



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ**  
**CENTRO DE TECNOLOGIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE TRANSPORTES**  
**CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

**EDUARDO MENDONÇA MAMEDE FILHO**

**Análise da Potencialização do Uso de Ferramentas de Visualização 3D no Projeto  
Geométrico de Rodovias Rurais.**

**FORTALEZA**

**2013**

EDUARDO MENDONÇA MAMEDE FILHO

Análise da Utilização de Ferramentas de Visualização 3D no Projeto Geométrico de Rodovias Rurais.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Civil.

Área de projetos de Rodovias

Orientador: Prof. Dr. Flávio José Craveiro Cunto

FORTALEZA

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária  
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- M231a Mamede Filho, Eduardo Mendonça.  
Análise da potencialização do uso de ferramentas de visualização 3D no projeto geométrico de rodovias rurais / Eduardo Mendonça Mamede Filho. – 2013.  
60 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Fortaleza, 2013.  
Orientação: Prof. Dr. Flávio José Craveiro Cunto.
1. Projeto geométrico. 2. Visualização 3D. 3. Modelagem dinâmica. 4. Drive through. I. Título.  
CDD 620
-

EDUARDO MENDONÇA MAMEDE FILHO

Análise da Utilização de Ferramentas de Visualização 3D no Projeto Geométrico de Rodovias Rurais.

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial para a obtenção do Título de Engenheiro Civil.

Aprovada em \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. PhD Flávio José Craveiro Cunto (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr Waldemiro de Aquino Pereira Neto  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

M.Eng. Daniel Lustosa  
Universidade de Fortaleza (UNIFOR)

## DEDICATÓRIA

## AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Flávio Cunto por toda a paciência, amizade e compreensão. Por realmente preocupar-se com o aprendizado dos seus alunos. Continue formando bons engenheiros e, sobretudo, excelentes profissionais. Tudo o que eu sei sobre projeto de rodovias, devo ao senhor. Obrigado por toda a sua ajuda. Continue sendo esse grande professor. Obrigado por todos os puxões de orelha.

Ao meu grande amigo Armando Dauer, por ter perdido várias noites de sono me ajudando. Trocando a namorada várias vezes para me ajudar. Tendo muita paciência e sendo muito mais que um amigo, um membro da minha família. Obrigado irmão.

Para a minha melhor amiga (baixinha) que, apesar de todas as reclamações e bonecos, sempre me ajudou. Obrigado Lara.

Na vida você tem muito colegas, muitos conhecidos, porem amigos de verdade, são poucos. A melhor coisa que aconteceu quando eu entrei na Universidade Federal do Ceará foi ter conhecido três pessoas de grande caráter. Meu amigo Japonês (Marcos Sasaki), meu amigo gordo (Tales Nardel) e meu outro irmão Rob (Roberto Lima Guedes). Obrigado pessoal por sempre ter me ajudado, ensinado e estarem lá para qualquer coisa.

## RESUMO

O avanço nas tecnologias de visualização tridimensional aplicadas ao projeto geométrico de rodovias rurais contribuiu não só para construir um projeto melhor, mas também para minimizar problemas de coordenação dos alinhamentos horizontais, uma vez que o projeto tridimensional de uma estrada é a junção de três projetos bidimensionais distintos. Esta pesquisa buscou avaliar a eficiência de ferramentas de visualização tridimensional (3D) aplicadas a um projeto geométrico de uma rodovia. A análise foi realizada através da criação de um cenário hipotético de uma rodovia, utilizando um aplicativo computacional na área de projeto geométrico de vias terrestres, gerando vídeos de modelagem dinâmica (*drive through* em *wireframe* e *drive through* com renderização simples) para as análises de visualização 3D.

Palavras-chave: projeto geométrico, visualização 3D, modelagem dinâmica, *drive through*

## **ABSTRACT**

The advances in tridimensional viewing technologies applied to geometric designs of rural highways not only has contributed to make a better project, but also has minimized the problems from the coordination of horizontal alignments, once a tridimensional project is the union of three others distinguished bidimensional projects. This academic work has tried to evaluate the efficiency of tridimensional viewing tools applied to the geometric drawing of a road. The analysis was made by the creation of a highway's hypothetical scenario, making use a geometric drawing program to generate dynamic modeling videos (drive through in wireframe and drive through in simple rendering) for the analysis of 3D view.

Keywords: geometric drawing, 3D view, dynamic modeling, drive through.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Elementos geométricos de uma rodovia .....	17
Figura 2 – Exemplo de curva horizontal circular .....	18
Figura 3 – Principais elementos planimétricos.....	19
Figura 4 – Principais elementos altimétricos.....	20
Figura 5 – Tipos de seções transversais .....	21
Figura 6 – Seção transversal de uma rodovia.....	22
Figura 7 – Evitar depressões no greide que devem ser longos e uniformes.....	25
Figura 8 – Os vértices das curvas horizontais e verticais coincidem aproximadamente.....	26
Figura 9 – Absurdo ótico. Ocorre quando o início da curva horizontal é escondido do motorista por uma elevação intermediária, enquanto a continuação da curva é vista à distância.....	27
Figura 10 – Curvas horizontais não devem ter seu início em pontos baixo do greide.....	27
Figura 11- Longas tangente devem estar associada a uma curva côncava bem dimensionada. .....	28
Figura 12 – Evitar pequenas ondulações no greide.....	28
Figura 13 – Foto simulação de uma ponte.....	30
Figura 14 - Vista <i>Wireframe</i> em perspectiva.....	31
Figura 15 – Renderização Simples .....	32
Figura 16 – <i>Drive Though</i> com renderização simples.....	33
Figura 17 – <i>Drive through</i> totalmente renderizado. ....	34
Figura 18 – Animação Computadorizada.....	32
Figura 19 – Fluxograma da criação dos projetos.....	34
Figura 20 – Representação da superfície em 2D.....	35
Figura 21 – Superfície 3D do cenário adotado.....	36
Figura 22 – Curva circular simples projeto planimétrico.....	37
Figura 23 – Perfil de representação do terreno.....	38
Figura 24 – Projeto Altimétrico do cenário teste.....	39
Figura 25 – <i>Tool Palettes</i> .....	40
Figura 26 – Seção Transversal.....	40
Figura 27 – Corredor do cenário teste.....	41
Figura 28 – <i>Drive through</i> com renderização simples.....	42
Figura 29 – Processo de renderização do <i>wireframe</i> .....	43

Figura 30 – <i>Drive through</i> com renderização simples .....	44
Figura 31 – Análise de visibilidade por zona.....	45

**LISTA DE TABELA**

Tabela 1- Relatório de checagem de distância de visibilidade..... 56

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

AASHTO	<i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AVI	<i>Audio Video Interlave</i>
DNER	Departamento Nacional de Estradas de Rodagem
DNIT	Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte
DER-SP	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
SIG	<i>System Information Geographic</i>
DTMR	<i>Department of Transport and Main Roads</i>
2D	Referente a duas dimensões
3D	Referente a três dimensões
DER-SC	Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de Santa Catarina

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	14
<b>1.1 Problemática</b> .....	14
<b>1.2 Problema de pesquisa</b> .....	15
<b>1.3 Questões de pesquisa</b> .....	15
<b>1.4 Objetivos da pesquisa</b> .....	15
<i>1.4.1 Objetivo geral</i> .....	15
<i>1.4.2 Objetivos específicos</i> .....	15
<b>2 PROJETO GEOMÉTRICO DE ESTRADAS DE RODAGEM PELO MÉTODO TRADICIONAL</b> .....	17
<b>2.1 Parâmetros Geométricos</b> .....	17
<b>2.1.1 Projeto Planimétrico</b> .....	18
<b>2.1.2 Projeto Altimétrico</b> .....	19
<b>2.1.3 Seções Transversais</b> .....	21
<b>2.2 Parâmetros de Projeto</b> .....	21
<b>2.3 Coordenação dos Alinhamentos Horizontal e Vertical</b> .....	24
<b>3 TÉCNICAS DE VISUALIZAÇÃO 3D</b> .....	29
<b>3.1 Foto simulação</b> .....	30
<b>3.2 Vistas <i>wireframe</i> em perspectiva</b> .....	30
<b>3.3 Renderização simples</b> .....	31
<b>3.4 <i>Drive Through</i> com renderização simples</b> .....	32
<b>3.5 <i>Drive Through</i> totalmente renderizados</b> .....	33

<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>35</b>
<b>4.1.1</b>	<b><i>Material</i></b> .....	<b>35</b>
<b>4.1.2</b>	<b><i>Programas Computacionais</i></b> .....	<b>35</b>
<b>4.2</b>	<b>Metodologia</b> .....	<b>35</b>
<b>4.2.1</b>	<b>Desenvolvimento de Cenários em 3D</b> .....	<b>36</b>
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES</b> .....	<b>48</b>
<b>6</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>ANEXO I – Projetos Geométricos.</b> .....	<b>54</b>
<b>8</b>	<b>ANEXO II – Relatório de Visibilidade.</b> .....	<b>55</b>

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 Problemática

A complexidade dos projetos de rodovias em 2D geralmente é um grande obstáculo para seus executores, principalmente quando estes possuem escassa experiência na área, gerando como consequência erros de execução, retrabalhos e desperdícios. Essa complexidade, muitas vezes, acaba ocasionando erros do próprio projetista. A coordenação dos alinhamentos horizontal e vertical quando não é satisfatória pode gerar a sensação errônea de se percorrer com o veículo um trecho com ondulações próximas; como "efeito tobogã" ou ocorrência de trechos sequências com interrupção da visibilidade da característica geométrica, mas estas características são determinantes na definição da condição de visibilidade existente, e essa limitação pode acarretar acidentes na via.

O principal ponto de influência no nível de complexidade do projeto de rodovias é ter a representação dos parâmetros de um objeto de três dimensões divididas em três fases distintas de duas dimensões cada.

Recentemente, a representação tridimensional de projetos rodoviários vem sendo explorado com a ajuda sistema computacionais usando aplicativos especializados em CAD para realização dos desenhos e plantas. Aonde esses sistemas passaram por uma evolução incluindo ferramentas que calculam, analisam, visualização e otimizando o projeto como um todo. Aonde estas perspectivas auxiliam muito na visualização do projeto.

Visualização 3D ao contrário da modelagem 2D, contribuir com parâmetros para que projetista possam analisar as combinações de alinhamento horizontal e vertical e elementos da seção transversal, projetos de interseção e performance de tráfego (Taylor e Moler, 2010).

A utilização de ferramentas 3D resulta em projetos tridimensionais valiosos para a formação de estudantes de engenharia, auxiliando-os a desenvolver habilidades espaciais e facilita a compreensão das implicações visuais das combinações dos elementos em plano e perfil (GARRICK; JANIKULA, 2002).

A elaboração do projeto em 3D possibilita a detecção de deficiências em projeto geométrico de rodovias, no que tange a coordenação entre alinhamento horizontal e vertical, e as deficiências de visibilidade. Com esta visualização em 3D, os projetistas poderão ter uma melhor compressão de todo o projeto, utilizando vídeo simulação (*drive-through*) do percurso do trecho da via e estando com uma perspectiva imersa dentro do projeto. As simulações

computacionais tridimensionais mostram uma forma de baixo custo para investigar os problemas de coordenação entre alinhamentos e deficiências de visibilidade (MATOS, 2013).

## **1.2 Problema de pesquisa**

O problema de pesquisa, identificado a partir da problemática exposta, diz respeito à ineficiência da representação visual tradicional (2D) composta pelos elementos planimétricos, altimétricos e transversais na modelagem do cenário tridimensional dinâmico, ao qual os usuários estão expostos durante o processo de condução dos veículos ao longo de uma rodovia.

## **1.3 Questões de pesquisa**

Com o embasamento da problemática apresentada, foram formuladas as seguintes questões de pesquisa com o objetivo de, ao longo do estudo, serem solucionadas:

- a) Quais são as principais técnicas de visualização 3D aplicadas ao projeto geométrico de rodovias?
- b) Quais são os atributos necessários para os principais aplicativos computacionais, tendo em vista a modelagem 3D de um projeto geométrico rodoviário?
- c) Como fazer a modelagem dinâmica (*drive-through*) de projetos geométricos de rodovias com a utilização do aplicativo AutoCAD Civil 3D?
- d) Quais são as vantagens da utilização de técnicas de modelagem 3D no projeto geométrico de rodovias rurais?

## **1.4 Objetivos da pesquisa**

### ***1.4.1 Objetivo geral***

O objetivo geral é o questionamento principal do estudo em tela, que visa analisar a utilização das ferramentas de visualização 3D para auxiliar a consistência do projeto geométricos de rodovias rurais.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

Os objetivos específicos constituem as atividades que serão executadas durante a pesquisa, uma vez que elas responderão as questões de pesquisas, abaixo elencadas:

- a) Identificar as principais técnicas de visualização 3D aplicadas ao projeto geométrico de rodovias
- b) Definir os atributos necessários para os principais aplicativos computacionais em razão da modelagem 3D de um projeto geométrico rodoviário.
- c) Analisar as combinações de projeto prevista pelo DNIT que podem gerar maior número de incompatibilidade em projeto de rodovias rurais.
- d) Realizar um estudo de caso em um projeto rodoviário hipotético para avaliar a modelagem dinâmica (*drive-through*) obtida com a utilização do aplicativo AutoCAD Civil 3D e identificar as vantagens de utilização de técnicas de modelagem 3D no projeto geométrico de rodovias.

### **1.5 Estrutura do trabalho**

A monografia está dividida em cinco capítulos, conforme a seguinte estrutura:

Capítulo 1 (Introdução): é composto pela problemática do tema de estudo, pelas questões de pesquisa, pelo objetivo geral e pelos objetivos específicos.

Capítulo 2 (Projeto Geométrico de Estradas de Rodagem pelo Método Tradicional) neste capítulo consiste na fundamentação teórica voltada para o projeto geométrico de rodovias.

Capítulo 3 (Técnicas de Visualização 3D): neste capítulo é apresentada uma fundamentação teórica sobre os estudos da visualização 3D voltada para área de transporte.

Capítulo 4 (Matérias e Métodos): neste capítulo apresenta-se a metodologia da monografia e a apresentação dos resultados da pesquisa.

Capítulo 5 (Conclusões) neste capítulo são apresentadas as conclusões geradas a partir do estudo feito na monografia, bem como as sugestões e recomendações de trabalhos futuros.

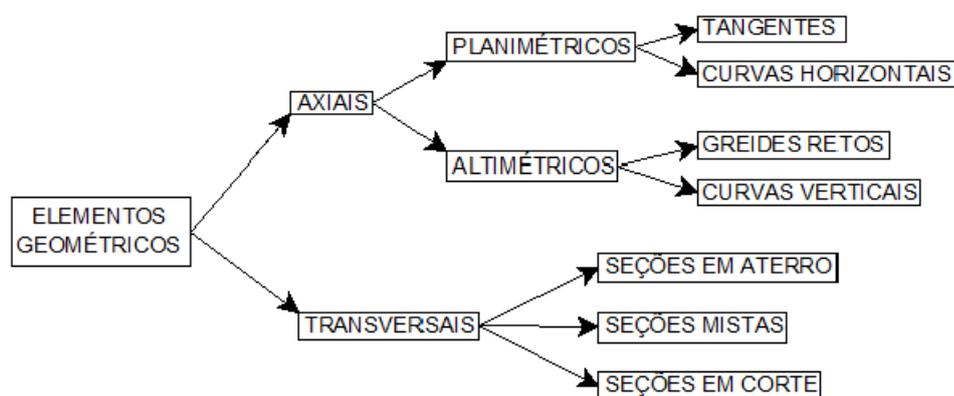
## 2 PROJETO GEOMÉTRICO DE ESTRADAS DE RODAGEM PELO MÉTODO TRADICIONAL.

