

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL HENRIQUE DA COSTA RODRIGUES

PROJETOS DE ESTRADAS:
UMA ANÁLISE ENTRE UMA FERRAMENTA CAD E BIM

NATAL/RN

2019

LIGA DE ENSINO DO RIO GRANDE DO NORTE
CENTRO UNIVERSITÁRIO DO RIO GRANDE DO NORTE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

GABRIEL HENRIQUE DA COSTA RODRIGUES

PROJETOS DE ESTRADAS:
UMA ANÁLISE ENTRE UMA FERRAMENTA CAD E BIM

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Ma. Sandra Albino Ribeiro.

NATAL/RN

2019

GABRIEL HENRIQUE DA COSTA RODRIGUES

PROJETOS DE ESTRADAS:

UMA ANÁLISE ENTRE UMA FERRAMENTA CAD E BIM

Trabalho de Conclusão de Curso de Engenharia Civil apresentado ao Centro Universitário do Rio Grande do Norte (UNI-RN) como requisito final para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Prof. Msc. Sandra Albino Ribeiro.

Aprovado em: ____/____/____.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ma. Sandra Albino Ribeiro

Orientadora

Prof. Msc. Raymison Rodrigues Cardoso

Membro externo

Prof. Dr. Werner Farkatt Tabosa

Membro interno

AGRADECIMENTO

Agradeço a toda minha família por ter me dado condições de finalizar este curso.

Agradeço aos meus amigos que, de várias maneiras, me ajudaram ao longo desse período.

Agradeço ao Professor Raymison Rodrigues Cardoso por todas as palavras de conhecimento, incentivo e sensibilidade.

Agradeço a minha atual orientadora, Professora Sandra Albino, por ter me dado ideias fundamentais para a finalização deste trabalho.

Agradeço ao Professor Werner Farkatt Tabosa pelas críticas construtivas e conhecimento compartilhado.

Até as torres mais altas torres começaram do chão.

(Provérbio Chinês)

RESUMO

O *Building Information Modelling* – Modelagem de informação da construção vem revolucionando a construção civil através de uma tecnologia, aplicada na computação, capaz de participar de todo o ciclo de vida de uma construção. A tecnologia é tão promissora, que vem sendo implantada em países de todos os continentes com a intenção de trazer um crescimento econômico através da construção civil.

No Brasil, além das dificuldades iniciais, também enfrentadas por todos os outros países com o início da implementação do BIM, tivemos dificuldades específicas que causaram um atraso neste processo, como a crise no setor de construção civil que vivemos nos últimos anos. Porém, essas dificuldades estão sendo superadas e é possível olhar com otimismo um possível crescimento econômico do nosso país com a chegada do BIM. No setor rodoviário, sua vinda pode significar um grande desenvolvimento para o nosso país, afinal, somos dependentes das nossas rodovias e não temos uma malha viária boa o suficiente para isso.

Ao comparar a tecnologia BIM com o método tradicionalmente utilizado em nosso país para o desenvolvimento de uma estrada, ficaram evidentes os motivos que vêm fazendo esse novo método ser aceito em todo o mundo. Foram criados programas específicos para o desenvolvimento de projetos em todas as áreas da engenharia civil, além dessa exclusividade, esses programas trouxeram funções inovadoras, tornando este novo método ainda mais superior. Afinal, o método tradicional se baseava na utilização de programas com tecnologia CAD, como o AutoCAD, e eles são programas mais abrangentes, com finalidades mais gerais.

Ao utilizar o *Openroads Designer*, da *bentley systems*, para fazer um mesmo projeto de rodovias, antes feito no *AutoCAD*, ficou clara toda a vantagem de um programa BIM ao oferecer funções que, além de agilizar o processo de criação da estrada, nos dão uma maior riqueza de detalhes e informações.

Palavras-chave: Projeto de estradas; BIM; ferramentas digitais; *Openroads Designer*; *AutoCAD*.

ABSTRACT

Building Information Modeling has been revolutionizing construction through technology, applied to computing, and able to participate in the entire life cycle of a building. The technology is so promising that it has been deployed in countries of all continents with the intention of bringing economic growth through civil construction.

In Brazil, in addition to the initial difficulties, also faced by all other countries with the implementation of BIM, we had specific difficulties that caused a delay in this process, such as the crisis in the civil construction sector that we have experienced in recent years. However, these difficulties are being overcome and it is possible to optimistically look at a possible economic growth of our country with the arrival of BIM. In the road sector, its coming can mean a great development for our country, after all, we are dependent on our highways and we do not have a road network good enough for that.

When comparing BIM technology with the method traditionally used in our country for the development of a road, the reasons that have made this new method to be accepted all over the world became evident. Specific programs have been created for the development of projects in all areas of civil engineering, besides this exclusivity, these programs have brought innovative functions, making this new method even more superior. After all, the traditional method was based on the use of programs with CAD technology, such as AutoCAD, and they are more comprehensive programs, with more general purposes.

By using Openroads Designer from Bentley Systems to make the same highway project once done in AutoCAD, the full benefit of a BIM program was clear by offering functions that, in addition to streamlining the road creation process, give us a greater wealth of detail and information.

Keywords: Road design; BIM; Digital tools; Openroads Designer; AutoCAD.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Gráfico com o uso do BIM em projetos de infraestrutura.	13
Figura 2 - Gráfico com o retorno de investimento.....	14
Figura 3 - GLIDE.	20
Figura 4 - Softwares utilizados pelas empresas analisadas.	22
Figura 5 - Gráfico da matriz de transportes do Brasil	24
Figura 6 - Curva de MacLeamy.	25
Figura 7 - Porcentagem de contratantes que usam BIM em projetos específicos.	27
Figura 8 – Benefícios na implantação do BIM em sistemas de infraestrutura. .	27
Figura 9 – Greides de um perfil longitudinal.	31
Figura 10 – Greides de um perfil longitudinal.	32
Figura 11 - Perfil longitudinal de um trecho.	33
Figura 12 - Superelevação máxima.	37
Figura 13 – Tabela de raio mínimo.	38
Figura 14 –Tabela com Raios de curva que dispensam curvas de transição...39	
Figura 15 – Elementos importantes da curva de transição.....	40
Figura 16 – Tabela com comprimentos de transição mínimos de acordo com a velocidade diretriz.	40
Figura 17 – Pontos singulares no greide.	43
Figura 18 – Seções transversais.	46
Figura 19 – Prismóide.	48
Figura 20 – Planta baixa da estrada do projeto.	51
Figura 21 - Comandos para inserir um traçado no <i>Openroads Designer</i>	53
Figura 22 - Comandos para criar uma superelevação no <i>Openroads Designer</i>	54
Figura 23 - Comandos para criar ou inserir um terreno no <i>Openroads Designer</i>	56

LISTA DE QUADROS, EQUAÇÕES E GRÁFICOS.

Quadro 1 – Estudos para a construção de uma estrada.	28
Quadro 2 – Projetos para a construção de uma estrada.	29
Quadro 3 – Tipos de traçado e suas representações.	35
Equação 1 – Fórmula para obter a superelevação.	37
Equação 2 – Comprimento mínimo.	41
Equação 3 – Comprimento mínimo.	41
Equação 4 – Superlargura.	42
Equação 5 – Volume do prismóide.	48
Equação 6 – Volume médio do prismóide.	48
Gráfico 1 - Preços de cada programa (R\$).	60

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS.....	17
2.1 GERAL.....	17
2.2 ESPECÍFICOS.....	17
3 JUSTIFICATIVA.....	18
4 METODOLOGIA	20
5 SURGIMENTO DO BIM	21
5.1 O SURGIMENTO DO BIM E AS EMPRESAS DE SOFTWARE	21
5.2 CENÁRIO ATUAL BRASILEIRO DA UTILIZAÇÃO DE BIM EM OBRAS DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA.	24
5.3 BIM NO BRASIL.....	24
5.4 CENÁRIO RODOVIÁRIO BRASILEIRO	25
5.5 BIM EM PROJETOS DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA	27
6 ESTUDOS E PROJETOS NECESSÁRIOS PARA A CONSTRUÇÃO DE UMA RODOVIA.....	30
6.1 PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS.....	33
6.1.1 Definição do greide.....	33
6.1.2 Definição da planta baixa.....	35
6.1.2.1 Estudo do traçado	35
6.1.2.1.1 Fatores que influenciam no traçado	36
6.1.2.1.2 Desenvolvimento do traçado.....	37
6.1.2.1.3 Cálculo da poligonal.....	38
6.1.3 Superelevação.....	39
6.1.4 Cálculo da curva de transição	40
6.1.5 Cálculo da superlargura.....	43
6.1.6 Concordância vertical	45

6.1.7 Cálculo das áreas de seções transversais	46
6.1.7.1 Definições.....	47
6.1.7.2 Seções transversais	48
6.1.7.3 Cálculo de áreas.....	49
6.1.7.4 Cálculo de volumes	50
6.1.7.4.1 <i>Compensação de volume</i>	51
7 ESTUDO DE CASO	52
7.1 OBJETO DE ESTUDO.....	52
7.2 PROGRAMAS.....	53
7.3 OPERADOR.....	54
7.4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	54
7.4.1 Definição do traçado	54
7.4.2 Superelevação.....	55
7.4.3 Curvas de transição.....	56
7.4.4 Concordância vertical	57
7.4.5 Vantagens e desvantagens de cada programa	58
7.4.5.1 Planta baixa.....	58
7.4.5.2 Terreno natural.....	59
7.4.5.3 Perfil longitudinal com terreno natural e greide curvo.....	59
7.4.5.4 Perfil transversal.....	59
8 CONCLUSÃO	61
REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

O avanço da tecnologia tem gerado muitas ferramentas digitais no auxílio da construção civil, programas como o *Microsoft Excel* e o *CAD* são exemplos disso. Entretanto, esse avanço é constante, e hoje o mercado brasileiro se depara com novas tecnologias que podem nos ajudar ainda mais, sendo elas oriundas do conceito BIM (*Building information modeling* – Modelagem de informação para construção).

Este novo conceito, ou melhor, método de projetar construções civis trouxe a possibilidade de analisar todo o processo de uma construção e visualizar o resultado em 3D. Ele é capaz de englobar, em um só programa, orçamentos, dimensionamentos e características dos vários materiais que possam fazer parte da construção, minimizando, assim, os erros e aproximando os profissionais da ideia do projeto como um todo.

Segundo a *McGraw Hill Construction (RECENT..., 2013)*, as principais inovações trazidas pelo BIM estão na incorporação das pessoas envolvidas no projeto e na melhoria do desempenho de quem trabalha com esses programas. Ao aproximar os profissionais, há uma redução de conflitos e diminuição de problemas de coordenação no campo de trabalho.

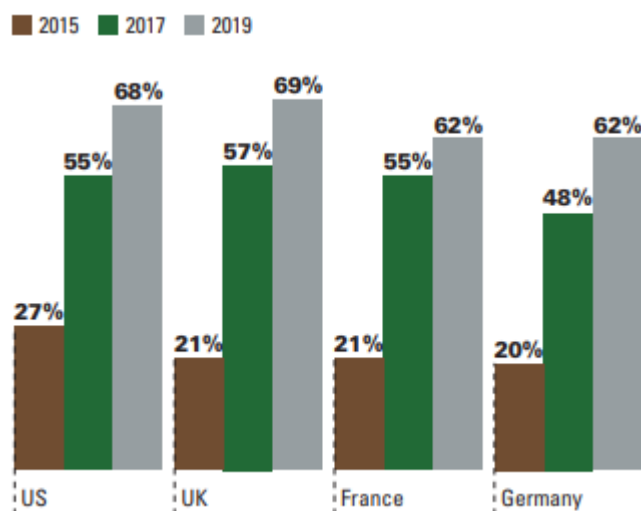
A tecnologia BIM possibilita economizar ao extrair o preço total da construção de modo mais confiável e tornando a quantidade de erros devido ao grande número de informações apresentadas, menor. Com todas essas funções, também se tem como resultado a otimização do tempo gasto para o processo de construção completo.

Essa tecnologia está em constante progresso em países mais desenvolvidos como EUA, Noruega, Alemanha, Dinamarca, Reino Unido e França, por exemplo, mas esta evolução não é apenas na área de construções verticais. Na infraestrutura, o BIM se tornou fundamental, trazendo benefícios mútuos para contratados e contratantes.

Como mostra o gráfico 1, a *Dodge Data e Analytics (THE BUSINESS..., 2014)* fez uma pesquisa com os engenheiros e contratantes dos EUA, Reino Unido, França e Alemanha mostrando a quantidade de projetos relacionados à infraestrutura em que o BIM foi aplicado. É possível analisar que, em 2015, a média do uso dessa ferramenta foi de 22,2%, já em 2017, esse número subiu

para mais da metade, se tornando 53,7%. Existe, inclusive, uma previsão de que a média da utilização do BIM em projetos de infraestrutura nesses países venha a ser 65,2% em 2019.

Figura 1 - Gráfico com o uso do BIM em projetos de infraestrutura.



