



DOI: 10.31416/rsdv.v12i3.1072

Utilização de dados de satélite para elaboração de projeto geométrico preliminar de uma rodovia vicinal

Use of satellite data for the development of preliminary geometric design of a local road

SOUSA, Mirella Alves. Graduação em Engenharia Civil

Universidade Federal do Maranhão - Cidade Universitária Dom Delegado. Av. dos Portugueses, 1966 - Vila Bacanga - São Luís - Maranhão - Brasil. CEP: 65080-805
Telefone: (98) 3272-8200 / E-mail: mirella.alves@discente.ufma.br

MOURA, Lyneker Souza. Doutorado em Engenharia Civil

Universidade Federal de Pernambuco - Campus Recife. Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE, 50670-901
Telefone: (81) 2126-8000 / E-mail: lyneker.moura@ufpe.br

DANTAS, Wedson Luís dos Reis. Graduação em Engenharia Civil

Universidade Federal de Pernambuco - Campus Recife. Av. Prof. Moraes Rego, 1235 - Cidade Universitária, Recife - PE, 50670-901
Telefone: (83) 99821.1595 / E-mail: wedson.luis@ufpe.br

RESUMO

O transporte rodoviário caracteriza-se como essencial para impulsionar o avanço da economia do país, entretanto, a aquisição de dados para elaboração de projetos preliminares ainda é dispendiosa e pode ter um custo considerável, sobretudo em regiões interioranas. Sendo assim, visando no potencial de desenvolvimento apresentado pela cidade de Fortuna, no estado do Maranhão, e a ausência de levantamentos específicos, o presente estudo tem por objetivo realizar o projeto geométrico de um trecho da rodovia vicinal de ligação da cidade de Fortuna - MA, ao povoado São José, no mesmo município. A aquisição de dados topográficos para o estudo da região foi extraída de imagens SRTM, com o auxílio do software livre QGIS, e todo o projeto geométrico desenvolvido através da aplicação AutoCAD Civil 3D. Os resultados evidenciaram a viabilidade da metodologia para a realização do projeto geométrico de caráter preliminar, por intermédio de ferramentas remotas, contribuindo para análise de viabilidade de projetos em locais com potencial de desenvolvimento. No entanto, vale ressaltar que foram identificadas limitações das imagens SRTM em projetos de alta precisão. A abordagem sistematizada revela-se promissora nos projetos preliminares, com um forte potencial de aplicação em diversas localidades.

Palavras-chave: SRTM; Curvas de concordância; Seções transversais; Topografia.

ABSTRACT

The road transport system is essential for driving the country's economic progress; however, acquiring data for preliminary project development is still costly and can have a considerable expense, especially in rural areas. Therefore, aiming at the development potential presented by the city of Fortuna in the state of Maranhão and the lack of specific surveys, this study aims to carry out the geometric design of a section of the local road connecting Fortuna-MA to the São José village in the same municipality. Topographic data for the region study was extracted from SRTM images, with the



assistance of the open-source software QGIS, and the entire geometric design project was developed using AutoCAD Civil 3D. The results highlighted the feasibility of the methodology for conducting preliminary geometric design projects through remote tools, contributing to the feasibility analysis of projects in areas with development potential. However, the identified limitations of SRTM images in high-precision projects are worth noting. The systematic approach proves promising in preliminary projects, with a strong potential for application in various locations.

Keywords: SRTM; Concordance curves; Cross sections; Topography.

Introdução

O setor de transporte está intrinsecamente ligado ao progresso de uma nação, ao oferecer acessibilidade e mobilidade entre mercadorias e pessoas, ressaltando, assim, seu grau de importância para impulsionar o avanço da economia em variados setores de um país (COLAVITE; KONISHI, 2015). As rodovias brasileiras são essenciais para o aquecimento da economia do país, uma vez que o fluxo do transporte das cargas segue o sentido Norte-Sul, em que as regiões Norte, Centro-Oeste e Nordeste fornecem uma vasta gama de insumos para o abastecimento das indústrias de manufatura do Sudeste e Sul. Contudo, apesar de absorver uma significativa parcela dos investimentos do país em infraestrutura, esse sistema ainda possui muitas deficiências (MARQUES; FARIA FILHO, 2021).

A evolução das estradas de rodagem para o estágio que apresenta no momento atual foi determinada por dois princípios: a precisão de deslocamentos frequentes entre dois pontos, o que requisitava a sua construção; e o carência da possibilidade de passagem o ano inteiro, gerando a necessidade do seu revestimento (SENÇO, 2008). Dentre as vias existentes, as estradas rurais são primordiais para o fluxo de bens e serviços de comunidades, contribuem para o avanço econômico e social dos povoados atendidos e assim se definem como um imprescindível agente gerador de crescimento (BAESSO; GONÇALVES, 2003 apud RAMIREZ, 2017).

As rodovias vicinais são caracterizadas como estradas locais destinadas ao acesso a propriedades lindeiras ou até mesmo caminho que interliga povoações próximas (DNIT, 2007). Em sua maioria, a estrutura mais comum por onde se inicia a construção destas vias é a de caminhos sem forma geométrica definida, estabelecida pela rotina de uso dos habitantes de uma região, além disso, caracteriza-se por apresentar pouco investimento em equipamentos complementares, tais como drenagem ou revestimentos (FREITAS, 2000).

A geometria de uma rodovia é formada por um conjunto de levantamentos, estudos, soluções técnicas, cálculos e diversos outros elementos que se inter-relacionam, a fim de garantir a viabilidade técnica, econômica e social ao final de execução do produto (PEREIRA *et al.*, 2010). O projeto geométrico de uma estrada é entendido como o processo que correlaciona os seus elementos físicos com as características de operação, frenagem, aceleração, condições de segurança e conforto do usuário. Além disso, sua composição engloba as fases de reconhecimento, exploração e projeto (PONTES FILHO, 1998).

Dentre as etapas preliminares do projeto de uma rodovia, a geração de possíveis traçados, compatibilização dos alinhamentos horizontal e vertical e definição do traçado preliminar demandam um alto consumo de tempo do projetista, assim, as ferramentas computacionais são grandes aliadas (SOUZA, 2018). A rodovia MA-362, com início na BR-135, no Povoado Baixão Grande, e limite final em Senador Alexandre Costa, ao encontrar-se com a BR-226, caracteriza-se dentro



do município de Fortuna-MA como a principal via de tráfego para o acesso da população rural até a zona urbana, bem como para o escoamento da produção agrícola e pecuária local. Seu trecho que liga a cidade de Fortuna ao seu maior povoado, São José, possui aproximadamente 8 km, sem pavimentação em sua extensão. Recentemente, dentro desse percurso houve o início do aumento do fluxo de transporte devido aos trabalhos realizados pela empresa Eneva, ao instalar a planta que faz parte do campo Gavião Belo de produção de gás natural às margens da rodovia.