### 2.1 Parâmetros Geométricos

A concepção de um projeto de uma estrada é definida como um ciclo de fases que se inter-relacionam das seguintes formas: reconhecimento, exploração e projeto. Segundo o DNIT (Departamento Nacional de Infraestrutura e Transporte, 2006), um projeto ideal deve buscar a adaptação da topografia de determinada região, projetando curvas com maior desenvolvimento possível, ligadas por pequenas retas com espirais de transição. As grandes tangentes devem ser evitadas por apresentarem elevada rigidez geométrica, pouco conveniente às diversas formas de paisagem, visto que as longas retas se tornam monótonas por sua previsibilidade, sendo assim, um convite ao excesso de velocidade e favorecendo, no período noturno, o ofuscamento.

A (Figura 1) representa um fluxograma simplificado com a classificação dos elementos geométricos de uma rodovia, demonstrando como eles se interligam:

Figura 1 Elementos geométricos de uma rodovia



Fonte: PONTES FILHO, 1998

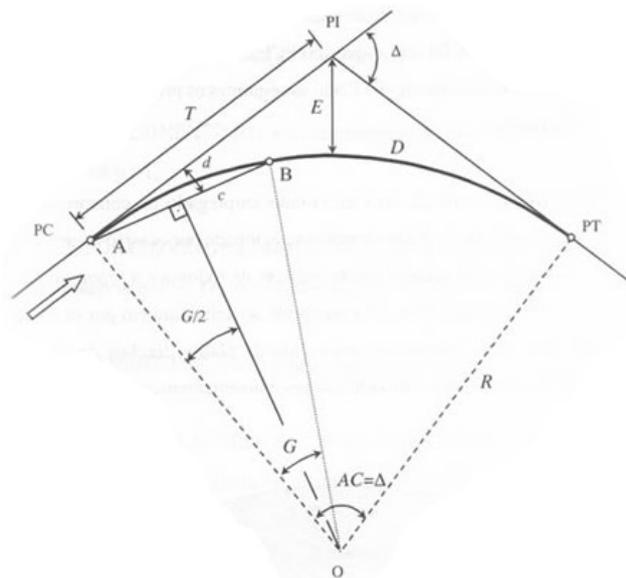
Os objetivos principais do presente trabalho estão voltados para os seguintes aspectos de um projeto geométrico rodoviário: planimétrico, altimétrico

e seções transversais. A seguir, serão descritos com um maior detalhamento os elementos apresentados acima, conforme suas especificações em norma (DNIT, 2006). O projeto planimétrico, ou alinhamento horizontal, constitui-se de retas denominadas tangentes, as quais são conectadas por curvas de concordância, sendo estas curvas divididas em dois tipos: curvas circulares e curvas de transição.

### 2.1.1 Projeto Planimétrico.

A curva circular é o tipo mais simples para concordar dois alinhamentos retos, sendo utilizada também na parte central da concordância das curvas de transição. Ademais, este tipo de curva é muito simples de ser locada em campo e, conseqüentemente, projetada conforme ilustra a (Figura 2).

Figura 2 – Exemplo de curva horizontal circular



Fonte: PONTES FILHO, 1998,

Em que :

PC: Ponto de curva

PT: ponto de tangente

PI: ponto interseção das tangentes

D: desenvolvimento da curva

$\Delta$ : ângulo de deflexão

Ac: ângulo central da curva

R: raio da curva circular

T: tangente externa

O: centro da curva

E: afastamento

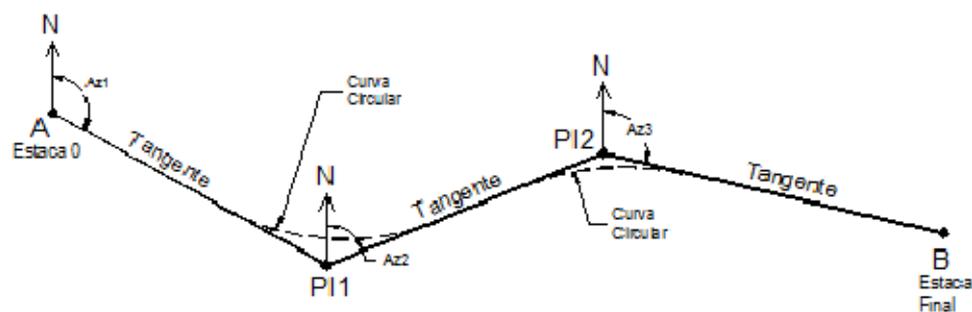
G: grau da curva

c: corda

d: deflexão sobre a tangente.

O projeto de concordância entre tangentes pode contar ainda com a especificação de curvas horizontais de transição as quais possuem uma variação instantânea do raio que se interpola a tangente, com a curva circular, com a finalidade de assegurar conforto e segurança, reduzindo, deste modo, os incômodos da variação brusca causados pela aceleração centrífuga (PONTES FILHO, 2003). As curvas horizontais de transição podem ser divididas em clotoide ou espiral, leminscata, parábola cúbica. A (Figura 3) apresenta um esquema geral dos principais elementos planimétricos.

Figura 3 – Principais elementos planimétricos



Fonte: Autor (2013)

Os principais elementos planimétricos são: os Pontos de Interseção das tangentes (PIs), as coordenadas dos PIs com as suas extensões das tangentes, os azimutes dos alinhamentos e o ângulo de deflexão entre as tangentes, os raios das curvas horizontais e o estaqueamento do traçado.

### 2.1.2 Projeto Altimétrico

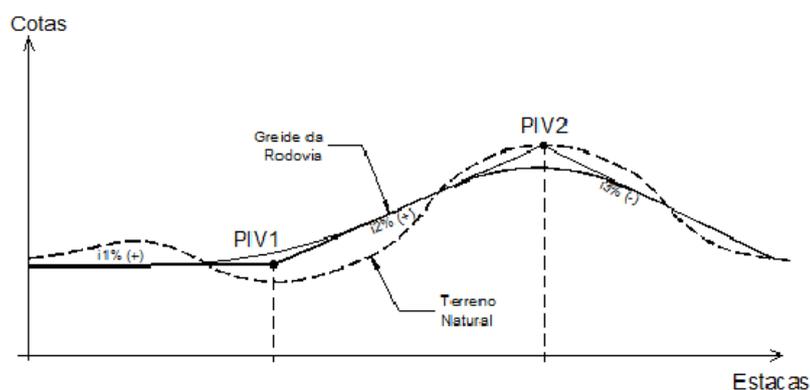
O perfil do terreno natural é inadequado ao tráfego de veículos por várias motivos: é irregular, pode ter inclinação muito, falta de visibilidade, problemas no escoamento de águas pluviais nas baixadas. Por isso, é necessário substituir a superfície natural por uma superfície convenientemente projetada.

Quando o projetista criar a superfície ele deve otimizar as massas, minimizando os volumes de cortes e aterros, equilibrando-os, porventura diminuindo os custos de movimentação terra e garantir amplas condições de segurança, colocando rampas pouco íngremes, que garantam a visibilidade(PIMENTA, 2003).

O projeto altimétrico, ou alinhamento vertical, denomina-se greide. O greide é um conjunto de alturas que deve obedecer o perfil longitudinal da estrada quando concluída, sendo dividido em dois tipos: greides retos ou curvos.

O greide reto é constituído por sua declividade e definida como a tangente do ângulo que faz com a horizontal representado em percentagem. O greide curvo tem função de concordar as tangentes verticais dos greide's, criando as curvas verticais. Tais curvas são, geralmente, parábolas do 2º grau definidas pelos parâmetros de curvatura  $k$ , parâmetro este que traduz a taxa de variação da declividade longitudinal na unidade do comprimento estabelecido pela velocidade, como representado na (Figura 4) abaixo.

Figura 4 – Principais elementos altimétricos



Fonte: Autor (2013)

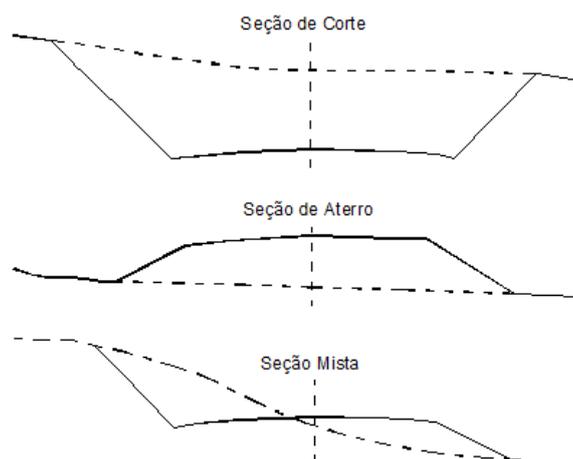
Os principais elementos altimétricos são: as rampas, os Pontos de Interseção Vertical (PIVs), as cotas e estacas dos PIVs e as inclinações longitudinais. Esses elementos são o projeto preliminar das curvas verticais para constituir o *greide*, ou seja, uma série de alinhamentos retos (elementos altimétricos), concordados por curvas de concordância vertical de uma rodovia.

### 2.1.3 Seções Transversais

Seções Transversais são as representações geométricas, no plano vertical de alguns elementos dispostos transversalmente, em determinado ponto do eixo longitudinal da estrada. Elas podem ser em corte, aterro ou mistas e, também, podem ser divididas em comuns e especiais. As seções transversais comuns são perpendiculares ao eixo e indicam a linha do terreno natural e seção projetada (PONTES FILHO, 1998). As seções transversais especiais tem os mesmo parâmetros dos segmentos da estrada imediatamente adjacentes, só que são utilizadas em diretrizes especiais como passagens superiores, paredes de proteção contra ruídos, muro de arrimo e túneis. Apresentando algumas alterações na seção para adaptação a cada caso (DER-SC, 2000).

A seção transversal da rodovia representa o alinhamento superficial perpendicularmente ao eixo da rodovia, incluindo a pista de rolamento, os acostamentos, a plataforma e os taludes, até a interseção com o terreno natural que resulta da interseção do plano vertical perpendicular ao eixo da superfície do corpo estradal contido entre os limites de terraplenagem (DNIT, 2006), como representado nas (Figuras 5 e 6).

Figura 5 – Tipos de seções transversais



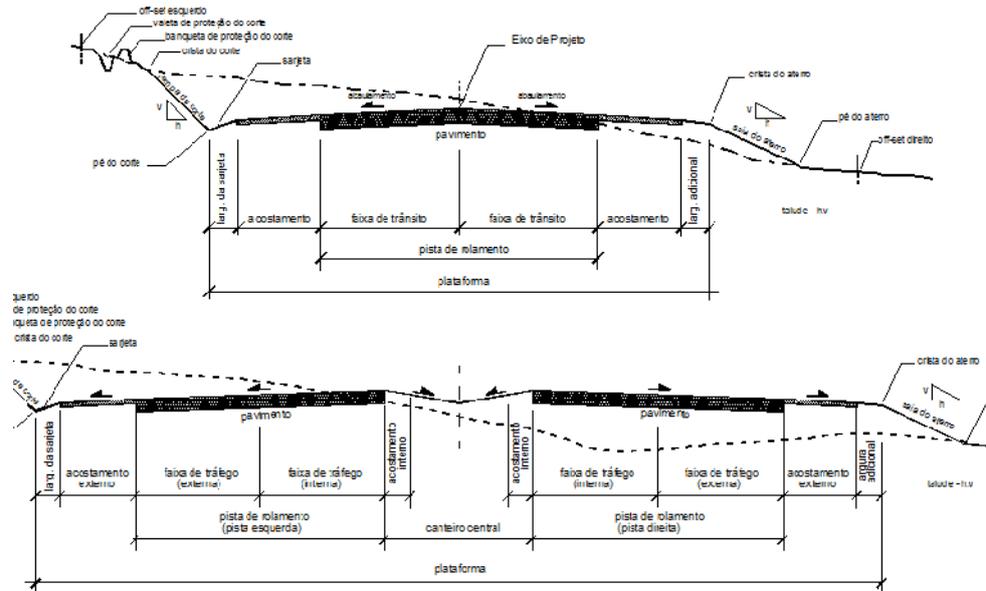
Fonte: CUNTO, 2003

## 2.2 Parâmetros de Projeto

Os parâmetros de projeto são elementos que norteiam a definição dos elementos planimétricos, altimétricos e transversais do projeto de uma rodovia. Dentre os principais parâmetros de projeto normalmente definidos ressaltam-se: a

velocidade de projeto, velocidade de operação, veículos de projeto e distâncias de visibilidade (parada e ultrapassagem).

Figura 6 – Seção transversal de uma rodovia.



Fonte: PONTES FILHO, 1998

Escolhas inadequadas dos parâmetros de projeto são as principais causas de problemas como acidentes de trânsito, baixa eficiência e obsolescência precoce das estradas. Assim, os diversos elementos geométricos devem ser escolhidos para atender aos objetivos para quais a estrada foi projetada. Visto que uma estrada é composta de três projetos geométricos distintos, estes parâmetros foram criados com o objetivo de gerar um produto final (a estrada) combinando os projetos, minimizando assim os erros que possam causar acidentes (PONTES FILHO, 1998). A seguir serão descritos de forma mais detalhada os seguintes parâmetros de projeto: distância de visibilidade de parada e de ultrapassagem.

A distância de visibilidade representa um dos parâmetros mais importantes em questão de segurança para uma rodovia, pois quando o motorista dispõe de uma distância de visibilidade adequada, há condições de captar as informações sobre a via e sobre o trânsito, interpretá-las adequadamente, imprimir ao veículo trajetória e velocidade para tomar decisões a tempo e com segurança (DER-SP, 2006). A deficiência de visibilidade pode acarretar sérios acidentes devido a estes déficits do projeto. Sendo assim, para análise de visibilidade, é

necessário considerar a altura dos olhos dos motorista e a altura do objeto que representa uma situação de perigo.

As distâncias de visibilidade básicas para construir o projeto geométrico rodoviário são: visibilidade de parada e visibilidade de ultrapassagem. Distância de Visibilidade de Parada é a distância mínima numa estrada para que um veículo que a percorre possa parar antes de atingir um obstáculo em sua rota. Separa-se em dois grupos de valores mínimos: os recomendados, que representam o caso normal de emprego, e os de uso excepcionais, que estão sujeito à aprovação prévia do DNIT.

Conforme estabelecido pelo DNIT, a distância de visibilidade de parada é a distância mínima que um motorista necessita para frear completamente em segurança após se deparar com um obstáculo na rodovia. Nas seguintes circunstâncias: dirigindo um carro padrão com velocidade de projeto, em condições razoáveis de manutenção, trafegando em uma rodovia pavimentada, adequadamente conservada, e diante de condições chuvosas. (DNIT, 2006).

