

Estudo do *software* livre QGIS no desenvolvimento do projeto geométrico de rodovias

Study of free software QGIS in the development of geometric design of highways

Suelem Teixeira Marques(1); Reynaldo Furtado Faria Filho(2)

1 Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, MG, Brasil.

E-mail: stm.suelem@gmail.com | ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1352-587X>

2 Universidade Federal de Viçosa (UFV), Campus Rio Paranaíba, MG, Brasil.

E-mail: reynaldofilho@ufv.br | ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8020-8113>

Revista de Engenharia Civil IMED, Passo Fundo, vol. 8, n. 2, p. , julho-dezembro, 2021 - ISSN 2358-6508

[Recebido: novembro 17, 2020; Aceito: março 31, 2021]

DOI: <https://doi.org/10.18256/2358-6508.2021.v8i2.4373>

Sistema de Avaliação: *Double Blind Review*

Editora: Aline Zanchet

Como citar este artigo / How to cite item: [clique aqui/click here!](#)

Resumo

O método de ensino brasileiro vem evoluindo cada vez mais. O conhecimento teórico deve sempre estar aliado ao conhecimento prático, principalmente através da aplicação de situações reais dentro das salas de aulas. Além disso, a tecnologia trouxe diversos meios de acesso à informação, como os *softwares* livres e gratuitos. Sendo assim, pensando na aplicação destas novas tecnologias nas disciplinas oferecidas nas Universidades, o presente estudo propôs a análise do potencial do *software* livre QGIS para o cálculo geométrico de uma rodovia. Para isto, foi escolhido um trecho que liga a BR 354 ao povoado de Capela do Abaeté localizado na região do Alto Paranaíba em Minas Gerais. Os parâmetros de projeto se basearam no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais do DNER. Ainda, utilizou-se o *software* Civil 3D para gerar o anteprojeto da mesma rodovia, com o objetivo de complementar a análise realizada no Quantum GIS. Analisou-se também quais etapas podem ser calculadas por cada *software*. Concluiu-se que o QGIS é capaz de realizar poucas etapas de um projeto de rodovias, mas que se o *software* for aperfeiçoado através da criação de novos complementos específicos para este uso, ele possui grande potencial para gerar um projeto completo de uma estrada.

Palavras-chave: Projeto. Rodovia. *Software* livre. Civil 3D.

Abstract

The Brazilian teaching method has been evolving more and more. The theoretical knowledge must be always linked to practical knowledge, mainly through the application of real situations within the classrooms. In addition, the technology has brought various means of access to information, such as the Free Open Source Softwares. Therefore, considering the application of these new technologies on the disciplines offered in Universities, the present study proposes the analysis of the free software QGIS's potential for the geometric design of a highway. For this, a path was chosen, linking the BR 354 to the thorp of Capela do Abaeté located in the region of Alto Paranaíba in Minas Gerais. The design parameters were based on DNER's Rural Roads Geometric Design Manual. Also, Civil 3D software was used to generate the preliminary design of the same highway, with the purpose of complementing the Quantum GIS analysis. Also, it was analyzed which steps can be resulted from each software. It was concluded that the QGIS is capable of designing a few steps of a highway project, but with the software improvement by the creation of new plugins specifically for this use, it has a great potential to generate a complete road project.

Keywords: Design. Highway. Free software. Civil 3D.

1 Introdução

O surgimento do automóvel na Europa, no final do século XIX, influenciou no aperfeiçoamento das rodovias, que até então eram caminhos de terra batida para passagem de carroças e animais. O transporte naquela época, se baseava em ferrovias e navios, principalmente por causa das grandes cargas que eram transportadas para comercialização. As duas grandes guerras do século XX também serviram como meios propulsores do avanço das rodovias. A necessidade de locomover grandes quantidades de soldados em prazos curtos e por caminhos difíceis, fez com que mais traçados fossem abertos durante as batalhas (SENÇO, 2008).

No Brasil, a intensa exploração do café no século XIX, impulsionou a construção de algumas estradas que ligavam o Sul do País ao Porto de Santos. Contudo, a malha ferroviária brasileira ainda obtinha o domínio do setor de transportes no país. A chegada da indústria automobilística no Brasil, no início do século XX, mudou totalmente esse panorama. Era necessário investir na infraestrutura de rodovias para atender à demanda de automóveis. O Fundo Nacional Rodoviário, implantado de 1945 a 1988, teve este papel e resultou na acirrada concorrência entre as ferrovias e rodovias no que se refere ao transporte de cargas e passageiros, o que mais tarde, daria ao setor rodoviário o apogeu na matriz de transportes brasileira (SENÇO, 2008).

A existência de rodovias no Brasil é fator essencial para aquecer a economia do país. O fluxo do transporte brasileiro de cargas se dá no sentido Norte-Sul justamente porque o Norte, Centro-Oeste e Nordeste fornecem grande parte dos insumos para abastecerem as indústrias de manufaturados do Sudeste e Sul. Por causa disso, o setor rodoviário absorve uma significativa parcela dos investimentos do país em infraestrutura. Contudo, o sistema ainda é muito deficiente. Uma alternativa que vem sendo adotada nos últimos tempos é a terceirização das rodovias, que apesar de ser uma maneira do Governo driblar sua falta de planejamento e investimento no setor, melhorou de forma significativa a qualidade das estradas.

