

ANÁLISE ALTIMÉTRICA DE BAIXO CUSTO PARA PROJETO BÁSICO EM LEVANTAMENTO GEOMÉTRICO DE RODOVIA EXISTENTE

Elton John Robaina da Silva

Maysa Pontes Rangel

Centro Universitário Redentor

Priscila Celebrini de Oliveira Campos

Instituto Militar de Engenharia

RESUMO

O presente trabalho apresenta uma solução, através da construção de um MDT (Modelo Digital do Terreno) a partir de dados disponibilizados por órgãos públicos, para o levantamento altimétrico em projetos básicos para rodovias, utilizando os softwares Civil 3D, QGIS e Mobile Topographer Pro®. O estudo foi realizado na RJ-168, na cidade de Macaé com o objetivo de apresentar uma metodologia eficiente e barata para obtenção dos parâmetros altimétricos da rodovia. O método desenvolvido utilizou interpolação matemática e empirismo para ajuste de altura e inclinação de rampas a fim de criar uma representação mais fiel da rodovia, contrapondo as informações geradas pelo modelo e as medições obtidas em campo.

1. INTRODUÇÃO

O sistema rodoviário tem papel primordial no desenvolvimento dos estados e do Brasil, sendo uma condição necessária para o crescimento do país e capaz de potencializar ganhos de eficiência no sistema produtivo (Andrade *et al.*, 2015). Diversas obras de engenharia rodoviária são realizadas todos os anos e muitas novas tecnologias surgem para auxiliar os engenheiros e projetistas na tomada de decisão. Assim, para a realização de um projeto rodoviário, seja ele de construção ou de reparo, estudos preliminares devem ser realizados com o objetivo de extrair informações de diversas características do local onde será realizado o projeto.

Os estudos preliminares compreendem a análise do local onde será desenvolvido o projeto de engenharia rodoviária. Nesta etapa, diversos aspectos da natureza da região são investigados por meio da utilização de imagens de satélite, através de softwares específicos, realização de ensaios de laboratório, consulta a trabalhos acadêmicos e levantamento de dados obtidos por instituições de pesquisa especializadas e órgãos públicos. Os estudos topográficos constituem uma etapa importante do projeto básico, devendo ser composto por informações fidedignas do relevo existente. Eles consistem no levantamento de informações relativas ao terreno, como relevo, perfil longitudinal e seção transversal, dimensões, norte magnético e acidentes geográficos para a representação da modelagem topográfica necessária para definição do traçado da via (DNIT IPR-726, 2006a). De acordo com a Instrução de Serviço para Estudos Topográficos do Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (DNIT IS-204, 2006b), o levantamento do terreno deve ser obtido, preferencialmente, pelo processo de aerofotogrametria ou satélite. Assim, modelos digitais do terreno (MDT) podem ser obtidos por meio de programas como o Google Earth, da Google; e com os conhecimentos específicos em topografia e manejo de software torna-se possível o desenvolvimento do produto cartográfico. No caso de vias existentes, o estudo topográfico visa a definição e a adequação do alinhamento horizontal das vias e do greide, bem como a identificação das cotas de todos os pontos de cruzamento e de mudança de direção existentes e a cota máxima dos receptores e de pontos notáveis (Diogo e Sciammarella, 2008).

Atualmente, diversos programas utilizam o Sistema Global de Navegação por Satélite (GNSS

– *Global Navigation Satellite System*) para aplicações altimétricas, em substituição aos tradicionais métodos de nivelamento (Carvalho e Costa Neto, 2019). Segundo Corseuil e Robaina (2003), a utilização de Sistema de Posicionamento Global (GPS – *Global Positioning System*; o Sistema de Navegação por Satélite mais utilizado no mundo) oferece várias vantagens em relação aos métodos convencionais usados em Topografia, dentre elas destacam-se a eficiência na coleta e automação dos dados e a possibilidade de transporte de coordenadas tridimensionais (x, y e z) independente do dia, hora ou condição atmosférica. Em seus estudos, Pinheiro (2006) demonstrou que as altitudes medidas por Modelos Digitais do Terreno (MDT) a partir de dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), após as devidas correções, apresentaram resultados melhores quando comparadas às cartas topográficas. O autor observou ainda que os MDTs, por serem gratuitos, podem ser utilizados para projetos com orçamentos restritos, de pequenas prefeituras, universidades, entre outros.

