transição: quando se utilizam dois ou mais arcos de círculos de raios diferentes para concordar os alinhamentos retos, conforme se observa na figura 4. Os alinhamentos AC, CE e EH foram concordados com dois arcos de círculos de raios  $R_1$  e  $R_2$ . Com transição: quando se emprega um arco de círculo adequadamente concordando por dois ramos de uma espiral. Esses ramos da espiral podem ser simétricos ou assimétricos. Na figura 4, os alinhamentos EH e HJ foram concordados com dois arcos simétricos de uma espiral (GM e NI), intercalados por um arco de círculo de raio  $R_3$ .

Figura 4 - Concordância horizontais compostas



Fonte: CARVALHO, LIMA, et al, (2013).



Equação 2 - Afastamento da flecha

$$E = T * \tan\left(\frac{\Delta}{4}\right)$$

Equação 3 - Desenvolvimento da curva

$$D = \left(\frac{\pi * R * \Delta}{180^\circ}\right)$$

Onde:

D = desenvolvimento, em metros;

R = raio, em metros;

T = tangente, em metros;

$\Delta$  = ângulo de deflexão, em graus.

As estacas dos pontos PC e PT são determinadas pelas equações 4 e 5 (PONTES FILHO,1998).

Equação 4 - Ponto de curva ou ponto de concordância horizontal

$$E(PC) = E(PI) - [T]$$

Equação 5 - Ponto de tangente

$$E(PT) = E(PC) + [D]$$

PONTES FILHO (1998) determina as seguintes equações para o grau da corda.

Equação 6 - Grau da corda

$$G = \frac{180 * C}{\pi * R}$$

Para o DNIT, as cordas recomendadas de acordo com o raio são:

- Corda de 20m  $R \geq 180m$ ;
- Corda de 10m para  $65m \leq R < 180m$ ;
- Corda de 5m para  $25m < R \leq 65m$ ;
- Corda de 2m para  $R < 25m$ ;

Equação 7 - Grau da corda de 20m

$$G20 = \frac{1145,92}{R} = \text{°} \text{ ' } \text{ ''}$$

SANTOS (2007) complementa a etapa das curvas circulares com a deflexão sucessiva e a deflexão acumulativa, descrevendo-as da seguinte forma:

- Deflexão sucessiva: é deflexão que 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;

- Deflexão acumulativa: é a deflexão referida sempre em relação à tangente e apresentam valores acumulados das deflexões sucessivas.

A seguir, de acordo com PONTES FILHO (1998) as equações das deflexões sucessivas:

Equação 8 - Primeira deflexão sucessiva

$$ds_1 = (20 - a) * \frac{G}{2c}$$

Equação 9 - Última deflexão sucessiva

$$ds_{pt} = b * \frac{G}{2c}$$

Equação 10 - Demais deflexões

$$ds = d = \frac{G}{2c}$$

Onde:

- a = fração da primeira estaca, em metros;  
 b = fração da última estaca, em metros;  
 G = grau de corda, em graus;  
 C = corda, em metros.

Com isso, é organizada uma caderneta de locação da curva para verificação dos cálculos.

A deflexão acumulada para o PT deverá ser igual à metade do ângulo central da curva, conforme a tabela 3 (PONTES FILHO, 1998).

Tabela 3 - Locação de curvas circulares simples

<b>ESTACAS</b>	<b>DEFLEXÕES SUCESSIVAS</b>	<b>DEFLEXÕES ACUMULADAS</b>
PC=x+a	0,0°	0,0°
1	ds1	da1
2	ds2	da2
3	ds3	da3
...	...	...
PT=y+b	ds(PT)	da (PT)=Δ/2

Fonte: PONTES FILHO (1998).

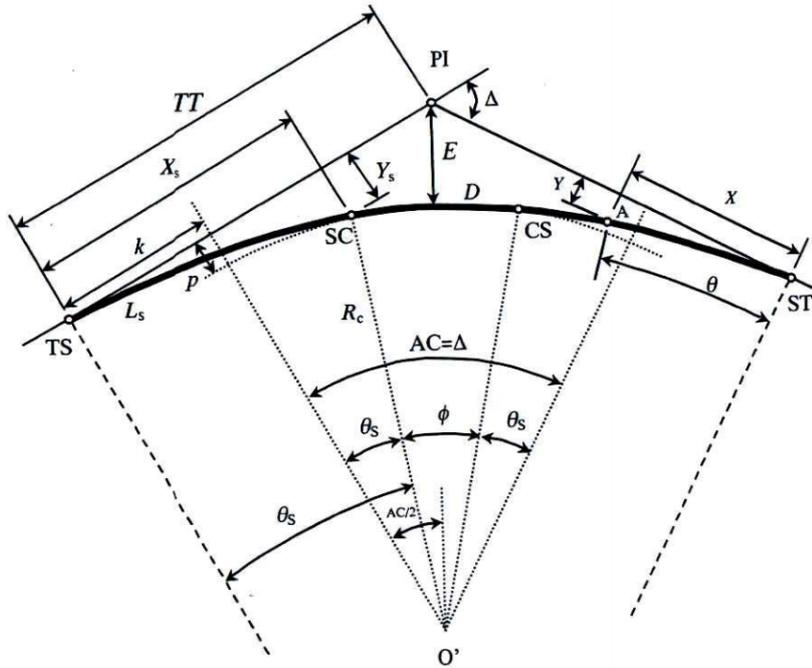
#### 2.4.3.2 Curvas horizontais circulares com transição

Curva de Transição é a denominação comum das curvas compostas (um segmento de circunferência intercalando dois segmentos de outra curva pré-escolhida) de um projeto

geométrico de rodovias e que tecnicamente é nominada de curva de transição de concordância horizontal (LEE, 2008).

A figura 6 apresenta como podem ser definidos e codificados os elementos e os pontos do traçado da curva no sentido crescente do estaqueamento de curva circular com transição. (PONTES FILHO, 1998).

Figura 6 - Curva de concordância horizontal composta com transição simétrica



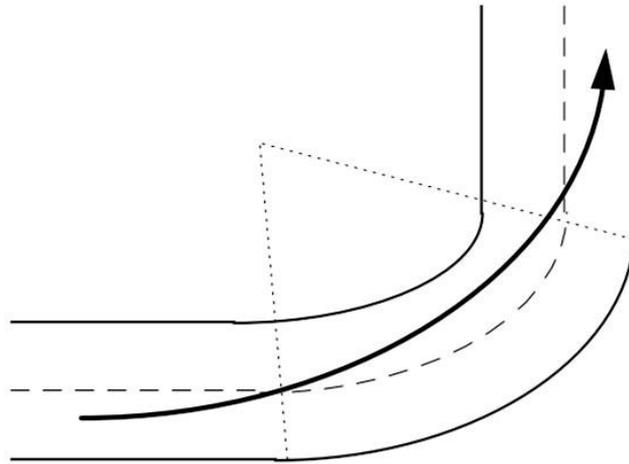
$O'$ = centro do trecho circular afastado	$AC$ = ângulo central
$PI$ = ponto de interseção das tangentes	$\Delta$ = deflexão das tangentes
$A$ = ponto genérico da transição	$D$ = desenvolvimento do trecho circular
$X_s$ = abscissa dos pontos $SC$ e $CS$	$R_c$ = raio da curva circular
$Y_s$ = ordenada dos pontos $SC$ e $CS$	$L_s$ = comprimento do trecho de transição
$TT$ = tangente total	$E$ = distância do $PI$ à curva circular
$K$ = abscissa do centro $O'$	
$p$ = afastamento da curva circular	Pontos notáveis:
$X$ = abscissa de um ponto genérico $A$	$TS$ = tangente-espiral
$Y$ = ordenada de um ponto genérico $A$	$SC$ = espiral-circular
$\theta_s$ = ângulo de transição	$CS$ = circular-espiral
$\phi$ = ângulo central do trecho circular	$ST$ = espiral-tangente

Fonte: PONTES FILHO (1998).

PONTES FILHO (1998) relata que ao passar por um trecho com curva, o veículo enfrenta uma força chamada centrífuga que age sobre este, afastando-o da trajetória que normalmente necessitaria percorrer. Esse acontecimento representa uma ameaça e um desconforto para o condutor.

De acordo com SANTOS (2007), o veículo acompanha um caminho de “transição intermediária” entre a reta e a curva, a qual existe variação dependendo da velocidade, o raio de curvatura e a superelevação. O problema se define quando aumenta a velocidade e o raio de curvatura é pequeno, pois a transição se processa em uma distância maior, podendo resultar até na invasão da outra faixa, conforme representado pela figura 7.

Figura 7 - Problema de invasão de faixa adjacente nas curvas simples



Fonte: SANTOS (2007).

As vantagens mais relevantes para a utilização de curvas de transição no traçado em planta são estabelecidas logo a seguir citando COSTA (2014):

- Favorece uma trajetória fácil de ser transitada pelos condutores, de maneira que a força centrífuga aumenta e diminui gradativamente, à medida que o veículo entra ou sai da curva circular. Isso diminui a tendência de os veículos invadirem as faixas adjacentes;
- Fornece um trecho para giro da superfície do pavimento (inclinação transversal ou sobre elevação ou superelevação transversal);
- Proporciona trecho para a transição da largura normal para a superlargura nas curvas;
- Promove uma aparência mais agradável ao traçado quando notado pelo motorista.

Há muitos discernimentos desiguais tendendo orientar o estabelecimento do alcance de ocupação de curvas de transição. Para fins de projetos rodoviários convencionais, o DNER/DNIT indica o discernimento coligado à velocidade diretriz abreviado pelos valores constantes da tabela 4 dada a seguir.

Tabela 4 - Valores mínimos de raios sem uso de curvas de transição

<b>V (km/h)</b>	30	40	50	60	70	80	90	100
<b>R (m)</b>	170	300	500	700	950	1200	1550	1900

Fonte: DNER (1999).

PONTES FILHO (1998) descreve um breve roteiro para calcular os elementos geométricos da curva com transição, utilizando as seguintes equações:

Equação 11 - Comprimento mínimo de transição

$$L_{S_{min}} = 0,036 * \left( \frac{v^3}{R} \right)$$

Equação 12 - Comprimento máximo de transição

$$L_{S_{max}} = 2,2 * V$$

Equação 13 - Comprimento adotado

$$L_S = 3 * L_{S_{min}} < L_{S_{max}}$$

Equação 14 - Ângulo de transição (em radianos)

$$\theta_s = \frac{L_S}{2 * Rc}$$

Equação 15 - Abscissa dos pontos SC e CS

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

Equação 16 - Ordenada dos pontos SC e CS

$$Y_s = L_S * \left( 1 - \frac{\theta_s}{3} + \frac{\theta_s^3}{42} \right)$$

Equação 17 - Ângulo central do trecho circular

$$\varphi = \Delta - 2 * \theta_s$$

Equação 18 - Desenvolvimento do trecho circular

$$D = Rc * \varphi$$

Equação 19 - Abscissa do centro O'

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

Equação 20 - Afastamento da curva circular

$$p = Y_s - (Rc * \text{cos}(\theta_s))$$

Equação 21 - Tangente total

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

Equações para calcular as deflexões na transição (Pontes Filho, 1998):

Equação 22 - Ângulo de transição

$$\theta_s = \frac{L^2}{2 * Rc * Ls}$$

Equação 23 - Abscissa de um ponto genérico A

$$X = L * \left(1 - \frac{\theta_s^2}{10} + \frac{\theta_s^4}{216}\right)$$

Equação 24 - Ordenada de um ponto genérico A

$$Y = L * \left(\frac{\theta_s}{3} + \frac{\theta_s^3}{42}\right)$$

Equação 25 - Ângulo de deflexão

$$i = \arctang\left(\frac{Y}{X}\right)$$

Logo após determinado todos os elementos, prepara-se uma tabela de locação de curva de transição, esta tabela é necessária para auxiliar na execução e também na obtenção do memorial de cálculo, conforme apresentado na tabela 5 a seguir.

Tabela 5 - Locação de curva de transição

<b>TABELA DE LOCAÇÃO</b>				
<b>ESTACA</b>	<b>L</b>	<b>X</b>	<b>Y</b>	<b>i</b>
<b>TS</b>				
...				
<b>SC</b>				

$c(s) =$   
 $j(s) =$

Fonte: PONTES FILHO (1998).

#### 2.4.3.3 Superelevação

A superelevação é a inclinação transversal na pista necessária nas curvas, a fim de combater a força centrífuga (PONTES FILHO, 1998).

O manual do DNER (1999) define como valores de coeficientes de atrito transversais máximos admissíveis para fins de projeto, os transcritos na tabela 6 para diferentes velocidades diretrizes.

Tabela 6 - Valores máximo admissíveis do coeficiente de atrito transversal  $f$ 

<b>V (km/h)</b>	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
<b>f(máx)</b>	0,20	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11

Fonte: DNER (1999).

Para curvas com raios exorbitantes em relação à velocidade diretriz de projeto, os efeitos da força centrífuga seriam desprezíveis, podendo-se projetar as seções transversais da pista nessas curvas para as condições de trecho em tangente, isto é, com abaulamentos, dispensando-se o uso de superelevações (Lee, 2008).

Os valores de raios de curva abaixo dos quais indicados na tabela 7 dispensam superelevação (DNER, 1999).

Tabela 7 - Valores de R que dispensam superelevação

<b>V (km/h)</b>	30	40	50	60	70	80	90	>100
<b>R (m)</b>	450,00	800,00	1250,00	1800,00	2450,00	3200,00	4050,00	5000,00

Fonte: DNER (1999).

A maior inclinação de superelevação adotada é somada em combinação com raio mínimo, proporcionando condições limites de acordo com cada velocidade, essa inclinação máxima servirá também de subsídio para a determinação das inclinações de superelevação para os raios superiores ao mínimo (PONTES FILHO, 1998).

As taxas máximas de superelevação admissíveis estão dispostas na tabela 8 (DNER,1999).

Tabela 8 - Inclinações máximas de superelevação admissíveis  $e_{máx}$ 

$e_{máx}$	<b>CASOS DE EMPREGO</b>
<b>12,00%</b>	Máximo absoluto em circunstância específicas
<b>10,00%</b>	Máximo normal. Adequado para o fluxo ininterrupto. Adotar para Rodovias Classe 0 e rodovia Classe I em regiões planas e onduladas.
<b>8,00%</b>	Valor superior normal. Adotar para rodovias Classe I em região montanhosa e rodovias das demais classes de projeto.
<b>6,00%</b>	Valor inferior normal. Adotar para projetos em áreas urbanizadas ou em geral sujeitando o tráfego a reduções de velocidades ou paradas.
<b>4,00%</b>	Mínimo. Adotar em situações extremas, com intensa ocupação do solo adjacente.

Fonte: DNER (1999).

#### 2.4.4 Raio mínimo de curva horizontal

É determinado como os menores raios das curvas que poderão ser percorridas em condições limites com a velocidade diretriz determinada, e a maior inclinação de superelevação admissível, em condições favoráveis de segurança e de conforto de percurso. (ADALA, 2008)

Logo abaixo está a equação 26, no qual é utilizada pelas normas com vistas à determinação dos raios mínimos de curvas admissíveis nos projetos. Explicitando, na referida equação, o raio R, tem-se (PONTES FILHO, 1998):

Equação 26 - Raio mínimo

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 * (f_{máx} + e_{máx})}$$

Onde:

- $R_{min}$  = o Raio mínimo, em metros;
- $f_{máx}$  = coeficiente de atrito máxima;
- $e_{máx}$  = elevação, %;
- $V$  = velocidade diretriz de projeto, em km/h.

O requisito sugerido pela AASHTO para balanceamento é o de determinar uma relação variável entre as informações de “e” e de “f” à medida que variam os raios de curva (R).

A equação 27 adotada por tal requisito é a seguinte (PONTES FILHO, 1998):

Equação 27 - Superelevação adotada

$$e = e_{máx} * \left( 2 * \frac{Rmin}{Rp} - \frac{Rmin^2}{Rp^2} \right)$$

Onde:

- $e$  = a elevação, m/m.
- $Rp$  = o raio de projeto, em metros.
- $e_{máx}$  = elevação máxima, m/m.

#### 2.4.5 Superlargura

Chama-se de superlargura o aumento na largura da pista. Tal acréscimo é necessário nas curvas para a correção na passagem dos veículos (PONTES FILHO, 1998). As normas, manuais ou recomendações de projeto geométrico determinam as larguras mínimas de faixas de trânsito a adotar para as diferentes classes de projeto (SANTOS, 2007).

O veículo básico para a determinação da superlargura a adotar numa concordância horizontal é o veículo tipo CO, denominado genericamente por Veículos Comerciais Rígidos,

composto por unidade tratora simples (veículo não articulado), incluindo caminhões e ônibus convencionais, normalmente de 2 eixos e 6 rodas, pois os demais tipos de veículos, para os raios de curva convencionais e velocidades diretrizes normais, operarão satisfatoriamente com as superlarguras projetadas para atender o veículo tipo CO (LEE, 2008).

Deve ser assistido que a necessidade de superlargura aumenta com as características de cada veículo e com a diminuição da largura básica da pista em tangente. A tabela 9 apresenta os valores dos raios e velocidade o qual necessita e dispensa a superlargura (DNER, 1999).

Tabela 9 - Valores de superlargura para projeto (m)

<b>Velocidade 30 km/h</b>											
<b>R</b>	30	40	50	60	70	80	100	150	200	300	500
-	1,80	1,40	1,20	1,00	0,60	0,80	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30
<b>V = 40 km/h</b>											
<b>R</b>	50	60	70	80	100	150	200	300	500		
-	1,80	1,40	1,20	1,00	0,90	0,70	0,50	0,40	0,30		

Fonte: DNER (1999).

<b>V = 60 km/h</b>						
<b>R</b>	110	150	200	300	500	800
	1,00	0,80	0,70	0,50	0,40	0,30
<b>V = 80 km/h</b>						
<b>R</b>	200	300	400	600	1000	
	1,00	0,80	0,70	0,50	0,40	
<b>V = 100 km/h</b>						
<b>R</b>	340	400	600	1000	1300	
	0,70	0,60	0,50	0,40	0,30	

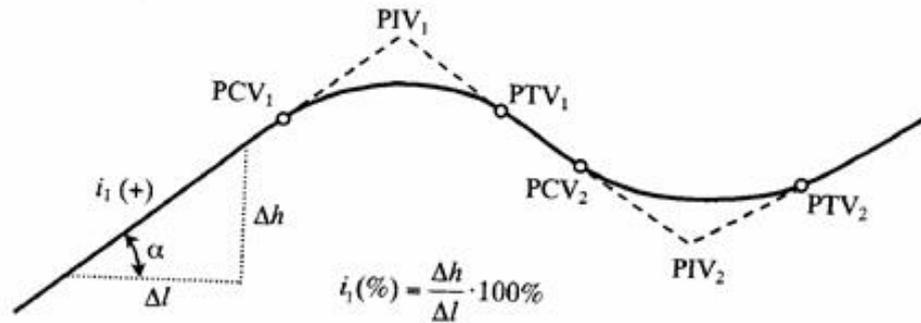
Fonte: DNER (1999).