Nesse contexto, seguindo todos estes aspectos e impulsionado pela importância da qualidade de uma via de transporte para a segurança e bem-estar da população, além da sua contribuição no desenvolvimento econômico de uma cidade, o presente estudo visa elaborar o projeto geométrico preliminar de um trecho da estrada vicinal que liga a cidade de Fortuna-MA ao povoado São José, no mesmo município. A realização do estudo por meio do software livre QGIS e AutoCAD Civil 3D permite a possibilidade de explorar os diversos meios de acesso à informação de forma remota, para a otimização e qualidade do produto final, além de ser apresentada de forma sistemática neste trabalho.

Metodologia

Aquisição de dados

Conforme Pontes Filho (1998), a fase de reconhecimento de um projeto geométrico de uma rodovia possui como objetivo principal realizar o levantamento e análise dos dados importantes da região para a definição do traçado da estrada. Para Lee (2008), essa fase objetiva definir a forma global e a conformação do terreno por meio do estudo topológico, indicando planimétrica e altimetricamente os acidentes geográficos.

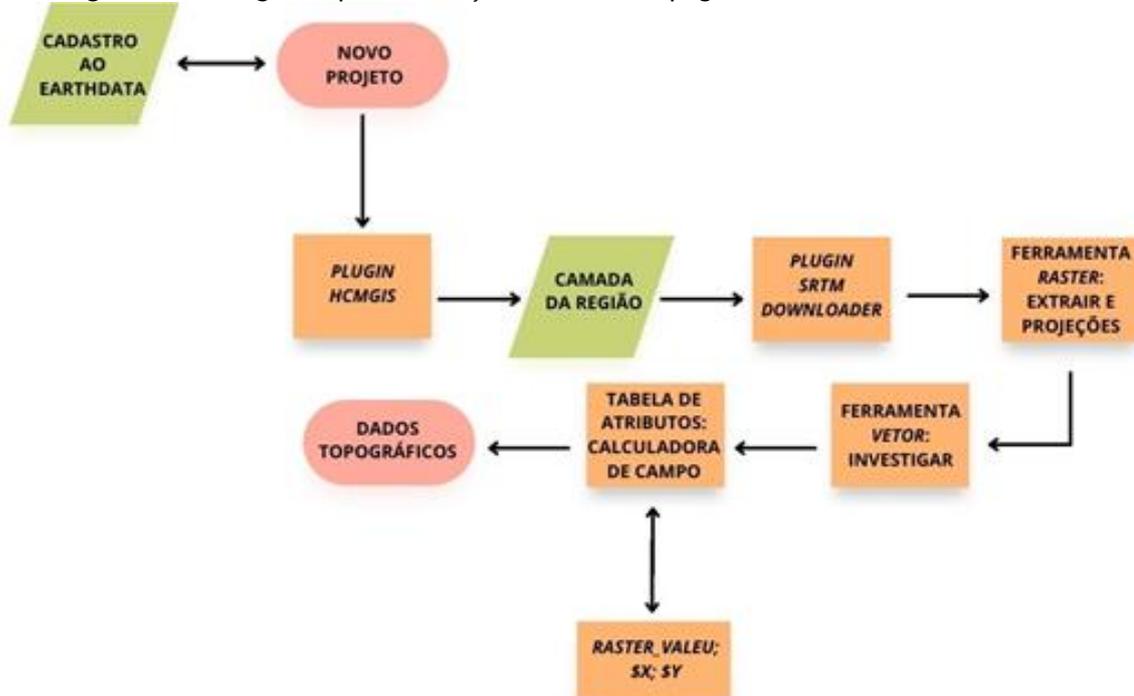
No ano de 2003 foram disponibilizados pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) dados topográficos SRTM para América do Sul, provenientes do trabalho realizado em conjunto com a *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA), o Departamento de Defesa dos Estados Unidos (DoD) e as agências espaciais da Alemanha (DLR) e Itália (ASI), com o propósito de elaboração de um Modelo Digital de Elevação (MDE) das terras continentais com abrangência mundial (RABUS *et al.*, 2003). Consoante Valeriano (2008), MDEs são arquivos que detêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel.

Para o levantamento topográfico da área em estudo foram utilizadas imagens SRTM fornecidas pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (*U.S.G.S. - United States of Geological Survey*). O fluxograma da Figura 1 apresenta os procedimentos executados para obtenção dos dados topográficos por intermédio do software QGIS.

De acordo com Lourenço *et al.* (2022), o complemento HCMGIS fornece imagens via satélite diretamente do *Google Maps*, acompanhando as datas de atualização de imagem desse serviço. Mediante este *plugin*, foi possível observar a área objeto de análises dentro da interface do programa, ao inserir a camada da região de estudo extraída do *Google Earth* e aproximá-la. Em conjunto com o “*SRTM-Downloader*”, foi obtida a imagem SRTM referente às dimensões expostas na interface da aplicação, uma vez que este complemento permite o acesso de arquivos com dados de elevação dentro da interface do QGIS, após o cadastro ao site

Earthdata (NASA) para acesso aos conjuntos de dados fornecidos pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (RÚA; BRIGHT, 2020).

Figura 1 - Fluxograma para obtenção dos dados topográficos no QGIS



Fonte: Autoria Própria

Sequencialmente, foi realizado o recorte do SRTM e utilização do Sistema de Coordenadas Geográficas DATUM WGS 84 para o Sistema UTM DATUM SIRGAS 2000, com o uso da ferramenta *Raster*. A modificação foi realizada por meio da extensão do software AutoCAD Civil 3D, utilizado na elaboração do projeto geométrico, aplicando o modelo de projeção UTM no Sistema Geodésico de Referência SIRGAS 2000 (BUSNELLO; CONTE, 2015).