A distância de visibilidade de parada é constituída pela distância percorrida pelo veículo no intervalo de tempo corresponde a soma das seguintes parcelas: o tempo que demora para o motorista perceber o obstáculo e o tempo entre o instante em que inicia a frenagem ( tempo de percepção e reação), e a distância percorrida pelo veículo durante a frenagem. Baseado em várias experiências adota-se o valor de 1,5 segundos para tempo de percepção, e, adiciona-se 1 segundo ao tempo necessário à reação de frenagem, perfazendo-se o tempo total de percepção e reação de 2,5 segundos. A formula para cálculo da Distância de Visibilidade de Parada adotado pelo *Green Book* da (AASHO, 2011a).

$$DVP = 0,278 * V * t + \frac{V^2}{254 * \left( \left( \frac{a}{9,81} \right) + i \right)} \quad (1)$$

Em que

DVP: Distância de Visibilidade de Parada (m);

V: Velocidade de projeto (km/h);

t: Tempo de percepção e reação (s);

a: Taxa de desaceleração (m/s<sup>2</sup>);

i: Declividade de greide (%);

As análises de visibilidade consideram o fato de que o motorista precisa enxergar um objeto há uma certa distância adequada. Logo, deve-se determinar: a definição da

distância de visibilidades de parada, as características da posição do motorista, assim como as características inerentes ao objeto que se pretende visualizar. Adotando os parâmetros recomendados pelo (DER-SP, 2006): a altura dos olhos do motorista considerada é de 1,08 m, enquanto que, a altura do objeto é de 0,60 m (posição média das lanternas traseiras de um veículo de passeio).

Um dos parâmetros mais importantes de uma curva horizontal de traçado é a de que ela deve atender, e garantir, uma distância de visibilidade não inferior à distância de visibilidade de parada. Geralmente, obstáculos na parte interior das curvas horizontais, como taludes de corte em muros e etc, prejudicam essa visibilidade, necessitando de ajustes na seção da estrada ou modificações no alinhamento. Estes ajustes ,quando necessários, são aumentos graduados do raio adotado para a curva nesse trecho de visibilidade de parada ruim, ou alargamento e abrandamento do talude de corte assegurando a distância mínima exigida lateralmente para atender a visibilidade de parada.

Distância de Visibilidade de Ultrapassagem: constitui-se em uma distância necessária para que o veículo possa efetuar uma manobra de ultrapassagem, em condições aceitáveis de segurança e conforto, atrás de um veículo mais lento por uma pista simples de mão dupla. Recomenda-se a existência de trechos de visibilidades de ultrapassagem entre 1,5 a 3,0 quilômetros ou o mais extenso possível. Desse modo, é sempre desejável que sejam proporcionadas distancias superiores, aumentando as oportunidades de ultrapassagem e o número de veículos que realizam a ultrapassagem de cada vez. (PONTES FILHO, 1998).

Portanto, o projeto de uma estrada deve, sempre, ser constituído de uma forma em que o motorista obtenha a melhor visibilidade possível ao longo de toda a estrada, visto que, essa garantia de visibilidade, ao trafegar em uma via, tem relação direta com a manutenção de padrões mínimos de segurança e dirigibilidade, sendo limitada pelas mudanças de direção e declividade ao longo de sua extensão, principalmente, pelas curvas horizontais em trechos de corte e em curvas verticais.

### **2.3 Coordenação dos Alinhamentos Horizontal e Vertical**

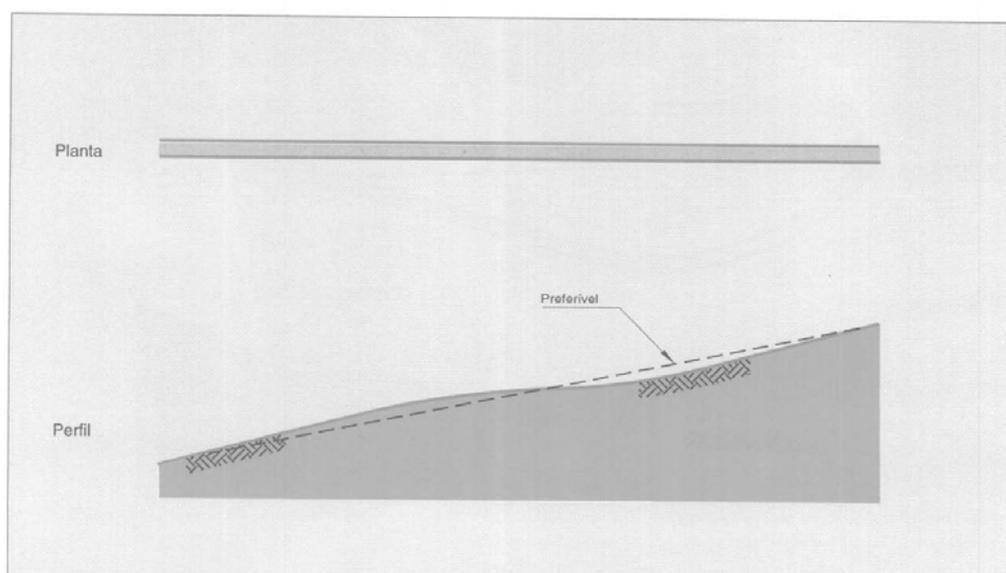
Em projetos habituais, uma rodovia é representada pelos seguintes projetos geométricos: planta, perfil longitudinal e seções transversais. Estas informações são consideradas suficientes para a sua construção. Todavia, essa representação não permite ao projetista uma perfeita visualização do traçado, pois os alinhamentos horizontal e vertical, que estão entre os mais importantes elementos de projeto, não devem ser estudados de forma

independente, uma vez que o condutor, ao trafegar, interage com um entidade tridimensional formada pelas combinações entre os elementos bidimensionais(planta, perfil e seção transversal) de forma dinâmica. Desta forma as falhas nessas combinações podem afetar a estética, a eficiência operacional e a segurança em trechos da via. Um bom projeto é aquele que consegue concretizar uma harmoniosa combinação dos traçados em planta e perfil.

O DNIT (DNER, 1999) apresenta um conjunto de considerações a serem seguidas, a fim de estabelecer coordenações desejáveis entre os alinhamentos, seguem o padrão de normas do projeto geométrico de vias e a seguir ilustrado pelas (Figuras 7 a 12):

- a) As tortuosidades dos alinhamentos horizontal e vertical devem ser compatíveis. Trechos em tangente horizontal não são coerentes com frequência quebras no greide e vice-versa;

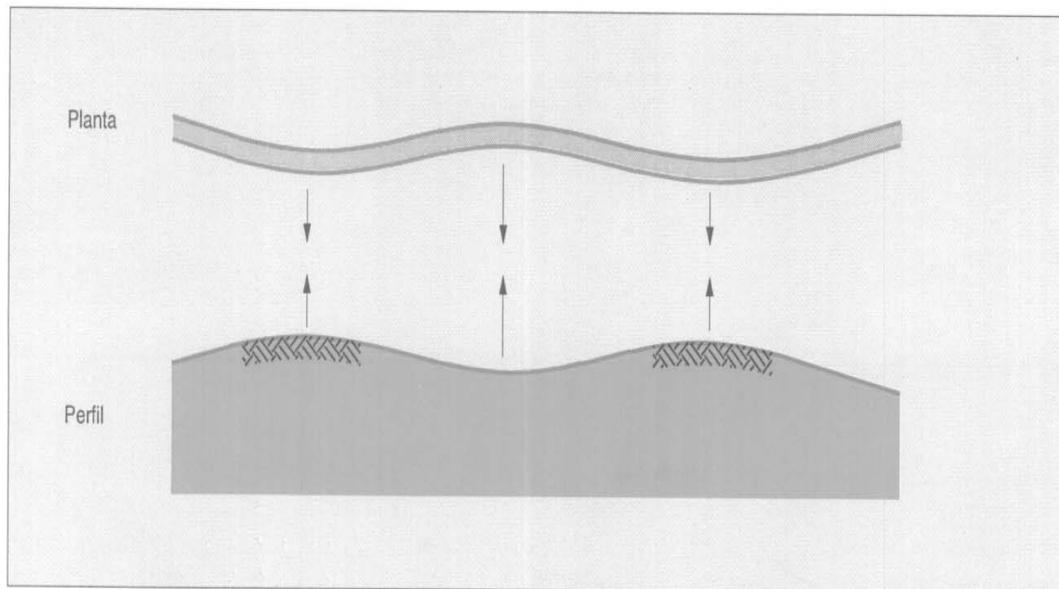
Figura 7 – Evitar depressões no greide que devem ser longos e uniformes.



Fonte: DNER, 1999

- b) Curvas verticais e horizontais devem se sobrepor. As horizontais devem iniciar preferencialmente um pouco antes das verticais para não somar em um só local duas discontinuidades do traçado e ainda avisar a existência da curva vertical, guiando opticamente o motorista. Os vértices das tangentes das curvas verticais e horizontais devem coincidir;

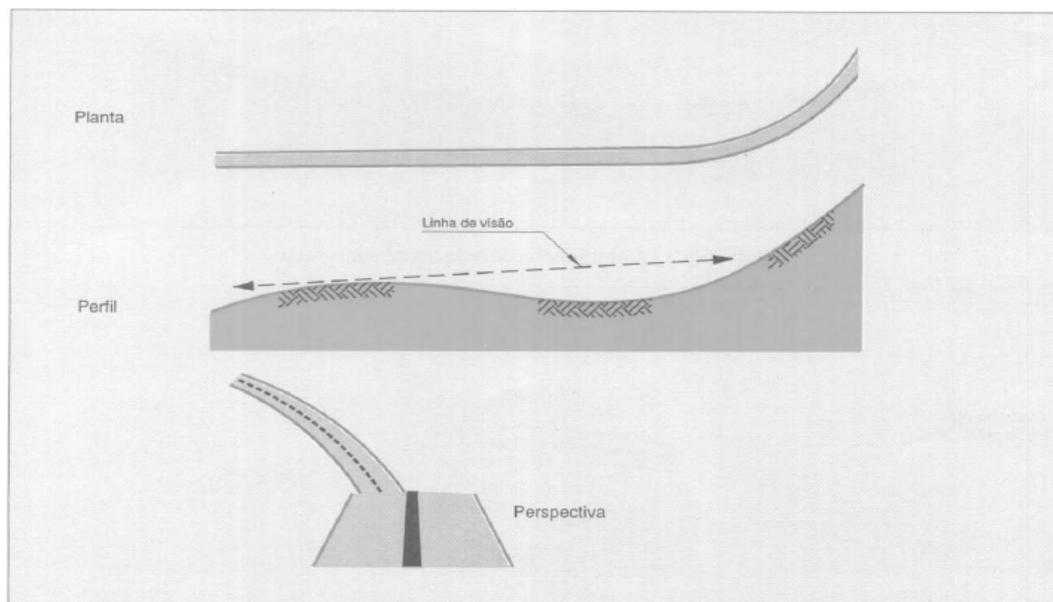
Figura 8 – Os vértices das curvas horizontais e verticais coincidem aproximadamente.



Fonte: DNER, 1999

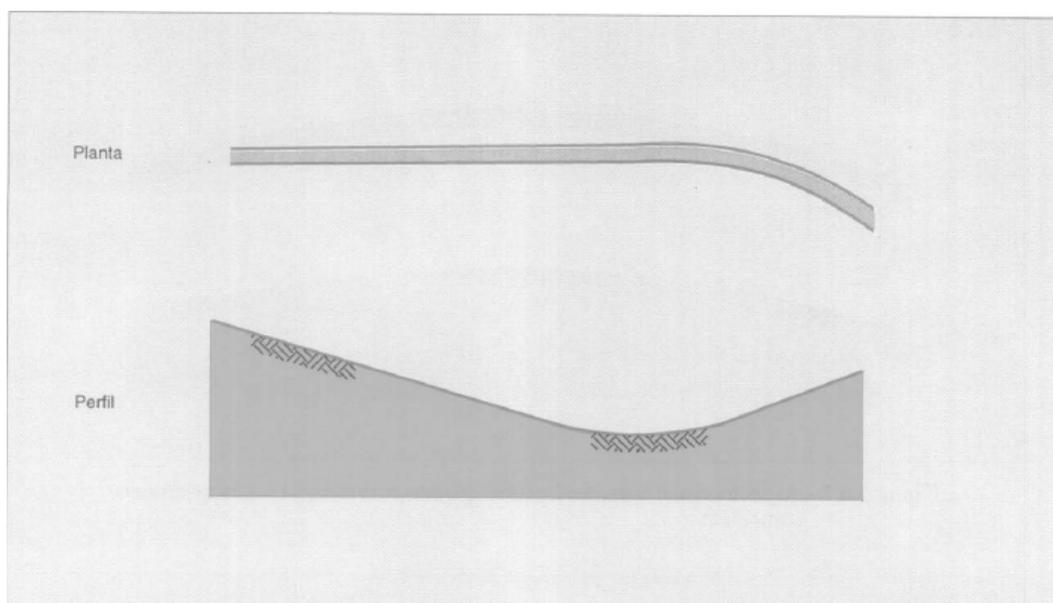
- c) Lombadas não devem ser superadas do topo por longas tangentes, porém devem ser atravessadas por curvas horizontais. Estas não devem iniciar ou findar no cume das lombadas, para não surpreender o motorista. Quando a curva se encontra dentro de um corte, esse efeito é reduzido pelo balizamento natural dos taludes do corte.
- d) Analogamente, curvas horizontais não devem ter seu início coincidente com os pontos baixos do greide, ao final de longas descidas, posto que, essa característica pode resultar tanto em uma aparência distorcida do traçado, por impedir a percepção da continuidade da curva, como em situações perigosas decorrentes do natural aumento da velocidade nessas descidas.
- e) Sempre que possível, uma tangente longa em planta deve estar associada a uma curva côncava bem dimensionada que atenua a rigidez do trecho reto.
- f) Uma curva horizontal pode ser deformada, em perspectiva, se conjugada a uma elevação de pequena extensão. Devem ser evitadas as concavidades que impeçam a percepção visual da continuidade para as duas pistas.

Figura 9 – Absurdo óptico. Ocorre quando o início da curva horizontal é escondido do motorista por uma elevação intermediária, enquanto a continuação da curva é vista à distância.



Fonte: DNER, 1999

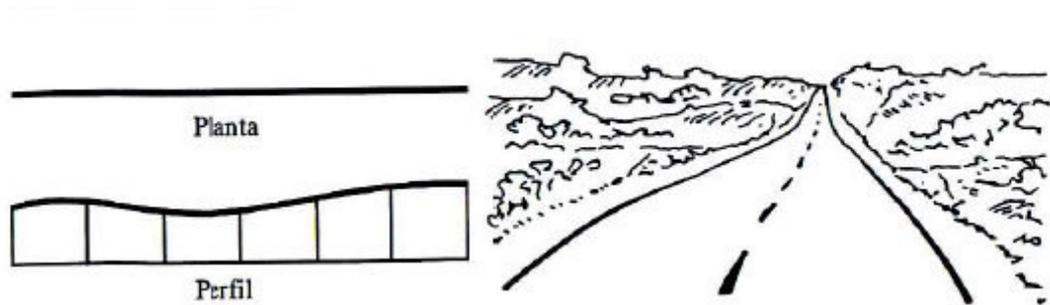
Figura 10 – Curvas horizontais não devem ter seu início em pontos baixo do greide.