De acordo com Senço (2008), o desenvolvimento das técnicas de projeto geométrico de estradas teve um forte movimento nos Estados Unidos, no final do século XIX. O objetivo era ligar rotas de lazer da população que se constituíam, principalmente, de parques e áreas de recreação. Com o passar do tempo, essas vias destinadas a lazer, conhecidas como *parkways*, passaram a comportar veículos de cargas e precisaram sofrer um processo de reestruturação. Deste modo, o principal órgão responsável pela criação de normas e padrões para construção de estradas foi o *American Association of State Highways Officials* (AASHTO). As suas inúmeras publicações servem de base, até hoje, para departamentos de transportes do mundo todo.

Um dos principais motivos para a padronização das técnicas de projeto e construção de vias é a necessidade de proporcionar uma segurança aos passageiros. Os

parâmetros de cálculo, como superelevação, distância de visibilidade, raios mínimos, sistema de drenagem, entre outros, garantem que o motorista realize sua viagem de forma eficiente e segura. Desta maneira, compatibilizar todos estes parâmetros em um único projeto e de forma manual, seria uma tarefa quase impossível. Por isso, atualmente, existem diversos *softwares* e recursos que facilitam o procedimento e diminuem a probabilidade de erros no projeto.

A chegada da tecnologia e a velocidade com que as informações evoluem são pontos cruciais que devem ser considerados no processo de ensino das escolas e universidades. Sendo assim, na tentativa de melhorar o ensino e proporcionar desafios práticos aos estudantes, os professores vem buscando, cada vez mais, a utilização de *softwares* em suas disciplinas. Para a área de projeto geométrico de estradas não é diferente. O único problema é que a aquisição de licenças para os estudantes ainda é bastante onerosa (CARRÃO, 2006; GUERRA, 2000).

Além do alto custo de compra, os *softwares* convencionais ainda possuem a desvantagem de ficarem desatualizados com o tempo. Com a finalidade de facilitar o acesso à informação e suprir as deficiências dos *softwares* pagos, surgiram os *Free Open Source Softwares* (*softwares* livres e gratuitos). De acordo com Figueiredo *et. al.* (2005), os *softwares* livres e gratuitos possibilitam que o usuário altere seu código fonte, criando atualizações, aperfeiçoando algumas ferramentas já existentes e adequando o *software* à determinado uso específico. Por isso, esses *softwares* estão cada vez mais difundidos, seja nas universidades, nas empresas e até mesmo na administração pública, com o uso de sistemas operacionais livres como o Linux.

Neste contexto, o presente artigo teve como objetivo avaliar o potencial do *software* livre QGIS (Quantum GIS) no desenvolvimento do projeto geométrico de uma rodovia. Como objetivo específico buscou-se utilizar o *software* AutoCAD Civil 3D para realizar o anteprojeto da rodovia, complementar o projeto do QGIS e por fim, realizar uma análise de quais etapas do projeto geométrico cada *software* possibilita calcular.

2 Metodologia

2.1 Traçado

Inicialmente, realizou-se a escolha da área de estudo. O trecho escolhido abrange os 9 km que ligam a BR 354 aos povoados de Capela de Baixo e Capela do Abaeté, localizados na região do Alto Paranaíba em Minas Gerais. Este trecho é o traçado que possibilita o acesso ao prédio de laboratórios da Universidade Federal de Viçosa – *Campus* Rio Paranaíba e atravessa uma ponte pertencente a uma barragem de geração de energia. Na Figura 1, a imagem extraída do *Google Earth*, permite observar o traçado em vermelho com seus trechos numerados e os pontos mais importantes de passagem da rodovia.

O referido trecho foi escolhido pois é uma região que apresenta curvas verticais e horizontais, o que é interessante para simular o desenvolvimento de um projeto geométrico de rodovias, bem como por ser uma estrada que atende pequenos povoados da região e servir de rota para o escoamento de produção agrícola.

Figura 1 – Localização do traçado e seus pontos mais importantes de passagem



Fonte: Google Earth.

2.2 Critérios de um Projeto Geométrico

De acordo com o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER (1999), uma via local se caracteriza por apresentar pequena extensão e proporcionar o tráfego de pequenas localidades às rodovias de nível superior. Deste modo, a rodovia proposta para este estudo pode ser classificada como um sistema local, já que possibilita o intercâmbio de regiões remotas com os grandes centros populacionais. Além disso, um parâmetro importante para a implantação de uma rodovia é a análise do volume médio diário de veículos que utilizarão o sistema.

A escolha do tipo de relevo de uma região é feita por meio da análise da inclinação do terreno considerando os pontos inicial e final do traçado. Lima (2004) propôs uma classificação do relevo de acordo com valores de inclinação, na qual um terreno é considerado plano para inclinações menores que 8%, terreno ondulado entre 8 e 20 % e montanhoso maior que 20%. Contudo, também foram analisadas as inclinações trecho a trecho para que os critérios de projeto fossem seguidos. A velocidade diretriz é um elemento essencial para determinar a estrutura física de um projeto geométrico de rodovias. Parâmetros como curvatura, superelevação e distância de visibilidade, os quais garantem a segurança dos usuários, dependem diretamente do fator velocidade. A Tabela 1 do DNER (1999), traz as velocidades máximas de projeto para cada tipo de classe de rodovias.