## 2.5 CURVAS VERTICAIS

O perfil longitudinal, ou simplesmente perfil, é o corte do terreno e da estrada projetada por uma superfície vertical que contem eixo em planta. Deve ser escolhido de tal forma que permita aos condutores que percorrerem a estrada uma razoável uniformidade de operação (PIMENTA & OLIVEIRA, 2001).

Nos greides ascendentes, os valores das rampas (i) são considerados positivos e nos greides descendentes, negativos, conforme indicado na figura 8. Para fazer esta convenção é necessário dar um sentido ao perfil, que é geralmente o mesmo do estaqueamento (PONTES FILHO, 1998).

Figura 8 - Perfil de uma estrada

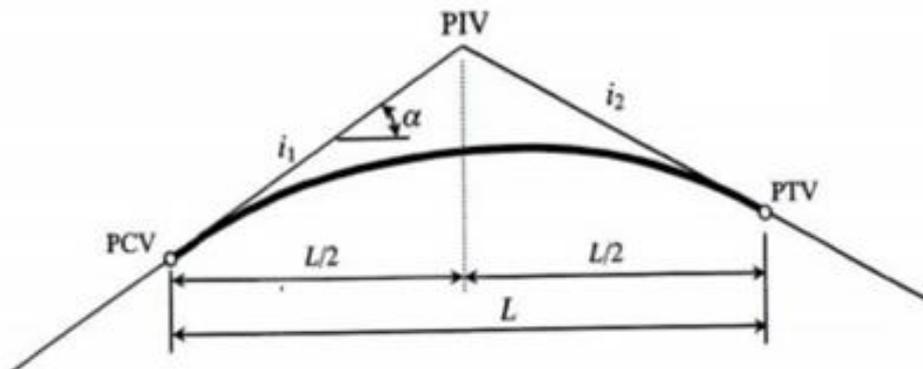


Fonte: PONTES FILHO (1998).

A interseção dos greides retos dá-se a denominação de PIV (ponto de interseção vertical). Os pontos de tangência são denominados de PCV (ponto de curvatura vertical) e PTV (ponto de tangência vertical), por analogia com a curva circular do projeto em planta (PONTES FILHO, 1998).

Dentre as diversas curvas de concordância utilizadas em todo o mundo o DNER (1999) recomenda o uso de parábolas de 2º grau nos cálculos de curvas verticais, de preferência simétricas em relação ao PIV, ou seja, a projeção horizontal das distâncias do PIV ao PVC e do PIV ao PTV são iguais a  $L/2$ , como mostra a figura 9.

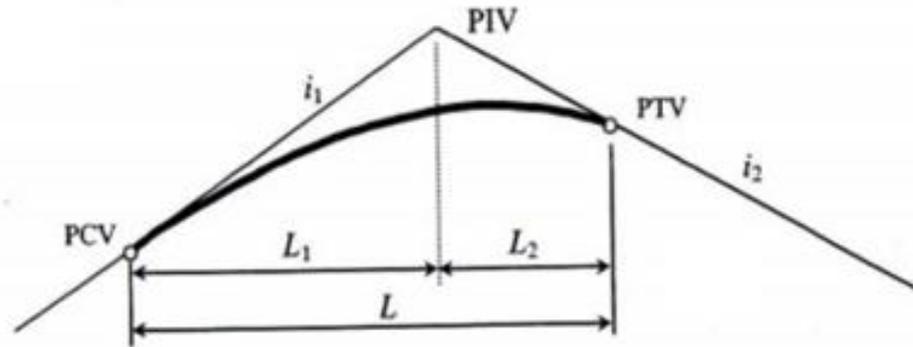
Figura 9 - Parábolas de 2º grau simples



Fonte: PONTES FILHO (1998).

Na figura 9 o que determina a curva simples é a simetria da locação de estacas que ficou equivalente antes e depois do PIV, neste caso explicito por  $L/2$ , formando uma distribuição de estacas simétricas para definição do greide de projeto da curva.

Figura 10 - Parábolas de 2º grau composta



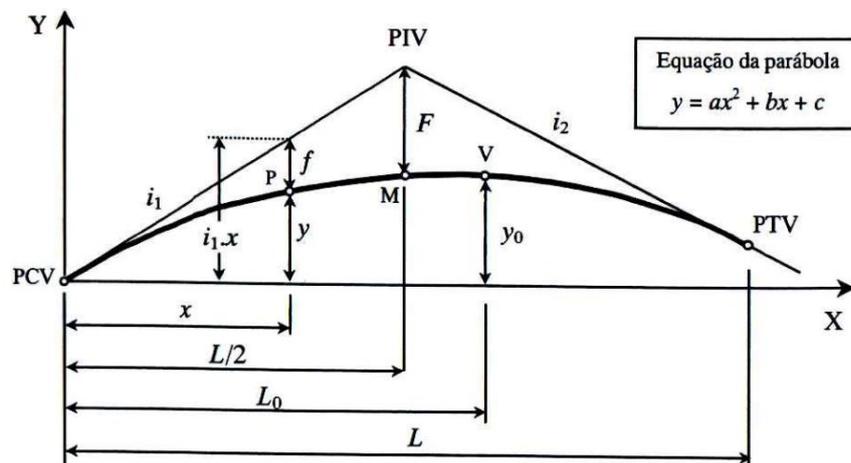
Fonte: PONTES FILHO (1998).

Porém na figura 10 a distribuição não ocorre de forma equivalente antes e depois do PIV, isso dar-se pelo fato de um determinado trecho ser mais vantajoso condicionar mais estacas do que a distribuição, evitando cortes e aterros elevados, ou ainda para possivelmente facilitar a próxima curva vertical.

As curvas verticais são caracterizadas em curvas côncavas e convexas. Onde o conforto nas convexas é maior que nas côncavas, pois a aceleração da gravidade terrestre e a aceleração centrífuga se somam.

Pelo sinal de  $g$  podemos dizer se a curva é côncava ou convexa. Quando  $g > 0$  a curva será convexa e se  $g < 0$  a curva será côncava (PONTES FILHO, 1998).

Figura 11 - Esquema de cálculo das cotas e flechas da parábola



Fonte: PONTES FILHO (1998).

Na figura 11, apresenta-se a análise das curvas verticais simples e as equações necessárias para determinação das cotas e flechas da parábola:

Equação 28 - Variação da declividade do greide

$$g = i_1 - i_2$$

Onde:

$i_1$  = Inclinação da rampa 1, em %;

$i_2$  = Inclinação da rampa 2, em %.

Equação 29 - Cálculo da flecha da parábola de 2º grau simples

$$f = \frac{g}{2 * L} * x^2$$

Onde:

$f$  = Flecha da parábola, em metros;

$g$  = Diferença algébrica das rampas, em %;

$L$  = Comprimento da curva vertical, em metros;

$x$  = Distância horizontal do ponto de cálculo da flecha ao PCV, em metros.

Equação 30 - Cálculo da flecha máxima da parábola de 2º grau simples

$$F = \frac{g * L}{8}$$

$F$  = Flecha da parábola máxima para curvas simples, em metros;

$g$  = Diferença algébrica das rampas, em %;

$L$  = Comprimento da curva vertical, em metros.

Equação 31 - Cálculo da flecha máxima da parábola de 2º grau composta

$$f_{m\acute{a}x} = \frac{L_1 * L_2}{2L} * g$$

Onde:

$L_1$  = Comprimento de um lado da curva composta (assimétrica), em metros;

$L_2$  = Comprimento do outro lado da curva composta, em metros.

Equação 32 - Cálculo da flecha 1 da parábola de 2º grau composta

$$f_1 = \frac{F}{L_1^2} * x_1^2$$

Equação 33 - Cálculo da flecha 2 da parábola de 2º grau composta

$$f_2 = \frac{F}{L_2^2} * x_2^2$$

Onde:

$f$  = Flecha da parábola, em metros.

$x$  = Distância horizontal do ponto de cálculo da flecha ao PVC, em metros.

O PCV e o PTV podem ser locados em estaca inteira ou fracionária. Para o cálculo das estacas dos pontos do PCV e PTV utiliza-se as equações a seguir:

Equação 34 - Cotas dos pontos PCV e PTV

$$\begin{aligned} E(\text{PCV}) &= E(\text{PIV}) - (L/2) \\ E(\text{PTV}) &= E(\text{PIV}) + (L/2) \\ \text{Cota}(\text{PCV}) &= \text{Cota}(\text{PIV}) \pm i_1 \cdot L/2 \\ \text{Cota}(\text{PTV}) &= \text{Cota}(\text{PIV}) \pm i_2 \cdot L/2 \end{aligned}$$

O comprimento mínimo das curvas verticais se dá de acordo com as distâncias de visibilidade, devido a delimitação de reação do motorista em situações de tomadas de decisões rápidas (PONTES FILHO, 1998).

### 2.5.1 Comprimento de curvas verticais

Para o dimensionamento de curvas verticais existe a distinção de curvas convexas e côncavas, deste modo o que mais influência no cálculo são os requisitos de visibilidade.

#### 2.5.1.1 Comprimento mínimo

O comprimento mínimo de curva necessário para realizar uma curva vertical, não se difere de côncava para convexa sendo caracterizada por:

Equação 35 - Comprimento mínimo máximo

$$L_{\min} = 0,6 * V$$

Onde:

$V$  = Velocidade diretriz, em km/h;

$L_{\min}$  = Comprimento mínimo da curva vertical, em metros.

#### 2.5.1.2 Rampas máximas e mínimas

Determinação de rampas máximas são valores constantes nas normas técnicas de projeto (tabela 10), que visam dar às estradas, condições de serem percorridas pelos veículos dentro da capacidade normal dos motores (SENÇO, 2008).

Tabela 10 - Rampas máximas para estradas de rodagem - %

CLASSE	REGIÃO		
	PLANA	ONDULADA	MONTANHOSA
ESPECIAL	3	4	5
I	3	4	6
II	3	4	6
III	4	5	7

Fonte: SENÇO (2008).

Para permitir o escoamento longitudinal da água, a rampa mínima nos cortes e seções mistas é de 0,5%.

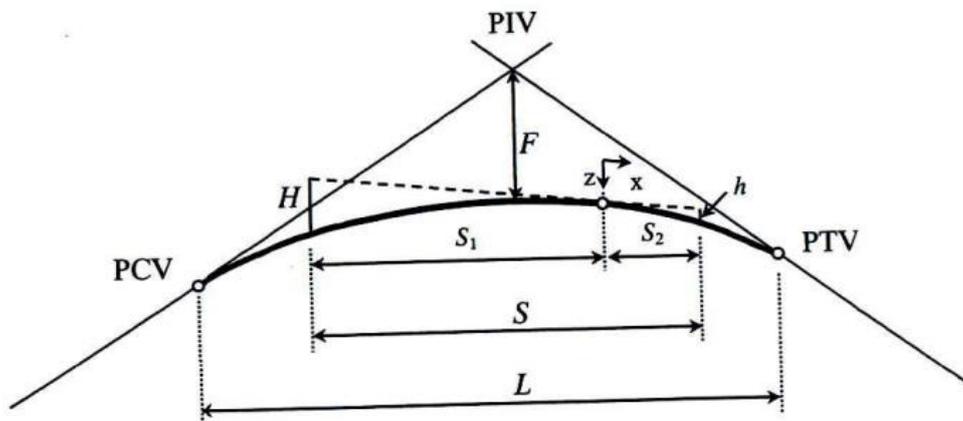
O DNER (1999) admite a rampas máximas para regiões onduladas de 6% e montanhosa de 10%, e preconiza que a extensão de rampas acima de 8% seja desejavelmente limitada a 300m contínuos.

### 2.5.2 Comprimento mínimo de curvas convexas

No dimensionamento de curvas convexas, a condição de cálculo a seguir foi baseada na situação do motorista estando a uma altura de 1,10m acima do plano da pista, para que consiga perceber visualmente um obstáculo situado sobre a pista, com altura de 0,15m. Existem dois casos para dimensionar curvas convexas:

- Caso 1: A distância de visibilidade ( $S$ ) é menor ou igual ao comprimento da curva ( $L$ ), portanto,  $S \leq L$  conforme figura 12.
- Caso 2: A distância de visibilidade é maior que o comprimento da curva, sendo  $S > L$  mostrado na figura 13.

Figura 12 - Comprimento mínimo de curvas convexas caso 1



Fonte: PONTES FILHO (1998)

Na figura 12 tem-se o caso 1 para curvas convexas onde as fórmulas são:

Equação 36 - Comprimento mínimo de curva convexa caso 1

$$L = L_{min} = \frac{Dp^2}{412} * A = K_{min} * A$$

Onde:

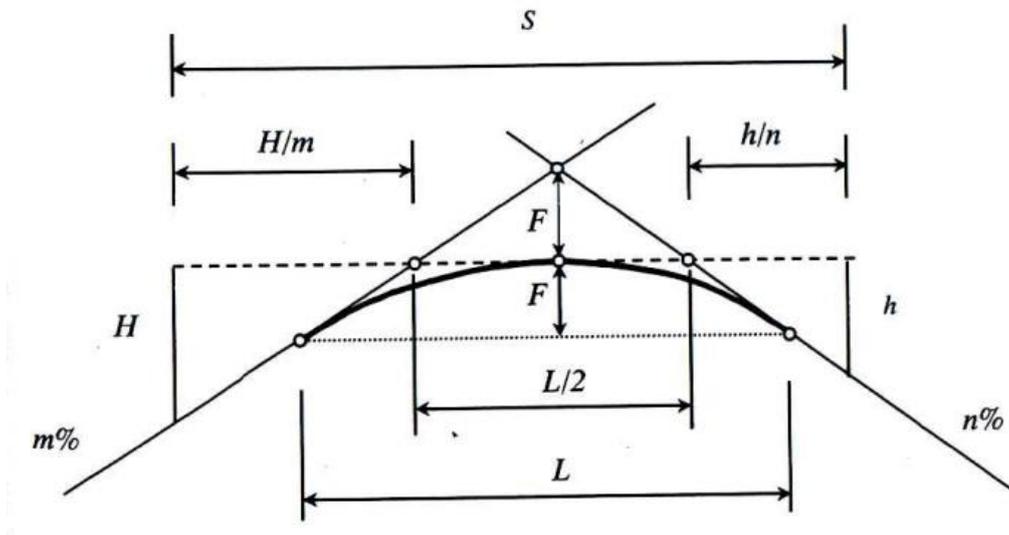
$L_{min}$  = Comprimento mínimo da curva vertical, em metros;

A = Diferença algébrica das rampas, em %;

K = Parâmetro da parábola, em metros (*explicado no item 2.7.2*);

$D_p$  = Distância de frenagem, em metros, a fórmula foi apresentada na equação 28, em metros.

Figura 13 - Comprimento mínimo para curvas convexas caso 2



Fonte: PONTES FILHO (1998)

Na figura 13 tem-se o caso 2 para curvas convexas as fórmulas são:

Equação 37 - Comprimento mínimo para curvas convexas caso 2

$$L_{min} = 2D_p - \frac{412}{A}$$

Onde:

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

$A$  = Diferença algébrica das rampas, em %;

$D_p$  = Distância de visibilidade de parada, em metros.

## 2.6 DISTÂNCIA DE VISIBILIDADE

Para PONTES FILHO (1998) a capacidade de uma rodovia oferecer condições aceitáveis de visibilidade aos motoristas que por ela percorrem é um dos fatores mais importantes para proporcionar a segurança e eficiência da mesma.

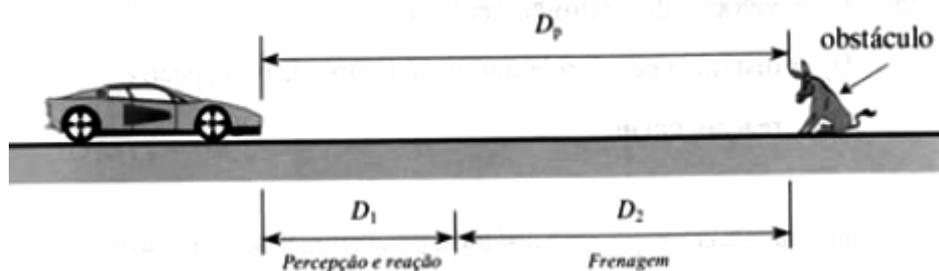
PIMENTA & OLIVEIRA (2001) destacam a distância de visibilidade de frenagem ou parada e as de ultrapassagem, como valores mínimos que devem ser respeitados. Assim, quanto mais eficientes forem as condições gerais de visibilidade, mais segura se tornará a estrada.

### 2.6.1 Distância de visibilidade de parada

É dada pela menor distância necessária para que um veículo possa parar antes de atingir um obstáculo na sua trajetória (PIMENTA & OLIVEIRA 2001).

A somatória de duas parcelas conforme mostrado na figura 14 é dada como distância de visibilidade de parada. Onde  $D_1$ , é a parcela relativa à trajetória percorrida pelo veículo no intervalo de tempo entre o instante em que o condutor vê o obstáculo e o instante em que inicia o processo de frenagem (tempo de percepção e reação); e  $D_2$ , é a parcela relativa à trajetória percorrida pelo veículo durante a frenagem (PONTES FILHO, 1998).

Figura 14 - Distância de visibilidade de parada



Fonte: PONTES FILHO (1998).

Para PONTES FILHO (1998), a equação que determina a distância de frenagem é dada como:

Equação 38 - Distância de frenagem

$$D_p = 0,7 * V + \frac{V^2}{255 * (f + i)}$$

Onde:

$D_p$  = a distância de visibilidade de parada, em metros.

$i$  = a inclinação do greide, em m/m, considera-se a inclinação do pior trecho analisado (+, se ascendente; -, se descendente);

$V$  = a velocidade de projeto ou operação, em km/h;

$f$  = o coeficiente de atrito longitudinal pneu/pavimento.