Fonte: DNER, 1999

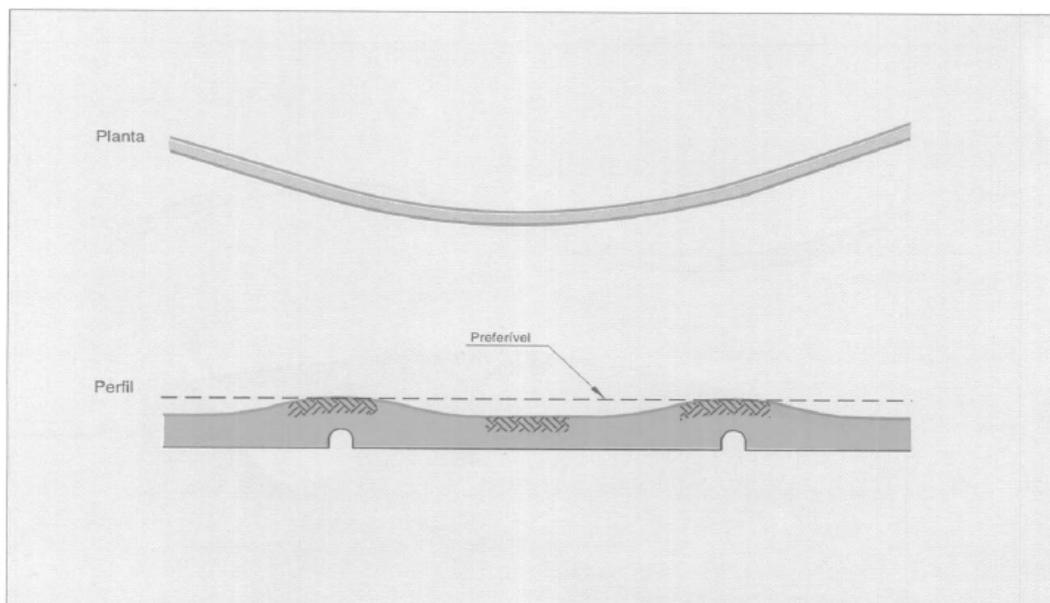
Uma das considerações mais importante de alinhamento vertical e horizontal é a de que curvas verticais e horizontais necessitam se superpor, já que quando os vértices de alinhamento da curva horizontal coincidem com pontos de inflexão da curva vertical ocasionam uma falta de coordenação grave conhecida como efeito tobogã.

Figura 11- Longas tangente devem estar associada a uma curva côncava bem dimensionada.



Fonte: PONTES FILHO, 1998 *apud* AUSTRROADS

Figura 12 – Evitar pequenas ondulações no greide.



Fonte: DNER, 1999

Devido à grande complexidade de um projeto rodoviário ser dividido em três projetos distintos, com parâmetros totalmente interligados, esta sobreposição de projetos acaba causando problemas de coordenação de alinhamentos e não atendendo parâmetros de projeto essenciais para a segurança das vias. O capítulo a seguir apresenta e detalha as principais técnicas de visualização 3D empregadas por engenheiros de transporte no projetos de rodovias, com a intenção de auxiliar no entendimento e visualização destes projetos. Como construir um projeto 3D de uma rodovia com planimétrico, altimétrico e seção transversal interligados.

### 3 TÉCNICAS DE VISUALIZAÇÃO 3D

Nos últimos anos, os avanços ocorridos no poder de processamento dos computadores transformou a visualização computadorizada em uma nova ferramenta para engenheiros rodoviários e pesquisadores. A realidade virtual gera uma simulação em um ambiente 3D, na qual os usuários podem experimentar e manipular este ambiente como se estivessem nele inseridos. Estas técnicas estão cada vez mais presentes na engenharia, uma vez que esta tecnologia permite a obtenção de dados que facilitam e apoiam decisões, oferecendo oportunidades para que engenheiros e pesquisadores aumentem suas capacidades por meio de análises interativas em termos de segurança, flexibilidade e custo-benefício. (HAN *et al*,2005)

A tecnologia de realidade virtual é uma extensão natural dos gráficos computadorizados em três dimensões. Com avançados instrumentos de “*input*” e “*output*”, os usuários conseguem interagir com uma simulação em um ambiente 3D, caracterizando um sistema de “informação intensiva” e fazendo desta uma ferramenta ideal para lidar com grandes quantidades de informações, ao contrário da tradicional visualização no papel. (HAN *et al*,2005)

A tecnologia utilizada na visualização é bastante variável. Podem ser utilizadas fotografias, fotogrametria, imagens digitais, dados obtidos através de Sistema de Informação Geográfica (SIG), aplicações CAD e computação gráfica para criar simulações das melhores propostas.

A visualização 3D deve ser usada no processo de construção do projeto para detectar e corrigir problemas como, por exemplo, a aparência da estrada, distância de visibilidade, depressões ocultas e percepção de retornos necessários nas intersecções. Deste modo, evitam-se problemas de geometria que podem induzir alguns motoristas ao erro, podem conservar a visibilidade necessária, prevenindo distrações e proporcionando a visualização de eventuais conflitos entre o entorno e estrada proposta. A seguir serão discutidas algumas das principais técnicas de visualização 3D aplicadas ao projeto geométrico de rodovias, dentre elas: a foto simulação, vistas *wireframe* em perspectiva, renderização simples, *drive trough* com renderização simples, *drive trough* totalmente renderizados e animação computadorizada.

### 3.1 Foto simulação

A foto simulação é constituída pela combinação de elementos do projeto proposto com fotografias reais do terreno. No momento em que a renderização 3D é criada, ela pode ser incorporada a uma fotografia já existente. Um aspecto importante é que a imagem 3D deve ser definida com precisão geométrica (FIGUEIRA, 2012) este tipo de visualização constitui-se em apenas uma vista mais elaborada de um projeto 2D, não apresentando a possibilidade para o usuário interagir com esta visualização de forma dinâmica, conforme apresentado na (Figura 13).

Figura 13 – Foto simulação de uma ponte.



Fonte: FIGUEIRA, 2012 *apud* TRB, 2006

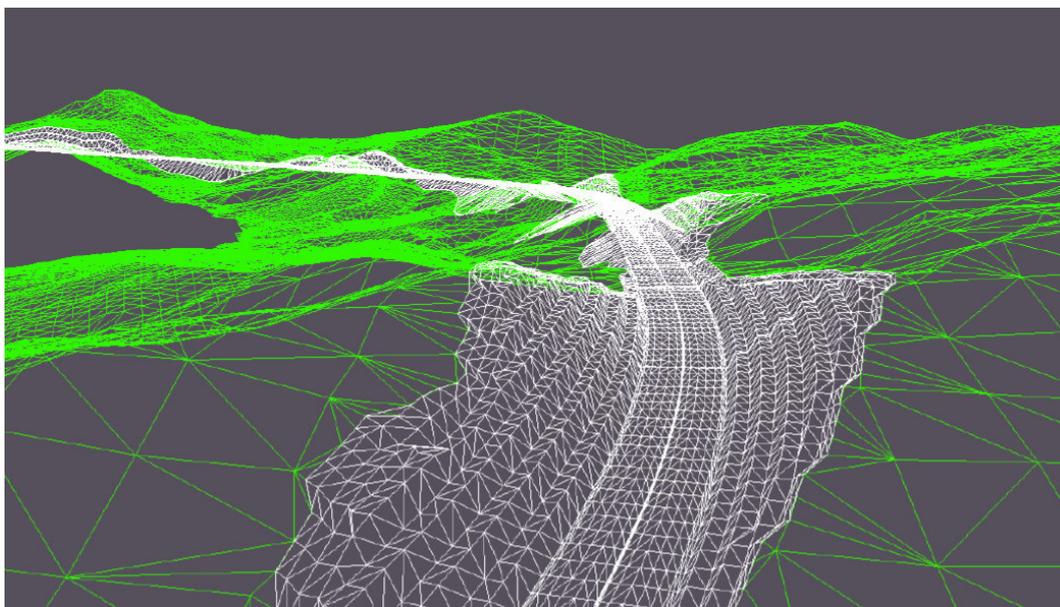
### 3.2 Vistas *wireframe* em perspectiva

Vistas *wireframe* em perspectiva são um modo de exibição na qual superfícies são apresentadas apenas com os seus contornos. Os elementos posicionados atrás dela também são exibidos, uma vez que a superfície é representada por meio de um desenho básico, um esqueleto, que apenas demonstra de forma direta como ela ficara e a estrada são elaboradas para organizar os elementos que entrarão na composição do projeto final. Contudo, tal representação deve ser feita da maneira mais simples o possível, mostrando apenas o essencial. As vistas *wireframe* constituem-se na visualização mais fácil de ser processada pois não cria uma estrutura com muitos elementos complexos e, assim, não exige grandes capacidades do processador. A (Figura 14) a seguir ilustra o processo

Este método é empregado para verificar a aparência do alinhamentos e verificar a combinação de curvas horizontais e verticais. Outra utilização para este modo de exibição é a verificação da forma que a estrada encaixa-se no terreno, a partir de pontos de vista externos e

internos da estrada. Deve-se atentar que a aparência final pode apresentar-se de forma bastante “bruta”, dificultando a sua interpretação.(HAN *et al*, 2005).

Figura 14 - Vista *Wireframe* em perspectiva



Fonte: DTMR, 2010

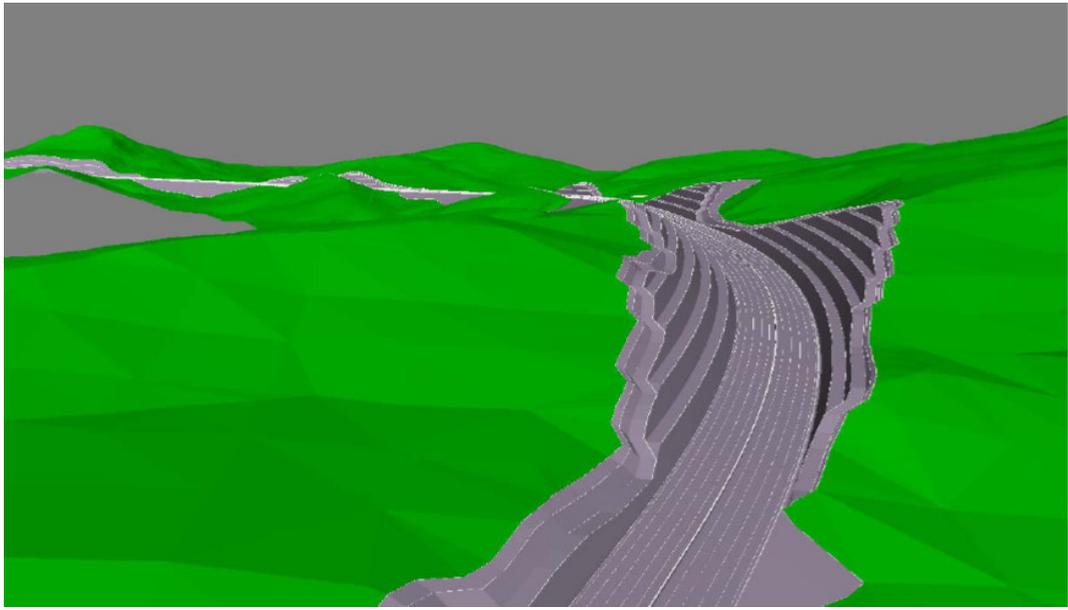
### 3.3 Renderização simples

O termo "renderização simples da triangulação" é aplicado na modelagem 2D e 3D para determinar o processo de obtenção de um produto final mais realista, de qualidade superior ao obtido pelo *wireframe*. Neste processo, utilizam-se habilidades de sombreamento e iluminação de um modelo, com o intuito de melhorar a interpretação e o realismo do modelo de projeto. A exibição resultante ajuda o projetista a analisar o traçado e auxilia na percepção de como ele adapta-se ao terreno existente. Ao renderizar, o programa calcula a perspectiva do plano, as sombras e a luz do objeto, convertendo os símbolos gráficos num arquivo visual, gerando imagens foto realísticas em vídeo de uma animação 3D (FIGUEIRA, 2012). Conforme ilustrado na (Figura 15) a seguir

Através do sombreamento do *wireframe*, a renderização simples permite um produto final mais detalhado, possibilitando uma melhor compreensão de como a estrada ficará no final. Em contraponto, esta técnica será mais onerosa se comparada ao *wireframe*, devido a necessidade de maior processamento. A renderização pode ser gerada após a criação do *wireframe*, uma vez que este processo aplica texturas, transparências e reflexões sobre o

*wireframe*, além de localizar um ou mais pontos de vista sobre os quais os objetos serão visualizados (ROS, 2001)

Figura 15 – Renderização Simples



Fonte: DTMR, 2010

### 3.4 *Drive Through* com renderização simples

O *Drive Through* com renderização simples fornece a capacidade de imersão dentro de um ambiente virtual tridimensional apesar de não apresentar grande riqueza de detalhes. Esta técnica permite ao projetista a experiência de visualizar o projeto do ponto de vista do motorista ou através de pontos de vista localizados ao redor do corpo estradal. Uma vez que esse ambiente virtual é gerado a partir de uma sequência de animações que simulam o caminho predeterminado pelo usuário, o ponto de visão, a velocidade, altura do observador e altura dos obstáculos.

Com esse cenário, é possível que o projetista, utilizando a ferramenta de *drive through*, tenha a oportunidade de analisar o projeto do ponto de vista do motorista podendo verificar a distância de visibilidade de parada e ultrapassagem, assim como as estruturas e a topografia presente na estrada podem interferir com a aparência e a visibilidade da estrada. Conforme exemplificado na (Figura 16).

Figura 16 – *Drive Through* com renderização simples.



Fonte: DTMR, 2010

### 3.5 *Drive Through* totalmente renderizados

O *Drive Through* totalmente renderizado fornece uma simulação mais verdadeira da pista e do terreno circundante, a partir do ponto de vista do condutor, isto pois, proporciona uma ideia realista de como a rodovia construída ficará. A textura renderizada deve ser aplicada juntamente com a criação da sinalização horizontal, em conjunto das características dos dispositivos de segurança e com sinalização aplicações de *software* dedicados. Ainda existe a opção de incluir veículos em movimento na estrada através de apresentação (FIGUEIRA, 2012).

Os *softwares* que produzem esse tipo de renderização ainda são muito onerosos e demandam tempo para produção, tornando o custo para sua utilização muito alto, visto que, alguns desses aplicativos necessitam de um módulo de *software* adicional para possibilitar a inclusão de outros veículos em movimento na rodovia, através de apresentação. (Figura 17).

### 3.6 Animação computadorizada

Animação computadorizada é um processo de geração de frames consecutivos exibidos numa frequência suficiente para que o olho humano não consiga diferenciá-los e tenha a sensação de movimento. O processo de animação envolve a modelagem, texturização,

iluminação e efeitos especiais. Quando a visualização é produzida, o produto final vai para pós-produção e pode ser exportado via meios de impressão ou em formato AVI (*Audio Video Interleave*), adequado para a reprodução em computador ou DVD.

A animação computadorizada permite ao usuário ter uma ideia de como ficara o projeto final, porém, não permite a interação com projeto como o *drive through*, pois o usuário não possui o dinamismo para interagir com o ambiente do cenário construído somente uma simulação mais elaborada conforme ilustrado a seguir na (Figura 18).