Neste contexto, o presente trabalho apresenta uma alternativa de baixo custo para criação de modelos topográficos através de georreferenciamento, utilizando sistema GPS/GNSS a partir de dados de fontes públicas e softwares gratuitos (ou que possuem a versão gratuita para estudantes). O estudo apresentou como estudo de caso uma aplicação para o trecho da rodovia RJ-168, que interliga o perímetro urbano da cidade de Macaé até a BR-101. A rodovia, conhecida popularmente como “rodovia do petróleo”, é uma das principais rodovias da região e principal entrada da cidade.

2. METODOLOGIA

O trecho da rodovia estadual RJ-168 localiza-se no município de Macaé-RJ (Figura 1) com aproximadamente 11.219,02 m de extensão, interligando o trevo da BR-101 e o perímetro urbano da cidade. De acordo com as diretrizes do DNIT: IPR – 742 (2010) e com o DNIT – Projeto Geométrico de Rodovias Rurais (1999), este trecho rodoviário é classificado como uma rodovia de Classe III, de relevo plano, pista simples, superelevação $e_{\text{máx}}=8\%$ e raio mínimo de 80 m.

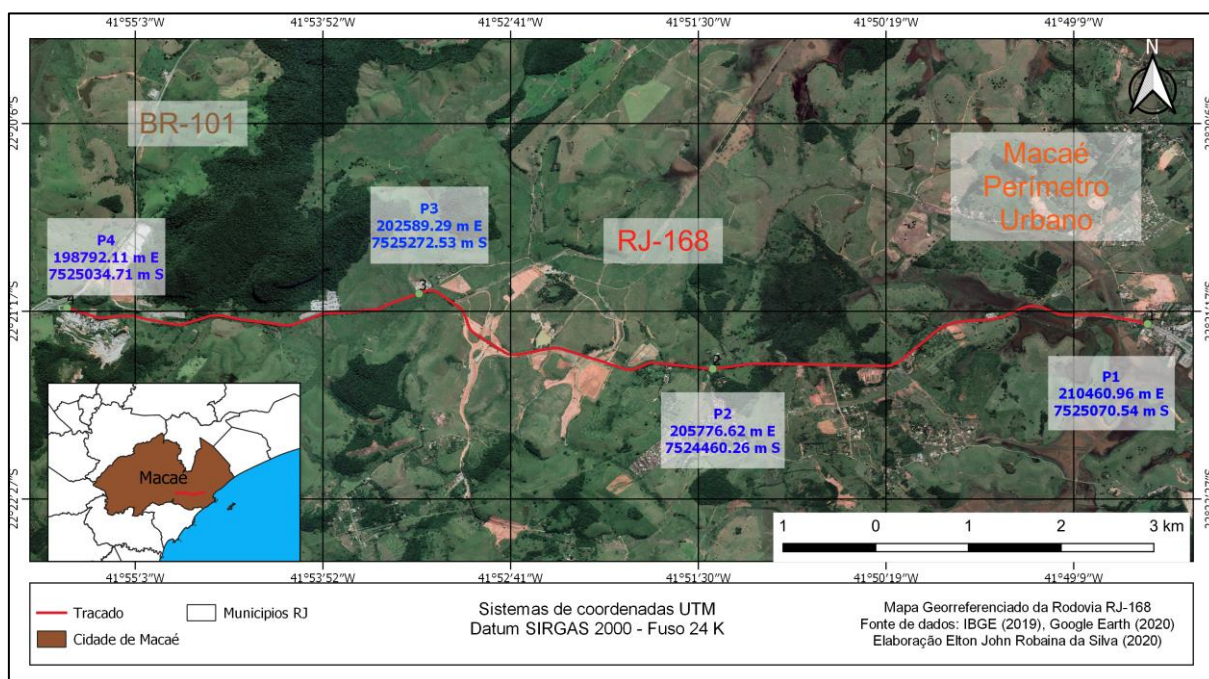


Figura 1: Localização do trecho de estudo da rodovia estadual RJ-168, na cidade de Macaé.