O Manual do DNER (1999) recomenda os seguintes valores de coeficiente de atrito longitudinal pneu/pavimento indicados na tabela 11 e tabela 12 abaixo.

Tabela 11 - Coeficiente de atrito longitudinal pneu / pavimento ( $V_{\text{diretriz}}$ )

<b>V diretriz (km/h)</b>	30	40	50	60	70	80	90	100	120
<b>f=fL</b>	0,40	0,37	0,35	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28	0,25

Fonte: DNER (1999).

Tabela 12 - Coeficiente de atrito longitudinal pneu/pavimento ( $V_{\text{média}}$ )

V diretriz (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	120
V média (km/h)	30	38	46	54	62	71	79	86	98
f=fL	0,40	0,38	0,36	0,34	0,32	0,31	0,30	0,30	0,28

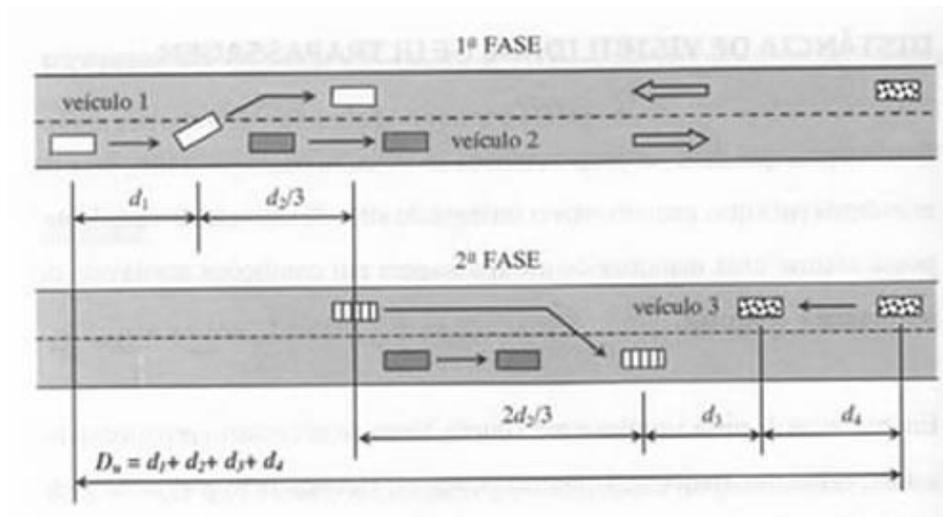
Fonte: DNER (1999).

### 2.6.2 Distância de visibilidade de ultrapassagem

Define-se como a distância oferecida para que o veículo, numa rodovia simples com tráfego nas duas direções, quando estiver trafegando atrás de um veículo mais lento, possa efetuar uma manobra de ultrapassagem, em condições aceitáveis de segurança e conforto (PONTES FILHO, 1998).

Na figura 15 demonstra-se o esquema de ultrapassagem em fases (etapas), também destaca a distância necessária para que o condutor do veículo consiga fazer ultrapassagem.

Figura 15 - Esquema de ultrapassagem



Fonte: PONTES FILHO (1998).

- d<sub>1</sub>** = distância percorrida durante o tempo de percepção, reação e aceleração inicial;
- d<sub>2</sub>** = distância percorrida pelo veículo 1 enquanto ocupa a faixa oposta;
- d<sub>3</sub>** = distância de segurança entre os veículos 1 e 3, no final da manobra;
- d<sub>4</sub>** = distância percorrida pelo veículo 3, que trafega no sentido oposto.

De acordo com DNER (1999), as distâncias de visibilidade de ultrapassagem utilizadas em projeto devem variar em função da velocidade diretriz da via, como exposto na tabela 13:

Tabela 13 - Distância de visibilidade de ultrapassagem

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

Fonte: DNER (1999).

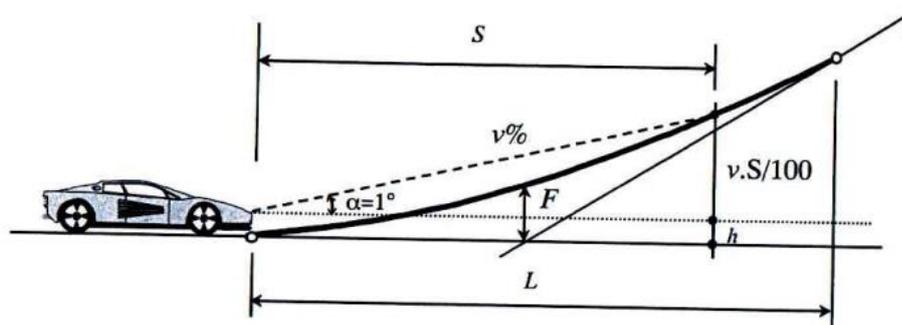
## 2.7 PARÂMETROS

### 2.7.1 Comprimento mínimo de curvas côncavas

No dimensionamento de curvas côncavas a condição de cálculo a seguir foi baseada na situação de visibilidade noturna onde o farol por hipótese estará a 0,61m do solo, a iluminação diverge do 1° eixo longitudinal do veículo conforme apresenta a figura 16. Para dimensionar curvas côncavas também existem dois casos que serão demonstrados a seguir:

- Caso 1: A distância de visibilidade ( $S$ ) é menor ou igual ao comprimento da curva ( $L$ ), portanto,  $S \leq L$  conforme figura 16.
- Caso 2: A distância de visibilidade é maior que o comprimento da curva, sendo  $S > L$  mostrado na figura 17.

Figura 16 - Comprimento da curva côncava caso 1



Fonte: PONTES FILHO (1998)

Na figura 16 tem-se o caso 1 para curvas côncavas e a fórmula é:

Equação 39 - Comprimento da curva côncava caso 1

$$L_{min} = \frac{Dp^2}{122 + 3,5 * Dp} * A$$

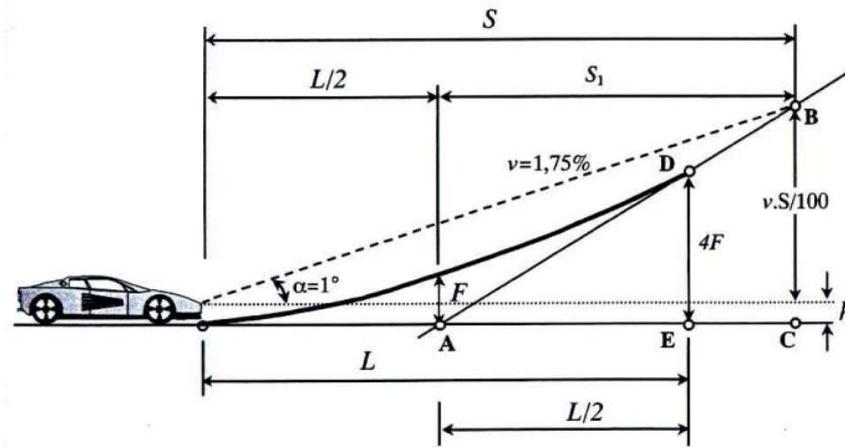
Onde:

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

$A$  = Diferença algébrica das rampas, em %;

$D_p$  = Distância de visibilidade de parada, em metros.

Figura 17 - Comprimento da curva côncava caso 2



Fonte: PONTES FILHO (1998)

Na figura 17 tem-se o caso 2 para curvas côncavas onde a fórmula é:

Equação 40 - Comprimento da curva côncava caso 2

$$L_{min} = 2D_p - \frac{122 + 3,5 * D_p}{A}$$

Onde:

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

$A$  = Diferença algébrica das rampas, em %;

$D_p$  = Distância de visibilidade de parada, em metros.

### 2.7.2 Parâmetro da parábola (K)

O parâmetro K equivale ao comprimento da curva no plano horizontal, em metros para cada 1% (um por cento) de variação de rampa. Admite-se, inclusive, o emprego de curvas circulares para concordância vertical, desde que obedçam à relação  $R = 100 * K$  (SENÇO, 2008).

Para o caso comum de concordância em parábola do segundo grau, o comprimento da curva  $L$  será obtido pela expressão:

$$L = K * A$$

Onde:

$A$  = Diferença algébrica, em porcentagem, das rampas concordadas;

$$A = (i_1 - i_2) * 100\%.$$

Os valores de K são calculados em função de  $D_p$  (distância mínima de visibilidade de frenagem):

Equação 41 - Para curvas convexas

$$K = \frac{Dp^2}{412};$$

Equação 42 - Para curvas côncavas

$$K = \frac{Dp^2}{122+3,5*D_p};$$

Deve-se, preferencialmente, adotar valores de L múltiplos de 20m. Para valores muito pequenos de A, o comprimento mínimo será  $L=0,6*V$  (V em km/h). (SENÇO, 2008).

As normas chamam a atenção para declividades horizontais inferiores a 0,35%. Devido às dificuldades de frenagem, esses trechos devem ter menos de 30m. Assim:

$$30 = 0,7*K;$$

$$\text{Então } K = 43$$

## 2.8 SOFTWARE AUTOCAD CIVIL 3D

Atualmente, com o avanço das tecnologias de softwares de engenharia, utiliza-se para a realização dos cálculos e projetos acima citados diversos softwares onde destaca-se para esse fim o Software AutoCad Civil 3D.

O software AutoCAD Civil 3D é desenvolvido pela empresa Autodesk, e encontra-se na versão 2018. A cada versão lançada várias novidades são introduzidas no mesmo, fornecendo novas funcionalidades e expandindo sua capacidade de realizar tarefas e projetos cada vez mais complexos.

Pode ser utilizado para a realização de projetos de diversas áreas de engenharia, destes, destacam-se o fato de ser facilitador de produção em projeto de geometria rodoviária, drenagem, paisagismo, redes de esgoto, terraplenagem, entre outros.

Para entendimento inicial do uso do software AutoCAD Civil 3D, como suporte, pode-se utilizar a apostila “Tutorial para Programa Computacional CAD/3D no apoio a Visualização do Traçado de Vias de Transportes Terrestres, versão Civil 3D: 2016”, fornecido pelo Departamento de Engenharia de Transportes da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. A apostila pode ser encontrada gratuitamente no endereço web [https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1871706/mod\\_folder/content/0/Tutorial%20-%20AutoCAD%20Civil%203D%202016%20sem.pdf?forcedownload=1](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/1871706/mod_folder/content/0/Tutorial%20-%20AutoCAD%20Civil%203D%202016%20sem.pdf?forcedownload=1), e também em anexo.

## 2.9 NOTA DE SERVIÇO DE TERRAPLENAGEM

A nota de serviço de terraplenagem também pode ser tratada como caderneta de residência (MANZOLI 2009), e corresponde ao traçado geométrico vertical que antecede o diagrama de massas, resultando nas determinações de momento de transporte. Nesta etapa são realizadas as determinações geométricas e também a determinação de profundidade de corte e aterro no terreno natural.

Na tabela 14, está disposto o formato da nota de serviço de terraplenagem, onde o objetivo principal é determinar a elevação no caso de aterro ou profundidade no caso de corte do terreno natural, deste modo na coluna cotas vermelhas estão dispostas duas opções, corte (+) e aterro (-) que são os necessários para o desenvolvimento do diagrama de massas.

Tabela 14 - Nota de serviço de terraplenagem

Estacas	Alinhamentos		Cotas (m)		Ordenadas Da Parábola	Cotas Vermelhas	
	Horiz.	Vert.	Terreno	Greide Reto		Corte (+)	Aterro (-)

Fonte: PONTES FILHO (1998).

### 2.9.1 Cálculo do volume de terraplenagem de uma estrada

Um dos principais desafios durante a elaboração de um projeto geométrico é propor uma solução que permita a construção de uma rodovia com o menor movimento de terras possível, cumprindo, obviamente, as normas de um traçado racional (EDIVALDO LINS, 2011).

Na maioria dos projetos, a movimentação de terra é o fator que gera o maior custo da obra comparado ao custo total, portanto tal movimentação é um item importante a ser calculado. Nos aterros onde os materiais de corte puderem ser reutilizados, o equilíbrio entre a movimentação de massas, diminuem os empréstimos e bota-foras, gerando assim custos menores no processo de terraplenagem.

As obras de terraplenagem exigem, muitas vezes, o movimento de grandes volumes de terra, e conseqüentemente haverá a utilização de caixas de empréstimos e bota-fora.

#### 2.9.1.1 Jazidas de caixas de empréstimos

As jazidas de caixas de empréstimos segundo o DNIT são as ocorrências envolvendo pedreiras, areias, saibreiras, cascalheiras e outras ocorrências, com vistas à obtenção dos materiais a serem utilizados na construção/contemplação dos aterros, das camadas constituintes do pavimento ou das estruturas em geral (DNIT 070/2006 – PRO).

A escolha de caixas de empréstimos de terra tem sido preferencialmente de modo que a exploração tenha um custo reduzido de transporte, chegando-se ao extremo das construções projetadas pelo método do “bota-dentro”, onde os tratores escavam o terreno natural perpendicularmente ao eixo da futura rodovia, acumulando o material à plataforma projetada (DNIT 2005). A obtenção do material pode ser realizada ao lado da rodovia, o que segundo o DNIT é algo problemático, no qual faz alerta de que pelo fato dos empréstimos serem uma fonte poluidora, a extração de locais seja regulamentada antes de qualquer intervenção de extração, pois a extração do solo provoca uma série imensa de “*piscinas*” ao longo das rodovias, tanto na jusante como no montante, gerando problemas futuros que se descrevem a seguir:

- Ambiente favorável à proliferação de vetores de doenças graves (mosquitos, caramujos, etc.);
- Taludes altíssimos, compostos pela soma das alturas do aterro construído e da caixa de empréstimo explorada.

#### 2.9.1.2 *Bota-fora, aterros não servíveis a curto prazo*

Material de escavação de cortes, não aproveitado nos aterros, devido à sua má qualidade, ou, ao seu volume, e ainda, à excessiva distância de transporte, e que é depositado fora da plataforma da rodovia, de preferência nos limites da faixa de domínio quando possível (DNIT 108/2009-ES).

A localização onde possam servir de bota-fora precisam de aprovação dos órgãos ambientais estaduais e, eventualmente, municipais (DNIT 070/2006-PRO). Para o DNIT, os *bota-fora* para serem aprovados e estarem contemplados pelas condicionantes ambientais específicos, não podem apresentar o que se descreve a seguir:

- Apresentar fisionomias vegetais protegidas em lei;
- Interferir com espécies da fauna raras ou em extinção, e de interesse científico e econômico;
- Sofrer a aceleração dos processos erosivos naturais, estar sujeitas a instabilidades físicas passíveis de ocorrência em cotas superiores (exemplo: escorregamentos, deslizamentos, depósitos de taludes etc.);
- Ser suscetíveis a cheias e inundações, apresentar lençol freático aflorante e situar-se próxima a nascentes de cursos d'água;

### 2.9.2 Cálculo das áreas das seções transversais

As seções transversais podem ser calculadas de diferentes maneiras, dependendo da topografia do terreno e do grau de precisão exigido.

### 2.9.3 Diagrama de Brückner o cálculo de volumes

O diagrama de Brückner também conhecido como diagrama de massas, é utilizado para facilitar a análise da movimentação de terra. Essa distribuição serve para definir a origem e o destino dos solos e rochas consequentes do processo de terraplenagem, com indicação de seus volumes, classificações e distâncias médias de transporte. Após o cálculo das áreas de seções transversais e volumes dos prismóides, deve-se então preparar a tabela de volumes acumulados de acordo com a tabela 15 (EDIVALDO LINS, 2011).

Tabela 15 - Cálculo de Volumes e Ordenadas de Brückner

Est.	Áreas (m <sup>2</sup> )			Soma das Áreas (m <sup>2</sup> )		Semi-Distâncias (m)	Volume (m <sup>3</sup> )		Comp. Lateral (m <sup>3</sup> )	Volume Acum. (m <sup>3</sup> )
	Corte	Aterro	AT. Cor	Corte	Aterro		Corte	Aterro		

Fonte: EDIVALDO LINS (2011).

Na tabela 15 está disposto o formato para obter o diagrama de massas, que é a continuação da tabela 14, com a necessidade de obter áreas dos perfis transversais conforme a elevação e profundidade em cada estaca. Finalizando a extração destes dados, iniciam-se o preenchimento da tabela 15 e posteriormente monta-se o diagrama. A seguir descreve-se o procedimento para preenchimento da tabela 15 onde:

Coluna 1: determina as estacas inteiras, no qual foram obtidas as seções transversais. As estacas fracionárias são utilizadas nos pontos de passagem (PP).

Coluna 2: áreas de corte, determinadas nas seções.

Coluna 3: áreas de aterro, determinadas nas seções.

Coluna 4: produto da coluna 3 pelo fator de homogeneização (Fh).

Coluna 5: soma das áreas de corte de duas seções consecutivas na coluna 2.

Coluna 6: soma das áreas de aterro de duas seções consecutivas na coluna 4.

Coluna 7: semi-distância entre seções consecutivas.

Coluna 8: volumes de corte entre seções consecutivas.

Coluna 9: volumes de aterro entre seções consecutivas.

Coluna 10: volumes compensados lateralmente (não sujeitos a transporte longitudinal).

Coluna 11: volumes acumulados, obtidos pela soma algébrica acumulada dos volumes obtidos nas colunas 8 e 9. Os volumes acumulados são colocados como ordenadas ao final da estaca. Com a coluna 11 é possível obter o diagrama de Brückner e por fim determinar os momentos de transporte conforme a figura 18 (EDIVALDO LINS, 2011).

Para a obtenção do Diagrama de Brückner, frequentemente utiliza-se a tecnologia de softwares específicos devido a facilidade e a busca em melhorar o rendimento e o tempo de serviço dos engenheiros projetistas. Neste caso, o software que pode ser utilizado para cálculo do diagrama em questão chama-se Topograph 98 SE.