Figura 17 – *Drive through* totalmente renderizado.



Fonte: DTMR, 2010

Figura 18 – Animação Computadorizada



Fonte: VETEC Engenharia Ltda.

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta etapa, serão apresentados os materiais utilizados e os procedimentos realizados para o desenvolvimento do projeto de rodagem da estrada fictícia criada para ser o cenário onde ocorreu toda a modelagem dinâmica deste trabalho. O material é listado abaixo e a metodologia descrita nos itens seguintes.

### 4.1.1 *Material*

Foi usado o computador do laboratório do Grupo de Pesquisa em Transporte, Transito e Meio Ambiente - GTTEMA que é do tipo desktop composto por Processador i5, 4 Gb de memória RAM, hard disk de 500 Gb, placa de vídeo Nvidia GEFORCE de 1 Gb de memória, sistema operacional Windows 8, monitor LCD, teclado e mouse.

### 4.1.2 *Programas Computacionais*

O cenário foi construído com o auxílio do aplicativo computacional AutoCAD Civil 3D, que é usado para criação de projetos geométricos de vias terrestre, que possui módulo de visualização 3D, utilizando conceitos de alinhamento tridimensional e paramétrico, ou seja, as alterações realizadas em planta ou perfil se refletem em todo o projeto. O programa utilizado AutoCAD CIVIL 3D foi cedido gratuitamente pela empresa Urbaniza Engenharia LTDA.

Este software dispõe de um módulo 3D, no qual é possível realizar um percurso (*drive through*) da estrada projetada, bem como integrar a cartografia e ortofoto da área em projeto. Durante o percurso da via é possível visualizar o *drive through* a partir da velocidade específica pelo usuário, e é permitido posicionar a altura do observador, a distância ao eixo ou bordo da rodovia e a altura do objeto perceptível. Estes parâmetros são utilizados na determinação da distância de visibilidade de ultrapassagem e distância de parada, considerando todos os aspectos normativos como velocidade de projeto.

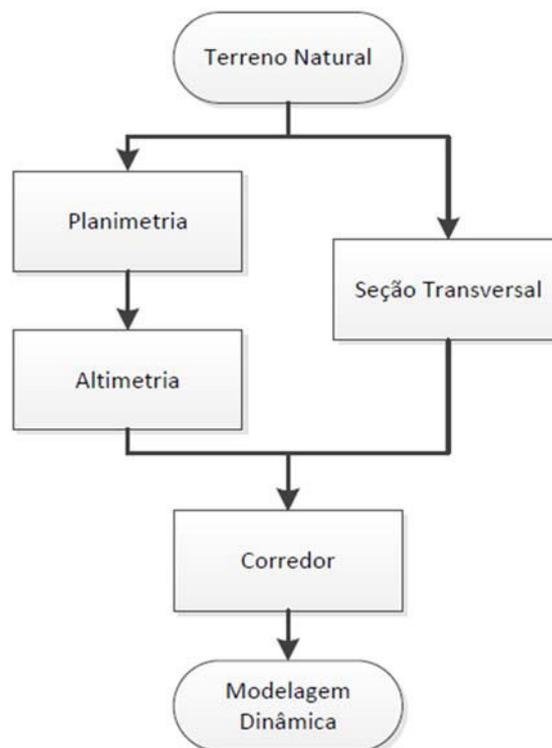
## 4.2 Metodologia

O foco deste estudo é avaliar a potencialização do uso de aplicativos computacionais como eles podem auxiliar na melhoria dos projetos de rodovias rurais, uma vez que

aplicativos 3D possibilitam aos engenheiros a visualização completa de seus projetos, antes de serem construídos (através de vários pontos de vista, incluindo o do motorista) e possibilitam maior facilidade na construção do projeto (apresentando em realidade virtual pontos visualização problemática).

Neste estudo, serão detalhadas todas as etapas e suas importâncias para criação de um projeto de rodovia rural e, ainda, o passo a passo para criação do cenário para as análises de visualização 3D conforme representado no fluxograma a seguir na (figura 19) que mostra a sequência de projetos a serem feitos até a construção do Modelagem Dinâmica (*Drive throung*). O cenário escolhido pode ser classificada como uma rodovia de aproximadamente 2,5 km de extensão, compostas de três tangentes, com velocidade de projeto 80 km/h para terreno montanhoso, de pista simples e classe especial.

Figura 19 - Fluxograma da criação dos projetos



Fonte: Autor (2013).

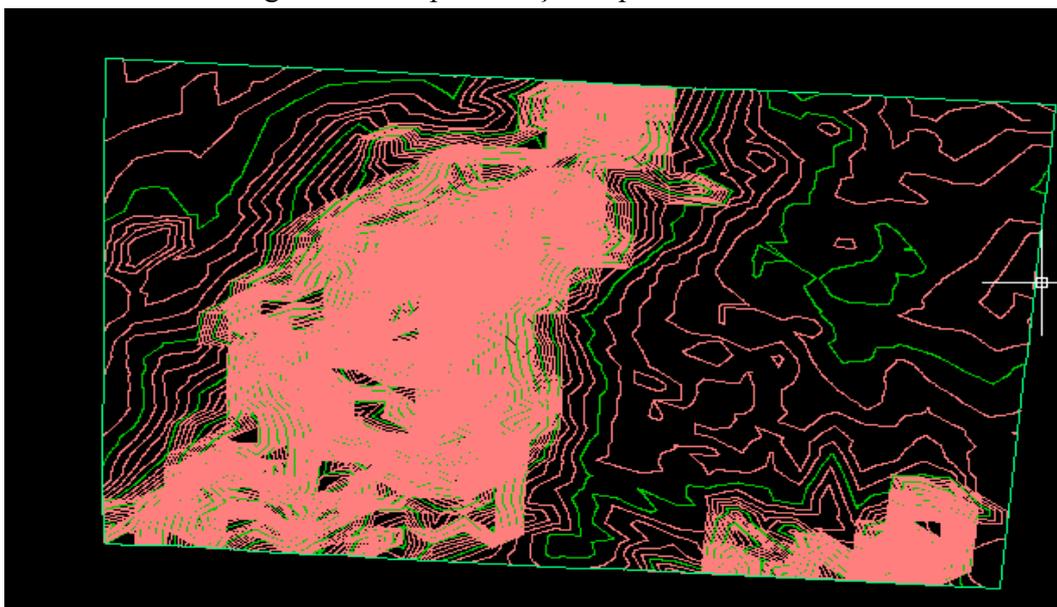
#### 4.2.1 Desenvolvimento de Cenários em 3D

#### 4.2.1.1 Terreno Natural.

A primeira etapa, e talvez a mais importante é a criação tridimensional do terreno, possibilitando toda a construção do projeto de uma rodovia. Esta etapa requer um grande processamento gráfico, pois cria um espaço totalmente orientado por coordenadas geográficas em um formato de desenho assistido por computador.

Quando se trata de um projeto tradicional, a elaboração de uma estrada inicia-se pelo reconhecimento da região, através do levantamento e análise dos possíveis locais onde possa passar o alinhamento da estrada. Depois é realizado a exploração, que consiste no levantamento topográfico mais detalhado (criação da representação das curvas de nível do terreno) de um faixa limitada do terreno, dentro do qual seja possível projetar o eixo estradal conforme ilustrado a seguir na (Figura 20) representação topográfica 2D gerada pelo AutoCAD Civil 3D para a criação dos cenários.

Figura 20 – Representação superfície em 2D.



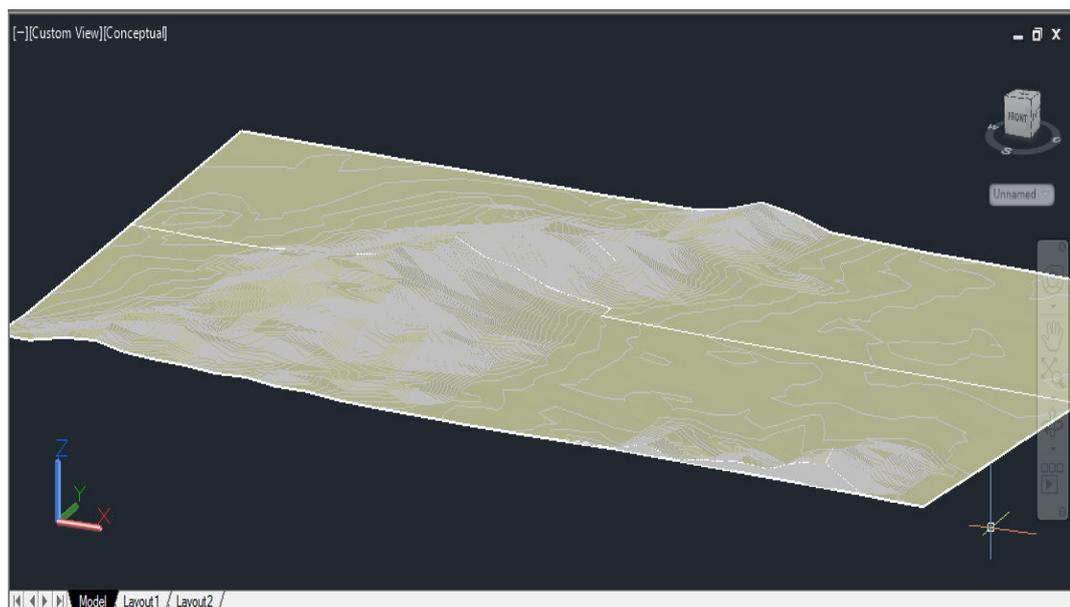
Fonte: Autor (2013)

A partir de coordenadas leste (E), norte (N) e cota (Z) obtidas normalmente por levantamentos topográficos planialtimétricos, são geradas curvas de nível pelos aplicativos computacionais a partir da triangulação das características geográficas dos pontos inseridos no programa. Estes pontos são interligados com os pontos mais próximos e as elevações são determinadas pela interpolação dos vértices dos triângulos gerados. Estes aplicativos podem construir a superfície a partir de pontos, linhas com cota de altimetria, limites e contornos,

onde esses dados podem ser obtidos *on-line* em programa de geoprocessamento, por banco de dados GIS (*Geographic Information System*) ou coletados tradicionalmente pela topografia. Cabe ressaltar que os aplicativos do tipo CAD mais atuais conseguem ainda gerar mapas com curvas de nível a partir de fotografias aéreas e aplicativos como o *Google Earth* (C) e o *Google Maps*.

A partir das curvas de nível representadas em 2D é possível a criação de um modelo tridimensional do terreno no aplicativo utilizado o qual pode ser bastante útil nas etapas de escolha do traçado e determinação dos pontos obrigatórios de passagem durante as etapas iniciais do projeto. A (Figura 21) apresenta uma superfície 3D de um terreno montanhoso nas proximidades de Maranguape, gerada por aplicativo computacional (AutoCAD Civil 3D) exportando pela base de dados do programa *Google Earth* que será utilizada na criação do projeto hipotético e exploração das funcionalidades de visualização tridimensional.

Figura 21 – Superfície 3D do cenário adotado.



Fonte: Autor (2013)

#### 4.2.1.2 Definição da Planimetria

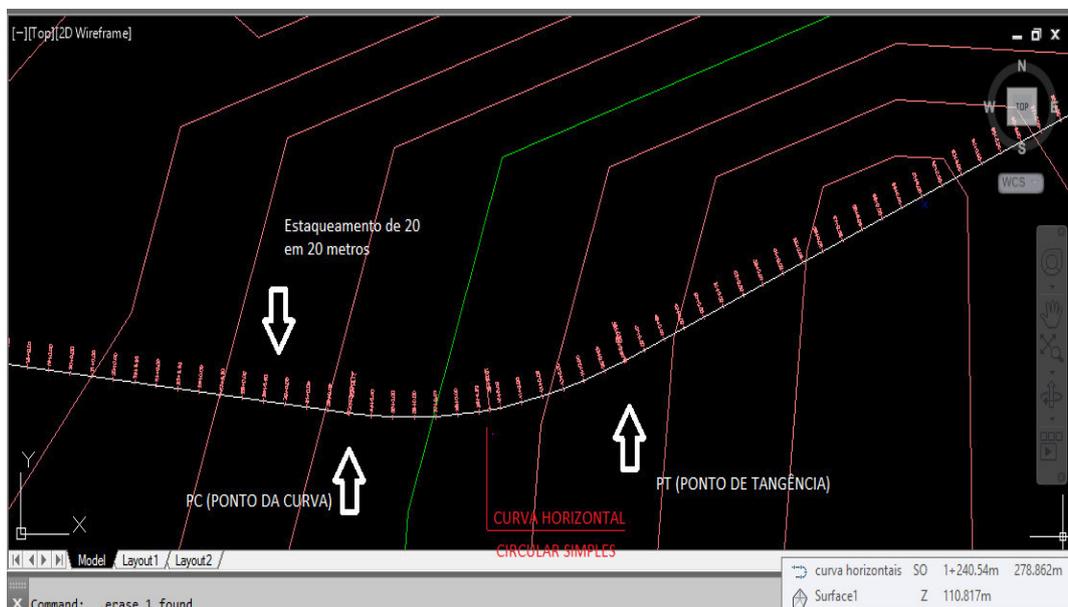
A próxima etapa é a construção do traçado horizontal, denominado de projeto planimétrico. Este projeto, que se constitui no alinhamento, é um dos primeiros passos da estrada. O alinhamento é o conjunto de linhas centrais da estrada, através das quais são

definidas as tangentes e seus pontos de interseção, o ângulo entre elas, local das curvas, pontos de começo, término, além dos tipos e raios destas.

Observou-se que o aplicativo AutoCad Civil 3D dispõe de uma biblioteca com diversos parâmetros de projeto das normas da AASHTO e do DNIT os quais permitem auxiliar o projetista na definição de atributos geométricos mínimos e máximos durante a fase de projeto. Os critérios das normas selecionadas são regidos pelo raio mínimo da curva horizontal baseado na velocidade de projeto, os valores de comprimento mínimo de transição das curvas, gerados automaticamente utilizando o raio da curva especificada. Através da utilização dos aplicativos, é possível ter maior auxílio na construção do alinhamento, com a possibilidade para realizar várias simulações com o terreno até definir a melhor opção de traçado.

O traçado horizontal adotado neste estudo de caso, foi um trecho de aproximadamente 2,5 km de extensão, com 3 tangentes com extensão de 0,5km, 1,5km e 0,5km, ângulo de deflexão de 30° graus entre as tangentes, conforme apresentado no projeto no Anexo 01, abaixo um trecho do projeto planimétrico na (Figura 22).