Após ajuste do MDE obtido, gerou-se uma camada de pontos aleatórios sobre sua extensão, por meio da ferramenta investigar, e atribuído a eles informações referentes a latitude, longitude e altitude dentro da tabela de atributos do *shapefile* de pontos. Esses dados associados foram obtidos mediante as funções “\$x”, “\$y” e “*raster_value*”, estabelecidas dentro da calculadora de campo (recurso presente na tabela de atributos), que retornaram a latitude, longitude e o valor *raster* de elevação ao ponto fornecido, respectivamente. Para uso destas informações na elaboração do projeto geométrico, fez-se necessária a exportação desses pontos e seus dados topográficos para o programa Excel, para substituição do separador decimal (que na interface do QGIS é composto por vírgula, e o Civil 3D reconhece-se por ponto), e em seguida armazená-los em um arquivo “.txt”.

Critérios para o projeto geométrico

A determinação da classe de uma rodovia é imprescindível para o alcance dos objetivos de sua natureza técnica. De acordo com o Departamento Nacional de Estradas de Rodagem - DNER (1999), para fins de execução de projetos, a classificação deve estar atrelada com o nível de qualidade dos serviços que a rodovia se dispõe a fornecer, promovendo os meios físicos indispensáveis para que os volumes



de tráfego previstos executem com economia, conforto e segurança o percurso. Ainda segundo DNER (1999), os principais critérios para atribuir a classe de uma rodovia são: a posição hierárquica dentro da classificação funcional, o volume médio diário de tráfego (VMD), o nível de serviço e outros fatores condicionantes.

Por se tratar de um projeto preliminar, não houve para este estudo a determinação do volume médio diário de tráfego (VMD). Contudo, foram empregados os parâmetros de projeto de rodovias de Classe II considerando o potencial de crescimento do fluxo de veículos apresentado pela região.

Para classificação quanto aos aspectos topográficos, conforme antiga norma ferroviária, estabelecia-se sua categorização em termos da inclinação horizontal, seguindo os critérios: plano para igual ou inferior a 8%; ondulado para o intervalo de 8% e 20% e por fim, montanhoso quando apresentar-se acima de 20% (ANTAS *et al.*, 2010). Atrelado a isso, as informações técnicas do projeto foram estabelecidas de acordo com a classificação adotada e as características apresentadas pelo terreno. Assim, com base no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais do DNER (1999), foram adotados os seguintes parâmetros apresentados no Quadro 1 para elaboração do projeto geométrico.

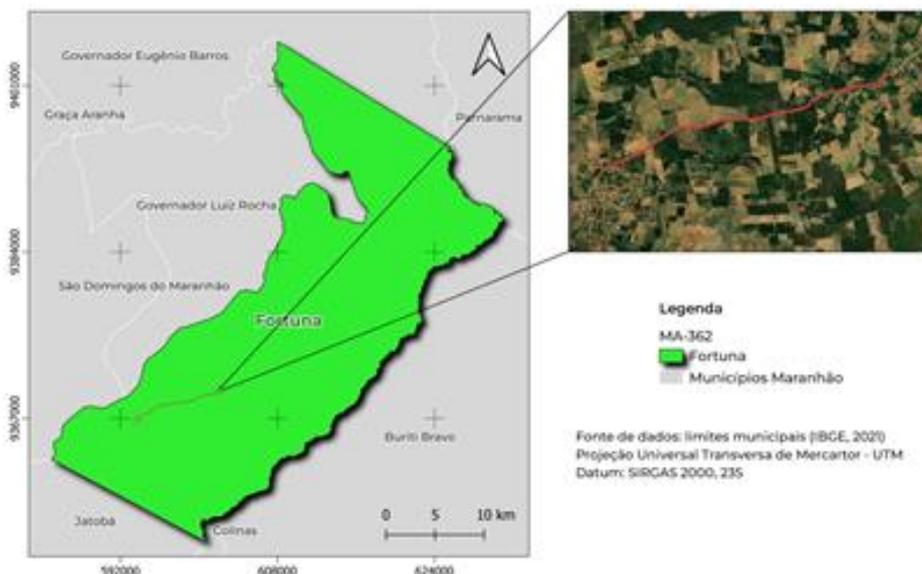
Quadro 1 - Descrição do quadro

Atividades	Valor Atribuído
Velocidade diretriz (km/h)	100
Raio Mínimo de Curva Horizontal (m)	375
Taxa de Superelevação Máxima	8%
Rampa Máxima	3%
Valor k para Curvas Convexas (m/%)	107
Valor k para Curvas Côncavas (m/%)	52
Largura da Faixa de Trânsito (m)	3,60
Largura do Acostamento Externo (m)	2,50

Fonte: Adaptado de (DNER, 1999)

Traçado

O trecho da rodovia vicinal MA-362, ilustrado na Figura 2 no traçado vermelho em destaque, foi tomado como diretriz para a definição do alinhamento na elaboração do projeto geométrico. Este trecho abrange aproximadamente 8 km e liga a cidade de Fortuna-MA ao povoado São José, no mesmo município. A vicinal já existente abrange uma região com curvas verticais e horizontais, objetos pertinentes para o desenvolvimento do projeto geométrico de uma rodovia, além de atuar na rota para escoamento da produção agrícola da região.