#### 2.9.4 Momento de transporte

Define-se momento de transporte como o produto dos volumes transportados pelas distâncias médias de transporte:

Equação 43 - Momento de transporte

$$M = V * d_m$$

Onde:

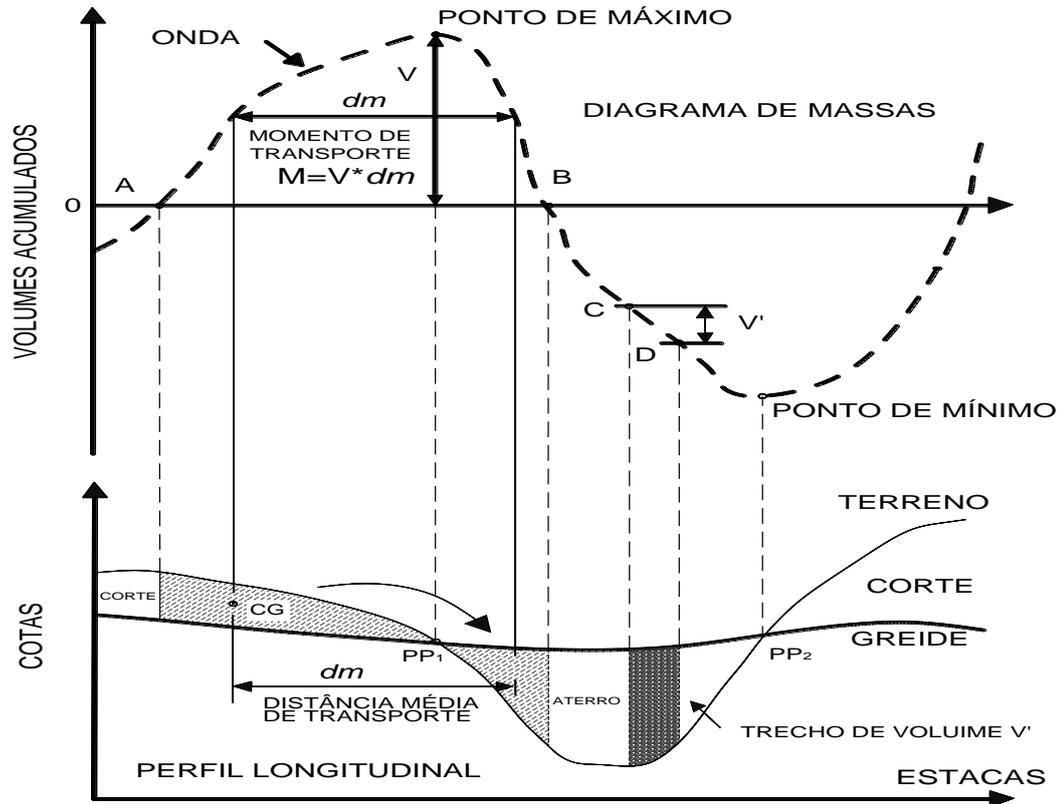
$M$  = Momento de transporte, em m<sup>3</sup>.dam ou m<sup>3</sup>.km;

$V$  = Volume natural do solo, em m<sup>3</sup>;

$d_m$  = Distância média de transporte, em dam ou km.

A figura 18 exemplifica como funciona o momento de transporte em relação ao diagrama de massas.

Figura 18 - Perfil longitudinal e diagrama de massas



Fonte: PONTES FILHO, 1998.

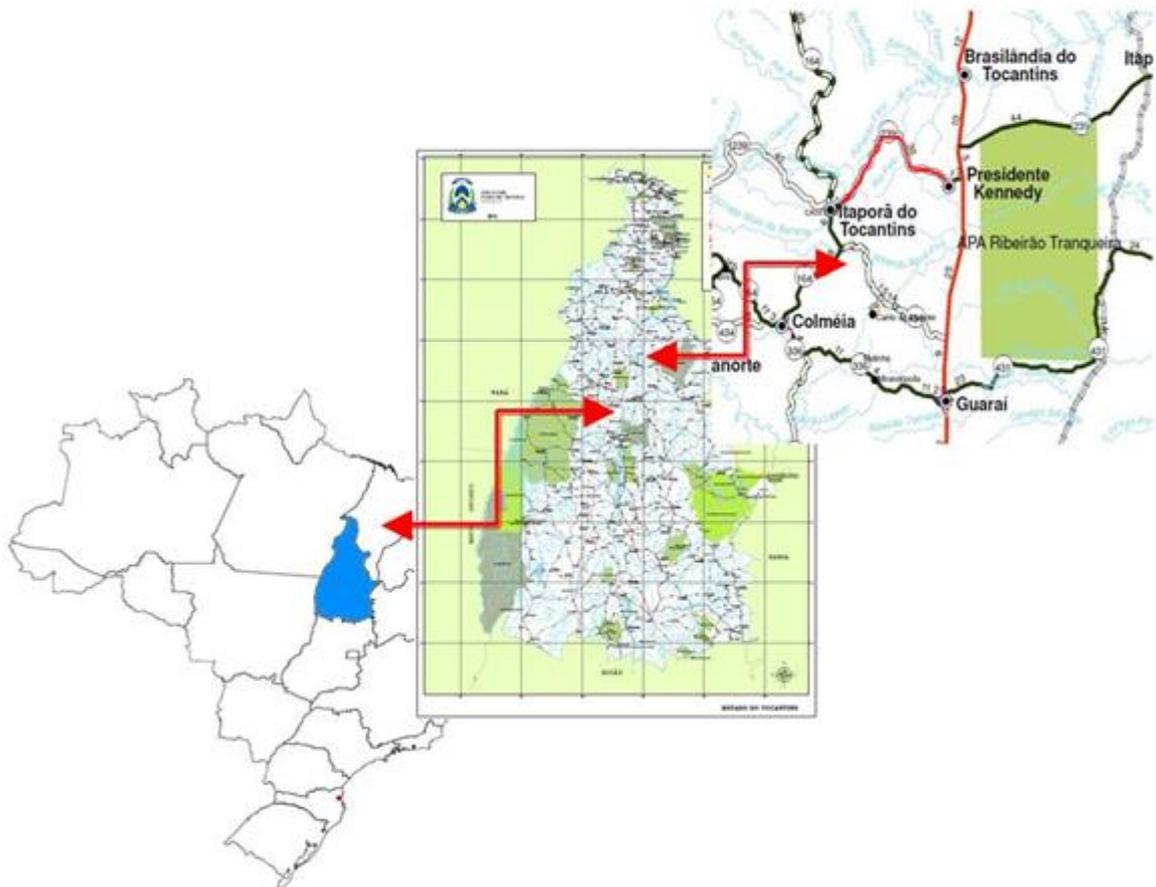
### 3 METODOLOGIA

Este item apresenta a metodologia para a elaboração do projeto geométrico de uma rodovia, tendo como objetivo principal diminuir a extensão do seguimento já existente, consequentemente proporcionar melhorias de acesso a todos os motoristas que trafegam pela região e ligar rapidamente os municípios beneficiados às principais cidades do estado do Tocantins.

#### 3.1 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA PARA O TRAÇADO DO PROJETO

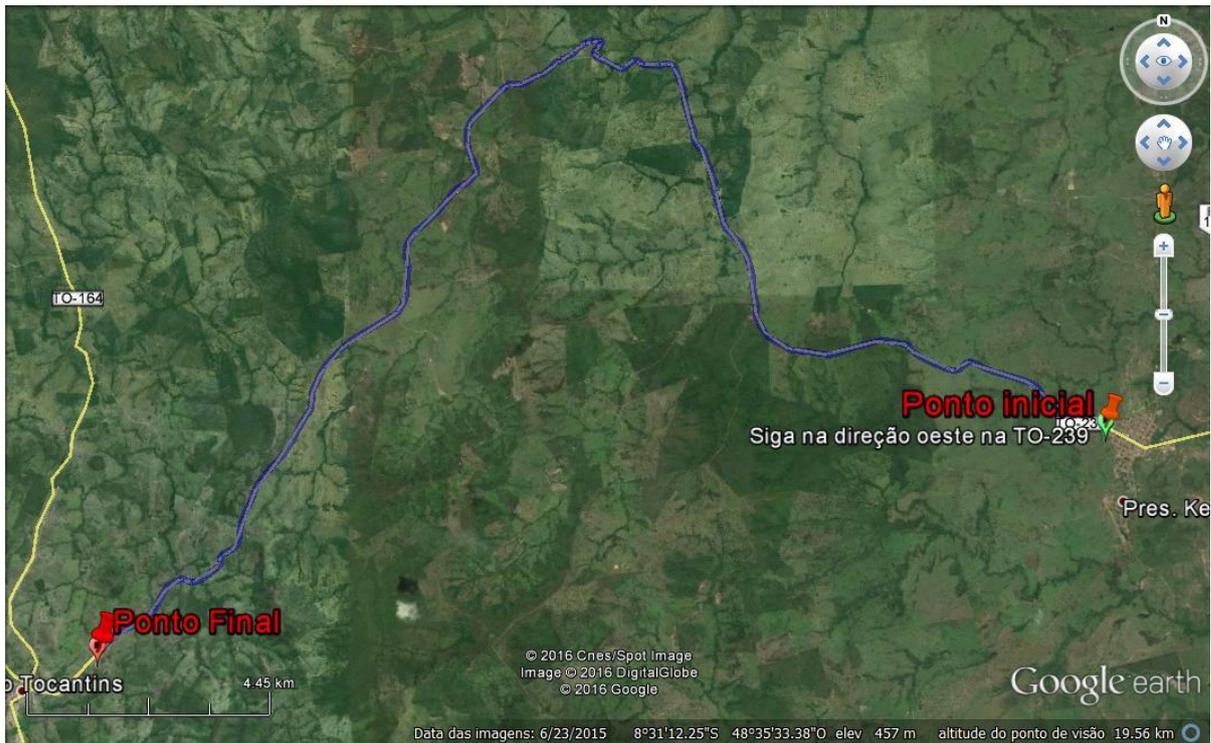
O segmento da rodovia estadual TO-239 (figura 19) que liga Presidente Kennedy-TO e Itaporã do Tocantins-TO tem seu início nas coordenadas UTM inicial – 9052414,37 Sul – 755684,13 Oeste e final do segmento de rodovia – Sul – 9056356,05 - 774221,97 Oeste.

Figura 19 - Mapa de localização da área



Fonte: SEPLAN e Embrapa, adaptado pela autora (2016).

Figura 20 - Imagem da localização da área



Fonte: Google Earth, (2016).

### 3.2 RECONHECIMENTO DO TRAÇADO

Foi realizado o reconhecimento do trecho com o objetivo de estudar uma ampla faixa do terreno, supondo onde será projetado o novo traçado da rodovia, iniciando pela localização dos pontos de começo e fim da rodovia, com indicação dos intermediários como cidades, vilas e povoados, e desviando o máximo possível de cursos de água, buscando por uma topografia mais plana.

#### 3.2.1 Fases de reconhecimento

As tarefas desenvolvidas consistiram em:

- Obtenção de dados sobre a região;
- Caracterização do terreno natural.

#### 3.2.2 Coleta de dados sobre a região

A coleta de dados da região foi realizada basicamente através da carta topográfica SC-22-X-B-Itaporã do Tocantins, imagem de satélite (figura 20), imagem *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) processada através de ferramenta de sistema de informações geográficas (SIG) (figura 21) e visitas *in loco*.

O Governo Federal e o Governo do Estado do Tocantins têm todos os dados necessários para se formalizar uma topografia preliminar do local, com informações de relevo do terreno, cursores d'água (rios e córregos), sedes municipais, cortes de rodovias e ferrovias, disponíveis pelo SRTM.

Estes dados podem ser acessados em documentos digitais hospedados nos sites do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), disponível no endereço web <http://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/to/sc-22-x-b.htm> e no site da Secretaria de Planejamento e Orçamento do Estado do Tocantins (SEPLAN-TO), no endereço web <http://seplan.to.gov.br/>.

Utilizou-se, portanto o software *ArcGis* para gerar curvas de níveis, seguindo o passo a passo:

- Abrir o *ArcMap*;
- Selecionar Camada/Adicionar camada *raster*;
- Escolher o arquivo SRTM e depois que o mesmo aparecer nos *layers*;
- Na barra de ferramentas clicar em *Geoprocessing* e escolher *ArcToolBox*;
- Na caixa do *ArcToolBox* selecionar *3D Analyst Tools*, estender para *Raster Surface*;
- Selecionar no menu *Contour* com dois cliques;
- Em Input *raster* selecionar o arquivo SC-22-X-B;
- Em output *polyline features* selecionar onde deseja salvar o arquivo;
- Em *Contour Interval* colocar o intervalo desejado para as curvas de nível;
- Clicar em Ok e as curvas estão geradas, agora é só desligar a *layer* do SRTM.

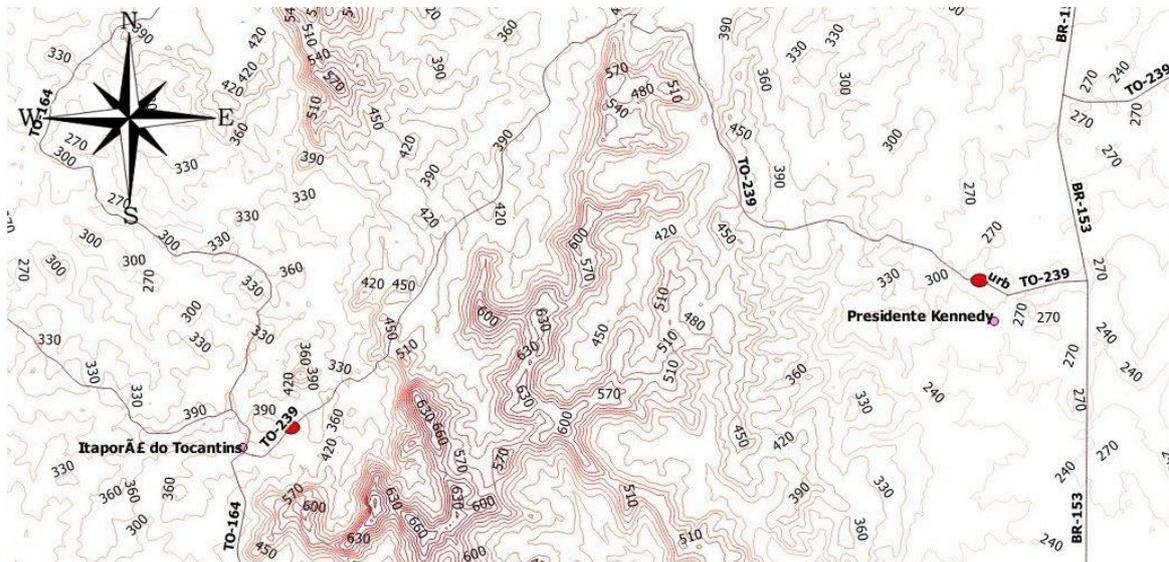
Ainda utilizando a carta topográfica SC-22-X-B foram extraídas informações pertinentes aos cursores d'água, seguindo o seguinte passo a passo:

- Na barra de ferramentas clicar em *Geoprocessing* e escolher *ArcToolBox*;
- No *ArcToolBox* clicar na opção *Spatial Analyst Tools* e clicar em *Hidrology*, depois dar um duplo clique em *Fill*;
- Na caixa de diálogo *Fill*, selecionar a imagem SC-22-X-B na opção Input Surface *Raster* e clique em Ok;
- Ainda em *Hidrology*, dê um duplo clique em *Flow Direction* e selecione a imagem SC-22-X-B;

- No menu Hydrology – Flow Accumulation, execute o processo *Flow Accumulation*. Nas opções, informe a entrada, a saída e modifique o tipo de dado para inteiro (*Integer*);
- No *ArcToolbox* siga o caminho *Spatial Analyst, Conditional, Con.*
- Insira o arquivo de fluxo acumulado gerado na etapa anterior em Input Conditional Raster, em *Input True Raster or Constant value* digite 1, em *Output Raster* dê um destino e nome ao novo arquivo e em “*Expression*” digite a fórmula *value > 100*.
- Em *Spatial Analyst – Hydrology – Stream to Feature*, informe a Rede de Drenagem, o *Flow Direction* e o nome de saída para o arquivo *shapefile* de linhas.
- Clique em OK e a extração da drenagem está realizada.

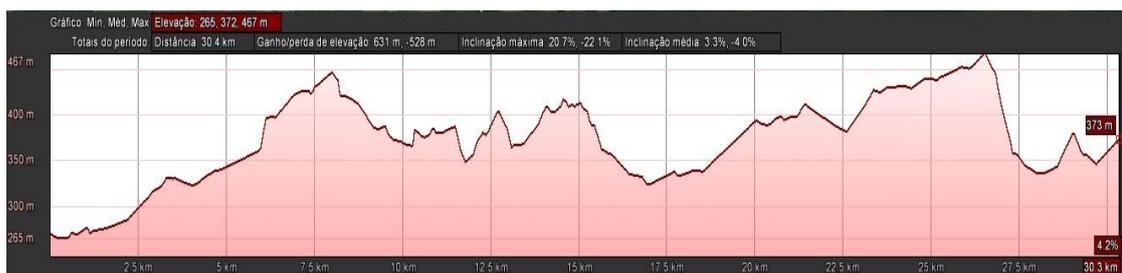
Para completar as informações topográficas, foi feita a inserção de dados baixados no site da SEPLAN-TO como as Sedes Municipais e Rodovias.

Figura 21- Topografia preliminar



Fonte: autora (2017).

Figura 22 - Perfil longitudinal do leito natural



Fonte: autora (2017).

### 3.2.3 Observação do terreno

Realizou-se um reconhecimento terrestre através de inspeção *in loco*, percorrendo toda a extensão do trecho em pauta, como também foi realizado reconhecimento com apoio de mapas, imagens de satélite e imagens de SRTM, processadas através do ArcGis, de maneira a analisar a topografia da área do projeto, podendo então definir o ponto inicial e o ponto final do traçado alternativo.

Conjuntamente com a inspeção, ficou definida a conservação de uma parte do traçado existente, com apenas adaptações geométricas, e a definição de um novo trecho para o traçado proposto.

A figura 23 mostra a localização do ponto inicial do leito natural localizado na TO-239, exatamente na saída da cidade de Presidente Kennedy ao fim do trecho já pavimentado da cidade.

Figura 23 – Ponto inicial do leito natural



Fonte: autora (2017).

A figura 24 exhibe a localização do ponto final do leito natural também localizado na TO-239, onde se dá início ao trecho pavimentado da cidade de Itaporã do Tocantins.

Figura 24 - Ponto final do leito natural



Fonte: autora (2017).

A figura 25 mostra a localização do ponto inicial do traçado proposto, localizado exatamente a 7km e 300m do ponto inicial do leito natural da TO-239.

Figura 25 – Ponto inicial do traçado proposto



Fonte: autora (2017).

A figura 26 exhibe a localização do ponto final do traçado proposto, a 22km do ponto final do leito natural, e a distância de 8km e 300m de Itaporã do Tocantins.

Figura 26- Ponto final do traçado proposto



Fonte: autora (2017).