Figura 22 – Curva circular simples projeto planimétrico

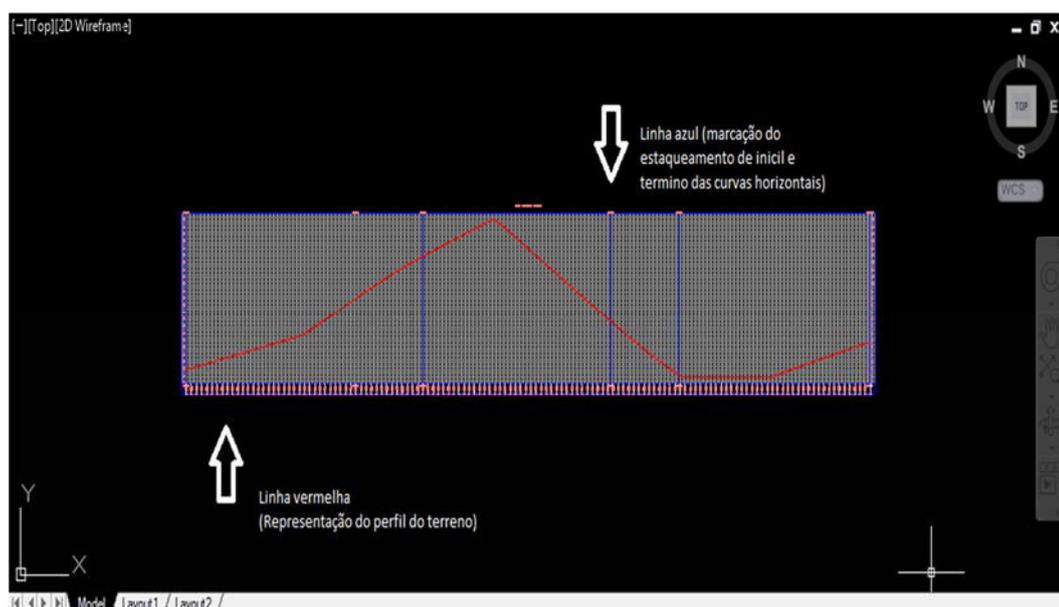


Fonte: Autor (2013).

### 4.2.1.3 Definição da Altimetria

O Greide (projeto altimétrico) é construído a partir da superfície do alinhamento, determinada na primeira etapa e do alinhamento do projeto planimétrico definido na etapa anterior, ou seja, o próprio aplicativo estima as cotas de eixo a partir da modelagem realizada na criação da superfície. A geração do leiaute típico do projeto altimétrico com indicação de estaqueamento e cotas em escalas diferentes é feita de forma automática pelo aplicativo (Figura 23). O processo de criação do greide consiste na determinação das rampas verticais, sempre em concordância com as curvas verticais. O programa utilizado, verifica se a curva vertical atende os parâmetros mínimos de comprimento, segundo o padrão adotado por norma.

Figura 23 – Perfil de representação do terreno

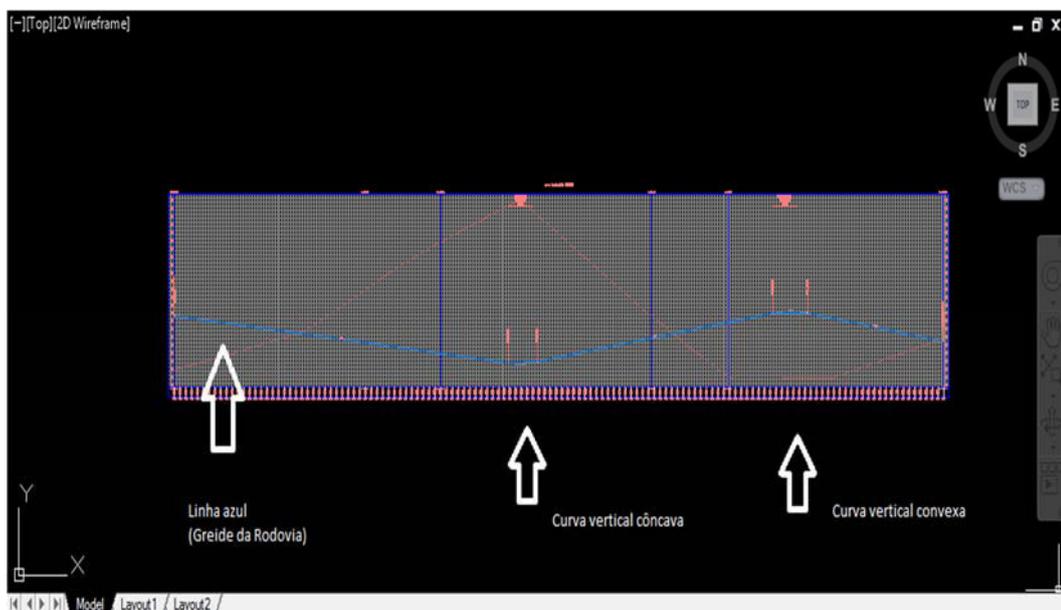


Fonte: Autor (2013).

Existe também a opção para gerar o diagrama de Brückner, que são as ordenadas correspondem aos volumes de cortes (os positivos) e os volumes de aterros (os negativos) acumulados sucessivamente, auxiliando a análise da distribuição dos materiais escavado.

O greide criado para o cenário teste é composto por três rampas com variações de inclinação da ordem de 4%, curvas verticais convexas e côncava, terreno acidentado e

velocidade de projeto de 80 km/h. Para a construção desse greide não foi levado em consideração as compensações devidas as movimentações de terra. A curva côncava encontra-se em área corte e a curva convexa em área de aterro. Ambas as curvas foram definidas como caso I, o qual determina que a distância de visibilidade é menor ou igual ao comprimento da curva. Os valores mínimos de  $k$  são iguais à 40 para curvas verticais côncavas e convexas,



Conforme ilustrado nas (Figuras 24) a seguir e o projeto altimétrico completo no anexo 1.

Figura 24 – Projeto altimétrico do cenário teste.

Fonte: Autor (2013).

#### 4.2.1.4 Detalhamento da Seção Transversal

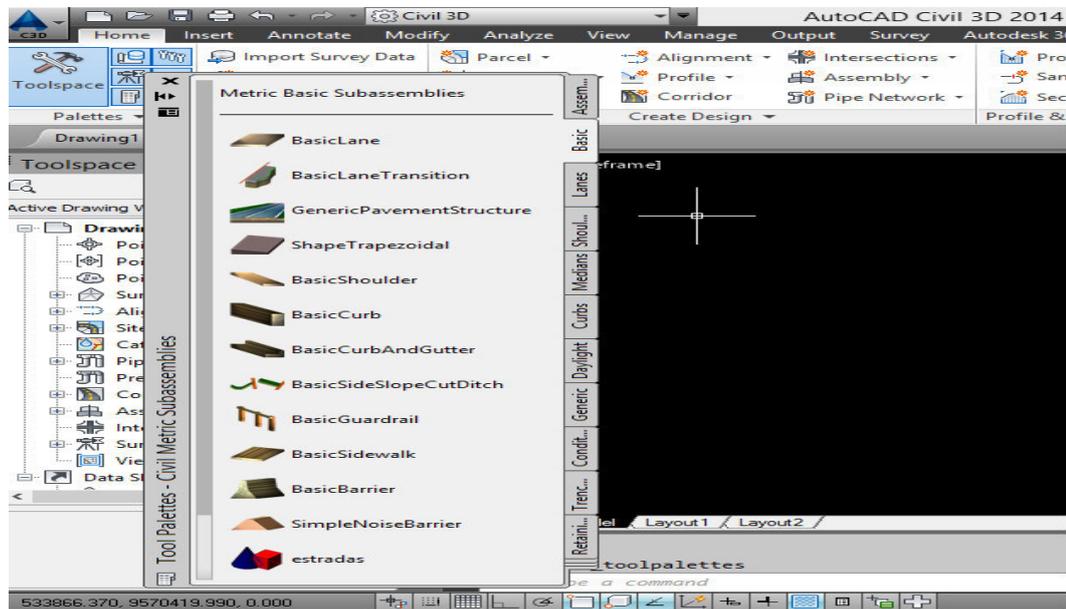
Conforme dito anteriormente, o detalhamento da seção transversal se constitui na representação geométrica de todos os elementos de um plano perpendicular ao eixo longitudinal da estrada, apresentando todas as suas dimensões e materiais utilizados. Os elementos de seção transversal como número e dimensão de faixas, inclinação transversal e dispositivos de drenagem são fundamentais para a conformação dos taludes de aterro e corte, elementos esses que influenciam em aspectos econômico, operacionais e de segurança viária da rodovia projetada.

O detalhamento da seção transversal no Civil 3D pode ser feita de forma padronizada pelo usuário ou com o auxílio de modelos pré-definidos na aba *Tool Palettes* conforme ilustra

a (Figura 25). Para os modelos pré-definidos os parâmetros que podem ser escolhidos pelo usuário são: tipo de seção, tipo de material e os detalhes da drenagem superficial.

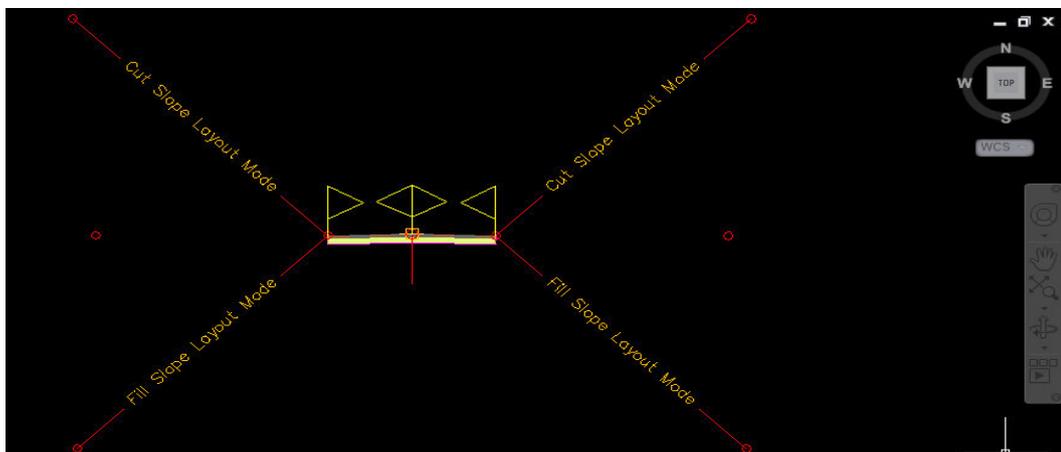
Para o presente estudo de caso, a seção transversal foi a do tipo *primary road full section* formada por pistas de rolamento simples, com duas faixas de tráfego com 3,6 metros de faixa de largura, inclinação transversal de 2%, atendendo os critérios da norma do DNIT, 2006 (Figura 26).

Figura 25 – Tool Palettes.



Fonte: Autor (2013)

Figura 26 – Seção transversal



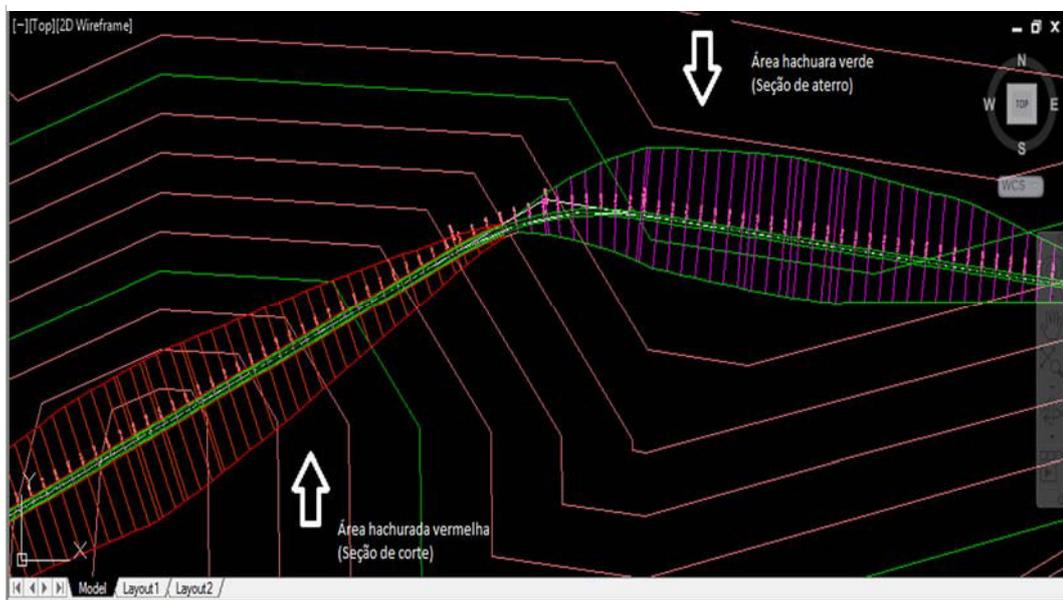
Fonte: Autor (2013).

#### 4.2.1.5 Corredor

A última etapa do projeto é a construção do corredor que cria uma plataforma BIM (*Building Information Modeling*), que integra os três projetos separados em um único projeto, interligado completamente com a superfície do terreno. Com essa união, a informação encontra-se interligada por via de relações paramétricas, o que significa que as alterações são processadas em tempo real em todo o modelo, evitando a propagação de erros e dinamizando os processos de atualização (Autodesk, 2003).

Nesta etapa, o corredor encontra-se totalmente interligado com todos os parâmetros do projeto. As adaptações e cálculos da superelevação e superlargura são realizadas automaticamente para a combinação dos três projetos propostos e, também, é realizada automaticamente a marcação das áreas de corte e aterro conforme especificado no greide, processo este exemplificado (Figura 27) a seguir nos cenários teste criados, (projeto completo no anexo 1).

Figura 27 – Corredor do cenário teste



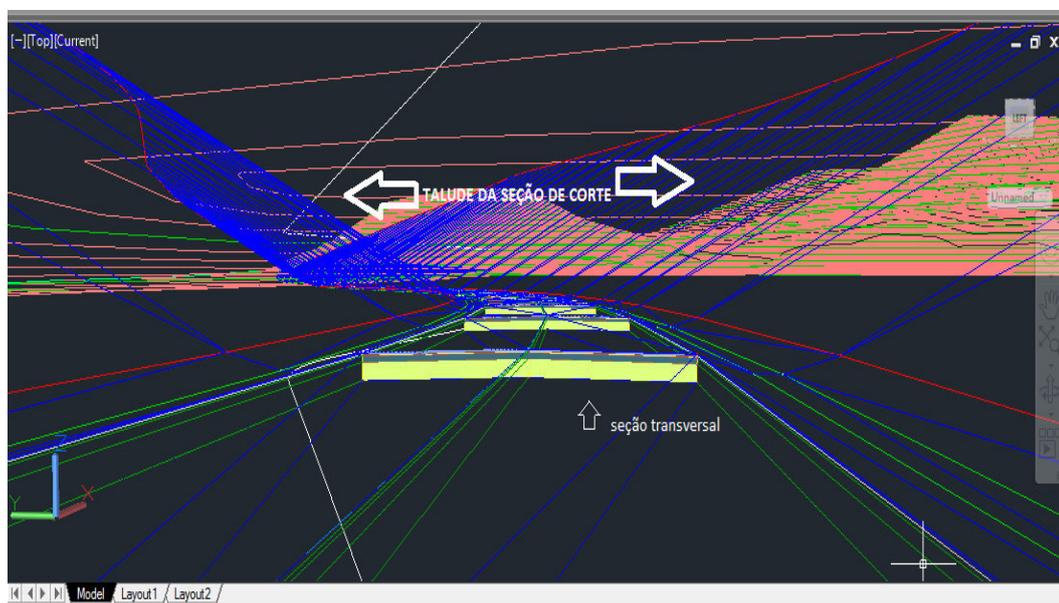
Fonte: Autor (2013)

#### 4.2.1.6 Modelagem Dinâmica

A etapa 3D é a modelagem dinâmica (*drive throung*) onde a completa imersão do usuário no projeto para a simulação da condução. A etapa é formada pela construção de um modelo 3D atrás dos dados obtidos nos modelos anteriores. Devido a sua alta demanda de processamento ela é composta de vários tipos de visualização, com diferentes parâmetros, para aliviar o processamento: *Wireframe*, renderização simples e renderização completa.