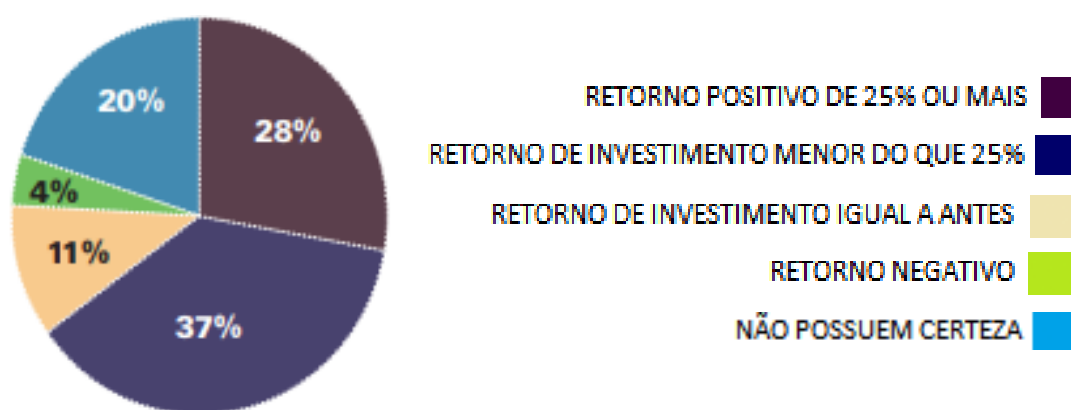
Fonte: SmartMarketReport. (The business..., 2017).

A própria *Dodge e Data & Analytics* (THE BUSINESS..., 2017) também buscou saber, nos Estados Unidos, um dos países em que essa tecnologia mais cresce, quais eram os principais benefícios do uso de BIM relacionados à projetos de infraestrutura. De modo geral, o retorno foi que o uso do método em questão pode ajudar de duas formas em especial: auxiliando a empresa a fazer o projeto de uma forma mais eficiente e tornando-a capaz de atender uma clientela maior.

A eficiência teria origem ao tornar o projeto mais prático e, por ser repetitivo, contribuiria para que profissionais mais jovens entendam como todo o sistema funcionaria de forma conjunta. Outro importante número observado, como é possível verificar através do gráfico 2, é o do retorno de investimento. Embora 20% dos usuários não tenham sido capazes de responder se o retorno foi positivo ou negativo, outros 65% garantiram que o obtiveram positivamente ao optar pela ferramenta BIM.

Algo importante a ser notado, é que 25% destes, alegaram que o retorno deles foi acima dos 25% investidos. Ao todo, 11% dos engenheiros e contratantes informaram que os resultados não foram positivos nem negativos e apenas 4% alegaram que o retorno foi negativo.

Figura 2 - Gráfico com o retorno de investimento.



Fonte: SmartMarketReport. (The business..., 2017).

Já no Brasil, o BIM é considerado uma curva de desenvolvimento econômico do país e também como um âmbito que se desenvolve a cada dia. Surgiram alguns fatores que irão impulsionar sua disseminação, como a adição das primeiras normas de BIM, pela ABNT, que também tem exigido a utilização da tecnologia em vários aspectos. Outro fator é a exigência do uso de BIM a partir de 2021 pelo governo Federal através do decreto Nº 9.377, de 17 de maio de 2018 que institui a estratégia nacional de disseminação do *Building Information Modelling* visando o aumento de produtividade e a redução de custos em projetos. Assim, cabe aos profissionais da área a capacitação para poder tornar esta ferramenta um fator de mudança no cenário da construção civil brasileira.

2 OBJETIVOS

2.1 GERAL

Comparar a utilização do *AutoCAD* e do *Openroads Designer* na produção de um mesmo projeto de rodovias.

2.2 ESPECÍFICOS

- Compreender o conceito da tecnologia BIM, com enfoque no âmbito da infraestrutura rodoviária brasileira;
- Revisar os conceitos e parâmetros técnicos que são fundamentais no desenvolvimento de um projeto de rodovias;
- Utilizar o *AutoCAD* e, ao mesmo tempo, o *Openroads Designer* na confecção de um projeto de rodovias;
- Elencar as vantagens e desvantagens de usar o BIM no projeto de estradas a partir do estudo de caso.

3 JUSTIFICATIVA

A tecnologia BIM já é uma realidade mundial, especialmente, em países mais desenvolvidos. Não é difícil encontrar nesses países, leis que obrigam a utilização deste método em projetos públicos e licitações, visto que os benefícios são diversos. Países como a Alemanha, Dinamarca, Itália, Holanda e Reino Unido, por exemplo, tornaram obrigatório o uso de BIM em projetos públicos.

No Brasil, existe um otimismo quanto a chegada dessa nova tecnologia. De acordo com estudos contratados pela Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial (ABDI), a expectativa é de que haja um aumento de 10% na produtividade do setor e uma redução de custo que pode chegar a 20%. Douglas Carnicelli, diretor de operações Autodesk na AX4B, consultoria especializada em soluções Autodesk e projetos de BIM, ressalta que a adoção do modelo é de alto impacto para o futuro das obras de engenharia, arquitetura e infraestrutura.

“O mercado vem evoluindo no que diz respeito ao modelo BIM. Com a experiência que tenho no mercado com as soluções Autodesk, pude notar que os projetos com a aplicação do conceito e o apoio de tecnologias como o *Revit*, *AutoCAD* e *Infraworks* tem gerado ganhos de produtividade e grande redução de desperdícios nas obras. Tenho casos onde foi possível reduzir até 22% no custo de construção e eliminação de até 44% em retrabalhos”, afirma Douglas Carnicelli..

É possível enxergar a implementação do BIM em nosso país com um grande otimismo. Afinal, segundo a ABDI (Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial), imaginando que metade das empresas adotem o modelo BIM na próxima década, projeta-se que a economia da construção civil brasileira crescerá 7%. Isso significa um aumento de R\$ 21,9 bilhões no PIB do setor nos valores de 2018.

O processo de elaboração dos projetos em ambiente virtual permite o levantamento de quantidades, a estimativa de gastos e a realização de análises diversas. A estimativa é de redução de 9,7% dos custos totais da obra e de 20% dos custos com insumos. A partir de simulações nas várias dimensões, da arquitetura, fundação, estrutura, às instalações hidráulicas e elétricas, por exemplo, é possível prevenir erros e corrigir inconsistências no planejamento.

Tendo em vista o potencial dessa nova tecnologia, o governo brasileiro tornará o uso de BIM obrigatório a partir de 2021, assim, esta medida será disseminada e incentivará o uso do método em todo o cenário de construção civil brasileiro. Sabendo disso, cabe aos profissionais desta área a busca pelo conhecimento para aperfeiçoar a utilização dessa tecnologia que pode ser capaz de melhorar nosso mercado.

4 METODOLOGIA

Tendo como objetivo a comparação entre dois métodos para criação de um projeto de rodovias, sendo um deles utilizando a tecnologia BIM e o outro um programa CAD, o presente trabalho trás os conceitos do BIM e como este método está dominando o cenário de construção civil. Ao dar uma ideia do que essa tecnologia é capaz de transformar, é apresentada a situação das rodovias brasileiras para que possamos saber da necessidade de desenvolvimento que estamos vivendo. Com estas informações, faz-se a comparação entre um método tradicional que é o mais aplicado ainda, em no nosso país, com um método que vêm revolucionando a construção civil mundo a fora.

5 INÍCIO DA METODOLOGIA BIM

A modelagem de informação pode ser algo que tenha um viés futurístico, entretanto, esse modo de pensar a construção civil foi criado há certo tempo. Segundo Eastman *et al* (1974), foi em 1974 que se criou o BDS (*Building Description System* – Sistema de descrição da construção), feito pelo professor Charles M. Eastman do Instituto de Tecnologia da Georgia. O objetivo era mostrar que as descrições de um edifício feitas num computador seriam melhoradas. Com isso, iniciou-se um novo jeito de planejar a construção civil, transpondo o que estava nos papéis para o computador com os novos softwares que apareciam, os chamados CAD (Computer Aided Design).

Já nos anos 1990, G.A. van Nederveen e F.P. Tolman fazem a primeira utilização do termo *Modelling Building Information* ao citar a ideia de que a modelagem de informação na construção serve como base para a estrutura de um modelo de construção, tendo em vista as diferentes opiniões dos participantes do projeto. A partir daí veio o *Building Information Modelling* tratando cada aspecto do projeto, que antes eram feitos separadamente, de forma única e integrada.

5.1 O SURGIMENTO DO BIM E AS EMPRESAS DE SOFTWARE

Segundo Vanessa Quirk (*A brief history of BIM*), no início dos anos 1980, haviam vários sistemas desenvolvidos na Inglaterra que ganharam força e foram aplicados a projetos construídos. Estes incluem: *GDS*, *EdCAAD*, *Cedar*, *RUCAPS*, *Sonata* e *Reflex*. O sistema de software *RUCAPS* desenvolvido pela *GMW Computers* em 1986 foi o primeiro programa a usar o conceito de faseamento temporal dos processos de construção.

A fundação do *Center for Integrated Facility Engineering (CIFE)* em *Stanford* em 1988 por Paul Teicholz deixa outro marco no desenvolvimento do BIM, pois criou uma fonte de estudantes de doutorado e colaborações do setor para promover o desenvolvimento de modelos de construção "quadridimensionais". com atributos de tempo para construção. Isso marca um ponto importante em que duas tendências no desenvolvimento da tecnologia BIM se dividiriam e se desenvolveriam nas próximas duas décadas.

De um lado, o desenvolvimento de ferramentas especializadas para múltiplas disciplinas para atender a indústria da construção e melhorar a eficiência na construção. Do outro lado, está o tratamento do modelo BIM como um protótipo que pode ser testado e simulado em relação aos critérios de desempenho.

Quirk ainda cita um exemplo posterior, mas proeminente de uma ferramenta de simulação que deu feedback e soluções "sugeridas" com base em um modelo, que é o *Building Design Advisor*, desenvolvido no *Lawrence Berkeley National Lab* em 1993. Este software utiliza um modelo de objeto de um edifício e o seu contexto para realizar simulações. Este programa foi um dos primeiros a integrar análises gráficas e simulações para fornecer informações sobre como o projeto pode executar dadas condições alternativas em relação à orientação de projetos, geometria, propriedades de materiais e sistemas de construção. O programa também inclui assistentes básicos de otimização para tomar decisões com base em uma série de critérios que são armazenados em conjuntos chamados "Soluções".

Ilustrado na figura 3, o GLIDE, de Charles Eastman, foi um dos primeiros programas a incorporar a maioria dos principais recursos presentes nos softwares BIM hoje. A entrada à esquerda gera as escadas à direita que podem ser ajustadas parametricamente.

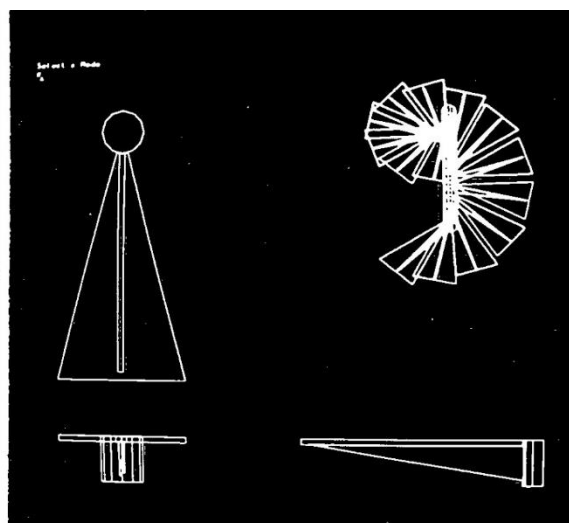
Figura 3 - Glide.

```
POLY PROCEDURE spiral.step(POLY centre;
    REAL riser,radius,r,angle,th)=
BEGIN
    POLY support =
        triangle(radius*0.95,-riser*0.8,th);
    POLY collar = column(12,riser,r);
    POLY plate = wedge(radius,th,angle);
    ! return the result of shape operations;
    CUT centre FROM COMBINE collar WITH
        COMBINE support WITH plate
    END;
```

To make spiral staircase, (dimensions in inches)

```
SET PROCEDURE spiral.stair(ht,radius,angle)=
    BSET; INTEGER numsteps; REAL riser;
    numsteps = ht/8.0;
    riser = ht/numsteps;
    POLY centre = column(12,ht+32.0,5.0);
    POLY step = spiral.step(centre,
        riser,radius,3.0,angle,0.625);
    FOR i TO numsteps
        DO COPY step=10,riser*i \0,angle;i
    ESET;
```

```
SET stair1 = spiral.stair(100.0,46.0,30.0);
```



Fonte: EASTMAN, Charles (1977).

De acordo com *Quirk*, enquanto os desenvolvimentos ocorriam rapidamente nos Estados Unidos, o Bloco Soviético tinha dois gênios de programação que acabariam definindo o mercado de BIM como é conhecido hoje. *Leonid Raiz* e *Gábor Bojár* viriam a ser, respectivamente, o co-fundador e fundador do Revit e ArchiCAD.

O *Revit*, por sua vez, revolucionou o mundo da modelagem de informações de construção criando uma plataforma que utilizava um ambiente de programação visual para criar conjuntos paramétricos e permitir que um atributo de tempo fosse adicionado a um componente para permitir que uma quarta dimensão de tempo fosse associada ao edifício modelo. Isso permitiu que os contratados gerassem cronogramas de construção com base nos modelos BIM e simulassem o processo de construção. Um dos primeiros projetos a usar o *Revit* para planejamento de projeto e construção foi o da *Freedom Tower*, em Manhattan. Este projeto foi concluído em uma série de modelos BIM separados, mas integrados a um modelo central. Por sua vez, este estava vinculado a cronogramas para fornecer estimativas de custo em tempo real e quantidades de material. Embora o cronograma de construção da Torre da Liberdade tenha sido confrontado com questões políticas, melhorias na coordenação e eficiência no canteiro de obras catalisaram o desenvolvimento de *software* integrado que poderia ser usado para visualizar e interagir com arquitetos, engenheiros e empreiteiros simultaneamente.