#### 3.2.4 Características topográficas

Após realizados todos os estudos supracitados observou-se que a topografia local do segmento sugerido é ondulada, composto por divisores de águas, ou linha das vertentes, definido como a parte mais saliente do terreno, que separa as águas pluviais e correm para uma certa bacia. Neste caso observou-se a forma de cristas, pois estes divisores são estreitos. Juntamente com os divisores de água tem-se os talvegues, caracterizados por pontos mais profundos desses cursos d'água.

### 3.3 TRAÇADO HORIZONTAL GEOMÉTRICO

Baseando-se na carta topográfica com curvas de nível determinadas, foram desenvolvidos três traçados horizontais alternativos para realização deste estudo, analisados de forma qualitativa e quantitativa, a fim de definir o melhor traçado entre eles de acordo com os critérios supracitados, em função da topografia e dos obstáculos existentes.

#### 3.3.1 Escolha do traçado

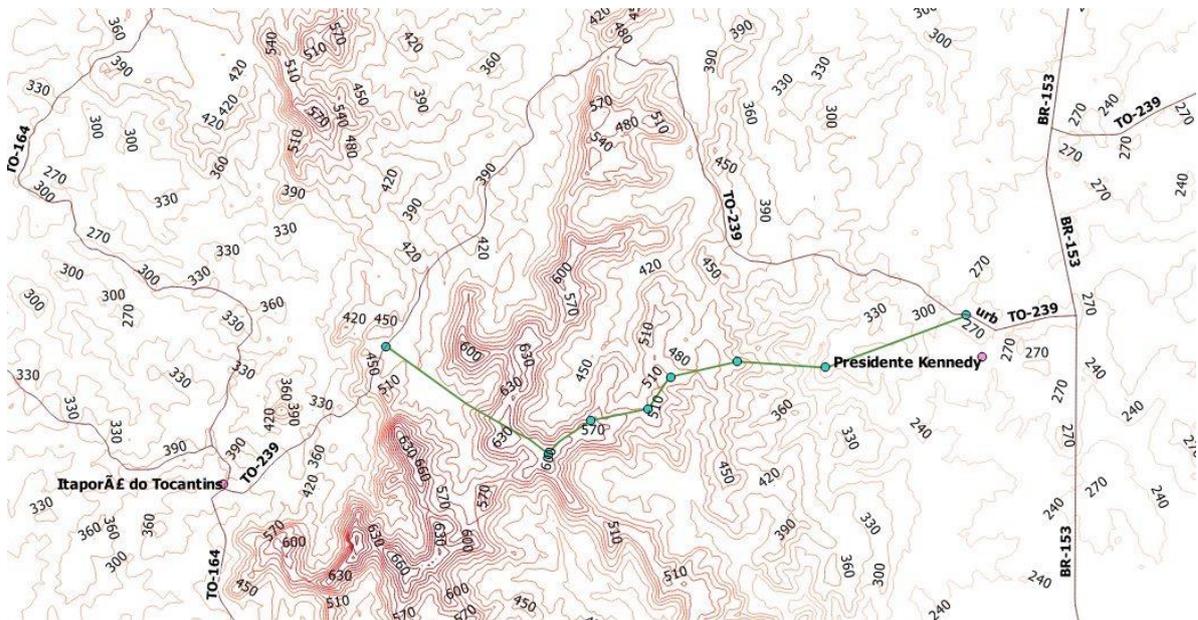
Utilizando a carta topográfica, a topografia preliminar, e a definição do ponto inicial e final do segmento em análise, desenvolveu-se três propostas de traçados horizontais, onde foram comparadas ao leito natural e entre si, afim de definir a alternativa mais confortável e

viável para o desenvolvimento do projeto geométrico sempre considerou-se a cota do terreno viável desviando o máximo dos cursos d'água.

### 3.3.1.1 Primeira alternativa de traçado

A figura 27, apresenta a primeira alternativa para o traçado horizontal. O traçado apresenta tangentes longas. Nota-se a ocorrência de um vértice da diretriz com um ângulo central (AC) próximo de  $90^\circ$  e 8 (oito) curvas ao longo do segmento proposto.

Figura 27 - Traçado horizontal 1º alternativa



Fonte: autora (2017).

A figura 28, exibe o perfil longitudinal do traçado com elevações entre 257m e 645m, e média de 448m, caracterizando uma topografia íngreme, com trechos extensos de rampas. O traçado possui inclinação média entre 5,7% e 6,6% com ganho/perda de elevação entre 621m e -464m. A extensão do traçado alternativo é de 22,7km até o ponto final analisado da TO-239, ocasionando uma redução de 8,3km em relação ao leito natural.

Figura 28 - Perfil longitudinal da 1º alternativa

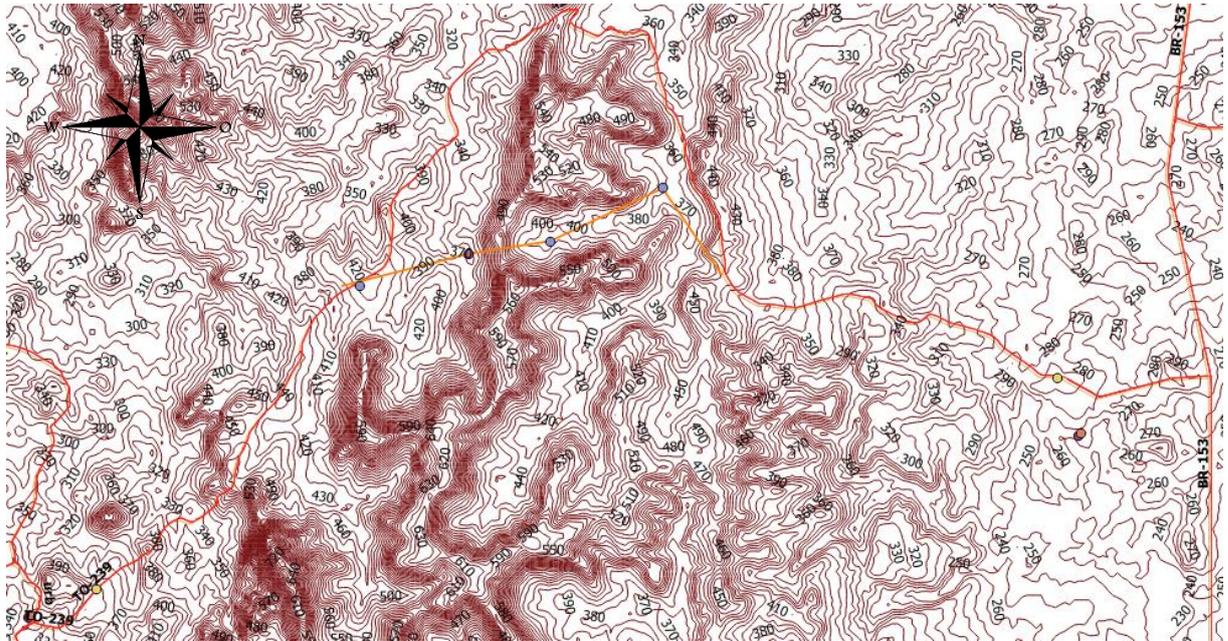


Fonte: autora (2017).

### 3.3.1.2 Segunda alternativa de traçado

A figura 29, apresenta a segunda alternativa para o traçado horizontal. O traçado apresenta tangentes longas. Nota-se a ocorrência de um vértice da diretriz com um ângulo central (AC) próximo de  $90^\circ$  e 4 (quatro) curvas ao longo do segmento proposto.

Figura 29 - Traçado horizontal 2º alternativa



Fonte: autora (2017).

A figura 30, exibe o perfil longitudinal do traçado com elevações entre 332m e 481m, e média de 398m, caracterizando uma topografia ondulada, com trechos curtos de rampas. O traçado possui inclinação média entre 4,0% e 6,4% com ganho/perda de elevação entre 409m e -445m. A extensão do traçado alternativo é de 24,6km até o ponto final analisado da TO-239, ocasionando uma redução de 6,4km em relação ao leito natural.

Figura 30 - Perfil longitudinal da 2º alternativa

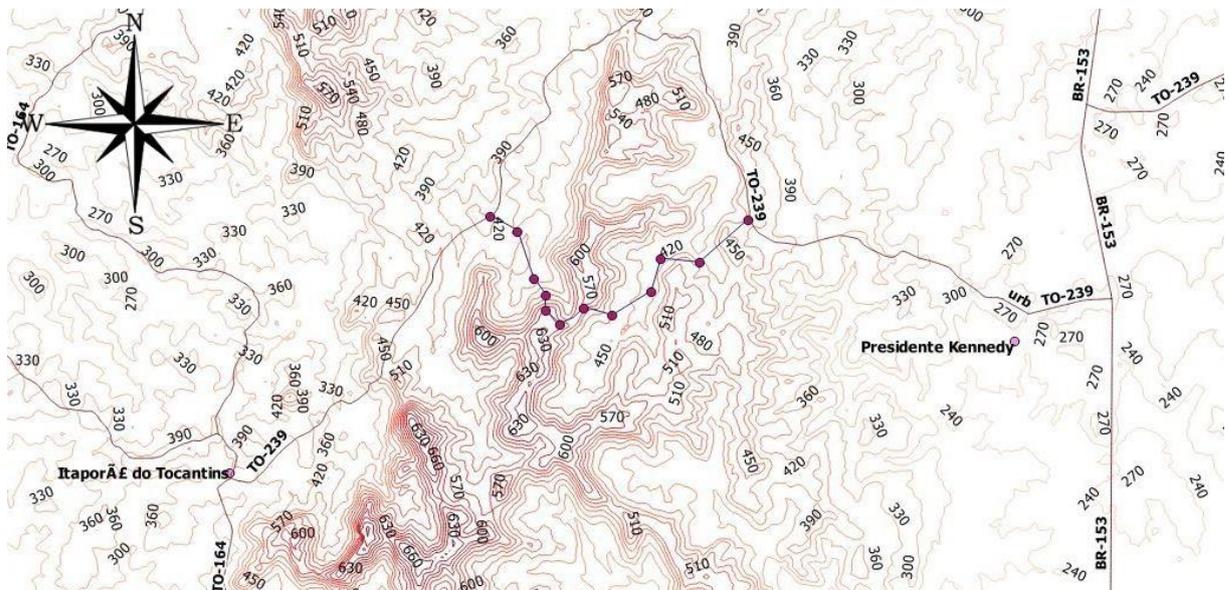


Fonte: autora (2017).

### 3.3.1.3 Terceira alternativa de traçado

A figura 31, apresenta a terceira alternativa para o traçado horizontal. O traçado apresenta tangentes longas. Nota-se a ocorrência de vários vértices da diretriz com ângulo central (AC) próximo de 90° e 12 (quatro) curvas ao longo do segmento proposto.

Figura 31 - Traçado horizontal 3º alternativa



Fonte: autora (2017).

A figura 32, exibe o perfil longitudinal do traçado com elevações entre 391m e 612m, e média de 457m, caracterizando uma topografia ondulada, com variação brusca de cota. O traçado possui inclinação média entre 6,6% e 10,0% com ganho/perda de elevação entre 401m e -398m. A extensão do traçado alternativo é de 22,3km até o ponto final analisado da TO-239, ocasionando uma redução de 8,7km em relação ao leito natural.

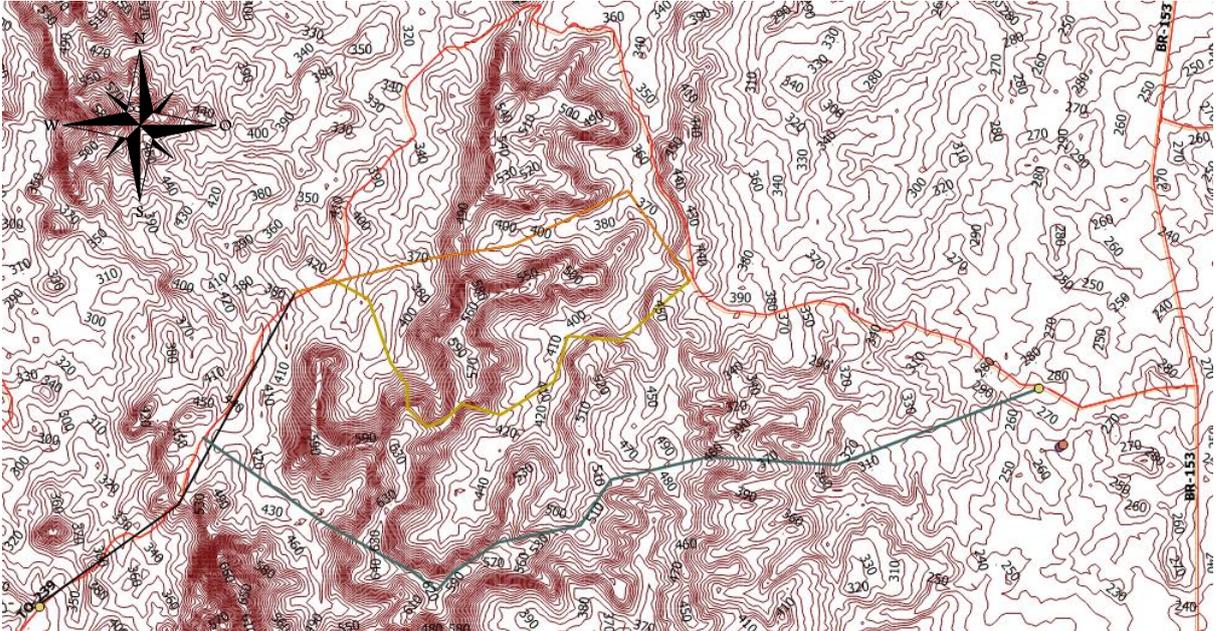
Figura 32 - Perfil longitudinal da 3º alternativa



Fonte: autora (2017).

A figura 33, apresenta uma sobreposição das três alternativas de traçado propostas em planta, para demonstrar de forma visual onde estão localizados seus eixos, com o ponto inicial e ponto final do leito natural estudado.

Figura 33 - Alternativas de traçados



Fonte: autora (2017).

A tabela 16, apresenta um comparativo das três alternativas propostas, mostrando a distância, nível do terreno máximo e mínimo, quantidades de curvas e a principal vantagem e desvantagem da alternativa do traçado.

Tabela 16 - Comparativo dos traçados

	Extensão (km)	Cota (m) Máx. Min.	Quant. de curvas	Vantagens	Desvantagens
<b>Leito natural</b>	31,0	467 265	-	-	-
<b>Alternativas de traçados</b>					
<b>1º alternativa</b>	22,7	645 257	8	Menor diferença brusca de cota.	Curva acentuada, grande quantidade de curvas. Longo trecho em íngreme.
<b>2º alternativa</b>	24,6	481 332	4	Menor quantidade de curvas proporcionando mais conforto aos condutores.	Custo pela necessidade de corte e aterro curva acentuada. Menor redução na extensão total.
<b>3º alternativa</b>	22,3	612 391	12	Maior redução na extensão total.	Maior quantidade de curvas, ocasionando



### 3.3.2.1 Cálculos das curvas horizontais

O raio foi escolhido para garantir aos veículos segurança, estabilidade e máximo de conforto, e também, menor trajeto de viagem. Com o raio mínimo calculado de 123,25m e de acordo com o alinhamento das tangentes, adota-se o valor do raio de cada curva, determinando-as, neste caso, como circular simples e circular com transição.

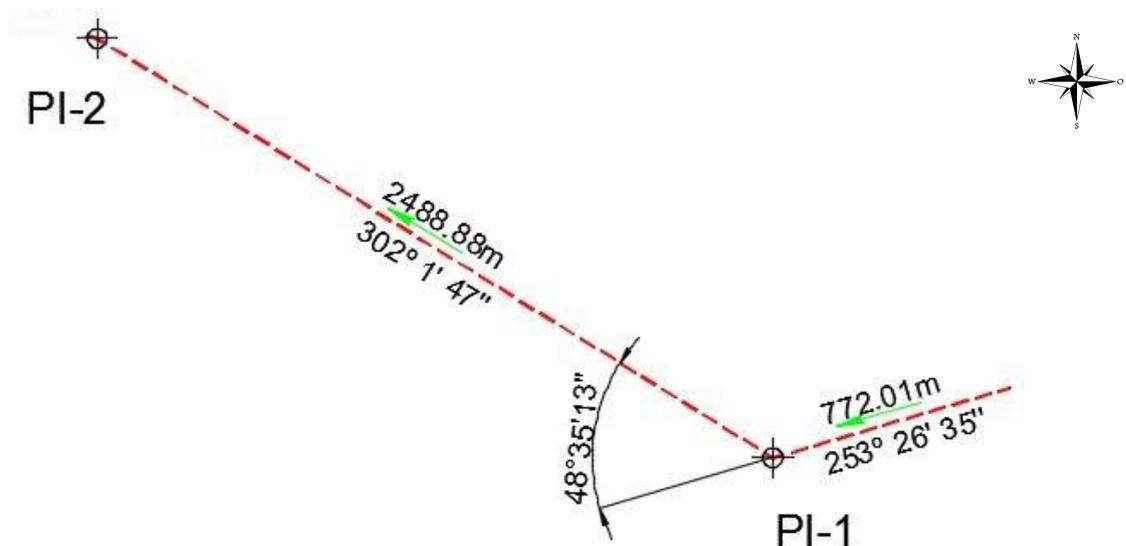
Este projeto é composto por 10 curvas horizontais, das quais nove são caracterizadas como curva circular simples e somente uma como circular com transição.

Utilizando a primeira curva como exemplo para fins de cálculos do projeto, determina-se o raio de projeto de 1000 metros, associando-a então a uma curva horizontal sem transição.

A velocidade adotada foi de 60 km/h, e para tal velocidade, o DNIT definiu que para os raios acima de 700 metros é dispensável a curva de transição.

Como apresenta a figura 34, determina-se a deflexão das tangentes, através da subtração entre os dois azimutes das tangentes, resultando em  $48^{\circ} 35' 13''$  e ponto de interseção um (PI-1). Adotou-se distância entre estacas de 20 metros.

Figura 34 – 1ª curva horizontal



Fonte: autora (2017).