O Manual de Implantação Básica de Rodovia do DNIT (DNIT – IPR 742, 2010) explica que os estudos topográficos são imprescindíveis para obtenção de diversos dados para um projeto rodoviário, possibilitando a criação de modelos digitais de terreno, importantes para o estudo dos corredores e seleção da melhor alternativa de traçado. O reconhecimento do terreno para implantação do projeto rodoviário foi realizado através de dados obtidos a partir de softwares como Google Earth e QGIS, onde esta etapa constitui um estudo primário da área como base inicial para a localização do traçado da rodovia.

2.1. Levantamento a partir do Modelo Digital do Terreno

Para o levantamento topográfico da área, foi utilizado um modelo digital de terreno obtido do banco de dados TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Valeriano, 2008) gerado a partir do SRTM, de resolução horizontal (i.e., resolução espacial) de 3 arc-segundos (~90m) e resolução vertical (altura) de 1 m. Desta forma, as informações da rodovia obtidas através do Google Earth e dos dados SRTM foram tratadas e modeladas no software QGIS de forma a possibilitar o estudo da topografia da região, permitindo a criação do mapa digital do terreno.

Para o levantamento do projeto geométrico existente, no primeiro momento, utilizaram-se dados importados diretamente do software AutoCAD Civil 3D, com precisão similar à utilizada para criação do mapa de elevações. Entretanto, ao analisar o modelo gerado, foi verificado que este apresentava erros de altimetria nos pontos de corte de morros no traçado da rodovia. Verificou-se que a distância de “Offset” e a altura real da estrada apresentavam variações substanciais, portanto a presente metodologia foi desenvolvida para ajustar o modelo gerado ao greide existente da via.

Com o objetivo de atribuir ao modelo curvas de elevação mais precisas, outro Modelo Digital do Terreno foi obtido em Sistema de Coordenadas Geográficas e Datum WGS84 do Serviço Geológico dos Estados Unidos (*U.S.G.S. – United States of Geological Survey*) (NASA JPL, 2020) através de dados SRTM com precisão de 1 arco por segundo ou 30 m. O modelo, denominado NASADEM, é um reprocessamento dos dados da missão SRTM que possui melhor precisão altimétrica, e preenche dados de elevação que estavam ausentes nos modelos anteriores. Ao importar ambos os modelos para o software QGIS, foi possível visualizar a diferença no *range* de variação altimétrica entre os modelos para a mesma área (Figura 2).

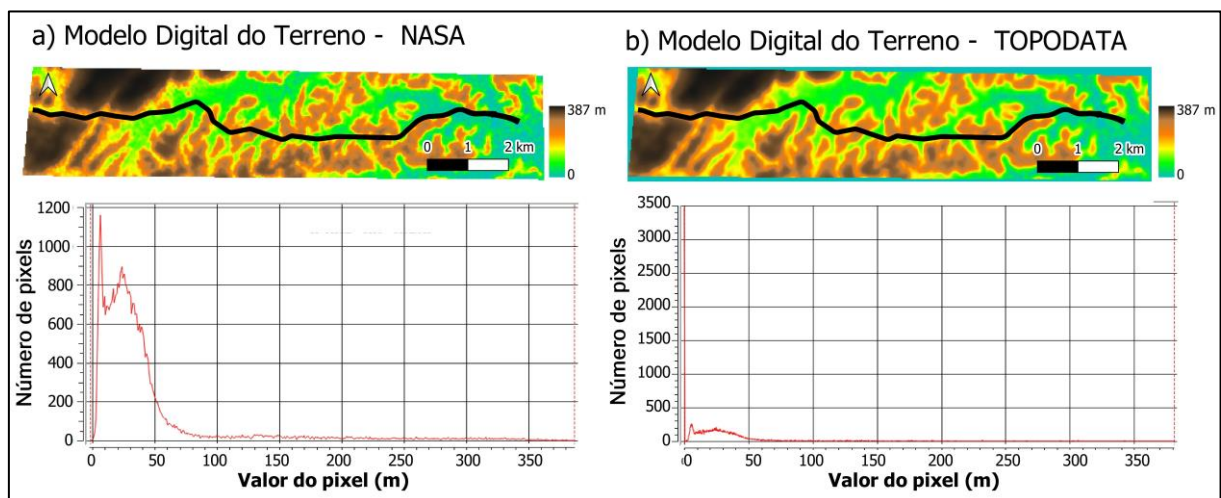


Figura 2: Variações dos modelo digital do terreno.