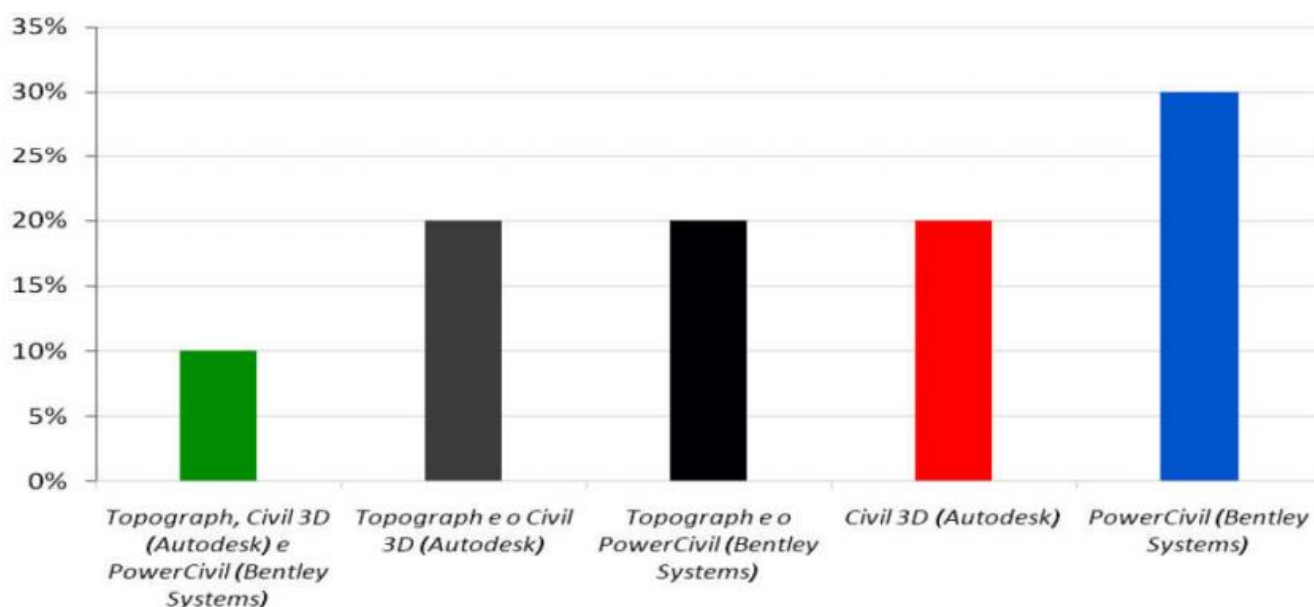
Ainda existem algumas plataformas BIM que têm uma pequena participação no mercado, embora tenham causado grandes impactos no mundo do design, são exemplos: A *Generative Components* (GC), desenvolvido pela *Bentley Systems* em 2003, esse sistema é focado em flexibilidade paramétrica e geometria de esculturas e suporta superfícies NURBS. *Digital Project*, outro exemplo, é um programa similar desenvolvido pela *Gehry Technologies* por volta de 2006 com base no CATIA, um programa de design (e um dos primeiros programas de CAD) que foi desenvolvido como um projeto interno da *Dessault Systems*, uma fabricante de aviões francesa.

Essas duas plataformas geraram uma espécie de revolução no design, já que o poder de inteirar e transformar resultou em formas arquitetônicas especialmente complexas e provocativas.

5.2 CENÁRIO ATUAL BRASILEIRO DA UTILIZAÇÃO DE BIM EM OBRAS DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA.

De acordo com uma pesquisa feita por BRAGA E CAMPOS NETO (Modelo de construção..., 2015), existe um grande número de empresas que fazem o uso específico de softwares para projetos infraestrutura. Dentre os programas avaliados pela pesquisa que estão disponíveis no mercado (*Topograph*, *Civil 3D* da Autodesk, *PowerCivil* da Bentley Systems e *AutoCAD*), existia uma predominância do *PowerCivil* da Bentley Systems sobre os outros aplicativos analisados. Esse resultado fica claro analisando o seguinte gráfico:

Figura 4 - Softwares utilizados pelas empresas analisadas.



Fonte: Dados da pesquisa feita por BRAGA E CAMPOS NETO (2014).

5.3 BIM NO BRASIL

De acordo com ROCHA (2011), o BIM tem prometido ser um fator que traz mudanças positivas em relação ao processo de produção da construção civil. Porém, por ser uma metodologia inovadora, isso estivesse longe de acontecer. No entanto, o que se vê com o passar dos anos é a adoção dessa plataforma por vários profissionais das áreas de orçamentos, arquitetura, estruturas e instalações prediais e de vedação.

Ainda analisado por ROCHA (2011), existem dificuldades relatadas por pessoas em todo o mundo com relação a implantação da metodologia BIM, entre elas estão o alto custo do treinamento de funcionários e montagem de máquinas, além do preço dos programas.

A tabela 1 traz alguns dos programas mais conhecidos e seus respectivos preços para que se possa ter uma noção em valores.

Tabela 1 – Softwares e seus preços.

Software	Preço (R\$)	Tempo
ArchiCAD	3.120,00	1 ano
Revit	6.850,00	1 Ano
OpenRoads Designer	42.755,76	Integral
OpenRoads ConceptStation	27.542,79	Integral
BricsCAD pro	2.470,00	Integral

Fonte: Graphisoft, Bentley, PortalGraphics e Autodesk (2019).

Segundo Ricardo Bianca (O BIM e a disrupção..., 2018), a crise na construção civil foi uma das dificuldades mais significativas encontradas para a implantação do BIM no Brasil, com a instabilidade política, o medo de se investir nessa área cresceu. Porém, o otimismo está voltando, e isso se deve a uma indicação de projetistas que afirmam terem recebido novas oportunidades. Tendo isso em vista, também há um grande crescimento de interesse pelo BIM por parte de todos envolvidos na construção civil, sendo, por si só, um indicador de melhoria do setor. Hoje, as empresas sabem da necessidade de buscar essa nova tecnologia pra poderem buscar seu espaço no mercado.

5.4 CENÁRIO RODOVIÁRIO BRASILEIRO

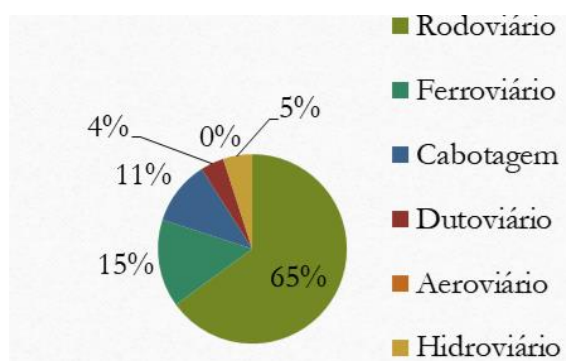
Embora enfrente problemas com relação a qualidade da malha rodoviária brasileira, o transporte rodoviário é responsável por mais de 60% do transporte de mercadorias e mais de 90% do transporte de pessoas em nosso país. Com um total de 1,7 milhão de quilômetros de extensão (de estradas pavimentadas e não pavimentadas), sendo mais da metade localizada na

região sul e sudeste, a malha rodoviária brasileira possui apenas 12,4%, desse total, pavimentada. A frota, por sua vez, aumentou 63,6% no período de 2009 a 2017, chegando a quase 100 milhões de veículos em circulação no Brasil. Os dados são do anuário CNT do transporte 2018, divulgado pela CNT (Confederação Nacional do Transporte).

Mais números divulgados pela CNT mostram o descaso. De todas as rodovias pavimentadas, 92,7% delas são de pista simples. Também se soma como problema as condições das rodovias, sendo 61,8% delas classificadas como regular, ruim ou péssima. Com isso, há uma sobrecarga das rodovias e um aumento das chances de ocorrerem acidentes. Levando em consideração o ano de 2017, tivemos 58.716 acidentes que geraram vítimas e 6.243 óbitos em rodovias federais, sendo mais da metade dos acontecimentos em vias com pista simples de mão dupla.

“Os índices são preocupantes e mostram que a solução passa, necessariamente, por investimentos em infraestrutura. Precisamos expandir e melhorar a qualidade da nossa malha para que as rodovias não fiquem tão sobrecarregadas”, avalia o diretor-executivo da CNT, Bruno Batista. Outro ponto observado por ele é o aumento do custo de operação do transporte. “O setor é onerado com um custo adicional na operação de 27%, em média, no Brasil devido às más condições do pavimento”, diz.

Figura 5 - Gráfico da matriz de transportes do Brasil



Fonte: Rede Brasil Atual, (2015).

Segundo Maria Fernanda (Cenário da infra...,2011), a maior reclamação dos executivos de logística do Brasil é com relação a qualidade das rodovias, porém, elas atingem praticamente todo o país, ao contrário dos outros

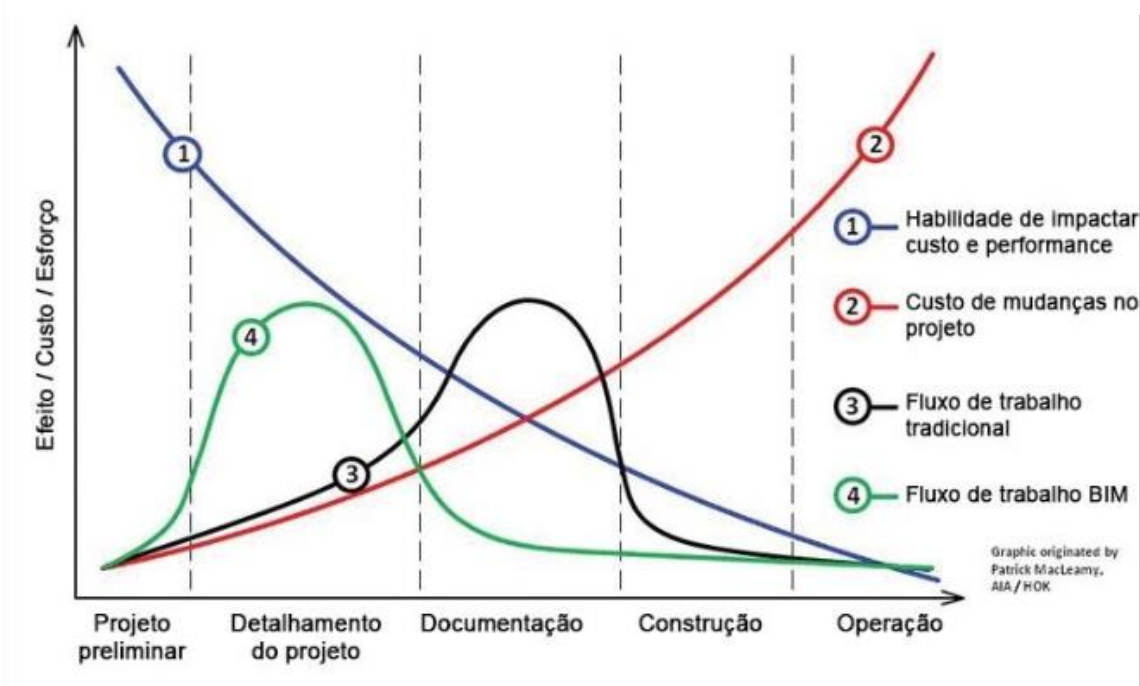
modais. Além disso, não há formalidades a serem seguidas em rodovias como há em diferentes modais.

5.3 BIM EM PROJETOS DE INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA

O BIM pode ser aplicado de diversas maneiras em obras de infraestrutura, quando se trata de estradas, se destacam a sua aplicação em análise de interferência, sistemas de drenagem urbana e projetos de terraplenagem, abrangendo desde a fase de estudos preliminares até a concepção da obra.

Segundo Soares Matos (BIM: entendendo a..., 2015), a curva de MacLeamy é um ótimo exemplo de como funciona o fluxo de trabalho em BIM em contraste com o fluxo de trabalho tradicional. Nela temos 4 linhas, a preta representando o fluxo de trabalho tradicional, a verde o fluxo em BIM, a linha azul representa a capacidade da equipe de impactar no custo e desempenho ao longo da vida do projeto, a vermelha representa o custo das mudanças no projeto. O que observamos é que conforme o projeto avança o custo de realizar mudanças aumenta, e a habilidade da equipe de impactar nesse custo é menor.

Figura 6 - Curva de MacLeamy.



Fonte: Soares Matos (BIM: entendendo a..., 2015).

Pelo método tradicional onde temos projetos 2D centrados (como no *AutoCAD*) a maior parcela do esforço é aplicada durante a documentação do projeto enquanto no BIM é durante o detalhamento dele. Isso ocorre pois no BIM criamos um modelo tridimensional do nosso edifício e grande parte da documentação é extraída automaticamente desse modelo, isso traz uma enorme vantagem em diminuição de custos e erros. Mas também pode levar aquele que está começando a implantar o BIM a sensação de que aumentou o trabalho, quando na verdade apenas mudou para a parte inicial com a vantagem de a equipe poder modificar o mesmo com maiores possibilidades e com um menor custo.