Para um roteiro de cálculo dos elementos geométricos da curva circular simples, inicia-se através da equação 1, a tangente externa.

$$T = R * \tan\left(\frac{48^{\circ} 35' 13,2''}{2}\right) \rightarrow T = 451,381\text{m}$$

Através da equação 2, calcula-se o afastamento da flecha.

$$E = 451,381 * \tan\left(\frac{48^{\circ}35'13,2''}{4}\right) \rightarrow E = 97,153\text{m}$$

Para calcular o Desenvolvimento da curva, utilizou-se a equação 3.

$$D = \left(\frac{\pi * 1000 * 48^{\circ}35'13,2''}{180^{\circ}}\right) \rightarrow D = 848,003\text{m}$$

#### 3.3.2.1.1 Estaqueamento da primeira curva

As estacas dos pontos de curva ou ponto de concordância horizontal (PC) e ponto de tangente (PT), são determinadas pelas equações 4 e 5.

$$E(\text{PC}) = E(772,02) - [451,381] \rightarrow E(\text{PC}) = 16 + 0,639\text{m}$$

$$E(\text{PT}) = E(320,639) + [848,003] \rightarrow E(\text{PT}) = 58 + 8,642\text{m}$$

#### 3.3.2.1.2 Locação da curva circular simples

De acordo com as recomendações do DNIT, adotou-se a corda de 20m. Utilizando a equação 6, para o cálculo do grau de corda.

$$G = \frac{180 * 20}{\pi * 1000} \rightarrow G = 1^{\circ}8'45,6''$$

Para cálculo das deflexões sucessivas utiliza as Equações 8, 9 e 10. Primeira deflexão sucessiva.

$$ds_1 = (20 - 0,631) * \frac{1^{\circ}8'45,6''}{2 * 20} \rightarrow ds_1 = 0^{\circ}33'17,17''$$

Última deflexão sucessiva.

$$ds_{pt} = 8,63 * \frac{1^{\circ}8'45,6''}{2 * 20} \rightarrow ds_{pt} = 0^{\circ}14'50,1''$$

Demais deflexões.

$$ds = d = \frac{1^{\circ}8'45,6''}{2} \rightarrow ds = 0^{\circ}34'22,8''$$

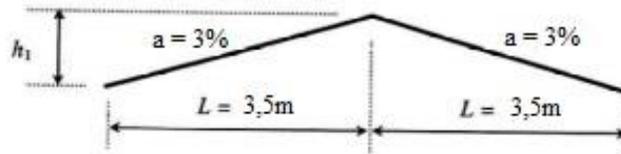
#### 3.3.2.1.3 Superelevação da primeira curva

Esta curva tem valor de raio inferior ao valor de raio dispensável de 1800m para velocidade diretriz de 60km/h proposto pelo DNER. Com uma inclinação de 3% recomendado pelo DNIT, largura da pista de 7m recomendada pelo DERTINS, raio mínimo de 125m, e o emáx de 8%. Calcula a superelevação adotada utilizando a equação 27.

$$e_{\text{máx}} = 8 * \left( 2 * \frac{125}{1000} - \frac{125^2}{1000^2} \right) \rightarrow e = 1,875\%$$

A distribuição da superelevação foi dada em torno do eixo, os valores máximos para  $\alpha$  foram determinados de acordo com BARNETT, onde  $\alpha_1 = 0,25\%$  e  $\alpha_2 = 0,5\%$ .

Figura 35 - Perfil de distribuição da superelevação



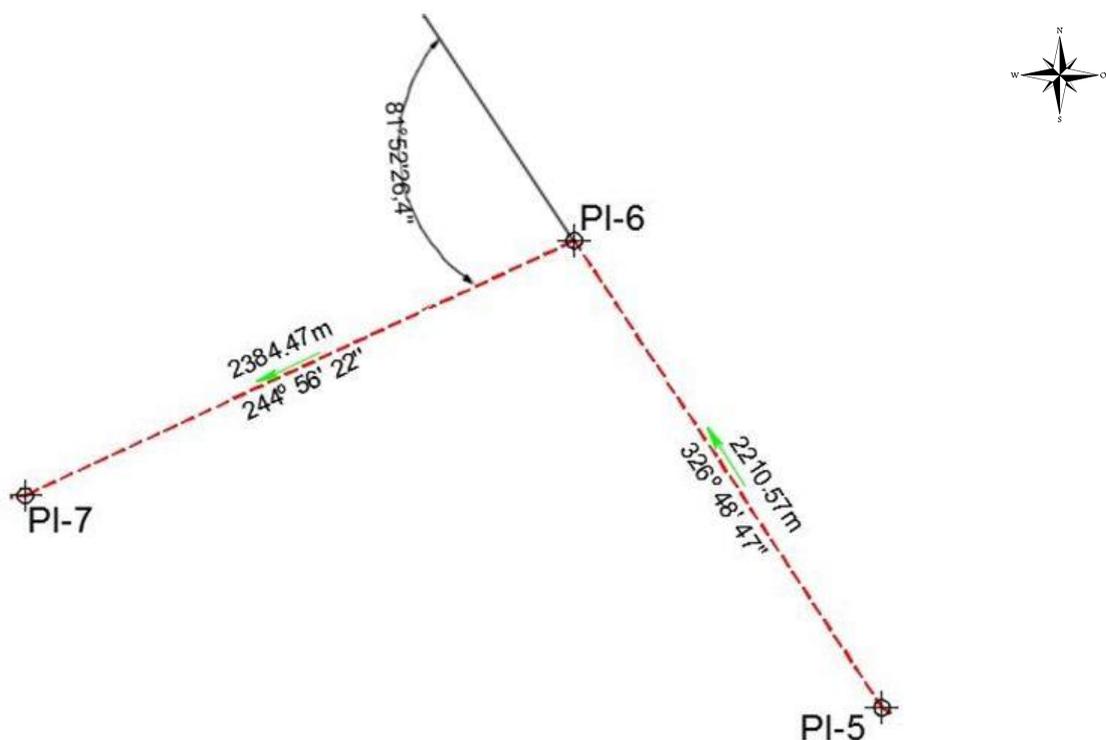
Fonte: autora (2017).

#### 3.3.2.1.4 Superlargura da primeira curva

De acordo com o manual do DNER mostrado na tabela 9, nesta curva é dispensável a superlargura, pois o valor do raio de 1000m é superior a 800m.

Foram realizados os mesmos procedimentos de cálculos para as seguintes curvas, exceto a curva 6 que resultou em uma curva circular com transição, a figura 36, mostra a deflexão da tangente encontrado de  $81^{\circ}52'26,4''$  e ponto de interseção 6 (PI-6).

Figura 36 – 6ª curva horizontal



Fonte: autora (2017).

Utilizando como exemplo a curva 6, como mostra a figura 37, para roteiro de cálculo dos elementos geométricos das curvas com transição, inicia-se pela equação 11, comprimento mínimo de transição.

$$L_{S_{\min}} = 0,036 * \left( \frac{60^3}{650} \right) \rightarrow L_{S_{\min}} = 11,963 \text{ m}$$

Através da equação 12, calcula-se o comprimento máximo de transição.

$$L_{S_{\max}} = 2,2 * 60 \rightarrow L_{S_{\max}} = 132 \text{ m}$$

A partir da equação 13, define-se o comprimento do trecho de transição adotado para esta curva, se o valor de 3 vezes  $L_{S_{\min}}$  for maior que o  $L_{S_{\max}}$ , utiliza-se o  $L_{S_{\max}}$  como comprimento adotado.

$$L_s = 3 * 11,963\text{m} < 132\text{m} \rightarrow L_s = 35,889\text{m} < 132\text{m} \rightarrow L_s = 100\text{m}$$

$L_s$  calculado foi de 58,32m sendo menor que o  $L_{S_{\max}}$  de 132m. para fim de cálculo adota-se  $L_s$  de 100m para resultar em estacas inteiras, ficando 5 estacas.

Utilizando a equação 14, calcula-se o ângulo de transição.

$$\theta_s = \frac{100}{2 * 650} \rightarrow \theta_s = 0,07692 \text{ rad}$$

Através da equação 15, e da equação 16, calcula-se a abscissa e a ordenada dos pontos SC (espiral-circular) e CS (circular-espiral).

Abscissa dos pontos SC e CS.

$$X_s = 100 * \left( 1 - \frac{0,07692^2}{10} + \frac{0,07692^4}{216} \right) \rightarrow X_s = 99,941 \text{ m}$$

Ordenada dos pontos SC e CS.

$$Y_s = 100 * \left( 1 - \frac{0,07692}{3} + \frac{0,07692^3}{42} \right) \rightarrow Y_s = 2,563 \text{ m}$$

Com a equação 17, determina-se o ângulo central do trecho circular.

$$\varphi = 81^\circ 52' 26,4'' * \frac{\pi}{180^\circ} - 2 * 0,07692 \rightarrow \varphi = 1,27512 \text{ rad}$$

O desenvolvimento do trecho circular é encontrado com a equação 18.

$$D = 650 * 1,27512 \rightarrow D = 828,826 \text{ m}$$

A abscissa do centro  $O'$  é determinada com a equação 19.

$$k = 99,941 - (650 * \text{sen}(0,07692)) \rightarrow k = 49,990\text{m}$$

Afastamento da curva circular, equação 20.

$$p = 2,563 - (650 * \cos(0,07692)) \rightarrow p = 0,641\text{m}$$

Tangente total, equação 21.

$$TT = 49,99 + (650 + 0,641) * \tan\left(\frac{81^\circ 52' 26,4''}{2}\right) \rightarrow TT = 614,324\text{m}$$

### 3.3.2.1.5 Superelevação da sexta curva

Esta curva tem valor de raio inferior ao valor de raio dispensável de 1800m para velocidade diretriz de 60km/h proposto pelo DNER. Com uma inclinação de 3% recomendado pelo DNIT, largura da pista de 7 recomendada pelo DERTINS, raio mínimo de 125m, e o emáx de 8%. Calcula a superelevação adotada utilizando a equação 27.

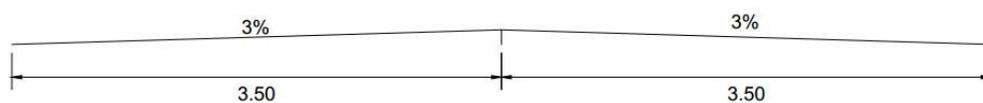
$$e_{\text{máx}} = 8 * \left(2 * \frac{125}{650} - \frac{125^2}{650^2}\right) \rightarrow e = 2,781\%$$

### 3.3.2.1.6 Superlargura da sexta curva

De acordo com o manual do DNER mostrado na tabela 9, nesta curva é necessário a superlargura de 0,30m para cada lado, pois o valor do raio de 650m e a velocidade de 60km/h.

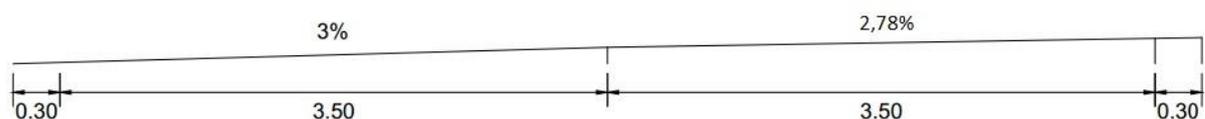
Com isto é possível perceber no corte da rodovia a diferença no perfil transversal, da rodovia normal, como mostra a figura 37, e a rodovia em curva com superelevação e superlargura, figura 38.

Figura 37 - Perfil transversal da rodovia



Fonte: autora (2017).

Figura 38– Perfil transversal da rodovia com superelevação e superlargura



Fonte: autora (2017).

A distribuição da superelevação foi dada em torno do eixo, e os valores máximos para  $\alpha$  foram determinados de acordo com BARNETT, onde  $\alpha_1 = 0,25\%$  e  $\alpha_2 = 0,5\%$ .

### 3.3.2.1.7 Locação da sexta curva

É realizado o estaqueamento dos pontos notáveis desta curva, utilizando a recomendação do DNIT, a cada 20m.

### 3.3.2.1.8 Estaqueamento da sexta curva circular com transição

Na sequência organiza-se uma caderneta de locação da curva circular com transição. Abaixo segue um roteiro de cálculo.

Ângulo de transição, a partir da equação 22.

$$\theta_s = \frac{(20 - 13,89)^2}{2 * 650 * 100} \rightarrow \theta_s = 0,00029 \text{ rad}$$

Abscissa de um ponto genérico A, com a equação 23.

$$X = 6,11 * \left( 1 - \frac{0,00029^2}{10} + \frac{0,00029^4}{216} \right) \rightarrow X = 6,11\text{m}$$

Ordenada de um ponto genérico A, através da equação 24.

$$Y = 6,11 * \left( \frac{0,00029}{3} + \frac{0,00029^3}{42} \right) \rightarrow Y = 0,00059\text{m}$$

Ângulo de deflexão, a partir da equação 25.

$$i = \arctang\left(\frac{0,00059}{6,11}\right) \rightarrow i = 0^\circ 0' 19,92''$$

Repetindo os mesmos cálculos para todas as estacas, e desenvolvendo a caderneta da curva circular com transição baseado na sugestão de Pontes Filho, como mostra o quadro no apêndice.

De acordo com as recomendações do DNIT, adotou-se a corda de 20m. Utilizando da equação 6, para o cálculo do grau de corda.

$$G = \frac{180 * 20}{\pi * 650} \rightarrow G = 1^\circ 45' 46,61''$$

Para cálculo das deflexões sucessivas utiliza as Equações 8, 9 e 10.

Primeira deflexão sucessiva.

$$ds_1 = (20 - 13,89) * \frac{1^\circ 45' 46,61''}{2 * 20} \rightarrow ds_1 = 0^\circ 16' 9,44''$$

Última deflexão sucessiva.

$$ds_{pt} = 2,72 * \frac{1^{\circ}45'46,61''}{2 * 20} \rightarrow ds_{pt} = 0^{\circ}7'11,57''$$

Demais deflexões.

$$ds = d = \frac{1^{\circ}45'46,61''}{2} \rightarrow ds = 0^{\circ}52'53,31''$$

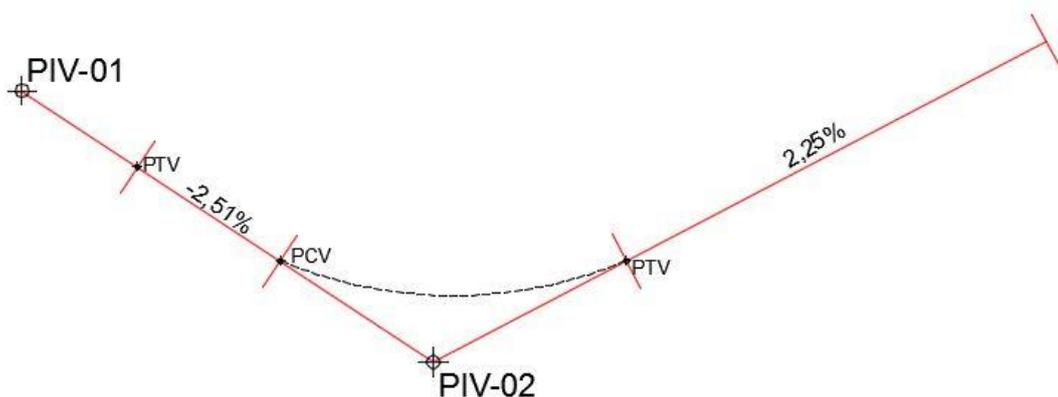
### 3.3.2.2 Cálculo das curvas verticais

O projeto em perfil de uma estrada é constituído por greides restos concordados dois a dois por curvas verticais. Estes são definidos a partir da inclinação de sua rampa. A determinação faz-se necessário para dar às estradas, condições de serem percorridas pelos veículos dentro da capacidade normal dos motores. Utilizando o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, DNER 1999, concomitante com a classe da rodovia e as características topográficas determina-se a rampa máxima de 6%.

Este projeto é composto por vinte e uma curvas verticais, destas, dez são classificadas com côncavas. Para roteiro de cálculo, utiliza-se da segunda curva, como mostra a figura 39, para cálculo dos elementos geométricos das curvas verticais côncavas.

Para o dimensionamento de curvas verticais existe a distinção de curvas convexas e côncavas, deste modo o que mais influência no cálculo são os requisitos de visibilidade. A distância de visibilidade calculada é de 88,302m e Lmin calculado de 36m.

Figura 39 – 2ª curva vertical



Fonte: autora (2017).

Através da equação 42 determina-se o valor de K para curvas côncavas.

$$K = \frac{88.302^2}{122 + 3,5 * 88,302} \rightarrow K = 18,926m$$

Para determinação do L desta curva, utiliza-se da equação 39. Sendo A, a variação de declividade igual a 4,76%.

$$L = \frac{88,302^2}{122 + 3,5 * 88,302} * 4,76 \rightarrow L_{min} = 86,103m$$

O L não atendeu o requisito da distância de visibilidade, utiliza-se a equação 40 para recalcula-lo.

$$L = 2 * 88,302 - \frac{122 + 3,5 * 88,302}{4,76} \rightarrow L = 86,047m$$

Considerando que após o cálculo do L, ainda não foi possível atender ao requisito de visibilidade, pois  $D_p > L$ , adotou-se o  $L = 160m$ , respeitando o  $L_{min}$  de 36m.