Figura 2 - Mapa de localização do trecho da Rodovia MA-362

Fonte: Autoria Própria

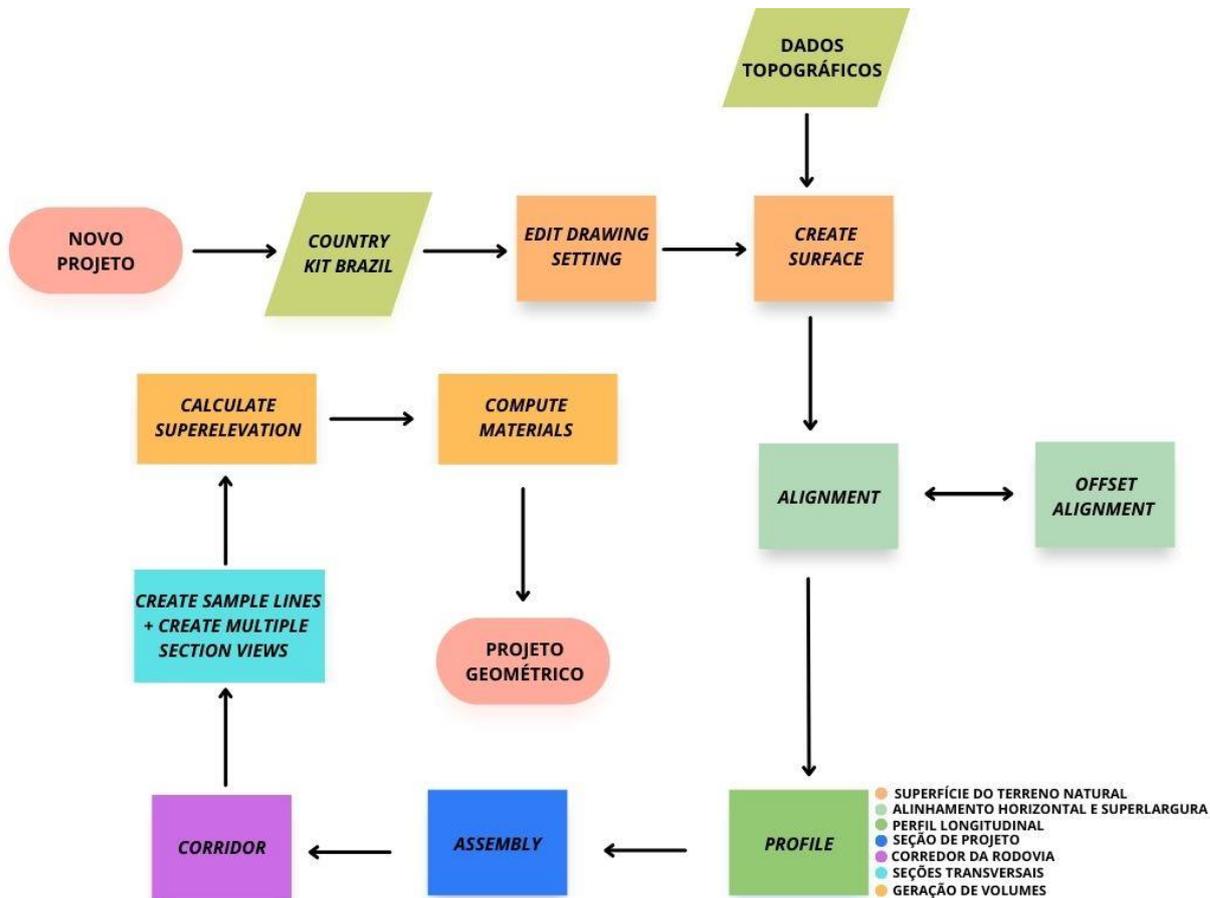
Projeto geométrico

O desenvolvimento do projeto geométrico do objeto de estudo foi idealizado por meio da aplicação AutoCAD Civil 3D versão de 2021. Este *software* possui ferramentas de projeto que garantem a funcionalidade para obtenção de perfis topográficos, elaboração de alinhamentos e representação de seções transversais, além disso, apresenta extensões denominadas *Country Kits*, com formas de documentação e fórmulas para a validação de projetos de estradas, que tomam por base manuais das principais agências de transportes do país (MIRANDA, 2019). Com esse complemento obtido no site da Autodesk, pode-se elaborar este projeto com o padrão adotado no Brasil. Em geral, o fluxograma ilustrado na Figura 3 apresenta a sequência realizada para desenvolvimento do projeto geométrico no Civil 3D.

Com o intuito de garantir a coerência dos dados topográficos importados à interface do Civil 3D e prosseguir com as etapas subsequentes, foi necessária a definição do sistema de coordenadas para a área de estudo mediante a ferramenta *Edit Drawing Setting*, definindo o sistema de coordenadas indicado na aquisição de dados (UTM DATUM SIRGAS 2000) e a localidade objeto de estudo associada à zona 23S.

Para criação da superfície representativa do terreno natural, realizou-se o carregamento da nuvem de pontos “.txt” contendo os dados topográficos coletados e seguiu-se para o uso da ferramenta *Create Surface*, onde foram geradas as curvas de níveis para o estudo. Segundo Autodesk (2023), o Civil 3D conecta os pontos da superfície que estão próximas entre si e a elevação de qualquer ponto da superfície é definida por interpolação às elevações dos vértices dos triângulos que compõem a triangulação da superfície.

A partir do traçado definido com base na vicinal existente, por meio da ferramenta *Alignment*, foram definidos os PIs ao longo do trecho, onde buscou-se posicionar as tangentes ao longo do eixo da estrada, de forma a acompanhar o contorno existente da via.

Figura 3 - Fluxograma para desenvolvimento do projeto geométrico no Civil 3D

Fonte: Autoria Própria

Após definido o alinhamento, o *software* em uso permitiu a geração das curvas e seus raios mínimos calculados para escolha da melhor conformação. Consoante DNER (1999), os raios mínimos de curvatura horizontal são os menores raios das curvas que podem ser transitadas com a velocidade diretriz e a taxa máxima de super elevação, onde assegura-se as condições de segurança e conforto para o usuário. De posse do alinhamento definido, por intermédio do *Offset Alignment*, foi estabelecida a quantidade de faixas e sua largura, bem como o veículo de projeto para definição da super largura.

Para representar as elevações da superfície ao longo do traçado horizontal da rodovia, foi desenvolvido, por intermédio da ferramenta *Profile*, o perfil longitudinal do terreno natural, bem como o do projeto proposto. As implementações das rampas verticais dentro do *software* necessárias ao projeto seguiram os critérios estabelecidos pelo parâmetro *k* e taxa de rampa máxima referentes à classe da rodovia, conforme os valores fornecidos pelo DNER (1999).

Por meio da ferramenta *Assembly* foi desenvolvida a seção de projeto para a rodovia, onde sua montagem foi realizada a partir da conexão de individuais *Subassembly*. Esse elemento contribui para a simulação da geometria e materiais que compõem a estrada (RAJI *et al.*, 2017). Conforme Prasanna (2022), ao aplicar a *Assembly* desenvolvida ao longo do alinhamento vertical e horizontal criados e a combinação das informações fornecidas por esses elementos resulta na criação do



corredor da rodovia. Com o uso da ferramenta *Corridor* foi desenvolvido este elemento.

As seções transversais foram geradas por intermédio da ferramenta *Create Sample Lines* e plotadas pelo uso da ferramenta *Create Multiple Section Views*. Foi considerado para o espaçamento na criação das seções o estaqueamento da estrada, bem como seus pontos geométricos.