A *McGraw Hill Construction* (RECENT..., 2013) publicou uma pesquisa mostrando a porcentagem de contratantes que estavam utilizando BIM em 2013 na área de infraestrutura. Os países desses contratantes são: Reino Unido, França, Alemanha, Estados Unidos, Brasil, Canadá, Japão, Coreia do Sul, Austrália e Nova Zelândia. Nessa pesquisa é possível comparar a quantidade de projetos em que o BIM está sendo utilizado no Brasil e ter uma noção de como esse avanço está acontecendo em outros lugares do mundo. Aqui, a porcentagem é de 28%, não sendo baixa quando comparada com as de outros países da pesquisa e com a média entre os países comparados que é de 20% para rodovias, túneis, esgotos, barragens e pontes, tendo apenas Canadá e Reino Unido à frente nesse aspecto. Podemos ver os dados na figura 7.

Figura 7 - Porcentagem de contratantes que usam BIM em projetos específicos.

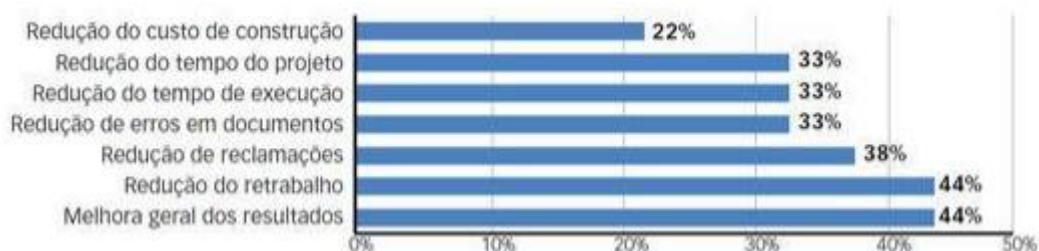
	UK	France	Germany	US	Canada	Brazil	Japan	South Korea	Aus/NZ
Commercial (Offices, Retail, Hotels)	69%	68%	59%	66%	54%	53%	63%	48%	70%
Institutional (Education, Healthcare, Religious)	61%	32%	31%	77%	41%	31%	23%	35%	39%
Government/Publicly Owned (Courthouses, Embassies, Civic/Sports and Convention)	54%	10%	22%	68%	44%	12%	0%	51%	37%
Multifamily Residential	33%	35%	44%	18%	26%	19%	23%	20%	26%
Single Family Residential	17%	19%	22%	1%	10%	16%	0%	1%	4%

	UK	France	Germany	US	Canada	Brazil	Japan	South Korea	Aus/NZ
Infrastructure (Roads, Bridges, Tunnels, Dam, Water/Wastewater)	33%	19%	16%	14%	31%	28%	13%	24%	25%
Industrial/Manufacturing	26%	23%	19%	35%	36%	31%	47%	24%	34%
Industrial/Energy (Primary Power Generation, Oil/Gas Facilities)	20%	13%	3%	18%	28%	12%	0%	21%	16%
Mining/Natural Resources	6%	0%	0%	4%	18%	6%	0%	1%	11%

Fonte: McGraw Hill Construction (RECENT..., 2014).

Também foi possível descobrir através da mesma pesquisa, os benefícios trazidos pela implantação da tecnologia BIM na área de infraestrutura. Como dois principais aspectos citados pelos contratantes entrevistados, ficam a melhora geral do resultado e a diminuição de retrabalho, ou seja, a diminuição de erros e da necessidade de recorrer algo. Podemos observar os outros itens citados, também, a partir da figura 8.

Figura 8 – Benefícios na implantação do BIM em sistemas de infraestrutura.



Fonte: McGraw Hill Construction (RECENT..., 2014).

6 ESTUDOS E PROJETOS NECESSÁRIOS PARA A CONSTRUÇÃO DE UMA RODOVIA

Para a construção de uma rodovia é necessário o desenvolvimento de alguns estudos e projetos que irão possibilitar o seu uso de forma segura e eficiente. Dentre os estudos e projetos necessários, estão:

Quadro 1 – Estudos para a construção de uma estrada.

Estudo	Função
Estudo de viabilidade técnica-econômica e financeira	Estuda a viabilidade técnica e econômica do empreendimento. Os benefícios devem compensar o custo do investimento, ao longo da vida útil;
Estudo de tráfego	Visa determinar o tráfego que utilizará a rodovia em análise. Composto pelas seguintes parcelas: Tráfego normal e Tráfego desviado são constituídas pelo tráfego da malha já existente na área de estudo e Tráfego gerado surge em função do desenvolvimento que a nova estrada provoca na região. Determinado através de estudos socioeconômicos, estimativa da geração de emprego e renda provenientes de novos empreendimentos (industriais, turísticos, agroindustriais, educacionais etc.);
Estudos topográficos	Estuda o relevo do terreno, gerando curvas de níveis, de metro em metro, para definição do traçado;
Estudos geológicos e geotécnicos	Estudo do solo ao longo do traçado, visando identificar seu tipo, categoria

	e propriedades;
Estudos hidrológicos	Visa determinar as contribuições dos cursos d'água e bacias hidrográficas interceptados pelo traçado, para dimensionamento das OAC, OAE e dispositivos de drenagem. Contempla a área da bacia hidrográfica; o regime pluviométrico; a permeabilidade do solo e a densidade da vegetação.

Fonte: CARDOSO, Raymison Rodrigues. Notas de aula da disciplina de estradas, 2018.

Quadro 2 – Projetos para a construção de uma estrada.

Projeto	Função
Projeto geométrico	O conjunto de projetos, identificando o perfil do terreno natural com o lançamento do greide e a planta correspondente, e os elementos de uma seção transversal mista representam, graficamente, o projeto geométrico de uma estrada;
Projeto de sinalização	Trata da sinalização horizontal e vertical da rodovia;
Projeto de desapropriações	Indenização de todas as propriedades e benfeitorias por ventura afetadas pela obra;
Projeto de Obras complementares	Trata do projeto de defensas, barreiras, de cercas de delimitação e eventuais obras de contenção;
Projeto de interseções, retornos e acessos.	Estudo de melhorias do tráfego;
Projeto de drenagem	Define os dispositivos de drenagem

	superficial, sub-superficial e profunda;
Projeto de terraplenagem	Aborda o movimento de terra gerado pelo traçado, entre os cortes e os aterros, com as respectivas distâncias médias de transportes ou da remoção de rochas;
Projeto de pavimentação	Trata do estudo do tipo pavimento a ser empregado, da definição de quais camadas serão utilizadas e escolha dos materiais; do dimensionamento dessas camadas, do método construtivo e especificações a serem empregadas;
Projetos de obras de arte correntes	Trata do projeto dos bueiros, para transposição de talvegues e do escoamento das águas nos trechos de corte em seção mista (bueiros de greide);
Projetos de Obras de Arte Especiais	Projeto de pontes, túneis e viadutos.

Fonte: CARDOSO, Raymison Rodrigues. Notas de aula da disciplina de estradas, 2018.

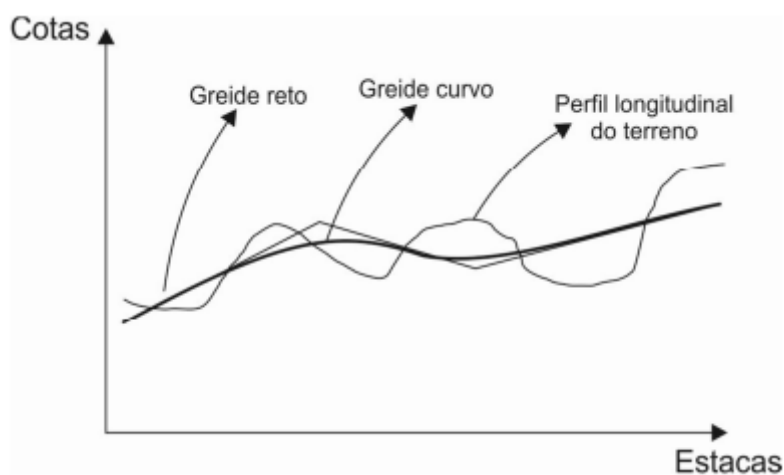
6.1 CONCEITOS E PARÂMETROS TÉCNICOS PARA UM PROJETO GEOMÉTRICO DE RODOVIAS

Para ter um projeto geométrico de rodovias é necessário levar em consideração os aspectos econômico, social e ambiental, eles serão as bases para qualquer tomada de decisão no decorrer deste processo. O objetivo prático do projeto geométrico de rodovias é a identificação do perfil do terreno natural com o lançamento do greide e a planta correspondente, e os elementos de uma seção transversal mista representados graficamente.

6.1.1 Definição do greide

O Greide é uma espécie de linha graficamente traçada pelo perfil de um terreno, e que possui uma dada inclinação. Ele tem como objetivo substituir as irregularidades existentes no terreno. No plano vertical ele corresponde a um perfil constituído por um conjunto de retas, concordado por curvas, que no caso de um projeto rodoviário irá corresponder ao nível atribuído à estrada.

Figura 9– Greides de um perfil longitudinal.



Fonte: SANCHEZ, 2017.

Para definir o greide é necessário ter informações sobre o terreno natural do local. Através do projeto topográfico é possível saber as dimensões necessárias desse terreno que irão contribuir para o desenvolvimento do greide. Podemos ter uma ideia ao observar a figura 10 mostrando uma caderneta de seções transversais de um terreno natural com as cotas verticais e longitudinais, e as visadas.

Figura 10 – Greides de um perfil longitudinal.

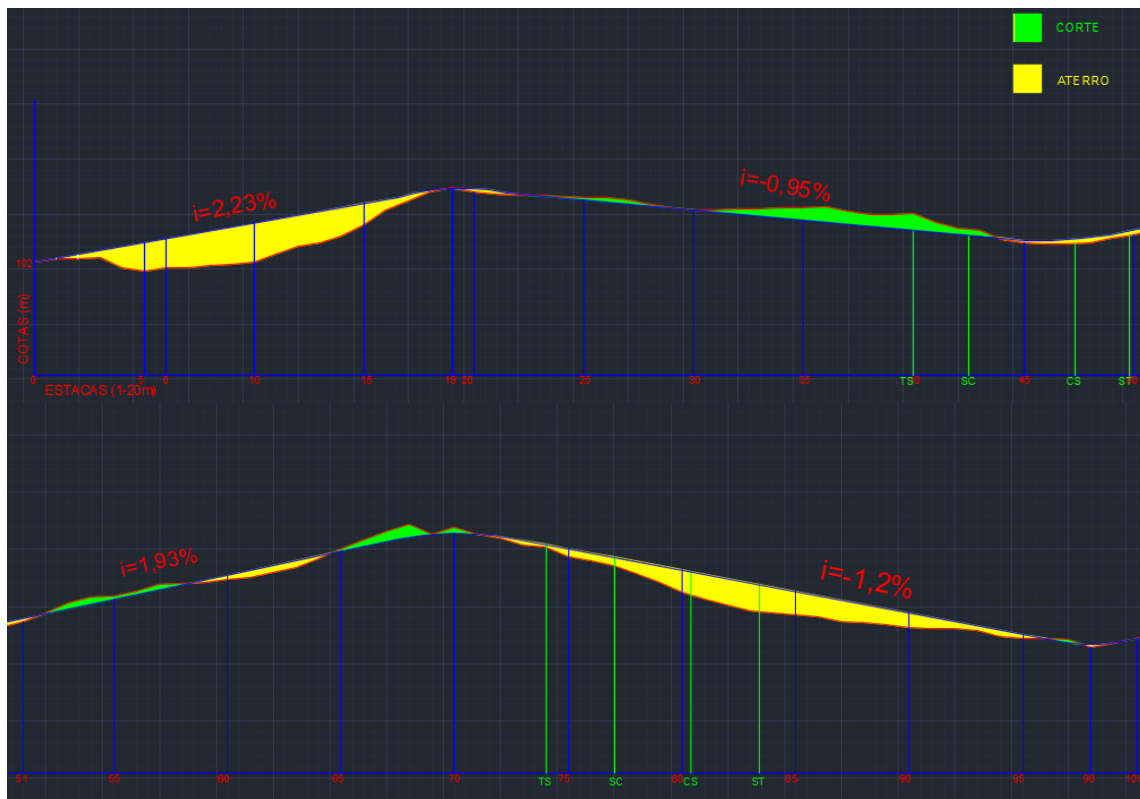
VISADAS (mm)	COTAS (mm)	ESTACAS/COTAS (mm)		COTAS (mm)	VISADAS (mm)	Pl. Ref.(mm)
		0/102000			+1650	103650
1730	101920	4,00	3,50	101930	1720	
1500	102150	9,00	9,00	102200	1450	
1050	102600	15,00	15,00	102700	950	
		1/102400			+950	130350
900	102450	5,00	5,00	102450	900	
920	102430	8,00	7,00	102430	920	
940	102410	12,50	11,00	102420	930	
930	102420	15,00	15,00	102400	950	
		2/102500			+750	103250
740	102510	4,00	4,00	102470	780	
735	102515	7,00	7,00	102480	770	
725	102525	11,50	12,00	102500	750	
730	102520	15,00	15,00	102490	760	
		3/102600			+1205	103800
1000	102800	5,00	5,00	102720	1080	
950	102850	10,00	10,00	102700	1100	
870	102930	15,00	15,00	102680	1120	
		4/101400			+1550	102650
1605	101045	6,00	5,50	101200	1450	
1580	101070	12,00	11,00	101220	1430	
1500	101150	15,00	15,00	101170	1480	

Fonte: CARDOSO, Raymison Rodrigues. Material de estudo da disciplina de estradas, 2018.