#### 3.3.2.2.1 Locação da curva simétrica

Para iniciar a locação das curvas verticais, faz-se necessário determinar  $g$ , através da equação 28. Onde:  $g > 0$  a curva será convexa e se  $g < 0$  a curva será côncava.

$$g = -2,51 - 2,25 \rightarrow g = -4,76\%$$

Para o cálculo da flecha da parábola de 2º grau simples, utiliza-se a equação 29. Utiliza-se  $g$  em modulo e a distância entre estacas de 20m.

$$f = \frac{0,0476}{2 * 160} * 20^2 \rightarrow f = 0,0595m$$

Através da equação 30, calcula-se a flecha máxima da parábola de 2º grau simples.

$$F = \frac{0,0476 * 160}{8} \rightarrow F = 0,952m$$

O PCV e o PTV podem ser locados em estaca inteira ou fracionária. Para o cálculo das estacas dos pontos do PCV e PTV utiliza-se as equações:

$$E \text{ (PCV)} \rightarrow = 2330,14 - 160/2$$

$$E \text{ (PCV)} \rightarrow = 112 + 10,14m$$

$$E \text{ (PTV)} \rightarrow = 2330,14 + 160/2$$

$$E \text{ (PTV)} \rightarrow = 120 + 10,14m$$

$$\text{Cota (PCV)} \rightarrow = 264,218 - (0,0251 * 80)$$

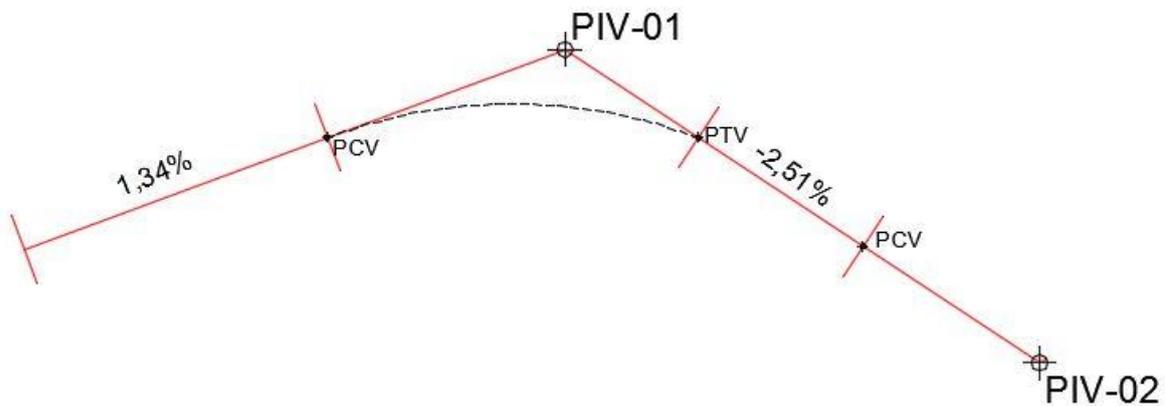
$$\text{Cota (PCV)} \rightarrow = 262,21m$$

$$\text{Cota (PTV)} \rightarrow = 264,218 + (0,0225 * 80)$$

$$\text{Cota (PTV)} \rightarrow = 266,018\text{m}$$

Foram realizados os mesmos procedimentos de cálculos para todas as curvas verticais. A quadro de locação está no apêndice.

Figura 40 – 1ª curva vertical



Fonte: autora (2017).

Utilizando como exemplo a primeira curva, como mostra a figura 40, para roteiro de cálculo dos elementos geométricos das curvas convexas, inicia-se pela equação 41, onde determina-se o valor de K para curvas convexas.

$$K = \frac{88,302^2}{412} \rightarrow K = 18,92\text{m}$$

Para determinação do L desta curva, utiliza-se a equação 36. Sendo A, a variação de declividade igual a 4,76%.

$$L = \frac{88,302^2}{412} * 3,84 \rightarrow L = 72,674\text{m}$$

O L não atendeu o requisito da distância de visibilidade, utiliza-se a equação 37 para recalcula-lo.

$$L = 2 * 88,302 - \frac{412}{3,84} \rightarrow L = 69,313\text{m}$$

Considerando que após o cálculo do L, ainda não foi possível atender ao requisito de visibilidade, pois  $D_p > L$ , adotou-se o  $L = 160\text{m}$ , respeitando o  $L_{\text{min}}$  de 36m.

### 3.3.3 Desenvolvimento do projeto

O projeto foi desenvolvido manualmente, com auxílio dos softwares ArcGis, Google Maps, e AutoCAD Civil 3D para o projeto do traçado horizontal e vertical. Finalizou-se demonstrando o projeto bem como todos os seus elementos que estão disponíveis no apêndice. A linha da faixa de domínio foi locada com 40m para cada lado.

## 4 APRESENTAÇÃO DE RESULTADOS

### 4.1 DEFINIÇÃO DO TRAÇADO

Definir o traçado geométrico de uma rodovia envolve o desafio de conciliar a normatização técnica existente com as características topográficas de um terreno. Qualquer desvio ou alteração pode significar um aumento ou diminuição dos volumes a serem escavados, afetando diretamente os custos da implantação do empreendimento. (ANTAS et al, 2010).

Por se tratar de um trecho em região com relevo ondulado, a solução para o traçado do segmento a ser implantado utilizou grande parte da rodovia existente, porém propondo melhorias no traçado e aproveitando o máximo possível às obras de arte. A plataforma apresenta seções mistas, de aterro e cortes.

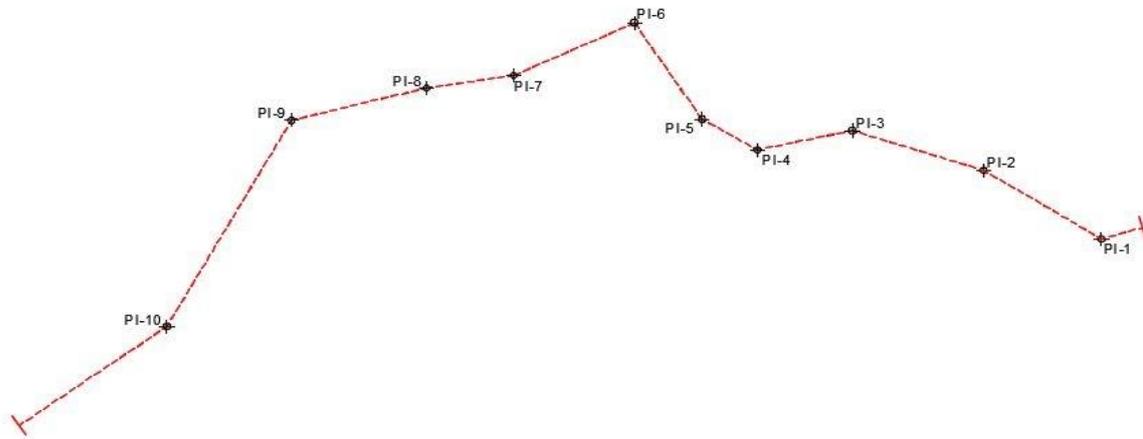
A tabela 17 e a figura 41 mostram as coordenadas e as cotas dos pontos de intersecção - PI.

Tabela 17 – Tabela de coordenadas

PI	NORTE	ESTE
1	9055980,00	774950,00
2	9057300,00	772840,00
3	9058060,00	770490,00
4	9057690,00	768790,00
5	9058280,00	767800,00
6	9060130,00	766590,00
7	9059120,00	764430,00
8	9058880,00	762870,00
9	9058260,00	760450,00
10	9054300,00	758220,00

Fonte: autora (2017).

Figura 41 – Traçado horizontal



Fonte: autora (2017).

## 4.2 CLASSIFICAÇÃO DA RODOVIA

A classificação técnica compreende o nível de qualidade dos serviços que a rodovia presta aos seus usuários, ou seja, todas as características necessárias para garantir mobilidade, conforto e segurança aos usuários. Relaciona-se diretamente com o traçado e características geométricas da via. (DNER, 1999).

De acordo com o Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT, 2009) o VMD da rodovia TO-239, que liga Presidente Kennedy a Itaporã do Tocantins, é cerca de aproximadamente 300 veículos, tendo como estimativa para a utilização da nova rodovia um VMD de 500 veículos. Classifica-se assim, o novo trecho como classe III, rodovia de pista simples, suportando volumes de tráfego em 10 anos compreendido entre os limites de  $700 > \text{VMD} \geq 300$  veículos operando em duas direções.

## 4.3 VELOCIDADE DA RODOVIA

Após a classificação da rodovia é possível identificar a velocidade de projeto em km/h baseada nas características da topográficas da região. A característica do local estudado é denominada por uma topografia ondulada. E de acordo com o DNIT, apresentado na tabela 2, a velocidade de projeto para esta rodovia deve ser de 60 km/h.

## 4.4 VEÍCULOS DO PROJETO

No projeto de rodovias, é necessário definir o veículo para projeto. O mais usual e utilizado para projetos geométricos rodoviários federais e estaduais é o veículo CO,

caracterizados como veículos comerciais rígidos, compostos de unidade tratora simples, incluem os caminhões e ônibus convencionais habitualmente de 2 eixos e 6 rodas.

#### 4.5 RAIOS MÍNIMOS DA CURVA HORIZONTAL

É o menor raio da curva que pode ser utilizado em projeto visando as condições aceitáveis de segurança e conforto de viagem.

Utilizando a velocidade de projeto de 60km/h, a taxa máxima de superelevação admissível de 8% de acordo com a tabela 8, e o coeficiente  $f_{\text{máx}}$  de 0,15 conforme a tabela 6, determina-se através da equação 26 o raio mínimo para as curvas de projeto.

$$R_{\text{min}} = \frac{60^2}{127 * (0,15 + 0,08)} \rightarrow R_{\text{min}} = 123,245\text{m}$$

Na equação de raio mínimo será adotado o resultado múltiplos de 5, deste modo, resultará  $R_{\text{min}} = 125\text{m}$ .

##### 4.5.1 Definição dos raios

Na tabela 18 a seguir, lançou-se os comprimentos de raios acima do mínimo.

Tabela 18 - Comprimento dos raios

PI	RP (m)
1	1000
4	1000
5	1000
6	650
7	1800
8	1800
9	1800
10	1800

Fonte: autora (2017).

#### 4.6 CÁLCULO DAS CURVAS HORIZONTAIS

Com o raio mínimo calculado de 125m e de acordo com o alinhamento das tangentes, adota-se o valor do raio de projeto, para assegurar aos veículos conforto, estabilidade e segurança, ao passar por uma curva.

Este projeto é composto por 10 curvas horizontais, dentre estas uma curva classificasse por curva horizontal circular com transição. É importante salientar que seria possível ter as 9 curvas sem transição, pois a distância entre tangentes seria obedecida mesmo que o raio da sexta curva ultrapassasse 700m, porém para demonstração de cálculo e maior adequação ao relevo, optou-se por uma curva circular com transição. Adotou-se a distância de 20m entre as estacas.

Tabela 19 – Relação de curvas horizontais

QUADRO DE CURVAS													
CURVA	PC		SC		PI		CS		PT		AC (°)	Raio (m)	LC (m)
	Estaca		Estaca		Estaca		Estaca		Estaca				
	Int.	Frac. (m)											
1	16	0,63	-	-	38	12,01	-	-	58	8,63	48,59	1000	0
2	147	18,64	-	-	160	6,13	-	-	172	11,12	14,11	2000	0
3	259	7,78	-	-	283	13,46	-	-	306	16,55	30,20	1800	0
4	349	16,03	-	-	369	10,67	-	-	387	7,78	43,07	1000	0
5	413	14,57	-	-	425	5,62	-	-	436	8,70	26,02	1000	0
6	504	13,89	509	13,89	533	15,38	551	2,72	556	2,72	81,87	650	100
7	631	14,85	-	-	644	12,86	-	-	657	7,38	16,31	1800	0
8	718	19,31	-	-	723	7,72	-	-	727	15,99	5,62	1800	0
9	809	17,14	-	-	848	5,74	-	-	882	9,97	46,24	1800	0
10	1051	9,14	-	-	1071	6,09	-	-	1090	10,53	24,87	1800	0

Fonte: autora (2017).

#### 4.6.1 Resumo dos elementos da curva circular

A superlargura é o aumento na largura da pista. Tal acréscimo é recomendado nas curvas para a correção na passagem dos veículos. O DNER (1999) apresenta os valores dos raios e velocidade o qual necessita e dispensa a superlargura.

A Superelevação é a inclinação transversal na pista necessária nas curvas, a fim de combater a força centrífuga. Para curvas com raios exorbitantes em relação à velocidade diretriz de projeto, o efeito da força centrífuga é desprezível, podendo-se projetar as seções transversais da pista nessas curvas para as condições de trecho em tangente, isto é, com abaulamentos, dispensando-se o uso de superelevações

Neste projeto foram respeitadas as orientações do DNER (1999) para a adição da superlargura, conforme tabela 9, e superelevação, conforme tabela 7. Na tabela 20, tem-se o resumo dos elementos da curva.

Tabela 20 – Resumo dos elementos da curva horizontais

QUADRO RESUMO DOS ELEMENTOS DAS CURVAS					
Curva	Rmín (m)	Rp (m)	SE (%)	SL (m)	Desenv. (m)
1	125	1000	1,88	0	848,001
2	125	2000	0,00	0	492,475
3	125	1800	0,00	0	948,767
4	125	1000	1,88	0	751,748
5	125	1000	1,88	0	454,133
6	125	650	2,78	0,3	828,826
7	125	1800	0,00	0	512,528

8	125	1800	0,00	0	176,678
9	125	1800	0,00	0	1452,822
10	125	1800	0,00	0	781,387

Fonte: autora (2017).

Onde: SL é superlargura e SE superelevação.

## 4.7 CÁLCULO DAS CURVAS VERTICAIS

### 4.7.1 Comprimento das curvas verticais

Para o dimensionamento de curvas verticais existe a distinção de curvas convexas e côncavas, deste modo o que mais influência no cálculo são os requisitos de visibilidade.

A tabela 21 apresenta as cotas e estacas dos pontos PCV, PIV e PTV de todas as curvas.

Tabela 21 – Resumo dos elementos das curvas verticais

CURVA	PCV		COTA PCV (m)	PIV		COTA PIV (m)	PTV		COTA PTV (m)
	Estaca	Frac. (m)		Estaca	Frac. (m)		Estaca	Frac. (m)	
1	76	15,770	283,19	80	15,770	282,11	84	15,770	280,11
2	112	10,140	262,21	116	10,140	264,21	120	10,140	266,02
3	190	8,300	301,12	194	8,300	299,32	198	8,300	298,99
4	232	8,460	295,48	236	8,460	295,81	240	8,460	300,61
5	259	3,450	337,51	265	3,450	330,31	271	3,450	329,02
6	291	4,600	322,98	295	4,600	323,84	299	4,600	327,34
7	376	6,270	400,12	379	6,270	397,48	382	6,270	398,86
8	426	10,790	422,66	430	10,790	420,83	434	10,790	416,83
9	463	13,560	379,60	467	13,560	383,60	471	13,560	382,28
10	516	16,150	364,69	520	16,150	366,01	524	16,150	369,53
11	563	17,910	409,15	566	17,910	406,51	569	17,910	405,94
12	616	18,790	394,99	621	18,790	395,94	626	18,790	401,49
13	674	13,570	494,24	692	13,570	474,30	710	13,570	425,41
14	721	10,360	330,83	733	10,360	363,41	745	10,360	372,30
15	813	2,790	428,33	817	2,790	425,36	821	2,790	421,65
16	860	16,800	375,43	865	16,800	380,07	870	16,800	383,22
17	962	7,770	445,69	966	7,770	443,17	970	7,770	443,45
18	1052	19,780	450,23	1061	19,780	449,61	1070	19,780	428,15
19	1102	10,060	286,14	1116	10,060	319,54	1130	10,060	338,17
20	1155	17,970	398,51	1165	17,970	385,21	1175	17,970	369,53
21	1181	10,570	329,33	1184	150,570	345,01	1201	10,570	353,23

Fonte: autora (2017)

### 4.7.2 Comprimento mínimo

O comprimento mínimo de curva necessário para realizar uma curva vertical, não se difere de côncava para convexa sendo caracterizada pela equação 35.

$$L_{min} = 0,6 * 60 \rightarrow L_{min} = 36m$$

#### 4.7.3 Determinação das rampas máximas e mínimas

A determinação faz-se necessário para dar às estradas, condições de serem percorridas pelos veículos dentro da capacidade normal dos motores. Utilizando o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, DNER 1999, concomitante com a classe da rodovia e as características topográficas determina-se a rampa máxima de 6%.

Tabela 22 – Inclinações das rampas

Rampa	i	i	A
1	1,34%	-2,51%	3,84%
2	-2,51%	2,25%	4,76%
3	2,25%	-0,42%	2,67%
4	-0,42%	6,00%	6,42%
5	6,00%	-1,08%	7,08%
6	-1,08%	4,38%	5,46%
7	4,38%	2,28%	2,10%
8	2,28%	-5,01%	7,29%
9	-5,01%	-1,66%	3,36%
10	-1,66%	4,39%	6,05%
11	4,39%	-0,96%	5,35%
12	-0,96%	5,54%	6,50%
13	5,54%	-13,58%	19,11%
14	-13,58%	3,70%	17,28%
15	3,70%	-4,65%	8,35%
16	-4,65%	3,14%	7,79%
17	3,14%	0,34%	2,80%
18	0,34%	-11,93%	12,27%
19	-11,93%	6,65%	18,58%
20	6,65%	-7,84%	14,49%
21	-7,84%	4,11%	11,95%

Fonte: autora (2017).

Através da tabela 22 é possível perceber que as rampas 13 e 14 com -13,58%, 18, 19 com -11,93% e 20 e 21 com -7,84%, ultrapassaram a rampa máxima de 6%, ressaltando que as rampas são em duplo sentido de tráfego da via. Isto se deu mediante a grande movimentação de terra necessária para atender este requisito. Assim, optou-se por utilizar uma maior inclinação e adicionar a faixa adicional nas rampas ascendentes, para a utilização de veículos carregados, fazendo com que veículos mais leves trafeguem na faixa principal com maior segurança, sem retardamento, e sem a necessidade de utilizar a faixa contrária para ultrapassagem, diminuindo dessa forma os riscos ao condutor, aumentando a eficiência na condução do veículo na rodovia.

De acordo com o Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, DNER 1999, nos últimos anos o DNER e outros órgãos rodoviários tem projetado extensões de terceira faixa nas

rodovias, afim de evitar o retardamento do fluxo de veículos para que caminhões carregados ao utilizar rampas ascendentes íngremes, possam trafegar por essas faixas adicionais, pois segundo o manual, veículos trafegando em velocidade reduzida em decorrência de rampas ascendentes, restringem as características operacionais dos demais veículos.

A Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2014) aconselha, no caso de rodovias construídas em terrenos com ondulações e/ou montanhosos, a implantação de faixas adicionais de subida, para conceder a ultrapassagem de veículos, por isso é possível aumentar a capacidade da rodovia e, portanto, minimizar o número de acidentes.

Dessa forma, construindo a faixa adicional, aumenta-se a oportunidade de ultrapassagem por veículos que trafegam em velocidade normal, diminuindo assim o tempo de viagem, custos operacionais e possibilidades de acidentes, fazendo com que o trânsito tenha maior fluidez, bem como diminuir a movimentação de terra ao executar o projeto da rodovia.

Para a inclusão da faixa adicional, utilizou-se os parâmetros abaixo conforme consta no Manual de Projeto Geométrico, DNER 1999.

#### 4.7.4 *Largura*

De acordo com o Manual de Projeto Geométrico, DNER 1999. Uma faixa de subida deverá ter uma largura mínima de 3,00m, correspondente a largura máxima de um veículo pesado acrescido da folga lateral de 0,4m.