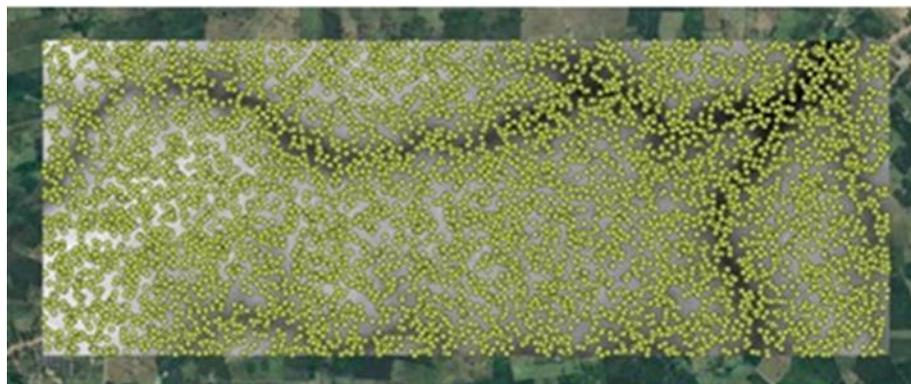
Por fim, ao realizar o ajuste da superelevação com o uso recurso *Calculate Superelevation* ao longo do corredor da rodovia projetada, foi possível desenvolver o cálculo dos materiais de corte e aterro por intermédio da ferramenta *Compute Materials*. Ao final, com a funcionalidade do complemento *Country Kits for Brazil*, obteve-se o relatório de volumes para terraplanagem, finalizando o desenvolvimento do projeto geométrico da rodovia.

Resultados e Discussão

Geração da superfície do terreno natural

No processo de aquisição dos pontos com dados topográficos no *software* QGIS, por intermédio do Modelo Digital do Terreno (MDT) delimitado para a área de estudo fornecido através do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*U.S.G.S. - United States of Geological Survey*), foram obtidos 7000 pontos distribuídos ao longo da sua extensão, conforme evidenciado na Figura 4.

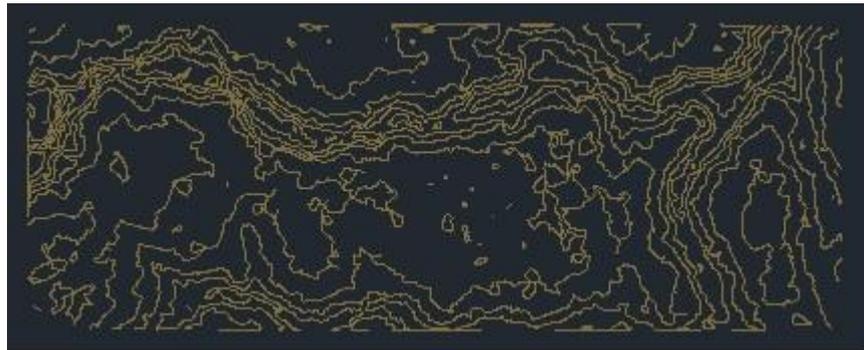
Figura 4 - Distribuição dos pontos coletados



Fonte: Autoria Própria

De acordo com Silva, Rangel e Campos (2020), os MDTs obtidos diante de dados concedidos por órgãos públicos, para fins de levantamentos altimétricos, fornecem informações verazes quanto à realidade da rodovia. Contudo, os autores indicam seu uso apenas em situação que não se necessite um alto nível de precisão, como projetos básicos e levantamentos expeditos.

De posse dos dados topográficos, realizou-se a criação da superfície natural do terreno no AutoCAD Civil 3D mediante a importação do arquivo “.txt” com as informações espaciais. As curvas de nível da superfície possuem uma variação de equidistância 1 a 5 metros (Figura 5).

Figura 5 - Curvas de nível das elevações

Fonte: Autoria Própria

Alinhamento horizontal

Um dos grandes desafios no projeto geométrico de uma rodovia consiste na adequação do traçado ao terreno respeitando-se as condições técnicas estabelecidas. Nesse processo, os desvios e alterações podem resultar no aumento ou diminuição dos volumes de escavação, implicando diretamente no custo de implantação do empreendimento (ANTAS *et al.*, 2010). A definição do alinhamento buscou seguir a geometria da estrada existente, contudo, também se adequou fora desse traçado para formação dos raios mínimos das curvas conformadas à velocidade estabelecida.

O trecho foi segmentado em estacas de 20 m em 20 m e todo o alinhamento possui cerca de 7.950 m de extensão. Em virtude da ausência de dados referentes ao VMD do trecho da rodovia e considerando seu potencial de crescimento do fluxo de veículos, foram empregados os parâmetro de projeto de rodovias de Classe II, aliado ao aspecto topográfico da região, a princípio classificada como plano, de acordo com o perfil longitudinal obtido pelo *Google Earth* (Figura 6), onde o traçado existente possui uma variação média de declividade de aproximadamente 1% entre a cota mais alta e a mais baixa. Portanto, conforme valores indicados pelo DNER (1999) para a classificação da rodovia, foram atribuídos na criação do alinhamento horizontal dentro do *software* Civil 3D a velocidade de projeto de 100 km/h e a taxa de superelevação máxima de 8%.

Figura 6 - Perfil longitudinal da rodovia vicinal existente

Fonte: Autoria própria

Antas *et al.* (2010) aponta que sob a perspectiva geométrica, a diretriz de uma via caracteriza-se por segmentos de retas tangentes concordadas por curvas, necessárias para proporcionar gradual modificação de direção dos veículos. Para definição das curvas dentro do Civil 3D foi necessária a inserção dos valores dos raios respeitando-se o valor mínimo admissível indicado pelo *software* de 394 m, que para a classe da rodovia em questão, está dentro do valor mínimo de 375 m exposto pelo

DNER (1999). As curvas horizontais do alinhamento criado, para se adequarem da melhor forma possível ao eixo da vicinal existente e respeitando-se os parâmetros de projeto, possuem os raios que variam entre os valores de 395 m, 400 m e 450 m. A Figura 7 traz o alinhamento projetado sobre a imagem de satélite da região.