Tabela 1 - Velocidades diretrizes em função da Classe de Projeto

Classes de Projeto	Velocidades diretrizes (km/h)		
	Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso
0	120	100	80
I	100	80	60
II	100	70	50
III	80	60	40
IV	A	80	60
	B	60	40

Fonte: DNER (1999)

A superelevação representa a inclinação das pistas nas curvas a fim de balancear o efeito da aceleração centrífuga que tende a arremessar o veículo para fora da pista. Existem alguns condicionantes para a escolha da superelevação, que podem ser encontrados na Tabela 2.

Tabela 2 – Taxas máximas de superelevação admissíveis

emáx	Emprego
12%	Taxa máxima, empregada em caso de situações perigosas.
10%	Elevadas velocidades e fluxo ininterrupto. Rodovias de Classe 0 e Classe I em regiões planas e onduladas.
8%	Rodovias sujeitas a fatores que reduzam a velocidade média. Adotar para Classe I em região montanhosa e para as demais classes de projeto.
6%	Áreas urbanas ou regiões com frequentes interseções que provoquem a redução da velocidade média.
4%	Situações extremas, com intensa ocupação do solo e reduzida flexibilidade para varia as declividades transversais.

Fonte: DNER (1999)

A determinação do uso de rampas máximas pelo DNER segue o princípio de adequar o fator econômico da construção de rampas com o desempenho dos veículos e com as características técnicas da via. Regiões planas com rampas mais elevadas resultam em um custo de construção maior do que em regiões onduladas e montanhosas, onde o relevo é favorável. A Tabela 3 traz os valores máximos recomendados para as rampas. É importante lembrar que existirão casos excepcionais os quais exigirão o uso de rampas maiores.

A seção transversal é composta das características que garantirão segurança e conforto da via. São elementos que fazem parte da seção típica: pista de rolamento, acostamento, canteiro central (ou barreira central), sarjetas, guias, valetas e taludes. O Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais do DNER traz especificações da largura da pista e dos acostamentos de acordo com o relevo e a classe de projeto. (Tabelas 4).

Tabela 3 – Rampas máximas admissíveis

Classes de Projeto	Rampas máximas (%)			
	Relevo			
	Plano	Ondulado	Montanhoso	
0	3%	4%	5%	
I	3%	5%	6%	
II	3%	5%	7%	
III	4%	6%	8%	
IV	A	4%	6%	8%
	B	6%	8%	10%

Fonte: DNER (1999)

Tabela 4 – Larguras das faixas de rolamento em tangentes e dos acostamentos externos

Classes de Projeto	Largura das faixas de rolamento (m)			Largura dos acostamentos externos (m)		
	Relevo			Relevo		
	Plano	Ondulado	Montanhoso	Plano	Ondulado	Montanhoso
0	3,60	3,60	3,60	3,50	3,00	3,00
I	3,60	3,60	3,50	3,00	2,50	2,50
II	3,60	3,50	3,30	2,50	2,50	2,00
III	3,50	3,30	3,30	2,50	2,00	1,50
IV	A	3,00	3,00	3,00	1,30	0,80
	B	2,50	2,50	2,50	1,00	0,50

Fonte: DNER (1999).

Outras variáveis importantes no cálculo de uma via são os coeficientes de atrito longitudinal e transversal. O primeiro considera a eficiência no processo de frenagem do veículo, observando o atrito entre o pneu e o pavimento. Já o segundo, oferece uma resistência (atrito pneu/pavimento) contra o escorregamento do veículo quando este realiza uma curva. Seus valores estão expressos na Tabela 5.

Tabela 5 – Valores máximos admissíveis de coeficientes de atrito longitudinal em função da velocidade diretriz (f_L) e de atrito transversal em função da velocidade diretriz (f_T)

V (km/h)	30	40	50	60	70	80	90	100	110	120
f_L	0,40	0,37	0,35	0,33	0,31	0,30	0,29	0,28	0,28	0,27
f_T	0,20	0,18	0,16	0,15	0,15	0,14	0,14	0,13	0,12	0,11

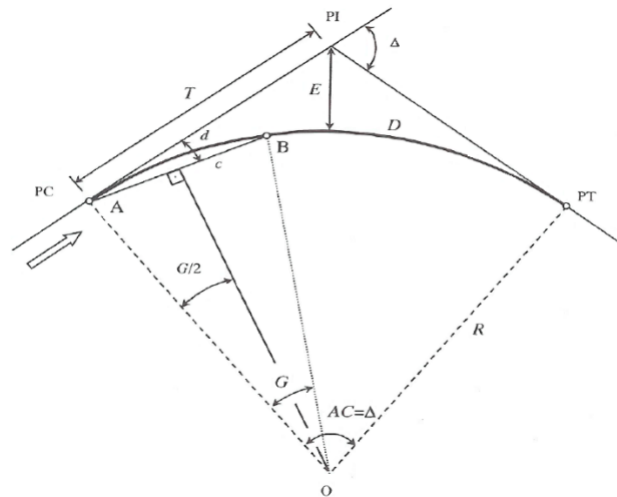
Fonte: DNER (1999).