A comparação entre os dois mapas (Figura 2) permitiu a identificação das diferenças nas resoluções espaciais entre ambos modelos que puderam ser comprovadas pelo histograma de distribuição de pixels. O MDT obtido a partir do banco de dados do TOPODATA (Figura 2b) apresentou uma maior concentração de pixels com elevação entre 0 e 50m, com um pico de aproximadamente 3500 pixels com valor próximo a 0m e os demais com concentração máxima de 270 pixels por elevação entre 0 e 50 m. Já o MDT da NASA (Figura 2a) exibiu uma distribuição melhor dos pixels por elevação (com picos de 1150 pixels a 5 m, 650 pixels a 10 m, 900 pixels a 30 m, 200 pixels a 50m e 50 pixels a 100 m), permitindo a obtenção de dados mais realísticos do relevo.

Ao analisar ambos os MDT's no software AutoCAD Civil 3D, tornou-se evidente a variação entre os modelos. Em um trecho da rodovia estudada entre a estaca 15 e 130, apresentado na Figura 3, visualiza-se a variação entre os modelos em alguns pontos, chegando a alcançar diferenças de 24% nas regiões mais elevadas e em torno de 6% em regiões mais baixas.

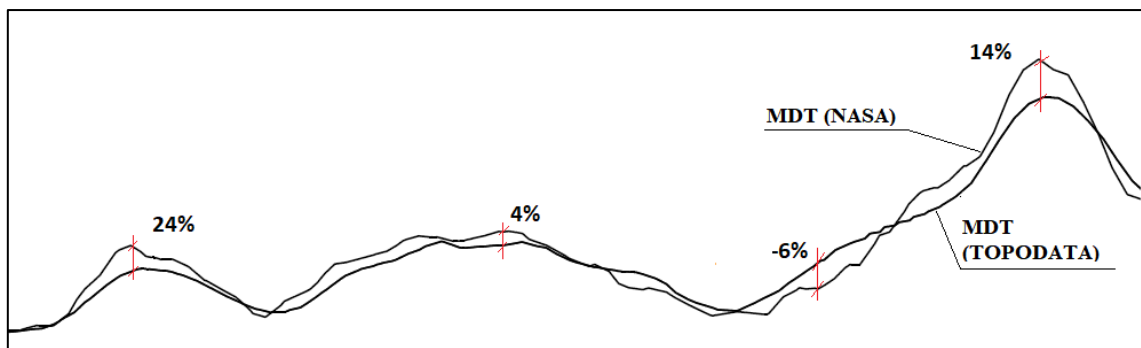


Figura 3: Comparação entre os MDT's utilizados entre o trecho das estacas 15 e 130.

Após verificada a melhor acurácia do modelo fornecido pela NASA, os dados SRTM do MDT escolhido foram trabalhados no software QGIS e importados no software da AutoCAD Civil 3D para uma análise mais precisa do relevo existente e posterior geração do modelo tridimensional.

2.2. Levantamento Topográfico em Campo

A segunda etapa da metodologia constituiu pela inspeção em campo e levantamento expedito de informações da rodovia, como largura da pista de rolamento, largura do acostamento, altura do aterro, corte e espessura da camada asfáltica, conforme Figura 4.



Figura 4: Coletas de dados da pista para o projeto geométrico.

Adicionalmente, foi realizado um levantamento em campo de 26 pontos de altimetria por GPS (Figura 5) através do aplicativo Mobile Topographer Pro© (S.F. Applicality Ltd.), instalado

em um celular Motorola Moto Z² Play (processador Snapdragon 626, Octa-Core) com o objetivo de ajustar o modelo digital do terreno ao greide existente da via e torná-lo mais fiel ao greide do terreno. O aplicativo foi escolhido devido a sua popularidade por profissionais da área e pela capacidade de funcionar com ou sem uso da internet, o que facilita a coleta de dados em campo. Além disso, o aplicativo utiliza dados das constelações de satélites artificiais GPS e GLONASS (*Globalnaya Navigatsionnaya Sputnikovaya System*), e permite a obtenção das coordenadas planas UTM e Datum Horizontal SIRGAS2000. Entretanto, por ser uma aplicação nativa para smartphone, não disponibiliza informações referentes aos parâmetros do elipsoide, restringido a utilização de coordenadas elipsóidicas.