O *Wireframe* constitui em uma criação do modelo 3D sem sombreado, apresentando a arquitetura do cenário em três dimensões. Estas características geram um modelo menos carregando e, assim, gerando um cenário mais rápido com menos *frames* por segundo, gerando uma simulação menos onerosa para processamento, conforme ilustrado na (Figura 28) do cenário teste. Foram gerados dois vídeos com velocidades de percurso de 80Km/h e 100 Km/h com o intuito de avaliar a velocidade de processamento, conforme apresentado no DVD em anexo.

Figura 28 – *Drive through* em *wireframe*



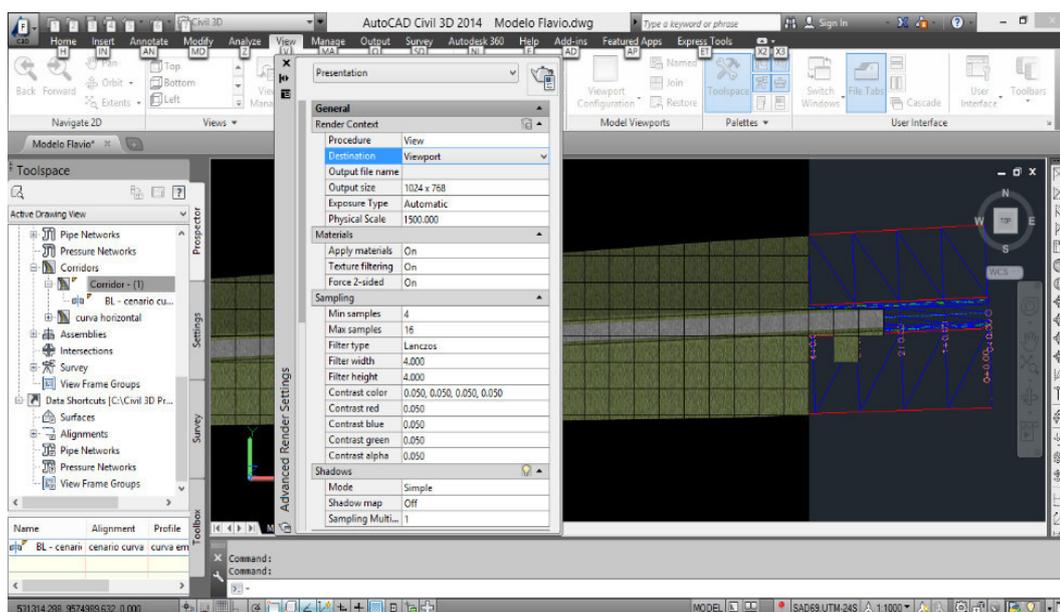
Fonte: Autor (2013).

Renderização simples é um modelo mais realista. Este modelo gera uma visão mais conceitual para o usuário, sombreado a geometria da cena (*wireframe*). Esta é gerada através da utilização da iluminação configurada pelo usuário, texturização para os materiais

escolhidos e configurações do ambiente (plano de fundo e nevoeiro) conforme ilustrado a seguir (Figura 29). Obtém-se um cenário mais realista porém ainda com um aparência pobre, já com uma velocidade de processamento mais reduzida em relação ao *wireframe* conforme apresentado a seguir na (Figura 30), o *drive through* com renderização simples para o cenário proposto.

O *drive through* proporciona, o controle do alinhamento (caminho) que você deseja seguir, a altura da visão do condutor, a localização do condutor, a velocidade da simulação desejada, a navegação podendo, a altura dos alvos e localização dos alvos a exportação em formato de vídeo (AVI). Estes parâmetros foram determinados pelo DER-SP,2006, adotando 1,08 metros de altura dos olhos do motorista, 1,02 metros a distância deslocada do eixo estradal. Com esses parâmetros foram feitos os vídeos dos cenário teste.

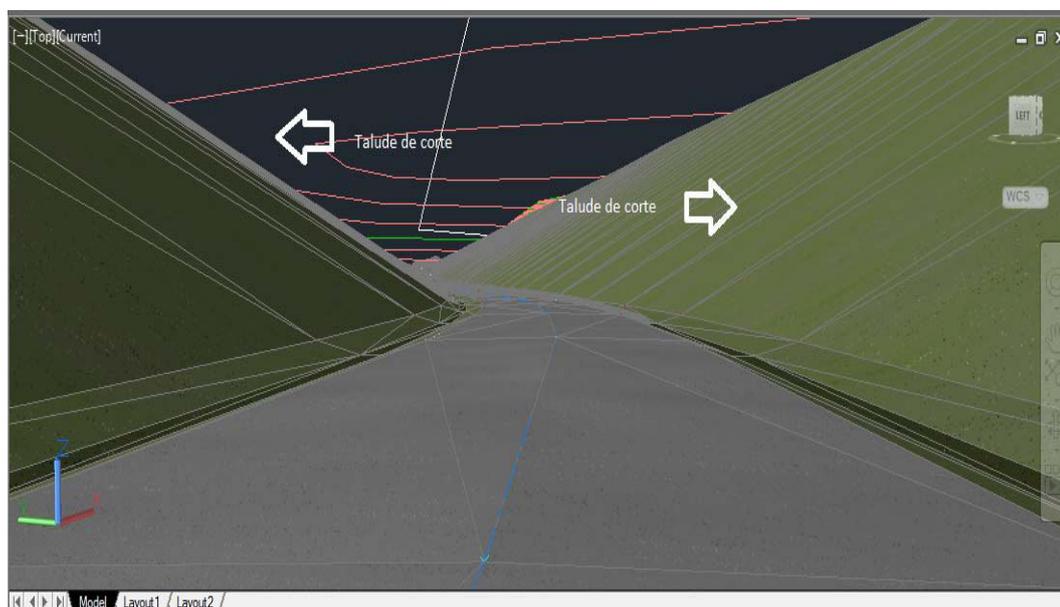
Figura 29 – Processo de renderização do *wireframe*.



Fonte: Autor (2013)

O *drive through* proporciona, o controle do alinhamento (caminho) que você deseja seguir, a altura da visão do condutor, a localização do condutor, a velocidade da simulação desejada, a navegação podendo, a altura dos alvos e localização dos alvos a exportação em formato de vídeo (AVI). Estes parâmetros foram determinados pelo DER-SP,2006, adotando 1,08 metros de altura dos olhos do motorista, 1,02 metros a distância deslocada do eixo estradal. Com esses parâmetros foram feitos os vídeos dos cenário teste.

Figura 30 – *Drive Through* com renderização simples.



Fonte: Autor (2013).

#### 4.2.2 *Relatórios de Visibilidades*

O software consegue analisar as distancias de visibilidade, para o corredor gerado pelo usuário, num intervalo estaqueamento também escolhido, para a mínima distancia de visibilidade adota, altura dos olhos do motorista e altura mínimo de visibilidade adotada. Os parâmetros adotado para os relatórios do cenário teste foram 140 metros de distância mínima de visibilidade, 1.08 metros de altura dos olhos do motorista, como estaqueamento de 20 metros e altura do alvo (altura das lanternas do carro da frente ou qualquer outro obstáculo na pista) 0,82 metros. O resultado final exemplifica nas tabelas 01 a seguir Ilustrando e com a tabela completa no Anexo 02.

Outra ferramenta que integra os testes de distância de visibilidade é a zona de influência visual. Esta é usada para verificar a visibilidade local para objetos verticais, como por exemplo, a vista de um semáforo ou de uma torre, permitindo a visibilidade de dentro de um determinado raio de atuação, bem como a determinação da distância que o motorista pode ver a partir de uma linha de parada em um cruzamento.

Esta verificação é feita a partir de uma superfície de solo acabado, ou a partir de uma superfície composta (corredor interligado com a superfície do terreno). O programa faz os testes de visibilidade ao se determinar uma área circular e informando a localização, a altura do objeto e a extensão do raio de visão, apresentado na (Figura 31). O mesmo retorna

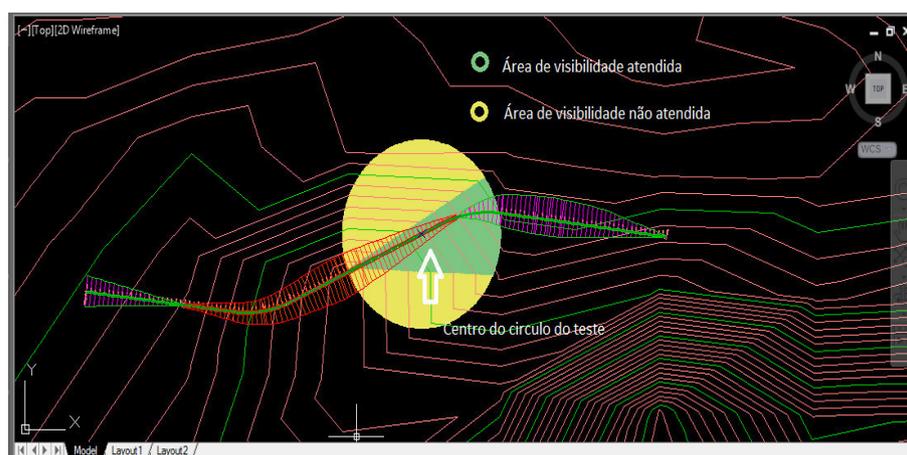
três tipos de regiões hachuradas, para as quais estão relacionadas as cores vermelha, amarela e verde. A cor vermelha está associada à não visibilidade de objetos, enquanto que a cor verde indica que os objetos são visíveis em sua totalidade. A cor amarela constitui um caso intermediário das duas situações anteriores, ou seja, o objeto pode ser visto parcialmente.

Tabela 01 – Relatório de checagem de distância de visibilidade.

date	05/12/2013	time	07:30:33	
EyePath Alignment	curva horizontais	EyePath Profile	teste	
Eye Offset	0	Eye Height	1.08	
Surfaces	terreno natural			
Object Offset	0			
Object Height	0.82			
Station	ActualSightDistance	MinimumSightDistance	ObstructionPoint	Violated?
0+000.00m	140.000m	140.000m		No
0+020.00m	140.000m	140.000m		No
0+040.00m	140.000m	140.000m		No
0+060.00m	140.000m	140.000m		No
0+080.00m	140.000m	140.000m		No
0+100.00m	140.000m	140.000m		No
0+120.00m	140.000m	140.000m		No
0+140.00m	140.000m	140.000m		No
0+160.00m	140.000m	140.000m		No
0+180.00m	140.000m	140.000m		No
0+200.00m	140.000m	140.000m		No
0+220.00m	140.000m	140.000m		No
0+240.00m	140.000m	140.000m		No
0+260.00m	140.000m	140.000m		No
0+280.00m	140.000m	140.000m		No

Fonte: Autor (2013)

Figura 31 – Análise de visibilidade por zona.



Fonte: Autor (2013)

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O projeto de uma rodovia é normalmente composto por um conjunto de elementos planimétricos, altimétricos e transversais definidos em um ambiente bidimensional e de forma isolada. Durante o processo de condução, entretanto, os usuários percebem o ambiente rodoviário com tais elementos integrados formando uma única entidade tridimensional. O processo tradicional bidimensional do projeto geométrico de rodovias associado ao caráter espacial dinâmico do tráfego rodoviário acabam por propiciar a ocorrência de erros de concordância de alinhamentos.

O recente avanço dos sistemas do tipo CAD tem permitido a exploração da representação tridimensional de projetos rodoviários os quais incluem ferramentas que verificam a compatibilidade entre os parâmetros especificados pelo projetista com limites estabelecidos por normas, além de possibilitar a análise de combinações de alinhamento horizontal e vertical e elementos da seção transversal. Através dos aplicativos 3D para projetos de rodovias, é possível a utilização de técnicas de visualização como vistas em perspectivas (*wireframe*) e de visualização dinâmica como o *drive through*. A modelagem 3D permite a construção de um percurso da estrada projetada com total interação com a topografia existente da região do projeto, apresentando os alinhamentos tridimensional e paramétrico (assim, qualquer alteração realizada em qualquer etapa reflete em todo o projeto), permitindo ao projetista atualizar e realizar análises do modelo continuamente até a sua conclusão, geração de vídeos em AVI no formato *drive through*.

Apesar de relativamente bem difundida no ambiente internacional, as técnicas de representação tridimensional de projetos rodoviários ainda é pouco explorada no Brasil. Desta forma, o presente projeto de graduação explorou os principais aspectos relacionados ao emprego de ferramentas de visualização 3D no projeto geométrico de rodovias rurais. De forma mais específica o estudo efetivou um estudo de caso em um projeto rodoviário hipotético para avaliar todo o processo construtivo necessário à modelagem dinâmica (*drive-through*) obtida com a utilização do aplicativo Autocad Civil 3D.

O estudo de caso para a modelagem dinâmica, constitui de um trecho com aproximadamente 3km de extensão; composto por três rampas de 0,5km, 1,5km e 0,5km, respectivamente, ângulos de 30° entre as tangentes, duas curvas circulares simples com raio de 500 metros, tangentes com 4% de diferença algébrica entre as rampas; apresentando duas curvas, uma côncava e outra convexa, ambas com  $k$  de 40, em seções de corte e aterro. Adotando-se velocidade de projeto igual a 80km/h.

Para se construir o projeto de uma modelagem dinâmica deve-se seguir as etapas na ordem definidas pelo fluxograma. Primeiro, se cria o terreno natural, depois os três projetos geométricos (planimétrico, altimétrico e seção transversal), sendo o altimétrico totalmente dependente do planimétrico. Após a combinação dos três projetos em único, constituindo o corredor, possibilitando a criação da modelagem dinâmica.

A modelagem dinâmica foi realizada para o cenário adotado, criando quatro vídeos *drive through*, dois em formato *wireframe* e outros dois no formato renderizado simples, sendo as velocidades usadas em cada um destes dois vídeos de 80km/h e 100km/h, para ambos os formatos. Como o *drive through* o usuário tem a impressão de imersão no projeto através da vídeo simulação, permitindo obter um conhecimento prévio do resultado final do projeto, através de perspectivas que ajudam na visualização razoável do comportamento tridimensional da estrada principalmente em locais de topografia acidentada .

A renderização simple apresentada pelo aplicativo adotado mostrou-se pouco elaborada em opções de controle de luz, e textura dos materiais utilizados, permitindo poucos de controle e flexibilidade da renderização. Só foi possível realizar funções padrão do aplicativo.

Os vídeos gerados em *wireframe* apresentaram uma melhor qualidade de resposta em relação aos vídeos onde foi utilizada o processo de renderização simple. Isto ocorreu pois os vídeos renderizados apresentaram um atraso nas respostas em relação aos vídeos de *wireframe*. Com isto, pode-se concluir que a renderização requer uma boa demanda de processamento.