Figura 7 - Alinhamento horizontal projetado sobre a imagem de satélite da região



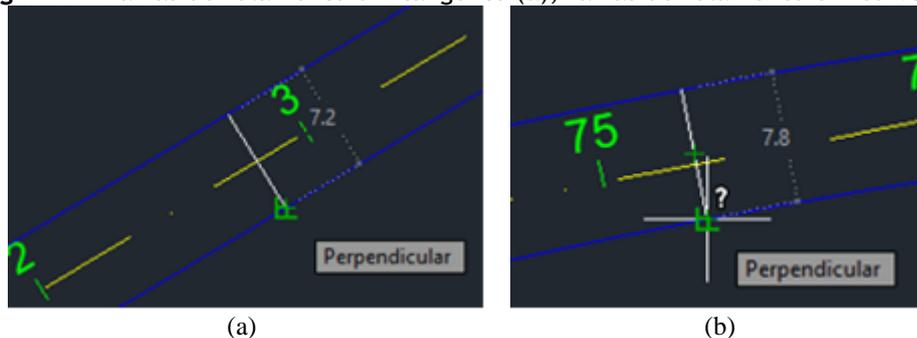
Fonte: Autoria Própria

Na conformação geométrica do alinhamento para o atendimento aos critérios estabelecidos, foram necessárias adequações que acabaram atingindo as propriedades em torno da vicinal existente. Ramires (2017) aponta que nas desapropriações imprescindíveis à implantação de rodovias, é necessário a realização do projeto de desapropriação desde a fase de projeto básico, com a finalidade de definir e detalhar os serviços de avaliação de imóveis nos trechos urbanos ou rurais. Consequentemente, provendo os elementos indispensáveis à execução do processo administrativo de desapropriação das áreas requeridas.

Ainda durante a criação do alinhamento da rodovia, foi definida sua superlargura ao inserir o critério do veículo de projeto nas definições da ferramenta do Civil 3D. Conforme Antas *et al.* (2010), de maneira esquemática, pode-se tomar em consideração o contorno horizontal de veículos rodoviários de forma retangular, que ao percorrer uma curva, ocupa lateralmente uma faixa maior que a tangente. Tem-se, portanto, a necessidade de se expandir nas curvas a faixa de rolamento projetada.

Ao atribuir a faixa de rolamento de 3,60 m e veículo de projeto semirreboque (SR), obteve-se a diferença da faixa entre o trecho em tangente e curva (Figura 8). O valor acrescentado de 0,60 m apresentou-se de acordo ao exposto pelo DNER(1999) para velocidade e veículo de projeto.

Figura 8 - Faixas de rolamento em tangente (a), faixas de rolamento em curva (b)

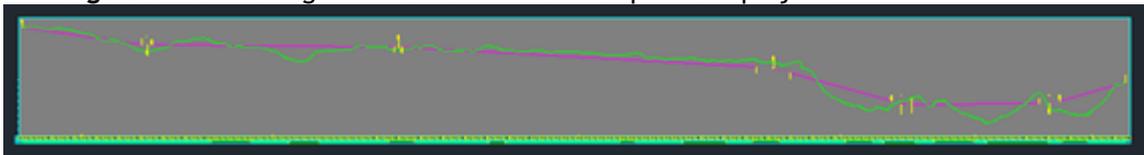


Fonte: Autoria Própria

Perfil longitudinal

De acordo com Pimenta e Oliveira (2016), o perfil longitudinal caracteriza-se como o corte do terreno e da rodovia projetada por uma superfície vertical que contém o eixo do projeto, tendo sua escolha relacionada diretamente ao custo do projeto, em particular ao custo de terraplanagem. Ainda conforme os autores, o perfil do projeto é formado por uma sequência de rampas que são concordadas entre si por curvas verticais. A Figura 9 apresenta o perfil gerado pelo *software* com o perfil do terreno natural (verde) e o alinhamento de projeto adotado (rosa).

Figura 9 - Perfil longitudinal da estrada com o perfil do projeto

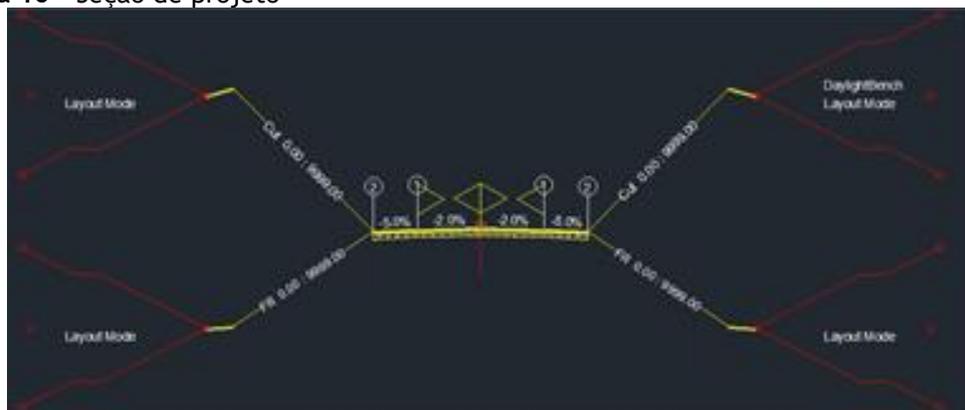


Fonte: Autoria Própria

Corredor da rodovia

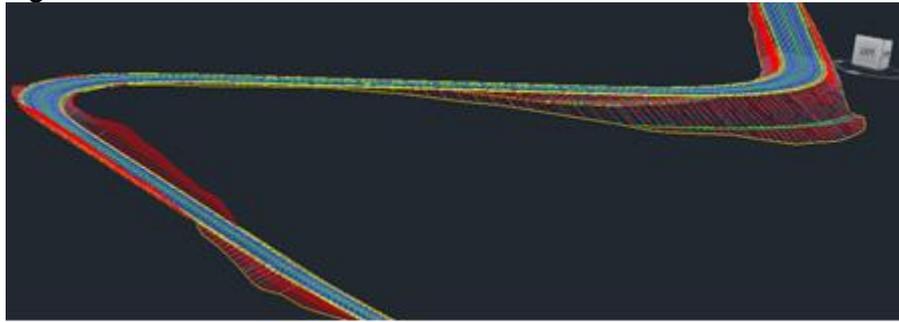
Consoante Pereira (2018), a concepção do corredor da rodovia dentro do Civil 3D requer a integração do alinhamento horizontal, vertical e seção de projeto. Segundo Chakole e Wadhai (2022), a criação da seção típica de projeto indica elementos como acostamento e pista de rolamento onde as peças são adicionadas ao centro da *Assembly* através dos subconjuntos. A seção de projeto foi determinada de acordo com as características da rodovia, conforme observado na Figura 10, e em suas atribuições teve-se a definição das inclinações dos taludes de 1:1 para corte e 1,5:1 para aterro.