Figura 5: Levantamento por pontos de controle por GPS.

Por fim, a fim de tornar o modelo mais coerente com o greide da via existente, os valores de altitude observados através dos pontos de controle foram exportados para o programa Civil 3D e associados às estacas próximas de forma a permitir a criação de uma relação entre os pontos de GPS levantados pelo Mobile Topographer Pro©.

3. RESULTADOS

A partir das estacas e de suas respectivas alturas geradas no AutoCAD Civil 3D, os pontos levantados tiveram um ajuste da distância realizado no perfil horizontal, com a geração de linhas de controle no perfil longitudinal para essas alturas. A Tabela 1 apresenta as distâncias dos pontos e suas respectivas estacas.

Tabela 1: Relação entre estaca, distância e altura.

Ponto	Estaca	Distância	Posição	Altura	Escala
7	0	9,140	Direita	6,130	61,30
8	15	9,950	Esquerda	4,000	40,00
9	30	36,710	Esquerda	6,840	68,40
10	50	3,780	Esquerda	5,840	58,40
11	80	14,870	Esquerda	3,970	39,70
12	100	33,600	Esquerda	23,310	233,10
13	115	0,760	Esquerda	31,000	310,00
14	140	30,240	Esquerda	4,970	49,70
15	185	84,470	Esquerda	5,700	57,00
16	215	22,740	Esquerda	15,110	151,10
17	250	28,710	Direita	9,970	99,70
18	270	4,450	Direita	24,310	243,10
19	285	7,440	Direita	15,040	150,40

20	330	1,180	Esquerda	27,670	276,70
21	345	3,010	Esquerda	4,000	40,00
22	370	22,260	Direita	8,110	81,10
23	395	35,930	Direita	18,480	184,80
24	408	11,580	Esquerda	9,410	94,10
25	424	1,220	Esquerda	9,090	90,90
26	446	1,400	Direita	31,140	311,40
27	473	9,160	Direita	16,710	167,10
28	500	17,100	Direita	22,070	220,70
29	514	3,430	Esquerda	25,600	256,00
30	528	14,190	Esquerda	20,980	209,80
31	550	0,310	Direita	10,750	107,50
32	565	2,500	Direita	19,970	199,70

Após a análise interpretativa dos dados e considerando a margem de erro do GPS, além das medições obtidas pelo levantamento expedito através de equipamentos manuais convencionais como trena e nível, entendeu-se que era possível ajustar os dados de ambos os levantamentos de forma a produzir um modelo mais confiável do trecho da rodovia em estudo. O método utilizado para ajustar os dados foi a Interpolação por Sistema Linear expressa pela Equação (1) na qual se infere a interpolação linear entre dois pontos (x_a , y_a) e (x_b , y_b) que pode ser deduzida usando-se proporcionalidade:

$$y = y_0 + (y_1 - y_0) \times \frac{x - x_0}{x_1 - x_0} \text{ em um ponto } (x, y) \quad (1)$$

A partir desse modelo matemático, foi gerado um algoritmo em linguagem de programação C/C++ para interpolar as 565 estacas levantadas pelo Civil 3D para a demarcação do trecho da rodovia. O processo foi realizado de acordo com os valores de altimetria encontrados com o Mobile Topographer Pro© e a altura exibida no perfil longitudinal gerado pelo Civil 3D a partir do modelo. Para determinação do resultado, considerando as imprecisões do GPS, optou-se por utilizar a média da interpolação linear de ambos os dados. Os novos valores de altura da média interpolada dos dados foram inseridos no Civil 3D para o ajuste do modelo. Em seguida, o modelo passou por um ajuste final baseado em nas medidas obtidas através dos pontos de controle levantados em campo, gerando um modelo final de maior conformidade com a rodovia existente (Figura 6).