2.3 Curvas Horizontais

2.3.1 Curvas Simples

O traçado em planta de uma via é constituído de trechos retos que se concordam por arcos de círculo, formando curvas horizontais simples. Estas curvas, por sua vez, devem garantir a estabilidade dos veículos e a visibilidade dos motoristas. A Figura 2 traz a representação dos elementos componentes da curva simples.

Figura 2 – Elementos da curva simples



Fonte: Pontes Filho (1998)

Como mostrado na Figura 2, a curva simples possui três pontos notáveis: ponto de início da curva (PC); ponto de tangência (PT) e ponto de interseção das tangentes (PI).

Para promover as condições de conforto e segurança dos usuários, são calculados raios mínimos para as curvas (Equação 1), nas condições limites de superelevação máxima, coeficiente de atrito máximo e utilizando a velocidade diretriz da pista.

$$R_{min} = \frac{V^2}{127 * (e_{max} + f_T)} \quad (1)$$

onde:

R = raio de curvatura mínimo, em m.

V = velocidade diretriz, em km/h.

e_{max} = superelevação máxima, em m/m.

f_T = coeficiente de atrito transversal.

Existem alguns elementos essenciais utilizados para o cálculo da posição das estacas de início e final da curva. Estes parâmetros se relacionam por meio de equações, as quais facilitam o cálculo e locação das curvas. A tangente (T) é calculada a partir da Equação 2, e o desenvolvimento da curva (D) pela Equação 3.

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

onde:

T = tangente (m).

R = raio de curvatura (m).

Δ = ângulo de deflexão (°).

$$D=\frac{\pi*R*\Delta}{180} \quad (3)$$

Assim, fazendo uso destes parâmetros, consegue-se calcular a posição das estacas PC e PT de acordo com as Equações 4 e 5.

$$PC=PI-T \quad (4)$$

$$PT=PC+D \quad (5)$$

2.3.2 Curvas de transição

As curvas horizontais de transição são elementos de raio variável utilizados na entrada e saída das curvas horizontais simples. Quando se passa da tangente diretamente para a curva, existe uma força centrífuga que tende a agir sobre o veículo tirando-o da pista. Além disso, para que a superelevação máxima seja atingida no início da curva, é preciso que haja um trecho anterior e posterior a ela que promova a variação de superelevação. Por isso, são previstas curvas de transição com o objetivo de amenizar a ação da força centrífuga devido à mudança de direção abrupta e ajustar a superelevação da pista. O modelo de transição mais utilizado é a clotóide ou espiral, que varia o raio de um valor infinito (tangente) até um valor finito da curva simples.

Para que a força centrífuga varie de forma gradual existe um valor de comprimento mínimo de transição que deve ser usado (Equação 6):

$$Ls_{min}=0,036*\frac{V^3}{R_c} \quad (6)$$

onde:

Lsmin = comprimento mínimo de transição (m).

Rc = raio da curva (m).

V = velocidade diretriz (km/h).

Assim como existe um valor mínimo, também deve ser considerado um valor máximo para a transição, o qual representa um trecho com curva simples nula ($D=0$). O comprimento de transição máximo (Ls_{max}) é calculado segundo a Equação 7:

$$Ls_{max} = \frac{R_c * \Delta * \pi}{180} \quad (7)$$

Por fim, não é recomendado utilizar o comprimento mínimo de transição, sendo usual calcular a média entre os valores mínimo e máximo, como representado na Equação 8:

$$Ls_{med} = \frac{Ls_{max} + Ls_{min}}{2} \quad (8)$$

2.4 Curvas verticais

As curvas verticais possuem finalidade de concordar as tangentes dos greides desenhados sobre o perfil longitudinal da via. Cada greide possui uma inclinação (i) que determinará se o trecho é ascendente (i positiva) ou descendente (i negativa). A partir da inclinação das rampas pode-se classificar as curvas em dois tipos: côncava ou convexa.

Assim como nas curvas horizontais, as verticais também possuem ponto de curva (PCV), ponto de interseção (PIV) e ponto de tangente (PTV). Normalmente, para o cálculo das curvas verticais adotam-se parábolas do 2º grau que são definidas pela taxa de variação da declividade longitudinal ou parâmetro de curvatura K . É recomendado utilizar parábolas simétricas em relação ao PIV, para que as distâncias de projeção do PCV e PTV até o PIV sejam sempre metade do comprimento da curva ($L/2$).

A parábola de 2º grau se aproxima muito de uma circunferência, por isso é usual determinar um raio para a curva vertical. A Equação 9 relaciona o comprimento da curva com o raio.

$$L = R_v * |g| \quad (9)$$

onde :

L = comprimento da curva vertical (m)

R_v = Raio da curva vertical (m)

$g = i_1 - i_2$, greide, em m/m

Contudo, a obtenção do raio da curva não é um procedimento simples. Por isso, a Equação 10 é mais utilizada para o cálculo do comprimento mínimo da curva vertical. Ela representa o critério do mínimo valor absoluto e considera que o motorista leva 2 segundos para perceber a mudança de declividade longitudinal da via.

$$L_{min} = 0,6 * V \quad (10)$$

onde:

L_{min} = comprimento mínimo da curva vertical (m).