A definição do greide vai gerar uma certa quantidade de movimentação de terra, isso se deve ao distanciamento do terreno natural a ele. Existem pontos em que o greide passará acima do terreno natural, neste caso devemos aterrar este espaço visando um preenchimento que sustentará a rodovia futuramente. Quando o greide passar abaixo da linha do terreno natural significa que teremos que fazer um corte daquele volume que estará sobrando e movimentá-lo para onde seja mais próximo, afinal, a movimentação de terra pode ser responsável por um aumento do custo da obra no orçamento desse tipo de projeto.

O desenho do perfil longitudinal, além de nos trazer as dimensões do greide, pode nos fazer ter uma noção do quanto será movimentado de terra. Isso pode ser observado na figura 11.

Figura 11 - Perfil longitudinal de um trecho.



Fonte: Autoria própria.

6.1.2 Definição da planta baixa

A planta baixa é a projeção da estrada sobre um plano horizontal, nela é possível observar todo o estaqueamento, relevo do terreno e bordas da pista, e o primeiro passo para sua definição é o desenvolvimento do estudo do traçado.

6.1.2.1 Estudo do traçado

O traçado de uma rodovia é a sua representação em planta e perfil, e para sua definição, alguns pontos devem ser considerados:

- Pontos obrigados de condição - Pontos a serem obrigatoriamente atingidos, ou evitados, pelo traçado, por razões de ordem social, econômica ou

estratégica, tais como cidades, vilas, povoados, áreas militares, instalações industriais, áreas de reserva e outras a serem atendidas ou não pela rodovia.

- Pontos obrigados de passagem - Pontos a serem obrigatoriamente atingidos pelo traçado da rodovia por razões de ordem técnica, face à ocorrência de condições topográficas, geotécnicas, hidrológicas e outras que possam determinar a passagem da rodovia, tais como locais mais convenientes para as travessias de rios, acidentes geográficos e locais de ocorrência de matérias.

Para ter uma avaliação das possibilidades de traçado é necessário fazer os seguintes processos de reconhecimento:

- Inspeção local - O projetista conhece as condições da área a ser atingida pelo traçado, quanto ao uso do solo, ocorrências de materiais aproveitáveis, potenciais problemas ambientais etc.;
- Sobrevoio da região - Ocorre, normalmente, em áreas de difícil acesso e/ou não ocupadas;
- Exame de fotografias aéreas - Permite visualizar a configuração geral do terreno, uso do solo, cobertura vegetal e etc.;
- Levantamentos de dados socioeconômicos e de demanda - Visando as avaliações econômico-financeiras, para a escolha de alternativas de traçado.
- Atividades complementares - Identificar e assinalar características de interesse para a definição da diretriz, tais como: A classificação do relevo da região (plana, ondulada ou montanhosa), áreas com restrições ambientais (APP, APA, áreas indígenas, sítios arqueológicos e outras), rios, lagoas, quedas d'água e tipos de solos, ocorrências de materiais e cobertura vegetal;

6.1.2.1.1 Fatores que influenciam no traçado

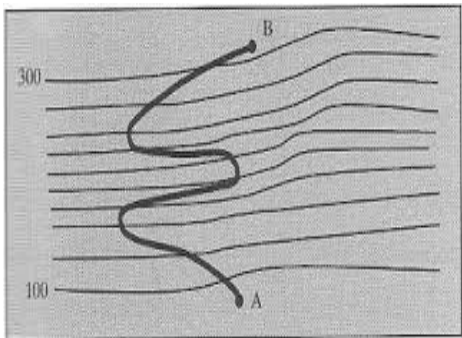
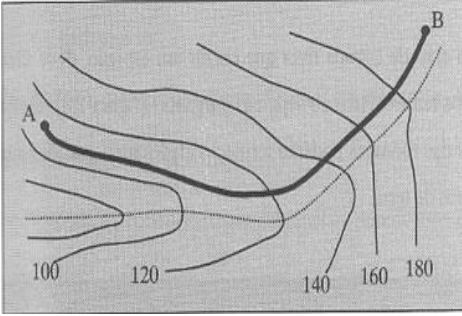
São fatores determinantes para a escolha do traçado:

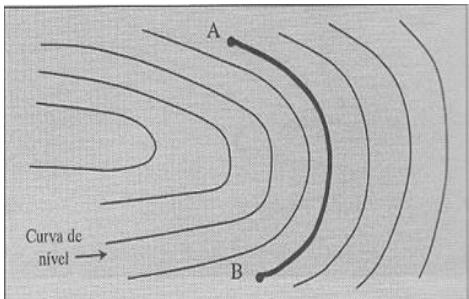
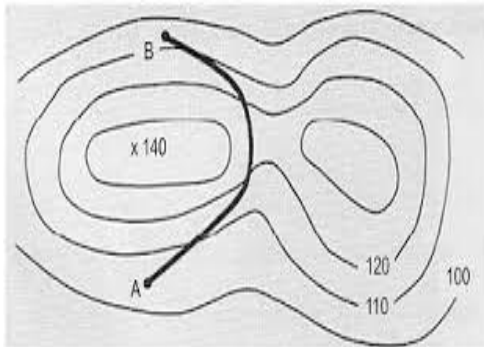
- Topografia;
- Condições geológicas e geotécnicas;
- Hidrologia;
- Desapropriações;
- Impactos ambientais.

6.1.2.1.2 Desenvolvimento do traçado

A opção mais econômica pra ligar dois pontos é através de uma reta, entretanto podem existir condições que anulem essa opção e nos obriguem a alterar o seguimento inicial como a existência de pontos de interesse ou dificuldades naturais do terreno. Com isso, surgem tipos de traçados, tais como:

Quadro 3 – Tipos de traçado e suas representações.

Tipos de traçado	Representação
Traçado em ziguezague	 O diagrama mostra uma linha de traçado em ziguezague entre dois pontos, A e B. A linha é formada por segmentos retos que alternadamente se inclinam para a esquerda e para a direita. O fundo do diagrama apresenta linhas horizontais representando contornos de elevação, com os valores 100 e 300 indicados.
Traçado acompanhando o talvegue	 O diagrama mostra uma linha de traçado que segue o curso de um rio ou talvegue entre dois pontos, A e B. A linha é curva e acompanha as meandros do curso d'água. O fundo do diagrama apresenta linhas curvas representando contornos de elevação, com os valores 100, 120, 140, 160 e 180 indicados.

Traçado acompanhando as curvas de nível	
Diretriz cruzando espigão pela garganta	

Fonte: BORGES, A. C. Topografia aplicada à Engenharia Civil, 2013.

6.1.2.1.3 Cálculo da poligonal

A poligonal é uma figura geométrica de apoio ao levantamento topográfico, que tem como objetivo o transporte de coordenadas. Quando ela for definida no terreno, a mesma ficará analiticamente definida com as medições do seu alinhamento, dos ângulos de deflexão nos vértices e os azimutes.

Existem dois cálculos que servem para caracterizar a posição de qualquer ponto dessa poligonal: O cálculo dos azimutes dos alinhamentos e o cálculo das coordenadas do vértice.

6.1.3 Superelevação

Quando um veículo entra em determinada curva com certa velocidade, ele tende a sofrer as ações da força centrífuga que atua de dentro para fora da curva. A superelevação da pista aparece pra diminuir a influência das forças laterais sobre os passageiros e as cargas dos veículos em movimento, ela é colocada em trechos de curva e é medida pela inclinação transversal da pista em relação ao plano horizontal, pode ser expressa proporção (m/m) ou porcentagem (%). Para se obter o valor da superelevação, devemos fazer os seguintes cálculos:

Equação 1 – Fórmula para obter a superelevação.

$$Ei = Emax(\frac{2Rmin}{Ri} - \frac{Rmin^2}{Ri^2})$$

A partir desta fórmula, iremos buscar as incógnitas através de cálculos e de tabelas. A figura 12 mostra a tabela usada para encontrar o valor de superelevação máxima:

Figura 12 - Superelevação máxima.

Emax	
12%	Máximo absoluto em circunstâncias específicas.
10%	Máximo normal. Adequado para fluxo ininterrupto. Adotar para rodovias Classe 0 e Classe 1 em regiões planas e onduladas.
8%	Valor superior normal. Adotar para rodovias Classe 1 em regiões montanhosas e rodovias das demais classes de projeto.

6%	Valor inferior normal. Adotar para projetos em áreas urbanizadas ou em situações em que o tráfego está sujeito a reduções de velocidade ou paradas.
4%	Mínimo. Adotar em situações extremas, com intensa ocupação do solo adjacente.

Fonte: PONTES FILHO, 1998.

O próximo passo é encontrar o valor do raio mínimo através da velocidade diretriz e da superelevação máxima:

Figura 13 – Tabela de raio mínimo.

Superelevação máxima (E _{max})	Velocidade diretriz (km/h)									
	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
4%	30	60	100	150	205	280	355	465	595	755
6%	25	55	90	135	185	250	320	415	530	665
8%	25	50	80	125	170	230	290	375	475	595
10%	25	45	75	115	155	210	275	345	435	540
12%	20	45	70	105	145	195	245	315	400	490

Fonte: PONTES FILHO, 1998.

Com os valores de superelevação máxima e raio mínimo, podemos chegar ao valor final da superelevação, sabendo que o raio inicial da curva é uma determinação de projeto.

6.1.4 Cálculo da curva de transição

Quando se coloca uma superelevação numa pista, acaba criando-se um degrau. Isso é um defeito que aparece em curvas circulares, e para corrigir esse problema existem as curvas de transição. O DNIT dispensa o uso de

curvas de transição apenas em situações cujo raio seja superior aos indicados na figura 14.

Figura 14 – Tabela com Raios de curva que dispensam curvas de transição.

V (Km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
R (m)	170	300	500	700	950	1200	1550	1900	2300	2800

Fonte: Manual de projeto geométrico de rodovias rurais (DNER, 1999. p.105).

Existem três tipos de curvas de transição, são elas: A clotóide ou espiral de transição, a lemniscata e a parábola cúbica. Sendo a clotóide a que apresenta mais vantagens técnicas, como a melhor visualização da estrada no início e no fim das curvas circulares e um aumento e diminuição gradativo da força centrífuga que atua nos veículos quando estão na curva.

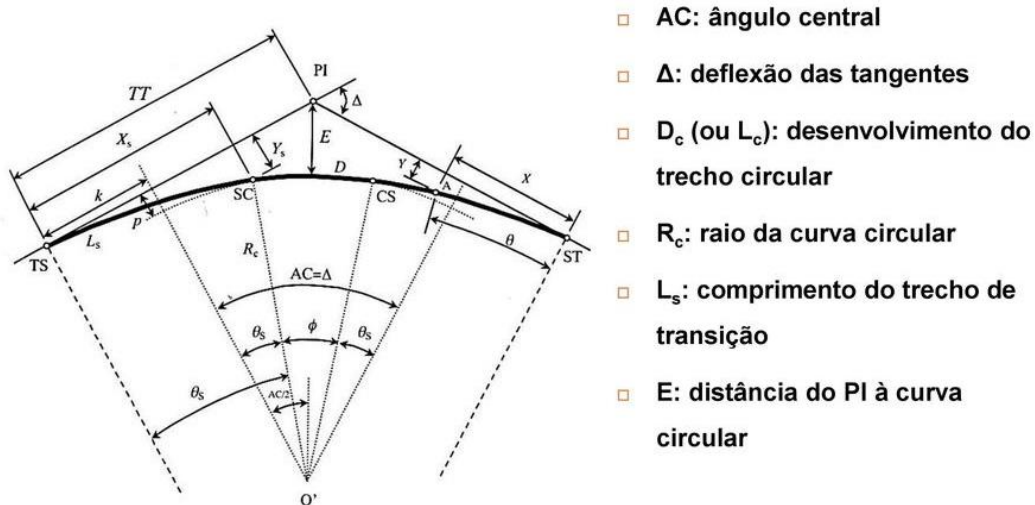
Para inserir uma curva espiral de transição em uma curva horizontal, foram criados três métodos: O de transição a raio e centro conservados, transição a centro conservado e transição a raio conservado, sendo este último o mais utilizado por manter o raio e a tangente.

Quando se faz a introdução da curva de transição, quatro novos pontos importantes aparecem:

- **TS ou TE** - É o ponto que corresponde á passagem da tangente para a curva espiral, ou seja, o início da curva de transição.
- **SC ou EC** - É o ponto de passagem da espiral para a curva circular, onde o raio das duas curvas é igual.
- **CS ou CE** - É o ponto onde termina a curva circular e começa a curva espiral para voltar a tangente, o raio da curva é o mesmo das duas curvas.
- **ST ou ET** - É o ponto onde termina a curva de transição e inicia a tangente, terminando toda a curva.

Além destes, existem outros elementos que passam a fazer parte dos cálculos e estão identificados na figura 15.

Figura 15 – Elementos importantes da curva de transição.



Fonte: SANCHEZ, 2017.

Para chegar aos comprimentos de cada curva de transição, é necessário seguir critérios que limitam os comprimentos mínimos e máximos de transição. Para os de comprimento mínimo, temos:

- Critério do comprimento mínimo absoluto: O comprimento mínimo de transição é de 30 metros ou a distância que o veículo consegue percorrer em dois segundos na velocidade diretriz, prevalecendo o maior.

Figura 16 – Tabela com comprimentos de transição mínimos de acordo com a velocidade diretriz.

V(Km/h)	40	50	60	70	80	90	100	110	120
Lmin(m)	30	30	30	40	40	50	60	60	70

- Critério da fluência ótica: Este critério é aplicado somente à curvas com raios muito grandes, acima de 800m, onde o comprimento mínimo será o valor do raio da curva circular dividido por nove.
- Critério da taxa máxima de variação da aceleração centrífuga: Chega a valores de comprimento mínimo através da equação 2.