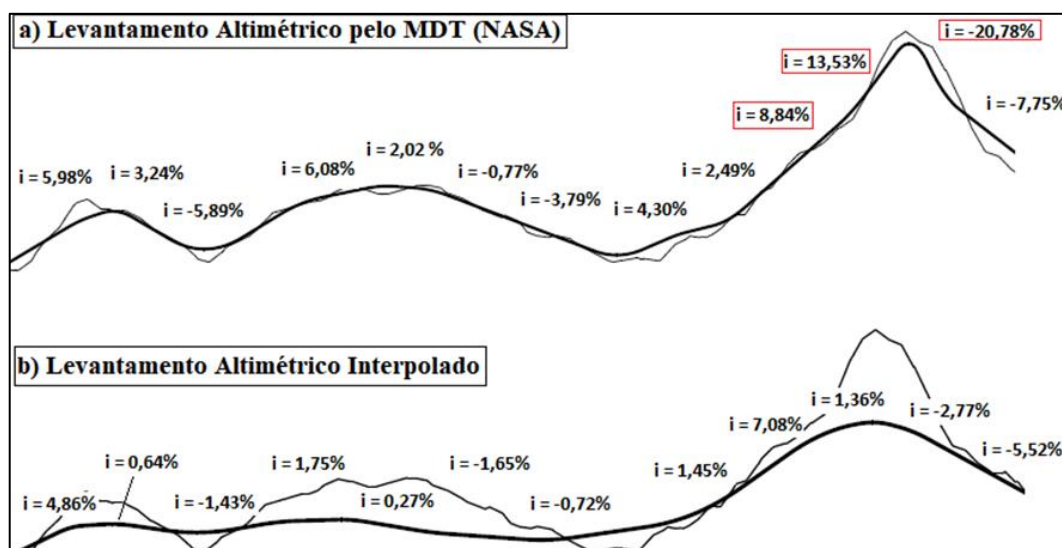


Figura 6: Valores de inclinação de rampa (i) no greide da rodovia entre as estacas 10 e 120

obtidos por (a) levantamento altimétrico pelo MDT (NASA) e (b) levantamento altimétrico após interpolação.

Ao analisar o perfil longitudinal do trecho de rodovia obtido apenas com o MDT escolhido (Figura 6a), foi observado que o modelo apresentava elevadas inclinações nas rampas (i) que não coincidiam com os dados obtidos no levantamento expedito para o tipo de relevo onde foi realizado o estudo. Uma vez que, considerando a rodovia de Classe III e terreno plano, as declividades do greide não devem ser superiores a 8% (DNER, 1999), o levantamento altimétrico pelo MDT (Figure 6a) exibiu alguns dos valores superiores à declividade máxima (destacados em vermelho) para o trecho em estudo. Já o modelo final interpolado (Figure 6b) apresentou características altimétricas mais fidedignas ao greide do trecho em estudo e de acordo com as especificações de rampa para classe rodoviária avaliada.

Sequencialmente, foram gerados os perfis horizontal, longitudinal e transversal da rodovia. A Figura 7 apresenta as etapas de construção do modelo, onde é possível visualizar da esquerda para a direita, o modelo gerado pelo MDT do TOPODATA (01), o modelo gerado a partir do MDT da NASA com o ajuste da estrada realizado no QGIS (02), e o modelo interpolado gerado a partir do MDT da NASA e o levantamento topográfico em campo (03), respectivamente.

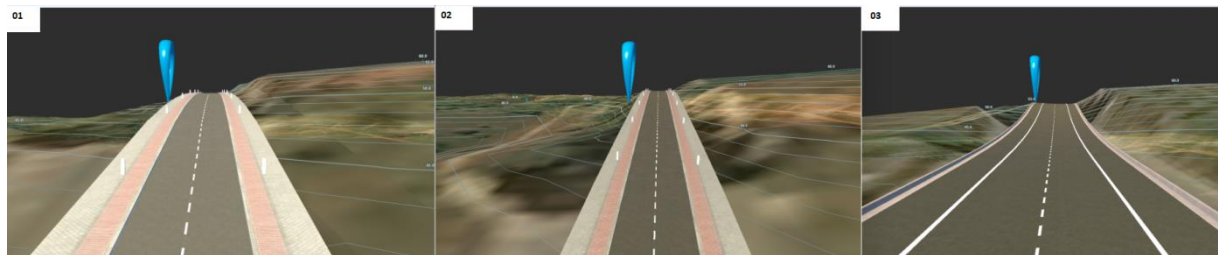


Figura 7: Ajuste do modelo no AutoCAD Civil 3D.