V = velocidade diretriz (km/h).

Um dos critérios importantes a ser considerado no cálculo de curvas verticais é a distância de visibilidade de parada, que representa a distância mínima que um veículo precisa para parar antes de atingir um obstáculo, sendo calculada pela Equação 11:

$$D_p = 0,7V + \frac{V^2}{255*(f_L + i)} \quad (11)$$

onde:

D_p = distância de visibilidade de parada (m).

i = greide em m/m (+, se ascendente; -, se descendente).

V = velocidade de projeto ou de operação, em km/h.

f_L = coeficiente de atrito longitudinal pneu/pavimento.

Os comprimentos mínimos das curvas também devem satisfazer o critério de visibilidade a fim de garantir ao motorista uma frenagem segura. Este critério considera um motorista com campo de visão a 1,10 m do plano da pista e que enxergue um obstáculo na pista com 0,15 m de altura.

Para as curvas convexas, existem dois casos a serem considerados no cálculo do comprimento mínimo:

- ♦ Caso I: distância de visibilidade menor ou igual ao comprimento da curva ($D_p \leq L$), utiliza-se a Equação 12:

$$L_{min} = \frac{D_p^2}{412} * A = K_{min} * A \quad (12)$$

D_p = distância de visibilidade de parada, em m.

A = diferença algébrica das rampas, em %.

K = parâmetro da parábola, em m.

- ♦ Caso II: distância de visibilidade maior que o comprimento da curva ($D_p > L$), utiliza-se a Equação 13:

$$L_{min} = 2D_p - \frac{412}{A} \quad (13)$$

As curvas côncavas geralmente não apresentam problemas com visibilidade durante o dia, mas o critério se aplica para viagens noturnas. São dois casos a serem considerados:

- ♦ Caso I: distância de visibilidade menor ou igual ao comprimento da curva ($D_p \leq L$), utiliza-se a Equação 14:

$$L_{min} = \frac{D_p^2}{122 + 3,5D_p} * A = K_{min} * A \quad (14)$$

- ♦ Caso II: distância de visibilidade maior que o comprimento da curva ($D_p > L$), utiliza-se a Equação 15:

$$L_{min} = 2D_p - \frac{122 + 0,0175D_p}{A} \quad (15)$$

Para facilitar os cálculos, os valores de L_{min} são arredondados para múltiplos de 20 metros. É importante ressaltar que valores de L muito pequenos não devem ser adotados. Neste caso, utiliza-se o maior dos comprimentos calculados dentre os critérios do mínimo valor absoluto e da visibilidade.

2.5 QGIS

Como o QGIS é um *software* livre e gratuito, seu *download* foi realizado pelo site “qgis.com”.

Utilizando como referência para construção do traçado fez-se o *download*, no site do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), da carta topográfica do município de São Gotardo/MG (Escala 1:100.000) que compreende a região determinada para o estudo. Contudo, as cartas do IBGE possuem o *datum* de referência Córrego Alegre e o oficialmente utilizado no Brasil é o SIRGAS 2000, por isso foi necessário transformar o sistema de referência. Não foi realizada nenhuma medição em campo.

Posteriormente, adicionou-se ao *software* QGIS uma imagem *raster* (formato *tiff*) das curvas de nível da carta do IBGE com as informações das cotas do terreno. Estes dados de elevação aliados aos dados da carta do IBGE, possibilitaram gerar o Modelo Digital do Terreno (MDT) da região.

O complemento *Open Layers Plugin* do QGIS possibilitou o acesso à imagem de satélite do Google a qual serviu de base para desenhar o traçado de estudo seguindo a estrada já existente. A partir do traçado horizontal e do MDT, utilizou-se o complemento *Terrain Profile* para gerar o perfil longitudinal da rodovia.

Utilizando o *plugin* *QChainage* foi possível inserir vetor de pontos espaçados de 20 em 20 metros sobre a linha do traçado, representando o estaqueamento da via. Os pontos intermediários de curva, localizados nos vértices do traçado, foram inseridos utilizando o comando “extrair nós”. Através da calculadora de campo da Tabela de Atributos do *software* QGIS, obteve-se as coordenadas dos pontos.

O cálculo das curvas horizontais foi realizado no *software* Excel, seguindo as normas do DNER já mencionadas. Para a realização destes cálculos, dividiu-se o traçado em sete trechos, delimitados pelos vértices da linha. Obteve-se então, a elevação dos pontos inicial e final de cada trecho a partir do complemento *Point Sampling Tool*. Assim, a inclinação (relevo) dos trechos foi determinada, o que possibilitou a obtenção dos parâmetros para calcular as seis curvas. Além disso, alocou-se no traçado os Pontos de Curva e Pontos de Tangência utilizando o *QChainage*. Para desenhar as curvas no QGIS, foi preciso utilizar a ferramenta de edição do vetor linha e inserir curvas com raios.

2.6 AutoCAD Civil 3D

A partir das ferramentas do software foi possível inserir o MDT que foi gerado no QGIS, criar os alinhamentos horizontal e vertical, seções transversais e ainda realizar o estudo de terraplanagem.