Figura 10 - Seção de projeto



Fonte: Autoria Própria

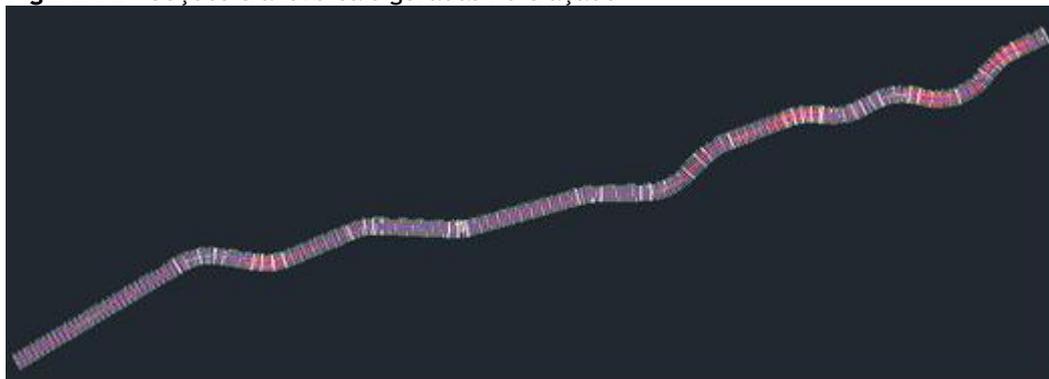
Pereira (2018) aponta que na criação do corredor, o Civil 3D cria uma estrutura de arame no formato da rodovia, que posteriormente é transformada em uma superfície. A frequência do corredor desenvolvido para a rodovia replicou a *Assembly* criada a cada 10 m para um maior detalhamento. Através da Figura 11 observa-se em um trecho sua visualização em 3D.

Figura 11 - Trecho do corredor renderizado em 3D

Fonte: Autoria Própria

Seções transversais e geração de volumes

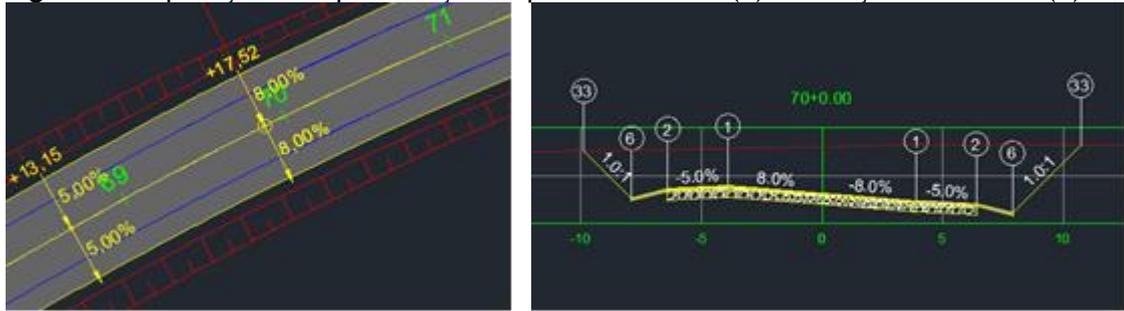
Para fins de detalhamento, as seções transversais foram geradas utilizando o espaçamento de 20 m em 20 m como espaçamento ao longo de todo o alinhamento horizontal, como demonstrado na Figura 12.

Figura 12 - Seções transversais geradas no traçado

Fonte: Autoria Própria

Antes das gerações dos volumes de corte e aterro, é imprescindível o ajuste da superelevação da rodovia projetada. Segundo Pimenta e Oliveira (2016), no momento em que o veículo percorre um trecho de uma estrada retilínea, com velocidade constante, a resultante das forças atuantes sobre ele é nula. Contudo, ao se deparar com uma curva, é indispensável que haja uma força na direção do centro da curva para que o veículo a descreva. Ainda conforme os autores, define-se superelevação como a inclinação transversal da pista criada com o intuito de produzir essa componente de peso do veículo na direção do centro da curva que, em conjunto com a força de atrito, acarretará com a força centrípeta necessária.

Ao atribuir no alinhamento desenvolvido para o projeto o parâmetro de superelevação máxima de 8%, conforme indicado pelo DNER (1999), obteve-se sobre o corredor e seções transversais as modificações desse elemento nas curvas da rodovia. A Figura 13 traz a representação da taxa de superelevação máxima no plano horizontal e seção transversal em um segmento da estrada.

Figura 13 - Aplicação da superelevação no plano horizontal (a) e na seção transversal (b)

(a)
Fonte: Autoria Própria

(b)

Após a computação dos materiais, obteve-se a relação dos volumes de corte e aterro promovido pelo projeto. Conforme o relatório final fornecido pelo software (Figura 14), observa-se que ainda será necessário um volume de 276.507 m³ para elaboração de toda a terraplanagem. Antas *et al.* (2010) destaca que a terraplanagem engloba o conjunto de atividades que possui a finalidade de preparar a plataforma conveniente ao uso do veículo, após complementada com a superestrutura viária.

Figura 14 - Relatório de volume total gerado pelo Civil 3D

Cut/Fill Summary						
Name	Cut Factor	Fill Factor	2d Area	Cut	Fill	Net
VOLUMES	1.000	1.000	216870.75sq.m	272806.78 Cu. M.	549313.98 Cu. M.	276507.20 Cu. M.<Fill>
Totals			216870.75sq.m	272806.78 Cu. M.	549313.98 Cu. M.	276507.20 Cu. M.<Fill>

Fonte: Autoria Própria

Em conformidade com Cardoso (2018), as áreas de empréstimo são designadas a suprir ou complementar, tanto em termos qualitativos e quantitativos, os materiais necessários para constituição de aterros, preparação de fundações, substituição de materiais na camada inferior dos cortes ou ao aprimoramento da proteção da terraplanagem contra a erosão, podendo estar localizada dentro ou fora da faixa de domínio do projeto.

Conclusões

As tecnologias relacionadas ao tratamento e análise de informações geográficas, como o Sistema de Informação Geográfica (SIG), quando empregadas com base em dados que representam a realidade, viabilizam a construção de representações que auxiliam na tomada de decisões e contribuem nas atividades que necessitam de dados e análises territoriais. No âmbito deste estudo, as imagens SRTM apresentam-se como uma solução viável para análise do relevo em um projeto, contornando a necessidade de trabalhos em campo para a obtenção de dados altimétricos. Contudo, vale salientar a sua limitação ao uso em projetos de caráter preliminar, que não exigem um alto nível de precisão.