Equação 2 – Comprimento mínimo.

$$L_{min} = \frac{V^3}{46,65.C.R} - \frac{E.V}{0,367.C}$$

Onde:

- ✓ L_{min} = Comprimento mínimo;
- ✓ V = Velocidade diretriz;
- ✓ R = Raio da curva;
- ✓ C = Taxa de variação da aceleração centrífuga;

- Critério da rampa máxima de superelevação admissível: Onde o comprimento mínimo é dado através da equação 3.

Equação 3 – Comprimento mínimo.

$$L_{min} = \frac{d + l}{2.r} . E$$

Já para os de comprimento máximo:

- Critério do máximo ângulo central da Clotóide: O DNIT limita o comprimento da transição ao valor do raio da curva circular utilizada na concordância;
- Critério do tempo de percurso: O DNIT estipula que o comprimento de transição seja limitado à distância percorrida por um veículo, durante um tempo $t = 8$ segundos, na velocidade diretriz.

6.1.5 Cálculo da superlargura

A superlargura é o alargamento das faixas de rolamento com a intenção de fazer com que os veículos possam transitar nas curvas da mesma forma que transitam nas tangentes, sem invadir a faixa lateral ou a borda da pista. Para

ela ser definida tem que se levar em consideração o tipo de veículo do projeto. Esses são os quatro tipos de veículos de projeto:

- VP – Veículo de passeio leve;
- CO - Veículos comerciais rígidos;
- SR - Veículo comercial articulado;
- O - Veículos comerciais rígidos de maiores dimensões que o veículo CO básico.

Cada tipo de veículo tem suas dimensões e elas acabam sendo um fator muito importante na hora de dimensionar a largura da pista de rolamento, dos acostamentos e dos ramos de interseções, por exemplo.

Existem duas formas de se aplicar a superlargura:

- A pista é alargada somente na parte interna da curva;
- A pista é alargada em ambos os eixos.

Para se chegar ao valor da superlargura é necessário seguir a equação 4.

Equação 4 – Superlargura.

$$S = \left\{ \left[2 \cdot \left(\left(L_v + \frac{E^2}{2 \cdot R} \right) + G_L \right) + \sqrt{R^2 + BD \cdot (2 \cdot E + BD)} - R \right] + \left(\frac{V}{10 \cdot \sqrt{R}} \right) \right\} - L_B$$

Sendo:

- S = Superlargura;
- L_v = Largura do veículo de projeto;
- E = Distância entre eixos do veículo de projeto;
- R = Raio inicial;
- G_L = Folga lateral do veículo em movimento;
- BD = Balanço dianteiro do veículo de projeto;

O DNER, Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, recomenda o uso da parábola do 2º grau no cálculo de concordância vertical. Para chegar aos valores de comprimento das concordâncias verticais, também é necessário seguir alguns critérios:

- Critério do Mínimo Valor Absoluto - O Motorista deve notar a alteração da declividade longitudinal ao longo da curva. O DNIT recomenda que o comprimento deva ser tal que o usuário leve pelo menos 2 segundos percorrendo a curva vertical na velocidade diretriz de projeto.
- Critério da Máxima Aceleração Centrífuga Admissível (ou Critério da Condição de Conforto) - Considera a máxima aceleração radial admissível para os passageiros do veículo ao longo da curva vertical;
- Critério da distância de Visibilidade:
 - ✓ Curva Convexa - Condição de visibilidade de um obstáculo (situação de perigo) posicionado à frente do motorista;
 - ✓ Curva Côncava - Condição de visibilidade de certa extensão da pista que é iluminada pelos faróis do veículo no período noturno.
- Critério de arredondamento - Devem ser usados valores múltiplos de 20.

6.1.7 Cálculo das áreas de seções transversais

Para criar as condições necessárias ao bom funcionamento de uma estrada, a superfície natural deve ser substituída por uma superfície projetada, considerando a segurança, o conforto e o desempenho dos veículos. Ao conjunto de operações que realizam essa transformação damos o nome de terraplenagem.

Um bom projeto de terraplenagem é essencial para o sucesso de uma construção. Ele tem como objetivo preparar o terreno para receber a implantação de, por exemplo, uma rodovia por meio da movimentação de terra, com cortes e aterros, e assim proporcionar condições geométricas compatíveis com o volume e tipo de veículos.

6.1.7.1 Definições

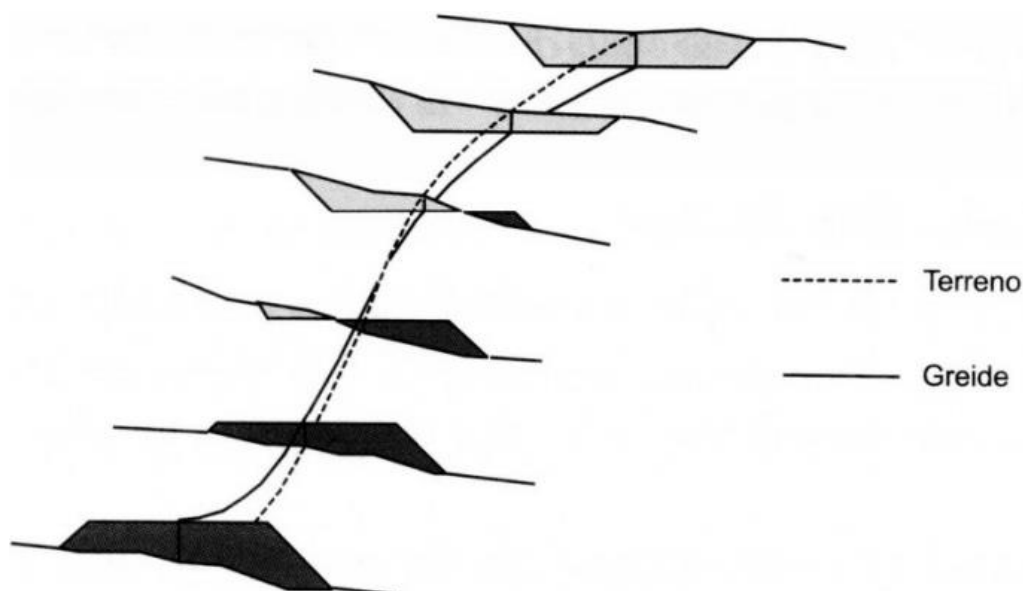
- Corte – Segmentos de rodovia, em que a implantação requer a escavação do terreno natural, ao longo do eixo e no interior dos limites das seções do projeto (“Off sets”) que definem o corpo estradal, o qual corresponde à faixa terraplenada.
- Aterro – É a descarga e espalhamento de material escavado e transportado de acordo com o que dispõem as normas correspondentes, em camadas compactadas com espessuras definidas em projeto, no máximo de 0,30 m. O equipamento utilizado para execução deve permitir o atendimento aos critérios de projeto, obedecendo ao alinhamento, greide e seções transversais definidos.
- Bota-Fora – Material de escavação dos cortes não aproveitado nos aterros, devido à sua má qualidade, ao seu volume, ou à excessiva distância de transporte, e que é depositado fora da plataforma da rodovia, de preferência nos limites da faixa de domínio, quando possível.
- Grau de compactação – É a relação entre a densidade máxima seca obtida no campo, após a compactação, e a densidade máxima seca de laboratório ($\gamma_{dm\acute{a}x}$), referencial de projeto em função da energia de compactação pré-estabelecida.
- Fator de compactação – É a relação entre o volume do material no corte de origem e o volume que este mesmo material ocupará no aterro após ser compactado. Em termos de densidade, é a relação entre as densidades

máxima seca de laboratório ($\gamma_{dm\acute{a}x}$) e in situ (γ_d) da área de empréstimo multiplicada pelo grau de compactação especificado para o aterro compactado. Em muitos casos, este valor resulta em 1,25, entretanto, o valor a ser efetivamente adotado depende de ensaios realizados em cada situação.

6.1.7.2 Seções transversais

Definido o traçado da estrada e o perfil longitudinal do terreno, são levantadas as seções transversais.

Figura 18 – Seções transversais.



Fonte: PIMENTA, Carlos Reynaldo Toledo; DE OLIVEIRA, Marcio Pires. Projeto geométrico de rodovias. RiMa, 2004.

Em cada estaca temos uma seção transversal cujo conjunto definirá os volumes dos cortes e dos aterros e nas seções transversais constam os elementos que caracterizam de forma clara os critérios adotados para elaboração do projeto, tais como:

- Configuração do terreno;

- Configuração da plataforma, taludes, remoção de solo mole;
- Configuração dos limites de contato entre os diversos materiais encontrados e outros elementos necessários;
- Notas de serviço de plataforma acabada, consistindo de distâncias em relação a um eixo de referência e cotas;
- Áreas de corte, com as suas respectivas classificações, de aterro, da remoção e da substituição de materiais.

6.1.7.3 Cálculo de áreas

O cálculo das áreas das seções é o primeiro passo para a obtenção dos volumes. Quando a seção é totalmente em corte ou totalmente em aterro, calcula-se simplesmente a área do polígono e o valor obtido entra no processo de cálculo dos volumes. Quando a seção é mista, deve-se calcular separadamente a área de corte e a área de aterro ou a soma das áreas de corte, se houver mais de uma, e a soma das áreas de aterro. Os métodos mais utilizados são:

- Seções transversais em terrenos planos;
- Método analítico: consiste em calcular a área da seção transversal sem desenhá-la. Para isso, fazem-se algumas hipóteses simplificadoras e calcula-se a área em função:
 - Da plataforma;
 - Da distância vertical entre o eixo da estrada e o nível do terreno.
- Seções mistas: Baseado no cálculo das áreas de seções pela sua divisão em trapézios;
- Método computacional: Consiste em utilizar programas de computador (softwares) para o cálculo direto das áreas.

Método mecânico: consiste em desenhar as seções, geralmente de estaca em estaca e, com o auxílio do planímetro, obter as áreas respectivas. O volume do segmento é calculado de forma simplificada, multiplicando a média das áreas pela distância entre as seções. Se as seções forem mistas, multiplicando a média das áreas de corte pela distância, obtêm-se o volume de

corte, e multiplicando a média das áreas de aterro pela distância, o volume de aterro.

6.1.7.4 Cálculo de volumes

O volume pode ser calculado de duas formas, a partir da área do prismóide com a equação 5 e da área média do prismóide com a equação 6.

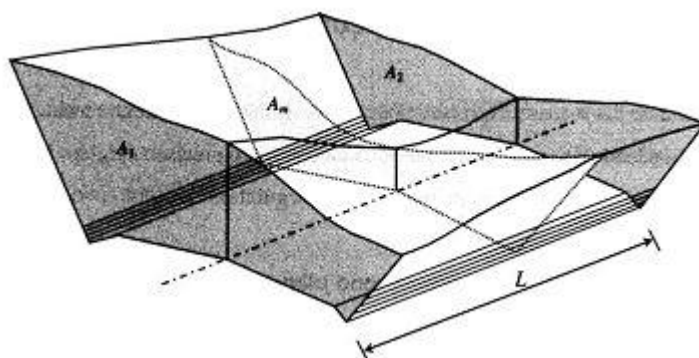
Equação 5 – Volume do prismóide.

$$V = \frac{L}{6} \cdot (A_1 + 4 \cdot A_m + A_2)$$

Equação 6 – Volume médio do prismóide.

$$V_m = \frac{L}{2} \cdot (A_1 + A_2)$$

Figura 19 – Prismóide.



Fonte: PONTES FILHO, 1998.

6.1.7.4.1 Compensação de volume

A compensação de volume consiste em, sempre que possível, aproveitar para colocar nos aterros o material escavado nos cortes para evitar

nova escavação. Existem casos como o de solo brejoso, por exemplo, que o material do corte não serve para a construção de aterros, quando isso acontecer o material será descartado, devendo ser transportado e depositado em local conveniente. Essa operação recebe o nome de bota-fora e também ocorre quando o volume dos cortes é maior que o volume de terra necessário para a construção dos aterros. Quando, ao contrário, o volume dos cortes é insuficiente para a construção dos aterros, efetua-se a escavação complementar em local escolhido em função da localização, da distância e da qualidade do solo e transporta-se o material até o aterro, em operação denominada empréstimo.

Quando há corte e aterro no mesmo segmento entre seções consecutivas, o volume que puder ser compensado no próprio local não deve ser transportado, evitando, assim, o transporte desnecessário. A compensação no mesmo segmento é chamada de compensação transversal ou compensação lateral.

Se o volume de corte for maior que o volume necessário para aterro no mesmo segmento, o aterro deve ser feito com material do local, sendo utilizado na compensação longitudinal apenas o volume excedente. Pode ainda, conforme o caso, ser feito bota-fora desse volume.

Se, por outro lado, o volume de corte for insuficiente para a construção do aterro naquele segmento, deve permanecer todo ele no local, vindo de outro segmento do mesmo corte, de outro corte (compensação longitudinal) ou de empréstimo o volume que falta. Nesse caso, temos um volume excedente negativo. O volume da compensação transversal é sempre o menor entre o volume de corte e o volume necessário para o aterro; e o volume excedente é sempre a diferença entre os dois.