Para obter o *software* foi necessário baixar a licença para estudantes no site da Autodesk.

3 Resultados

3.1 Parâmetros do projeto

A via estudada se caracteriza por receber um pequeno fluxo de veículos com destino aos povoados ou áreas rurais da região. Por isso, foi considerado um tráfego médio diário de 50 a 200 veículos, o que enquadra o projeto na Classe IV-A de rodovias.

O relevo da região se classifica como plano quando analisado em relação aos pontos inicial e final do traçado. Porém cada trecho recebeu uma classificação individual também resultando em relevo plano, exceto o trecho 6 que apresentou inclinação de 17,51%, sendo então, ondulado. A Tabela 6 traz as informações sobre o relevo dos trechos.

Tabela 6 – Classificação do relevo dos trechos

Trecho	Cota Inicial (m)	Cota final (m)	Distância (m)	Inclinação (%)	Terreno
1	1101,98	1103,47	217,15	0,69	Plano
2	1103,47	1103,75	715,48	0,04	Plano
3	1103,75	1102,66	1280,07	-0,09	Plano
4	1102,66	1196,82	3874,37	2,43	Plano
5	1196,82	1192,12	1760,27	-0,27	Plano
6	1192,12	1104,84	498,59	-17,51	Ondulado
7	1104,84	1112,82	840,83	0,95	Plano
Distância total do traçado (m):			9186,76		

Conhecidos o relevo e a classe de projeto, determinou-se a velocidade diretriz, de acordo com a Tabela 1. Os trechos de relevo plano, resultaram em uma velocidade de 80 km/h, já o trecho com relevo ondulado apresentou velocidade de 60 km/h.

Neste estudo, considerou-se a superelevação máxima de 8%, pois este valor é o recomendado para rodovias de Classe IV segundo o DNER (Tabela 2).

Para a seção transversal do projeto, foi escolhida uma largura de pista igual a 3 metros e acostamento de 1,30 metros, sendo esses parâmetros baseados na Tabela 4. Ainda, foi considerado um abaulamento das pistas de 2% para promover a drenagem das águas pluviais.

Por fim, os coeficientes de atrito adotados foram:

- ♦ Coeficiente de atrito longitudinal (f L): 0,30 (Tabela 5).
- ♦ Coeficiente de atrito transversal (f T): 0,14 para v=80km/h e 0,15 para v=60km/h (Tabela 5).

Os ângulos de deflexão devido à mudança de direção dos trechos do traçado estão representados na Tabela 7.

Tabela 7 – Ângulos de deflexão

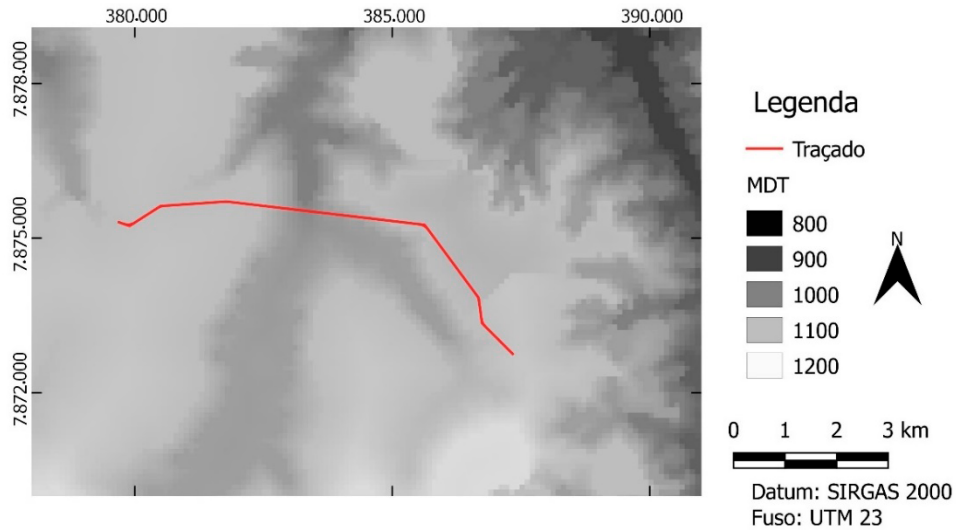
Curvas	Deflexões	
	Graus	Radianos
C1	51,70	0,90
C2	28,60	0,50
C3	10,60	0,19
C4	46,80	0,82
C5	28,80	0,50
C6	37,30	0,65

3.2 QGIS

O primeiro resultado obtido através do uso das ferramentas do QGIS foi o MDT mostrado na Figura 3. A partir dele extraiu-se as cotas do pontos pertencentes ao traçado e assim, determinar a inclinação dos trechos, como já menciono anteriormente.

Com os parâmetros de cálculo definidos, os raios mínimos de curvatura puderam ser calculados segundo a Equação 1. A Tabela 8 traz os valores de raio arredondados para cima a fim de evitar o uso do mínimo limite. Já a Tabela 9 mostra a posição no traçado dos Pontos de Curva e Pontos de Tangente das curvas cujas localizações foram calculadas pelas Equações 4 e 5.