A partir dos perfis construídos e das informações obtidas no campo, as seguintes considerações puderam ser feitas a respeito da rodovia em estudo:

- O trecho da rodovia estudado apresentava uma velocidade de projeto de 80 km/h;
- O comprimento do trecho é de 11.219,02 m;
- Faixa de nivelamento: 0,04% a 8,73%;
- Intervalo de elevação: 6,30m a 31,00m.

Por fim, realizou-se um comparativo de custos entre a metodologia apresentada (softwares gratuitos) e levantamentos topográficos. De acordo com a IT-55/83 (Estudos Topográficos Destinados Projetos de Restauração de Estradas) do DER-RJ, o valor dos serviços topográficos variam em função do número médio de veículos diários e ainda, segundo a Instituição, estes serviços podem cobrados pela Tabela da EMOP. Segundo dados licitatórios em diferentes municípios do estado do Rio de Janeiro que utilizaram a Tabela EMOP em seus processos, o custo médio para serviços topográficos de restauração de rodovias para o ano de 2020 é em média R\$ 11.540,16 por quilômetro. Assim, a metodologia apresenta uma alternativa de custo baixo que pode ser utilizada em estudos topográficos iniciais.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos com o MDT construído a partir da metodologia apresentada neste

trabalho aplicada ao levantamento altimétrico realizado na RJ-168 na cidade de Macaé apresentaram informação mais fidedigna à realidade da rodovia. A curva longitudinal ajustada a partir da interpolação das estacas obtidas no Civil 3D e dos dados de GPS mostrou-se uma alternativa eficiente para o levantamento altimétrico da rodovia. Entretanto, essa solução não é recomendada para projetos de maior magnitude e que exijam maior nível de precisão, uma vez que os programas apresentados aqui não substituem equipamento de alta precisão como Estação Total, mas pode ser utilizada para projetos básicos e levantamento expedito, se tornando uma solução de baixo custo principalmente para estudantes e pequenos empreendedores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Andrade, M. O., Maia, M. L. A., e Lima Neto, O. C. da C. (2015) Impactos de investimentos em infraestruturas rodoviárias sobre o desenvolvimento regional no Brasil - possibilidades e limitações. *Transportes*, 23(23), 90–99. doi:10.14295/transportes.v23i3.797
- Carvalho, B. M. T., e Costa Neto, J. V. (2019) *Análise comparativa das altitudes normais obtidas por nivelamento geométrico e posicionamento GNSS em um trecho de rodovia*. Insitituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Goiânia. Obtido de <http://repositorio.ifg.edu.br:8080/handle/prefix/376>
- Corseuil, C. W., e Robaina, A. D. (2003) Determinação altimétrica através do sistema de posicionamento global. *Ciência Rural*, 33(4), 673–678. doi:10.1590/S0103-84782003000400014
- Diogo, F. J. D., e Sciammarella, J. C. (2008) *Manual de Pavimentação Urbana – Drenagem: Manual de Projetos*. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Pavimentação, 2008. V. II
- DNER. (1999) *Manual de Projeto Geométrico de Rodovias Rurais*. Departamento Nacional de Estradas de Rodagem, Diretoria de Desenvolvimento Tecnológico, Divisão de Capacitação Tecnológica. Rio de Janeiro.
- DNIT. (2006a) *Diretrizes Básicas Para Elaboração de Estudos e Projetos Rodoviários, Escopos Básicos/Instruções de Serviço*. 3ª ed. Rio de Janeiro. 484 pp. (Publ, IPR.,726).
- DNIT. (2006b) *Estudos Topográficos para Projetos Básicos de Engenharia*. Rio de Janeiro. (Publ, IS-204).
- DNIT. (2010) *Manual de Implantação Básica de Rodovia*. 3 ed. Rio de Janeiro, 2010. (IPR, Publ, 742).
- NASA JPL (2020). *NASADEM Merged DEM Global 1 arc second V001 [Data set]*. NASA EOSDIS Land Processes DAAC. doi:10.5067/MEaSURES/NASADEM/NASADEM_HGT.001
- Pinheiro, E. da S. (2006) Comparação entre dados altimétricos Shuttle Radar Topography Mission, Cartas Topográficas e GPS: Numa área com relevo escarpado. *Revista Brasileira de Cartografia*, 58(1). Obtido de <http://srtm.usgs.gov/data/obtainingdata.html>
- Valeriano, M. D. M. (2008) Topodata : Guia Para Utilização De Dados. *Inpe*.