Em relação a geração do projeto geométrico do trecho da rodovia, o *software* AutoCAD Civil 3D com suas ferramentas que oferecem dinamismo na elaboração de todo o projeto em associação a sua extensão *Country Kits*, contribuem para praticidade na obtenção dos elementos necessários. Aliado aos parâmetros primários



estabelecidos no Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais, DNER (1999), a aplicação permitiu a criação e análise de todos os parâmetros que garantem a funcionalidade e segurança da rodovia, como a superelevação, superlargura e raios mínimos.

Torna-se válido destacar que para construção do traçado horizontal atendendo as exigências da classe da rodovia estabelecida, com seus parâmetros de construção para as curvas horizontais, adequações fora do traçado original ou até mesmo da faixa de domínio foram necessárias. Cabe então atuar no âmbito das desapropriações, fator que se caracteriza como imprescindível para a realização do projeto.

Em linhas gerais, a aplicação da técnica sistematizada e abordada neste estudo viabiliza a realização do projeto geométrico preliminar com intermédio de ferramentas remotas, além disso, apresenta-se como uma metodologia aceitável para o estudo de viabilidade em outras localidades com potencial desenvolvimento.

Referências

ANTAS, Paulo Mendes *et al.* **Estradas: projeto geométrico e de terraplenagem**. Interciência, Rio de Janeiro, 2010.

AUTODESK. **Civil 3D 2024 - Sobre a criação de uma superfície TIN**. Disponível em: <https://help.autodesk.com/view/CIV3D/2024/PTB/?guid=GUID-D0FCED34-D68F-42D2-A6FB-14C454CA57FA>. Acesso em 22 jun. 2023.

BUSNELLO, Fábio José; CONTE, Paulo Ricardo. Levantamento topográfico planialtimétrico com diferentes métodos de levantamento de dados a campo. *Revista Tecnológica*, v. 3, n. 2, p. 196-205, 2015.

CARDOSO, Douglas Gomes. **Movimentação de terra em obras rodoviárias: um estudo de caso de trechos do processo-MG, observados os aspectos da Engenharia Sanitária**. 2010.

CHAKOLE, Hemant; WADHAI, Prafull J.; GHODMARE, Sujesh. The comparison of geometric design using Civil 3D software and manual method. *International Journal for Modern Trends in Science and Technology*, v. 8, n. 6, p. 123-131, 2022.

COLAVITE, Alessandro Serrano; KONISHI, Fabio. A matriz do transporte no Brasil: uma análise comparativa para a competitividade. *Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia*, v. 12, p. 28, 2015.

DNER - Departamento Nacional de Estradas de Rodagem. **Manual de projeto geométrico de rodovias rurais**. Brasília: DNER, 1999. 282 p.

DNIT. **Terminologias rodoviárias usualmente utilizadas**. Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes. Versão 1.1. Agosto, 2007.

FREITAS, Rubem Ribeiro de. **Seção transversal de rodovias vicinais, qualidade de viagens e comportamento de pavimentos**. 2000. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

LEE, Shu Han. **Introdução ao projeto geométrico de rodovias**. Apostila. Florianópolis, 120p, 2000.

LOURENÇO, Artur Messias Carvalho *et al.* **Geoprocessamento na Gestão do Saneamento Básico Urbano no Município de Sete Lagoas MG-Estudo de caso bairro Kwait**. 2022.



SOUSA, M. A.; MOURA, L. S.; DANTAS, W. L. R. Utilização de dados de satélite para elaboração de projeto geométrico preliminar de uma rodovia vicinal. *Revista Semiárido De Visu*, V. 12, n. 3, p. 1586-1600, set. 2024. ISSN 2237-1966.

MARQUES, Suelm Teixeira; FARIA FILHO, Reynaldo Furtado. Estudo do software livre QGIS no desenvolvimento do projeto geométrico de rodovias. *Revista de Engenharia Civil IMED*, v. 8, n. 2, p. 69-87, 2021.

MIRANDA, Rian das Dores de; SALVI, Levi. Análise da tecnologia Bim no contexto da indústria da construção civil brasileira. *Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento*, v. 7, n. 5, p. 79-98, 2019.

PEREIRA, Felipe da Silva. **Estudo comparativo da aplicação do infraworks e autocad civil 3D na elaboração e análise de um projeto rodoviário**. 2018.

PEREIRA, D.M. *et al.* **Projeto geométrico de rodovias**. Apostila. [s.l.], 107p, 2010.

PIMENTA, Carlos R.T.; OLIVEIRA, Márcio P. **Projeto Geométrico de Rodovias**. 2. ed. São Carlos, RiMa Editora, 2016.

PONTES FILHO, G. **Estradas de rodagem: projeto geométrico**. São Paulo: IPC-PIH, 1998.

PRASANNA, P. N. *et al.* Comparative analysis of geometric design of highway using autocad civil 3d and mx road. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, v. 09, n. 10, p. 221-227, 2022.

RABUS, Bernhard *et al.* The shuttle radar topography mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. *ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing*, v. 57, n. 4, p. 241-262, 2003.

RAJI, S. A. *et al.* Geometric Design of a Highway Using Autocad Civil 3d. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology (JMEST)*, v. 4, n. 6, p. 7415, 2017.

RAMIRES, Geraldo José Sigwalt. O PROCESSO ADMINISTRATIVO DA DESAPROPRIAÇÃO DE IMÓVEIS PARA CONSTRUÇÃO DE ESTRADAS FEDERAIS. *Revista Técnico-Científica*, n. 6, 2017.

RAMIREZ, Liz Maria Benitez. **Estudo da necessidade de readequação de um trecho de estrada rural no Município de Foz do Iguçu-PR**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso.

RÚA, Luis de la *et al.* **QGIS para cartografía digital en censos y encuestas**. 2020.

SENÇO, Wlastermiller de. **Manual de Técnicas de Projetos Rodoviários**. 1 ed. São Paulo: Editora PINI, 2008. ISBN 978-85-7266-197-3.

SILVA, EJR; RANGEL, Maysa Pontes; CAMPOS, PCO. Análise altimétrica de baixo custo para projeto básico em levantamento geométrico de rodovia existente. In: **Anais do 34º Congresso de Pesquisa e Ensino em Transporte da ANPET**. 2020. p. 2684-2691.

SOUZA, Ádila Batista de *et al.* **Obtenção de traçado geométrico preliminar de estradas utilizando sistemas de informação geográfica**. 2018.

VALERIANO, Márcio de Morisson. **TOPODATA: GUIA PARA UTILIZAÇÃO DE DADOS GEOMORFOLÓGICOS LOCAIS**. 2008.