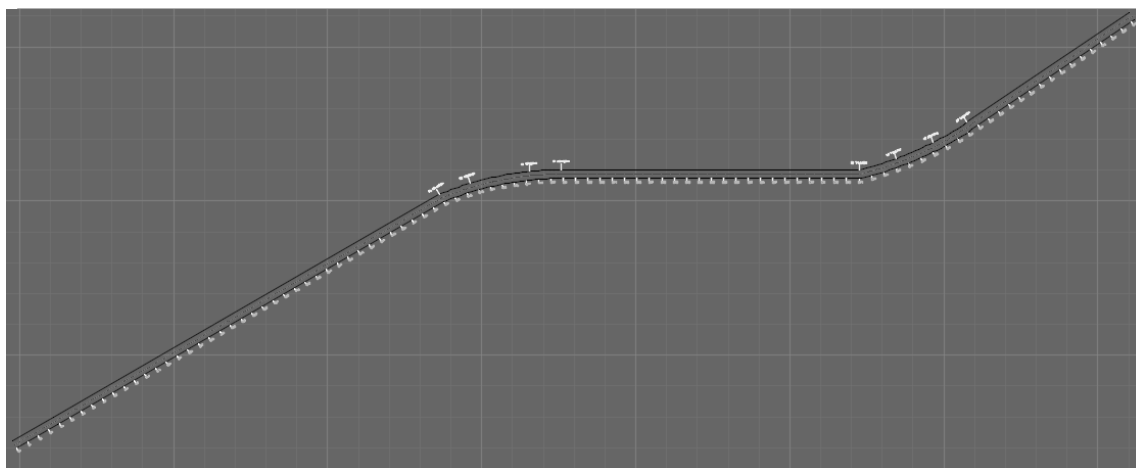
7 ESTUDO DE CASO

A partir do cenário exposto, é possível ver o tamanho do impacto positivo que o BIM pode causar na economia brasileira. Sabe-se que o Brasil está atrasado com relação à sua malha rodoviária que além de só serem feitas com qualidade em certas regiões do país, ainda há uma grande necessidade do crescimento do número de estradas para todo o território nacional. Com essas informações, sentiu-se a necessidade de trazer uma noção ainda melhor sobre as vantagens do uso de BIM, em especial nos projetos de infraestrutura rodoviária. Com isso, será feita uma comparação entre uma ferramenta BIM, o *Openroads Designer* da *Bentley systems*, que possui comandos específicos na construção de um projeto de rodovias e uma ferramenta CAD, o tradicional *AutoCAD* da *Autodesk*, este último foi escolhido por ser adotado em grande parte do território nacional, enquanto o primeiro por ser considerado um dos programas mais utilizados nos Estados Unidos no desenvolvimento de projetos estradas.

7.1 OBJETO DE ESTUDO

Para comparar as ferramentas CAD e BIM foi utilizado o projeto de rodovias que foi desenvolvido a partir de uma atividade acadêmica realizada na disciplina de estradas, 7º período de Engenharia Civil no Centro Universitário do Rio Grande do Norte, UNI-RN, ministrada pelo Professor Raymison Rodrigues Cardoso.

Figura 20 – Planta baixa da estrada do projeto.



Fonte: Autoria própria.

Entretanto, a não possibilidade de total aprendizagem do *Openroads Designer* tornou necessária a busca por trabalhos feitos por terceiros que validassem algumas das comparações primordiais para realização deste trabalho.

7.2 PROGRAMAS

O *AutoCAD* utilizado para este trabalho é da versão de 2015, ele é um software criado pela *Autodesk* que pode ser utilizado em áreas, como a indústria automobilística, arquitetura, engenharia, construção civil, informática e etc. Por isso, possui ferramentas mais abrangentes e menos específicas para a elaboração de projetos como os de rodovias.

Já o *Openroads Designer* da *Bentley systems*, software utilizado neste trabalho, é funcional para topografia, drenagem, utilitários subterrâneos e projeto de estradas, substituindo todos os recursos fornecidos anteriormente através de *InRoads*, *GEOPAK*, *MX* e *PowerCivil*. Segundo a própria desenvolvedora, *Bentley Systems*, este aplicativo é capaz de:

- Reunir rapidamente dados contextuais provenientes de diversas fontes, como nuvens de pontos, malhas realísticas 3D, dados de campo, imagens e informações geoespaciais para colocar ambientes do mundo real em seu projeto;

- Alcançar ganhos de desempenho de modelagem exponenciais com a produção focada em modelos de entrega do projeto;
- Permitir que os usuários compartilhem informações sobre o projeto com as equipes, sites e disciplinas com precisão e segurança;
- Usar Serviços de Catálogo para gerenciar e fornecer componentes funcionais para um projeto gerador consistente a todo o grupo de trabalho de engenharia;
- Acessar o Centro de Documentação para produzir documentação multidisciplinar para todo o trabalho sobre bens durante o projeto;
- Compartilhar as visualizações realistas com o público e as partes interessadas para colher feedback, aumentar o comprometimento do público e acelerar as aprovações dos projetos.

7.3 OPERADOR

Para poder realizar este trabalho, o único operador e autor deste projeto teve que estudar o *Openroads Designer*, uma vez que já tinha domínio do *AutoCAD*. Para isso, precisou-se de um período de capacitação que ocorreu durante a fase final deste trabalho e durou um mês.

O *Openroads Designer* é um programa que exige conhecimento técnico e noções avançadas do idioma inglês, além do uso diário para que seja possível um domínio quanto às ferramentas e manuseio mais veloz do software. Esses fatores mais o curto período de tempo para a realização deste trabalho se tornaram obstáculos na finalização da pesquisa. Outro problema encontrado foi a falta de conteúdos didáticos em português que levou à necessidade de se explorar conteúdos produzidos por profissionais em diferentes linguagens.

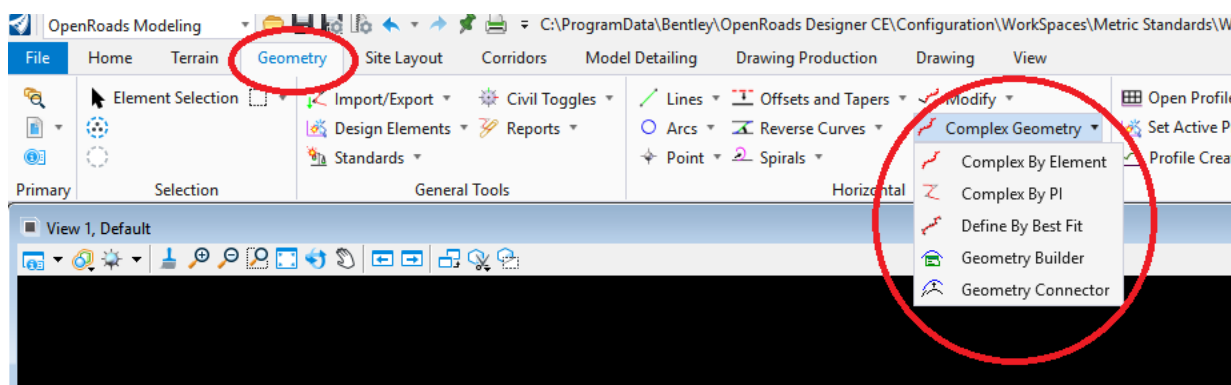
7.4 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

7.4.1 Definição do traçado

O primeiro passo na criação da planta baixa de uma rodovia é a determinação do traçado. No *AutoCAD*, podemos fazer este traçado de forma simples através do comando “Linha”. Já no caso das curvas, foi preciso fazer cálculos que são desnecessários no *Openroads*, como o cálculo de abcissas e alguns pontos principais da curva de transição para poder chegar a dimensões corretas.

Já no *Openroads*, como se pode ver na figura 21, a escolha do traçado pode ser feita de diversas formas, as mais práticas são a partir dos pontos principais do traçado, “Complexo por elemento”, e pelos pontos de interseção, “Complexo por PI”, só que pra isso, é necessário ter os valores dos principais pontos da curva calculados. Estas funções nos permitem criar curvas circulares e de transição com o raio e comprimento exatos com mais rapidez que no *AutoCAD*. Outra função relacionada ao traçado que existe no *Openroads Designer* e não existe no *AutoCAD*, é a de criar um corredor a partir do traçado, com ela é possível detalhar a largura das faixas, tipos de calçada, abaulamento e entre outros detalhes de modo mais automático.

Figura 21 - Comandos para inserir um traçado no *Openroads Designer*.



Fonte: Autoria própria.

7.4.2 Superelevação

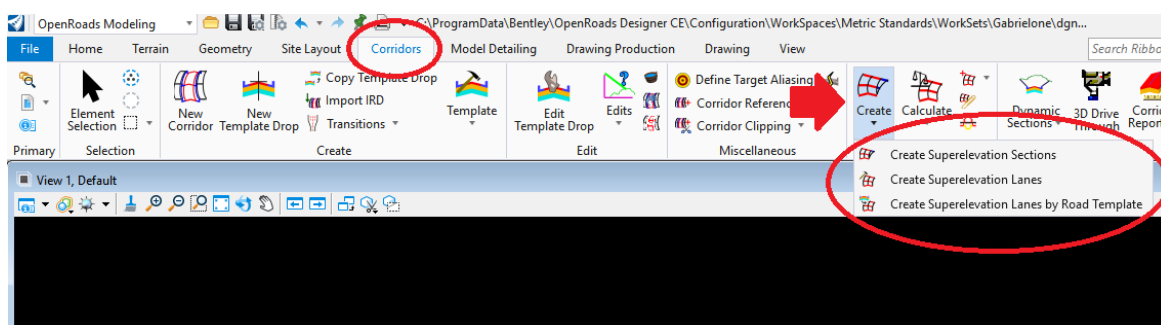
Fazer a superelevação no *AutoCAD* exige muito trabalho e pouca precisão, isso se deve ao fato de que cada estaca que esteja na curva e tenha seu valor de superelevação precise ser criada manualmente. Além disso, se for necessária a criação de vistas capazes de mostrar a superelevação na estrada,

estas terão que ser elaboradas separadamente, como se estivéssemos criando um novo desenho.

Ao aplicar a superelevação através do *Openroads*, com o comando visto na figura 22, podemos notar tamanha diferença entre as ferramentas. É possível escolher a seção da pista que você deseja inserir a superelevação e, a partir disto, definir a superelevação máxima e a velocidade de projeto, com isso é gerado uma nova aba aonde é calculada automaticamente as superelevações respectivas de cada ponto do trecho marcado inicialmente.

Além disso, existem opções de vistas que nos dão a possibilidade de ver a seção transversal de qualquer ponto da estrada, sem a necessidade de fazer qualquer desenho separadamente, além de perspectivas fornecidas pelo *Openroads* que tornam possível a visualização tridimensional da superelevação ao longo da pista.

Figura 22- Comandos para criar uma superelevação no *Openroads Designer*.



Fonte: Autoria própria.

7.4.3 Curvas de transição

Para definir uma curva de transição no *AutoCAD* é necessário ter mais informações iniciais, como o comprimento do trecho em transição e o comprimento da curva circular que fica entre o comprimento de transição final e inicial.

Esse procedimento não existe ao utilizar o *Openroads*, pois nele temos a possibilidade de criar a curva de transição utilizando a opção de criar o traçado na função “Complexo por PI”, mostrado na figura 22, precisando apenas definir o tamanho do raio da curva.

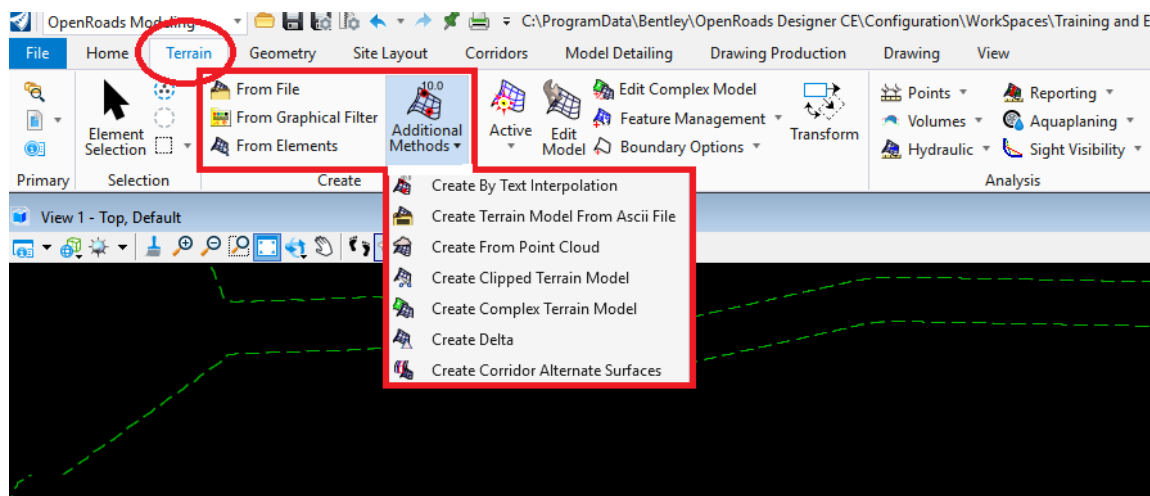
7.4.4 Concordância vertical

Para que se possa fazer a concordância vertical, é necessário que o greide reto esteja pronto, e é nesse momento que o *AutoCAD* nos exige maior tempo de trabalho, visto que é necessário elaborar o perfil do terreno natural, em 2D, conforme os valores das alturas das estacas fornecida pelo estudo topográfico. Quando se trata de definir os tamanhos das curvas verticais, o procedimento é bem parecido nos dois programas, no *AutoCAD* é possível fazê-lo através da criação de um arco com o comprimento calculado.