Figura 3 – Modelo Digital do Terreno gerado no QGIS



Como resultado no QGIS, foi feito o traçado do alinhamento horizontal e a partir do dados de início e fim das curvas e dos raios mínimos adotados para cada uma, foi possível desenhar as curvas simples como exemplificado na Figura 4. A linha representa o traçado com curvas e os pontos são os PCs e PVs. Para melhor visualização, ampliou-se uma das curvas (curva 4).

Figura 4 – Traçado contendo as curvas simples desenhadas no QGIS e detalhe da curva

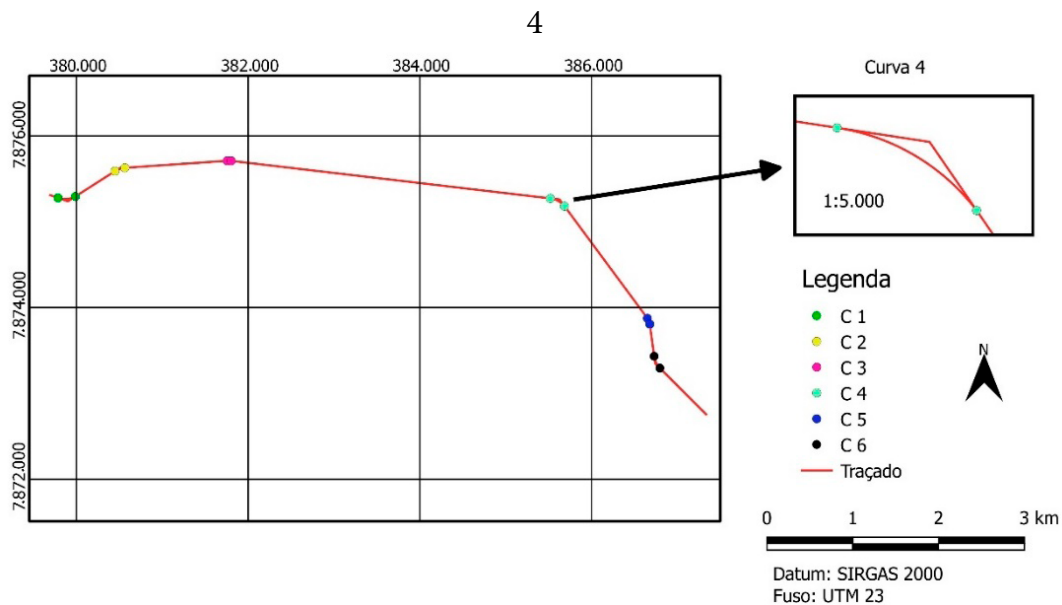


Tabela 8 – Raios mínimos calculados

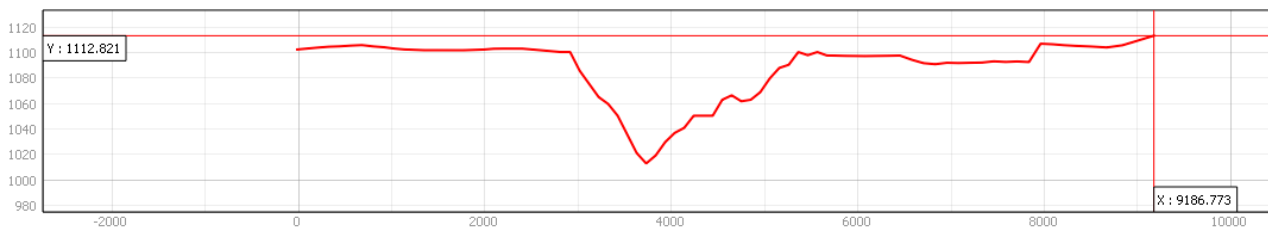
Curvas	V (Km/h)	f	e	Raio mín. (m)	Raio Adotado (m)
C ₁ , C ₂ , C ₃ , C ₄ e C ₆	80	0,14	0,08	229,06	250
C ₅	60	0,15	0,08	123,25	150

Tabela 9 – Cálculo da posição dos PCs e PTs ao longo do traçado

	C_1	C_2	C_3	C_4	C_5	C_6
PI (m)	217,15	932,63	2212,70	6087,07	7847,34	8345,93
T (m)	121,12	63,72	23,19	108,18	38,51	84,38
D (m)	225,58	124,79	46,25	204,20	75,40	162,75
PC (m)	96,03	868,91	2189,51	5978,88	7808,82	8261,55
PT (m)	321,61	993,70	2235,76	6183,09	7884,22	8424,30

Utilizando o MDT e o alinhamento horizontal, foi utilizado o complemento *Terrain Profile* para gerar o perfil longitudinal (Figura 5).

Figura 5 – Perfil Longitudinal gerado pelo complemento *Terrain Profile* do QGIS



3.3 Civil 3D

Inseriu-se no software os dados de raios mínimos das curvas horizontais já determinados anteriormente, além dos comprimentos calculados para as curvas de transição (Tabela 10). Contudo, na curva 5 não foi necessário utilizar uma transição pois se trata de uma curva bem aberta e suave.

No cálculo das curvas verticais foram obtidas 10 curvas. Em diversos locais as rampas ultrapassaram o limite estabelecido pelo DNER (Tabela 3) porque o trecho apresentava grande inclinação.