Para este projeto adotou-se a largura da faixa adicional igual à da faixa de transito 3,5m.

#### 4.7.5 *Declividade transversal*

A declividade transversal da terceira faixa em tangente será a mesma da pista principal, 3%.

#### 4.7.6 *“Tapers”*

O Manual de Projeto Geométrico (DNER 1999), diz que antes do início da terceira faixa deve ser previsto um “taper” de comprimento adequado, projetado para que o veículo possa mudar de faixa com segurança. Os valores recomendados constam na tabela 23.

Tabela 23 – Comprimento do “taper” nas terceiras faixas

Velocidade diretriz da rodovia (km/h)	60	80	100	120
Comprimento desejado (m)	55	70	85	100
Comprimento mínimo (m)	45	55	65	75

Fonte: Manual de Projeto Geométrico (DNER 1999).

É recomendado que a faixa adicional termine em um ponto que possibilite a entrada de um veículo da faixa normal, sem problema de segurança. De acordo com DNER 1999, pode-se adotar como critério exigir, que as condições de visibilidade nesse ponto sejam suficientes para permitir a ultrapassagem e que essa situação se mantenha por mais de 60 metros. O “taper” de comprimento adequado deve ser projetado seguindo o mesmo critério de deslocamento lateral do “taper” que antecede o início da terceira faixa.

De acordo com a tabela 23, concomitante com a velocidade diretriz de 60km/h, foi determinado que os “tapers” para este projeto é de 55m para o comprimento desejado e 45m para o mínimo.

#### 4.7.7 Comprimento das curvas verticais

Para o dimensionamento de curvas verticais existe a distinção de curvas convexas e côncavas, deste modo o que mais influência no cálculo são os requisitos de visibilidade como valores mínimos que devem ser respeitados. Assim, quanto mais eficientes forem as condições gerais de visibilidade, mais segura se tornará a estrada.

A distância de visibilidade foi calculada para cada curva, adotando sempre a pior inclinação, concomitante com o sinal da inclinação, onde os greides ascendentes, os valores das rampas ( $i$ ), são considerados positivos e nos greides descendentes, negativos.

A determinação do  $K$  foi feita a partir da classificação de cada curva como côncava ou convexa e a respectiva distância de visibilidade. O  $K$  faz-se necessário para que haja a concordância vertical na parábola do segundo grau.

Por fim calculou-se o comprimento mínimo de cada curva, respeitando como valores mínimos a distância mínima de visibilidade. Os valores adotados para  $L$  dão preferência a curvas simétricas.

A tabela 24, traz um resumo dos elementos das curvas verticais.

Tabela 24 – Resumo dos elementos de curvas verticais

Curva	Dp (m)	K (m)	L (m)	Tipo
1	88,303	18,926	160,000	Convexa
2	88,303	18,926	160,000	Côncava
3	82,050	16,340	160,000	Convexa
4	78,199	14,842	160,000	Côncava
5	78,199	14,842	240,000	Convexa
6	79,768	15,444	160,000	Côncava
7	79,768	15,444	120,000	Convexa
8	92,438	20,740	160,000	Convexa
9	92,438	20,740	160,000	Côncava
10	79,758	15,440	160,000	Côncava
11	79,758	15,440	120,000	Convexa
12	78,631	15,007	200,000	Côncava
13	114,696	31,930	720,000	Convexa
14	114,696	31,930	480,000	Côncava
15	91,798	20,453	160,000	Convexa
16	91,798	20,453	200,000	Côncava
17	81,064	15,950	160,000	Convexa
18	109,004	28,839	360,000	Convexa
19	109,004	28,839	560,000	Côncava
20	98,111	23,364	400,000	Convexa
21	98,111	23,364	400,000	Côncava

Fonte: autora (2017).

#### 4.8 NOTA DE SERVIÇO

A nota de serviço de terraplenagem é corresponde ao traçado geométrico vertical que antecede o diagrama de massas. Nesta etapa foram determinadas geometrias e também a profundidade de corte e aterro no terreno natural.

Nos aterros onde os materiais de corte puderem ser reutilizados, o equilíbrio entre a movimentação de massas, diminuem os empréstimos e bota-foras, gerando assim custos menores no processo de terraplenagem.

A nota de serviço de terraplenagem bem como as seções transversais foram geradas através do software AutoCad Civil 3D, com a frequência que a seção tipo se repetem nas tangentes de 20 em 20m e aos longos das curvas de 10 em 10m.

A tabela 25 traz um resumo desta nota de serviço, sendo que a nota na integra está no apêndice.

Tabela 25 – Resumo nota de serviço de terraplenagem

<b>Eixo</b>					
<b>Estaca</b>	<b>Pontos Notáveis da Geometria Horizontal</b>	<b>Pontos Notáveis da Geometria Vertical</b>	<b>Cota Projeto</b>	<b>Cota Terreno</b>	<b>Cota Vermelha</b>
70+0,000			279,238	280	-0,762
71+0,000			279,505	280	-0,495
72+0,000			279,772	280	-0,228
73+0,000			280,039	280	0,039
74+0,000			280,306	280	0,306
75+0,000			280,573	280	0,573
76+0,000		PCV	280,84	280	0,84
77+0,000			281,105	280	1,105
78+0,000			281,304	280	1,304
79+0,000			281,407	280	1,407
80+0,000			281,414	280	1,414
81+0,000			281,324	280	1,324
82+0,000			281,139	280	1,139
83+0,000			280,857	280	0,857
84+0,000		PTV	280,48	280	0,48
85+0,000			280,009	280	0,009
86+0,000			279,507	280	-0,493
87+0,000			279,006	280	-0,994
88+0,000			278,505	280	-1,495
89+0,000			278,004	280	-1,996
90+0,000			277,503	280	-2,497
91+0,000			277,002	280	-2,998
92+0,000			276,5	280	-3,5
93+0,000			275,999	279,628	-3,629
94+0,000			275,498	278,627	-3,129
95+0,000			274,997	277,626	-2,629
96+0,000			274,496	276,625	-2,129
97+0,000			273,994	275,624	-1,629
98+0,000			273,493	274,623	-1,13
99+0,000			272,992	273,622	-0,63
100+0,000			272,491	272,621	-0,13
101+0,000			271,99	271,62	0,37
102+0,000			271,488	270,619	0,87
103+0,000			270,987	269,96	1,027
104+0,000			270,486	269,858	0,628
105+0,000			269,985	269,756	0,229
106+0,000			269,484	269,669	-0,186
107+0,000			268,983	269,362	-0,38
108+0,000			268,481	268,657	-0,175
109+0,000			267,98	267,951	0,029
110+0,000			267,479	267,291	0,188

111+0,000			266,978	266,638	0,34
112+0,000		PCV	266,477	265,985	0,492
113+0,000			265,99	265,332	0,658
114+0,000			265,607	264,679	0,928
115+0,000			265,343	264,026	1,317
116+0,000			265,198	263,652	1,546
117+0,000			265,172	263,478	1,693
118+0,000			265,265	263,44	1,824
119+0,000			265,476	263,593	1,884
120+0,000		PTV	265,807	263,847	1,96
121+0,000			266,243	264,367	1,876
122+0,000			266,693	264,886	1,807
123+0,000			267,144	265,474	1,67
124+0,000			267,594	266,047	1,547
125+0,000			268,045	266,645	1,4
126+0,000			268,495	267,789	0,707

Fonte: autora (2017).

#### 4.9 DIAGRAMA DE BRUCKNER

Após o cálculo das áreas de seções transversais e volumes dos prismóides, gerou-se então a tabela de volumes acumulados através do AutoCad Civil 3D.

Na tabela 26, tem-se um resumo da tabela de volumes acumulados, sendo que os dados completos, encontram-se no apêndice.

Tabela 26 – Resumo de volumes acumulados

ESTACA	Área(m <sup>2</sup> )		Semi Distância (m)	Volume(m <sup>3</sup> )			Comp. Latereal	Ordenada Brukner
	Corte	Aterro		Corte	Aterro			
					Geom	25%		
0+0.000	2.872	9.383	0.00					0.000
				0.000	0.000	0.000		
1+0.000	0.000	22.659	10.000					0.000
				28.724	256.338	320.422	28.724	
2+0.000	0.000	7.001	10.000					-291.698
				0.000	237.282	296.602	0.000	
3+0.000	0.000	7.560	10.000					-588.300
				0.004	116.491	145.614		
4+0.000	0.000	8.347	10.000					-733.910
				0.004	127.260	159.075		
5+0.000	0.415	6.537	10.000					-892.980
				4.154	119.073	148.841	4.154	
6+0.000	0.000	13.904	10.000					-1.037.667
				4.154	163.526	204.407	4.154	
7+0.000	0.000	5.504	10.000					-1.237.921
				0.000	155.266	194.082	0.000	
8+0.000	0.990	0.852	10.000					-1.432.003
				9.897	50.849	63.561	9.897	
9+0.000	5.832	0.105	10.000					-1.485.667
				68.222	7.652	9.565	9.565	

10+0.000	11.338	0.072	10.000					-1.427.011
				171.708	1.415	1.769	1.769	
11+0.000	17.095	0.046	10.000					-1.257.072
				284.333	0.947	1.183	1.183	
12+0.000	22.966	0.000	10.000					-973.922
				400.609	0.368	0.460	0.460	
13+0.000	29.237	0.000	10.000					-573.773
				522.028	0.000	0.000	0.000	
14+0.000	34.312	0.000	10.000					-51.745
				635.491	0.000	0.000	0.000	
15+0.000	37.038	0.973	10.000					583.745
				713.504	7.787	9.734	9.734	
16+0.000	41.290	0.000	10.000					1.287.515
				783.279	7.787	9.734	9.734	
16+5.000	35.975	0.288	2.500					2.061.060
				193.162	0.576	0.720	0.720	
16+10.000	33.765	0.633	2.500					2.253.502
				174.350	1.843	2.304	2.304	
16+15.000	32.966	1.799	2.500					2.425.549
				166.827	4.864	6.080	6.080	
17+0.000	35.109	1.035	2.500					2.586.295
				170.187	5.668	7.085	7.085	
17+5.000	36.340	0.938	2.500					2.749.397
				178.623	3.946	4.933	4.933	
17+10.000	36.187	3.148	2.500					2.923.087
				181.317	8.172	10.215	10.215	
17+15.000	37.626	5.372	2.500					3.094.189
				184.532	17.040	21.300	21.300	
18+0.000	39.229	7.587	2.500					3.257.420
				192.136	25.916	32.396	32.396	
18+5.000	39.252	9.638	2.500					3.417.160
				196.201	34.449	43.062	43.062	
18+10.000	41.657	11.037	2.500					3.570.299
				202.271	41.351	51.689	51.689	
18+15.000	43.077	12.137	2.500					3.720.882
				211.834	46.349	57.937	57.937	
19+0.000	43.223	12.958	2.500					3.874.780
				215.750	50.191	62.739	62.739	
19+5.000	45.205	13.510	2.500					4.027.791
				221.070	52.937	66.171	66.171	
19+10.000	47.428	13.799	2.500					4.182.690
				231.582	54.619	68.273	68.273	
19+15.000	48.744	13.529	2.500					4.345.999
				240.429	54.657	68.321	68.321	
20+0.000	49.029	12.382	2.500					4.518.107
				244.432	51.823	64.778	64.778	
20+5.000	51.563	11.127	2.500					4.697.761
				251.480	47.018	58.772	58.772	
20+10.000	52.944	10.551	2.500					4.890.469
				261.268	43.355	54.194	54.194	
20+15.000	53.215	10.412	2.500					5.097.543

				265.397	41.924	52.406	52.406	
21+0.000	55.096	10.246	2.500					5.310.535
				270.778	41.315	51.643	51.643	
21+5.000	55.763	9.708	2.500					5.529.670
				277.149	39.907	49.884	49.884	
21+10.000	54.144	8.577	2.500					5.756.935
				274.768	36.569	45.711	45.711	
21+15.000	54.950	7.083	2.500					5.985.992
				272.734	31.319	39.149	39.149	
22+0.000	53.472	5.705	2.500					6.219.576

Fonte: autora (2017).

## 5 CONCLUSÃO

O modal de transporte mais utilizado no Brasil é o rodoviário e a grande maioria das rodovias existentes não são contempladas com a implantação que atenda as normas de projeto geométrico e de terraplenagem para rodovia. O Projeto de geometria e terraplenagem teve como objetivo apresentar estudos desenvolvidos e demonstrar aplicando os conhecimentos em estudo durante o curso.

Foram adotados os procedimentos para elaboração do projeto constantes no Manual de Projeto Geométrico e de Terraplenagem para Rodovias Rurais, DNER. Edição 1999.

Dessa forma, verificou-se a importância de um estudo das análises sobre os padrões e critérios de cálculos e a importância de apresentar parâmetros de estudos bem elaborados. A apresentação do projeto geométrico, busca a melhoria de um trecho de rodovia com traçado já existente, onde são observados os requisitos de viabilidade técnica, questões econômicas, ambientais e sociais.

O projeto atenta para a melhor definição de traçado considerando as características técnicas vigentes, onde a topografia, relevo, tráfego, comportamento dos motoristas, tipo de veículos, sejam integrados aos aspectos econômicos, sociais e ambientais. O estudo planialtimétrico foi elaborado dentro das normas vigentes nos órgãos reguladores como DNIT/DNER e, em manuais internacionais, levando em consideração as premissas para uma via de classe III em relevo ondulado com velocidade diretriz de 60 km/h.

Um dos maiores problemas encontrados na elaboração do projeto, foi cumprir com os requisitos de rampas máximas em alguns trechos, pois teríamos inviabilidade pelo grande volume de corte e aterro e conseqüentemente elevado custo com a movimentação de terra, porém, o problema nas rampas extrapoladas, foi solucionado com a adição da terceira faixa.

Este segmento teve como características: extensão de 24,6km; estaqueamento a cada 20m, sendo definidos os elementos notáveis das curvas horizontais; a representação do bordo da via; a representação dos offsets de terraplenagem; a tabela de curvas e elementos de locação; a base topográfica; além da concordância horizontal e vertical.

O estudo foi realizado de forma a aproveitar ao máximo o traçado existente, ocasionando melhorias ao tráfego, conforto e segurança dos usuários, viabilizando a sua implantação.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AASHTO. **A policy on geometric design of highways and streets**. 4ª Edição. ed. Washington D.C.: [s.n.], 2001. 905 p.
- ADALA, L. B. **Tópicos de Projeto Geométrico Rodoviário**. DER. Curitiba, p. 84. 2008.
- ALESSANDRO SERRANO COLAVITE & FABIO KONISHI. **A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade**. XII SEGET – Simpósio de excelência em gestão e tecnologia, 2015.
- AMORIM, G. P. **Projeto Geométrico - Estudos Preliminares**. FTP CEFETES. Espírito Santo, p. 52. 2005.
- ANDERSON MANZOLI. **Projeto de Estradas**. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia – Campus de Bauru, 2009.
- BALBO, J. T. **Patologias e Manutenção**. São Paulo: Plêiade, 2007.
- BERNUCCI, L. B. **Pavimentação asfáltica, formação básica para engenheiros**. Rio de Janeiro: ABEDA, 2008. p. 372.
- BOTTURA, E.; MOTTA, R. **Tutorial para Programa Computacional CAD/3D no apoio a Visualização do Traçado de Vias de Transportes Terrestres**. Escola Politécnica da USP. São Paulo: Agosto/2016. Departamento de Engenharia e Transportes.
- BOTTURA, E.; MOTTA, R. **Tutorial para Programa Computacional CAD/3D no apoio a Visualização do Traçado de Vias de Transportes Terrestres**. Escola Politécnica da USP. São Paulo: Agosto/2016. Departamento de Engenharia e Transportes.
- CARVALHO, C. A. B. et al. **Projeto Geométrico de Estradas**. 1ª Edição. ed. Viçosa: UFV, 2013. 26 p.
- CNT. **Pesquisa CNT de Rodovias 2014: relatório gerencial**. CNT/SEST/SENAT. Brasília, p. 389. 2014.
- COMASTRI, J. A.; CARVALHO, C. A. **Estradas: traçado geométrico**. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 1981.
- COSTA, G. C. **Estradas de Rodagem**. UNICAP. Recife, p. 103. 2014.
- COSTA, P. S. D.; FIGUEIREDO, W. C. **Estradas: Estudos e Projetos**. 3ª Edição. ed. Salvador: EDUFBA, 2007.
- DNER. **Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais**. Rio de Janeiro: IPR, 1999.
- DNIT. **Manual de Projeto e Práticas Operacionais para Segurança nas Rodovias**. Rio de Janeiro: IPR, 2010.
- DNIT, Publicação IPR -711. **Manual Rodoviário de Conservação, Monitoramento e Controle Ambientais**. Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes.
- DNIT, Publicação IPR. **NORMA DNIT 108/2009 – ES. Terraplenagem – Aterros – Especificação de Serviço**. Agosto/2009. Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes.
- DNIT. Publicação IPR. **NORMA DNIT 070/2006 – PRO. Condicionantes Ambientais das Áreas de Uso de Obras – Procedimento**. Julho/2006. Departamento Nacional de Infraestrutura de transportes.

- EDIVALDO LINS MACEDO. **Noções de Topografia para Projetos Rodoviários**. Fundação Universidade Federal do Rio Grande – Departamento de Materiais e Construção, 2011.
- LEE, S.H. Introdução ao **Projeto Geométrico de Rodovias**. 3ª Edição. ed. Florianópolis: Editora UFSC, 2008.
- MIRANDA, E. E.de; (Coord.). **Brasil em Relevo. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite**, 2005.
- PEREIRA, D. M. et al. **Projeto Geométrico de Rodovias**. DTT/UFPR. Curitiba, p.108. 2013.
- PIMENTA, C. R. T.; OLIVEIRA, M. P. **Projeto Geométrico de Rodovias**. 1ª Edição. ed. São Carlos: Rima, 2001.
- PONTES FILHO, G. **Estradas de Rodagem: Projeto Geométrico**. 1ª Edição. ed. São Carlos: Glauco Pontes Filho, 1998.
- SANTOS, S. B. D. **Projeto de estrada**. SOES/IUESO. Goiânia, p. 158. 2007.
- SENÇO, W. D. **Manual de Técnicas de Projetos Rodoviários**. 1ª Edição. ed. [S.l.]: PINI Ltda, 2008.
- TBR. **Highway Capacity Manual**. 1ª edição. ed. Washington: TBR, 2010.

## APÊNDICE

## ANEXOS