No *Openroads designer*, para a criação de um terreno existem várias possibilidades de fazer esta tarefa, sendo duas delas as mais utilizadas, a primeira através da importação de elementos gráficos que nos dão a capacidade de detalhar ainda mais este terreno buscando a maior proximidade possível da realidade com a utilização de *templates*, que trazem tipos de solo, vegetação e etc. Embora não tenha ficado claro como isso é possível, podemos diminuir a quantidade de trabalho na hora de colocar as dimensões do terreno em cada estaca ao definir valores máximos e mínimos. Com o terreno natural pronto e o greide curvo é possível criar uma visualização 3D da sessão transversal, com essa perspectiva aberta podemos ter uma vista melhor para definir as opções de pavimentação que a estrada receberá através de uma biblioteca do próprio programa. A segunda opção parte da criação de um terreno a partir do próprio corredor, podendo chegar ao mesmo resultado da primeira opção.

A opção de ter o terreno através de dados na nuvem é possibilitada em ambos os programas, no caso do *AutoCAD*, em versões mais recentes como a de 2017.

Figura 23- Comandos para criar ou inserir um terreno no *Openroads Designer*.



Fonte: Autoria própria.

7.4.5 Análises das ferramentas CAD e BIM a partir de algumas etapas do projeto de rodovias

Ao fazer cada atividade do projeto que é objeto de estudo deste trabalho através do *AutoCAD* e do *Openroads Designer*, foi possível obter resultados e comparar a experiência com cada um. A seguir, foram listados os principais pontos entre as duas ferramentas.

7.4.5.1 Planta baixa

- No *AutoCAD* – Foram necessários mais cálculos e improvisação de comandos, pois o *AutoCAD* não fornece ferramentas específicas que facilitem o processo de criação da planta baixa.
- No *Openroads Designer* – Foram necessários menos cálculos e mais conhecimento dos comandos oferecidos pelo programa. O *Openroads Designer* oferece ferramentas específicas que além de facilitar o processo, nos dão uma maior riqueza de detalhes e automação.

7.4.5.2 Terreno natural

- No *AutoCAD* – Criar o terreno no CAD exige bastante tempo e trabalho devido a falta de comandos que facilitem este processo. A melhor opção é a importação do terreno através de dados na nuvem, tecnologia fornecida pelas versões mais atualizadas do programa.
- No *Openroads Designer* – São oferecidas muitas opções para definir o terreno e isso é um grande diferencial entre os programas, pois gera uma economia de tempo. Porém, é preciso ter muito conhecimento e domínio do programa para conseguir aproveitar essas funções e usá-las de maneira proveitosa.

7.4.5.3 Perfil longitudinal com terreno natural e greide curvo

- No *AutoCAD* – Por ser uma sequência do terreno natural, este item se torna um dos mais demorados para ser feito. Também exige algumas improvisações de comandos que possuem outras funcionalidades, mas entrega um resultado bastante parecido com o do *Openroads Designer*.
- No *Openroads Designer* – Oferece algumas facilidades por conectar a planta baixa com o perfil longitudinal, tornando automática a criação de um gráfico onde é possível criar o greide tendo o terreno, já adicionado, como base.

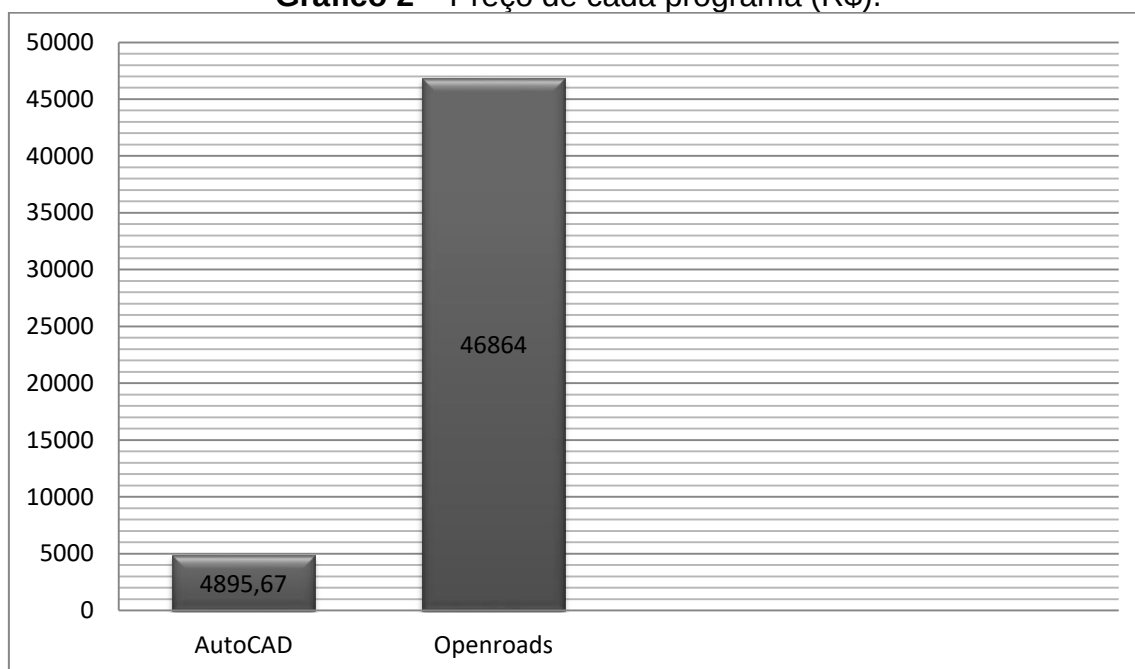
7.4.5.4 Perfil transversal

- No *AutoCAD* – Para criar um perfil transversal é necessário o detalhamento da pista e do terreno ao redor dela, sendo assim, é preciso criar um desenho diferente para cada seção que você deseja devido a informações como a superelevação, que mudam de acordo com o trecho da rodovia. Com isso, a quantidade de trabalho e o tempo para elaborar o projeto aumentam consideravelmente.

- No *Openroads Designer* – Este programa oferece funções que ajudam no detalhamento da pista através do perfil transversal, itens como o tipo de pavimento, objetos de drenagem, tipo de terreno e superelevação podem ser mais bem detalhados nesse processo. Quando é finalizado o detalhamento, as informações ficam salvas em planta baixa e, a qualquer momento, você pode gerar uma visualização transversal de qualquer trecho da pista sem precisar desenhá-las, como no CAD.

Outro ponto importante na comparação entre as ferramentas é o preço. O *AutoCAD* oferece sua licença de um ano por R\$6.119,59, enquanto a *Bentley Systems* oferece seu produto por US\$ 11.600 dólares, o equivalente à R\$ 46.864,00 Reais.

Gráfico 2 – Preço de cada programa (R\$).



8 CONCLUSÃO

A tecnologia BIM é muito nova para o mundo inteiro, ainda há a necessidade de se fazerem mais estudo e experimentos para seu desenvolvimento, mesmo assim, não há dúvidas de que os programas BIM irão dominar o mercado de construção civil em todo o mundo, a mudança já está acontecendo, embora cada país tenha suas dificuldades de implementação. Quando se estuda as vantagens trazidas pelo BIM, sabe-se que é possível gerar lucro quando analisamos o processo em longo prazo, mesmo que o investimento seja alto na fase de implementação, quando comparado ao método tradicional.

A grande diferença entre os programas utilizados no estudo de caso do presente trabalho, é que o *Openroads Designer* é feito especificamente para o desenvolvimento de uma estrada, enquanto o *AutoCAD* funciona de forma mais abrangente na produção de qualquer tipo de desenho técnico. Utilizar o CAD para projetar uma estrada é uma improvisação, e compará-lo com um produto de tecnologia BIM nos faz ter uma ideia do quanto à tecnologia avançou nos últimos anos. Esse avanço nos trás cada vez mais uma divisão das áreas presentes na engenharia, tornando necessárias especializações não só da teoria de cada área, mas também, da utilização dos programas que serão capazes de nos trazer os melhores resultados.

Aprofundar-se em um programa como o *Openroads Designer* e compará-lo com outros da plataforma BIM seria o prospecto do presente trabalho, afinal, esse tipo de tecnologia ainda está se tornando realidade no Brasil.

REFERÊNCIAS

BIM E A DISRUPÇÃO NA CONSTRUÇÃO DO BRASIL. Autodesk. Disponível em: <<http://blogs.autodesk.com/por-dentro-da-autodesk-brasil/2018/07/25/bim-e-a-disrupcao-na-construcao-no-brasil/>> . Acesso em: 24 maio 2019.

BIM: ENTENDENDO A CURVA DE MACLEAMY E COMO FUNCIONA BASICAMENTE O FLUXO DE TRABALHO EM BIM. Winderson Soares Matos. Disponível em: <<https://engenhariaeetc.wordpress.com/2015/09/21/bim-entendendo-a-curva-de-macleamy-e-como-funciona-basicamente-o-fluxo-de-trabalho-em-bim/>> . Acesso em: 24 maio 2019.

BORGES, A. C. **Topografia aplicada à Engenharia Civil**. 2. Ed., Vol. 2. São Paulo - SP: Blucher, 2013. 214p.

BRAGA, Alan do Carmo; CAMPOS NETO, Lúcio Souza. Análise de um software para minimização de deficiências em projetos de infraestrutura. Publicado na Revista **Petra**, v. 1, n. 2, p. 183-201, ago./dez. 2015.

BRASIL. Decreto n. 9.377, de 17 de maio de 2018: institui a estratégia nacional de disseminação do Building Information Modelling. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2018/decreto/D9377.htm>. Acesso em: 24 maio 2019.

BRASIL. Rodovias federais do Brasil. Disponível em: <<http://www.transportes.gov.br/rodovias-brasileiras.html>> . Acesso em: 24 maio 2019.

BOLETIM ESTATÍSTICO DE 2018. Confederação Nacional do Transporte (CNT). Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Boletim/boletim-estatistico-cnt>> . Acesso em: 24 maio 2019.

BRINGING TOGETHER NATIONAL EFFORTS INTO A COMMON AND ALIGNED EUROPEAN APPROACH TO DEVELOP A WORLD-CLASS DIGITAL CONSTRUCTION SECTOR. EUBIM Taskgroup. Disponível em: <<http://www.eubim.eu/>>. Acesso em: 24 maio 2019.

CARDOSO, Raymison Rodrigues – Notas de aula da disciplina Estradas – Natal: UNI-RN, 03/2018.

CENÁRIO DA INFRAESTRUTURA RODOVIÁRIA DO BRASIL. Ilos. Disponível em: <<http://www.ilos.com.br/web/cenario-da-infraestrutura-rodoviaria-no-brasil/>> . Acesso em: 24 maio 2019.

DADOS FINANCEIROS BRASILEIROS. Associação Brasileira de Concessionárias de Rodovias (ABCR). Disponível em: <<http://www.abcr.org.br/>> . Acesso em: 24 maio 2019.

DADOS LOGÍSTICOS DE INFRAESTRUTURA NO BRASIL. Ilos. Disponível em: <<http://www.ilos.com.br/web/>> . Acesso em: 24 maio 2019.

Eastman, Charles & Henrion, Max. (1977). **GLIDE a language for design information systems**. ACM SIGGRAPH Computer Graphics. 11. 24-33. 10.1145/563858.563863.

FILHO, Glaucio Pontes. **Estradas de rodagem: Projeto geométrico**. G. Pontes Filhos, 1998.

O QUE É BIM?. Tekla. Disponível em: <<https://www.tekla.com/br/sobre/o-que-%C3%A9-bim>>. Acesso em: 24 maio 2019.

PIMENTA, Carlos Reynaldo Toledo; DE OLIVEIRA, Marcio Pires. **Projeto geométrico de rodovias**. RiMa, 2004.

QUANTIFICAÇÃO DOS IMPACTOS ECONÔMICOS E AMBIENTAIS DECORRENTES DO ESTADO DE CONSERVAÇÃO DAS RODOVIAS BRASILEIRAS. Daniela Bacchi Bartholomeu. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11132/tde-08052008-172034/pt-br.php>> . Acesso em: 24 maio 2019.

RECENT SMARTMARKET BIM RESEARCH BY MCGRAW HILL CONSTRUCTION. **SmartMarketReport**, 2014. Disponível em: <https://c.ymcdn.com/sites/www.nibs.org/resource/resmgr/BSA/20140108_moa_jones.pdf>. Acesso em: 24 maio 2019.

ROCHA, A. P. Por dentro do BIM. **Téchne**, São Paulo, v. 168, p. 38-43, mar. 2011. Disponível em: < <http://techne17.pini.com.br/engenharia-civil/168/por-dentro-do-bim-em-fase-de-teste-em-287822-1.aspx>> . Acesso em: 24 maio 2019.

THE BUSINESS VALUE OF BIM FOR INFRASTRUCTURE. **SmartMarketReport**, 2017. Disponível em: <<https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/us/Documents/finance/us-fas-bim-infrastructure.pdf>>. Acesso em: 24 maio 2019.

THE BUSINESS VALUE OF BIM IN NORTH AMERICA MULTI-YEAR TREND ANALYSIS AND USER RATINGS (2007–2012). **SmartMarketReport**, 2012. Disponível em: <https://damassets.autodesk.net/content/dam/autodesk/www/solutions/bim/Business_value_of_BIM_2012_North_America.pdf> . Acesso em: 24 maio 2019.

SANCHEZ, Gabriel. CURVAS HORIZONTAIS COM TRANSIÇÃO, 2017. Disponível em: <<https://docplayer.com.br/22571560-Curvas-horizontais-com-transicao.html>>. Acesso em: 27 maio 2019