O cenário totalmente renderizado proporciona uma visão muito mais realista e detalhada do cenário, proporcionando uma melhor visualização por parte do usuário que, por limitações no programa, não foi possível ser obtido. Uma vez que este cenário necessita de outro aplicativo de maior exigência de processamento para fazer a renderização, ele é um complemento do AutoCAD Civil 3D. Observa-se entretanto que, uma vez que a renderização simples já exigiu um nível de processamento considerável, mesmo que fosse possível fazer o cenário totalmente renderizado, o mesmo apresentaria um atraso considerável em processamento.

Os resultados do estudo de caso permitiram identificar, para o aplicativo utilizado, as principais etapas para a obtenção de um projeto geométrico mais eficiente em termos de sua visualização tradicional 2D, uma vez que foram integrados os projetos planimétrico, altimétrico e de seção transversal com o terreno natural através da entidade denominada "corredor". Mesmo no processo tradicional, trata-se de um avanço considerável, uma vez que qualquer alteração de traçado efetuado pelo projetista, seja em planta, perfil ou seção transversal é automaticamente integrada ao "corredor" que atualiza de forma instantânea componentes de movimentação de terra, como taludes de corte e aterro além do próprio terreno natural.

O estudo de caso possibilitou ainda a construção de modelos tridimensionais do projeto hipotético com relativa facilidade, tendo sido exploradas características estáticas e dinâmicas dessa representação. Nesse processo observou-se que, de maneira geral, a utilização de modelos de renderização mais elaborados aumentam consideravelmente o tempo de processamento exigido dos computadores. Além disso, na modelagem dinâmica do tipo *drive-through* a velocidade de viagem estabelecida pelo usuário influencia diretamente na exigência de poder computacional.

As principais vantagens técnicas da modelagem 3D ressalta-se a possibilidade de identificação de combinações de alinhamentos que não seriam perceptíveis na representação tradicional, além da incorporação do caráter dinâmico do tráfego rodoviário. As ferramentas 3D dão apoio às estimativas de segurança e desempenho operacional de projeto de rodovias, através das avaliações de coerência de projeto, análise de interseção, análise de critérios de projeto e análise de desempenho condutor/veículo. Uma vez que a maioria dos problemas relacionados com a segurança são originados na incapacidade do projetista de visualizar o projeto da perspectiva do motorista, aonde ele está limitado a trabalhar só num patamar bidimensional.

Dentre as principais recomendações para trabalhos futuros ressalta-se a investigação do impacto de combinações de traçado em planta e perfil no esforço cognitivo de motorista através de renderizações especializadas do tipo *drive-through*, avaliar o impacto de afastamento de obstáculos laterais como barreiras rígidas e taludes de corte em curvas conjugadas (horizontais e verticais) e realizar um estudo comparativo entre diferentes aplicativos CAD com poder de modelagem tridimensional aplicada ao projeto geométrico de rodovias.

Tendo em vista a rápida expansão da capacidade de armazenamento e processamento dos computadores além da evolução das técnicas de aquisição de informações de campo como a aerofotogrametia associada à equipamentos geodésicos de alta precisão, espera-se o avanço acelerado das técnicas de visualização tridimensionais no desenvolvimento do projeto de rodovias.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HAN, K; Middleton, D.; Muzyczka, W. J.; Minty, S.; Clayton, A. Developing Virtual Reality Visualizations to Support Highway Geometric Design. 3rd International Symposium on Highway Geometric Design, June 29–July 1, 2005

DNER. Manual para Projeto Geométrico de Rodovias Rurais. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico. Rio de Janeiro, 1999, 228p.

DNIT. Manual de Projeto Geométrico de Travessias Urbanas. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Rio de Janeiro, 2006. 392p. (IPR. Publ.,740). 2006.

FIGUEIRA, Aurenice Da Cruz. O USO DE FERRAMENTAS DE VISUALIZAÇÃO TRIDIMENSIONAL NA DETECÇÃO DE DEFICIÊNCIAS EM PROJETO GEOMÉTRICO DE VIAS. 2012. 120 f. Tese (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Departamento de Engenharia de Transportes., Escola Politécnica da Universidade de São Paulo., São Paulo, 2012.

PONTES FILHO, Glauco. ESTRADAS DE RODAGEM PROJETO GEOMÉTRICO. São Carlos: Editoração Eletrônica, 1998. 227 p.

CUNTO, Flávio. NOTAS DE AULA DE PROJETO GEOMETRICO DE RODOVIAS VOL.1. Fortaleza, 2003. 55 p.

MATOS, Érica Santos. Estudo da influência do posicionamento de barreiras rígidas centrais na visibilidade de projeto em rodovias de pista dupla. 2013. 185 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. Cap. 7.

DER-SP. Notas Técnicas de Projeto Geométrico. Departamento de Estradas de Rodagem do Estado de São Paulo, Diretoria de Engenharia. São Paulo, 2006.

AASTHO. A Policy on Geometric Design of Highways and Streets. 6 ed. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington D.C., 2011a.

Autodesk. Building Information Modeling. San Rafael, CA, Autodesk, Inc., 2003.

DER-SC. Diretrizes para concepção de estradas. Departamento de Estradas de Rodagem de Santa Catarina – Diretoria de Estudos e Projetos. 2000.

PIMENTA, Carlos R. T.; OLIVEIRA, Márcio P.. Projeto Geométrico de Rodovias. 2. ed. São Carlos: Rima, 2004. 198 p.

ROS, Giovana Angélica. Visualização 3D de uma imagem digital. 2001. 82 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências Cartográficas, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente, 2001. Cap. 6.

## **7 ANEXO I – Projetos Geométricos.**

## **8 Anexo II – Relatório de Visibilidade.**

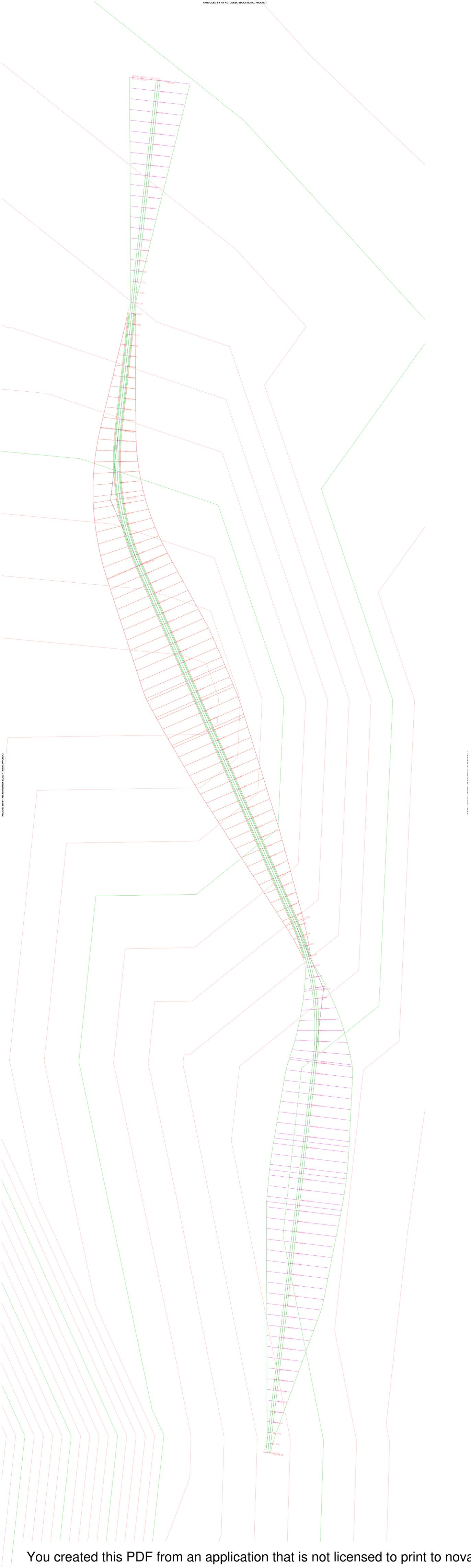
Tabela 1- Relatório de checagem de distância de visibilidade.

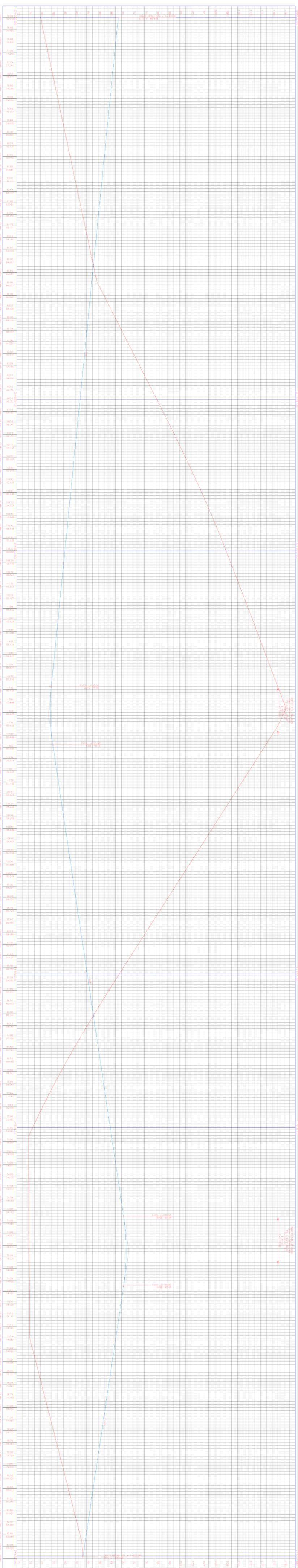
Station	ActualSightDistance	MinimumSightDistance	ObstructionPoint	Violated?
0+000.00m	140.000m	140.000m		No
0+020.00m	140.000m	140.000m		No
0+040.00m	140.000m	140.000m		No
0+060.00m	140.000m	140.000m		No
0+080.00m	140.000m	140.000m		No
0+100.00m	140.000m	140.000m		No
0+120.00m	140.000m	140.000m		No
0+140.00m	140.000m	140.000m		No
0+160.00m	140.000m	140.000m		No
0+180.00m	140.000m	140.000m		No
0+200.00m	140.000m	140.000m		No
0+220.00m	140.000m	140.000m		No
0+240.00m	140.000m	140.000m		No
0+260.00m	140.000m	140.000m		No
0+280.00m	140.000m	140.000m		No
0+300.00m	140.000m	140.000m		No
0+320.00m	140.000m	140.000m		No
0+340.00m	140.000m	140.000m		No
0+360.00m	140.000m	140.000m		No
0+380.00m	140.000m	140.000m		No
0+400.00m	140.000m	140.000m		No
0+420.00m	140.000m	140.000m		No
0+440.00m	140.000m	140.000m		No
0+460.00m	140.000m	140.000m		No
0+480.00m	140.000m	140.000m		No
0+500.00m	140.000m	140.000m		No
0+520.00m	140.000m	140.000m		No
0+540.00m	140.000m	140.000m		No
0+560.00m	140.000m	140.000m		No
0+580.00m	140.000m	140.000m		No
0+600.00m	140.000m	140.000m		No
0+620.00m	140.000m	140.000m		No
0+640.00m	140.000m	140.000m		No
0+660.00m	140.000m	140.000m		No
0+680.00m	140.000m	140.000m		No
0+700.00m	140.000m	140.000m		No
0+720.00m	140.000m	140.000m		No
0+740.00m	140.000m	140.000m		No
0+760.00m	140.000m	140.000m		No
0+780.00m	140.000m	140.000m		No
0+800.00m	140.000m	140.000m		No
0+820.00m	140.000m	140.000m		No
0+840.00m	140.000m	140.000m		No

0+860.00m	140.000m	140.000m	No
0+880.00m	140.000m	140.000m	No
0+900.00m	140.000m	140.000m	No
0+920.00m	140.000m	140.000m	No
0+940.00m	140.000m	140.000m	No
0+960.00m	140.000m	140.000m	No
0+980.00m	140.000m	140.000m	No
1+000.00m	140.000m	140.000m	No
1+020.00m	140.000m	140.000m	No
1+040.00m	140.000m	140.000m	No
1+060.00m	140.000m	140.000m	No
1+080.00m	140.000m	140.000m	No
1+100.00m	140.000m	140.000m	No
1+120.00m	140.000m	140.000m	No
1+140.00m	140.000m	140.000m	No
1+160.00m	140.000m	140.000m	No
1+180.00m	140.000m	140.000m	No
1+200.00m	140.000m	140.000m	No
1+220.00m	140.000m	140.000m	No
1+240.00m	140.000m	140.000m	No
1+260.00m	140.000m	140.000m	No
1+280.00m	140.000m	140.000m	No
1+300.00m	140.000m	140.000m	No
1+320.00m	140.000m	140.000m	No
1+340.00m	140.000m	140.000m	No
1+360.00m	140.000m	140.000m	No
1+380.00m	140.000m	140.000m	No
1+400.00m	140.000m	140.000m	No
1+420.00m	140.000m	140.000m	No
1+440.00m	140.000m	140.000m	No
1+460.00m	140.000m	140.000m	No
1+480.00m	140.000m	140.000m	No
1+500.00m	140.000m	140.000m	No
1+520.00m	140.000m	140.000m	No
1+540.00m	140.000m	140.000m	No
1+560.00m	140.000m	140.000m	No
1+580.00m	140.000m	140.000m	No
1+600.00m	140.000m	140.000m	No
1+620.00m	140.000m	140.000m	No
1+640.00m	140.000m	140.000m	No
1+660.00m	140.000m	140.000m	No
1+680.00m	140.000m	140.000m	No
1+700.00m	140.000m	140.000m	No
1+720.00m	140.000m	140.000m	No
1+740.00m	140.000m	140.000m	No

1+760.00m	140.000m	140.000m	No
1+780.00m	140.000m	140.000m	No
1+800.00m	140.000m	140.000m	No
1+820.00m	140.000m	140.000m	No
1+840.00m	140.000m	140.000m	No
1+860.00m	140.000m	140.000m	No
1+880.00m	140.000m	140.000m	No
1+900.00m	140.000m	140.000m	No
1+920.00m	140.000m	140.000m	No
1+940.00m	140.000m	140.000m	No
1+960.00m	140.000m	140.000m	No
1+980.00m	140.000m	140.000m	No
2+000.00m	140.000m	140.000m	No
2+020.00m	140.000m	140.000m	No
2+040.00m	140.000m	140.000m	No
2+060.00m	140.000m	140.000m	No
2+080.00m	140.000m	140.000m	No
2+100.00m	140.000m	140.000m	No
2+120.00m	140.000m	140.000m	No
2+140.00m	140.000m	140.000m	No
2+160.00m	140.000m	140.000m	No
2+180.00m	140.000m	140.000m	No
2+200.00m	140.000m	140.000m	No
2+220.00m	140.000m	140.000m	No
2+240.00m	140.000m	140.000m	No
2+260.00m	140.000m	140.000m	No
2+280.00m	140.000m	140.000m	No
2+300.00m	140.000m	140.000m	No
2+320.00m	140.000m	140.000m	No
2+340.00m	140.000m	140.000m	No
2+360.00m	140.000m	140.000m	No
2+380.00m	140.000m	140.000m	No
2+400.00m	140.000m	140.000m	No
2+420.00m	140.000m	140.000m	No
2+440.00m	140.000m	140.000m	No
2+460.00m	140.000m	140.000m	No
2+480.00m	140.000m	140.000m	No
2+500.00m	140.000m	140.000m	No

Fonte: Autor (2013)







PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT

PRODUCED BY AN AUTODESK EDUCATIONAL PRODUCT