Tabela 10 – Comprimentos das curvas de transição

Curvas	Lsmin (m)	Lsmax (m)	Ls (m)	Ls Adotado (m)
C_1	73,73	225,58	149,66	150,00
C_2	73,73	124,79	99,26	100,00
C_3	73,73	46,25	59,99	75,00
C_4	73,73	204,20	138,97	140,00
C_5	51,84	75,40	63,62	65,00
C_6	73,73	162,75	118,24	120,00

Por fim, foi possível gerar os alinhamentos horizontal e vertical, seções transversais e um relatório de volumes de terra movimentada a partir do Civil 3D, tentando-se ao máximo compensar a quantidade de cortes e aterros a serem feitos no projeto.

Quanto às funções desempenhadas pelos *softwares* QGIS e Civil 3D no que se refere a projeto geométrico de estradas, foi realizado um comparativo com o objetivo

de analisar quais partes de um projeto cada *software* consegue processar com suas ferramentas. A Tabela 11 detalha as funções que foram consideradas nesse estudo e utiliza as siglas S (Sim) e N (Não) para avaliar a capacidade do *software* no cálculo de uma rodovia.

Estes resultados mostram que o QGIS é um *software* com poucas ferramentas disponíveis para o desenvolvimento de um projeto de estradas, já que realiza apenas 5 das 13 funções consideradas. Entretanto, o Quantum GIS facilita o desenvolvimento do projeto geométrico, pois permite a análise do relevo e a integração de diversas informações que devem ser consideradas no mesmo. O Civil 3D, por sua vez, permitiu desempenhar todas as 13 funções analisadas, sendo portando, um *software* completo para o uso em projetos de rodovias.

Tabela 11 – Análise das funções possíveis de serem desenvolvidas pelos softwares estudados

Funções	QGIS	Civil 3D
Geração do MDT, inserção de dados de elevação do terreno, alinhamento horizontal, curvas simples, perfil longitudinal	Sim	Sim
Curvas com transição, alinhamento vertical, curvas verticais, seção tipo, seção transversal, cálculo de volumes, cálculo de materiais, diagrama de Bruckner	Não	Sim

4 Conclusão

Constatou-se que o *software* Quantum GIS não possui potencial para calcular um projeto geométrico de estradas na sua totalidade. Todavia, através do desenvolvimento de novos complementos e *plugins* para o *software*, esse panorama pode ser mudado.

Além disso, as ferramentas do QGIS que possibilitam calcular alguma etapa do projeto, como por exemplo a construção de curvas, ainda se mostram muito rudimentares considerando que para realizar uma única etapa é preciso fazer uso de diversas ferramentas e desenhar as feições à mão.

O *software* AutoCAD Civil 3D se mostrou uma excelente plataforma para a realização de um projeto geométrico, já que permite realizar todas as etapas do projeto, possui ferramentas de visualização em 3D e ainda promove a compatibilização de todo o projeto.

Finalmente, é válido lembrar que o trabalho se baseou em dados cartográficos e não foi realizada nenhuma medição em campo, portanto os resultados obtidos, para serem aplicados, devem ser aferidos por meio de levantamento em campo.

Referências bibliográficas

- CARRÃO, E. V. M. *Repensar a Informática Educativa: construção de um dispositivo para dar vez e voz aos professores na utilização de softwares educacionais*. Tese de Doutorado. Universidade do Minho, Portugal, 2006. Disponível em: <https://repositorium.sdum.uminho.pt/bitstream/1822/5547/3/Tese%20-%20Repensar%20a%20Inform%C3%A1tica%20Educativa.pdf>. Acesso em: 13 maio 2017.
- DNER. *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, Divisão de Capacitação Tecnológica. Rio de Janeiro, 1999.
- FIGUEIREDO, A. V. S.; SANTOS, D. D.; TOMIMORI, E. M.; SILVA, F. C.; MIRANDA, I. T. P. Softwares Livres: Vantagens. *Maringá management - Revista de Ciências Empresariais*, Maringá, v. 2, n. 1, p. 26-33, 2005.
- GUERRA, J. H. L. *Utilização do computador no processo de ensino-aprendizagem: Uma aplicação em planejamento e controle da produção*. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, 2000. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18140/tde-29032001-151920/en.php>. Acesso em: 13 maio 2017.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. *Carta topográfica da região de São Gotardo, Minas Gerais, Brasil*. Rio de Janeiro, 1970. Carta Topográfica. Escala 1:100.000.
- LIMA, M. L. P. Notas de Aula - Projeto de Estradas. In: LIMA, M. L. P. *Características Técnicas para Projetos de Estradas de Rodagem*. Rio Grande/RS, 2004, cap. 6, p. 62-66.
- PONTES FILHO, Glauco. *Estradas de Rodagem - Projeto Geométrico*. USP, São Carlos, 1998.
- REIS, Gisélia Pinheiro dos. *Cartografia temática aplicada à análise ambiental do município de Juquitiba-SP*. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo, 2016. Disponível em: <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8136/tde-08032017-141834/en.php>. Acesso em: 09 abr. 2017.
- SENÇO, Wlastermiller de. *Manual de Técnicas de Projetos Rodoviários*. 1 ed. São Paulo: Editora PINI, 2008. ISBN 978-85-7266-197-3.