INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS URUTAÍ
BACHALERADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ANALISE DA PRECISÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO TOPODATA EM RELAÇÃO AO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO ALTIMÉTRICO

DARLITON MACHADO DA ROCHA

Trabalho de curso apresentado ao departamento de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola, sob orientação do Prof. Me. Beethoven Gabriel Xavier Alves

Urutaí - GO
Maio de 2019

INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS URUTAÍ
BACHALERADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

ANÁLISE DA PRECISÃO DO MODELO DIGITAL DE ELEVAÇÃO TOPODATA EM RELAÇÃO AO LEVANTAMENTO TOPOGRÁFICO ALTIMÉTRICO

DARLITON MACHADO DA ROCHA

Orientador: Prof. Me. Beethoven Gabriel Xavier Alves

Trabalho de curso apresentado ao departamento de Engenharia Agrícola do Instituto Federal Goiano Campus Urutaí, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrícola, sob orientação do Prof. Me. Beethoven Gabriel Xavier Alves

Urutaí - GO
Maio de 2019

INSTITUTO FEDERAL
Goiano

Repositório Institucional do IF Goiano - RIIF Goiano
Sistema Integrado de Bibliotecas

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

Identificação da Produção Técnico-Científica

[ ] Tese	[ ] Artigo Científico
[ ] Dissertação	[ ] Capítulo de Livro
[ ] Monografia – Especialização	[ ] Livro
[X] TCC - Graduação	[ ] Trabalho Apresentado em Evento
[ ] Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____	

Nome Completo do Autor: Darliton Machado da Rocha
Matrícula: 20151012000640080
Título do Trabalho: Análise da precisão do modelo digital de elevação Topodata em relação ao levantamento Topográfico Altimétrico

Restrições de Acesso ao Documento

Documento confidencial: [ ] Não [X] Sim, justifique: Trabalho será submetido a Revista que não permite publicação anterior.
Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 16/09/20
O documento está sujeito a registro de patente? [ ] Sim [X] Não
O documento pode vir a ser publicado como livro? [ ] Sim [X] Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

1. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
2. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
3. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Urutaí, 22/05/19.
Local Data

Darliton Machado da Rocha
Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a)

INSTITUTO FEDERAL GOIANO - CAMPUS URUTAÍ

BACHALERADO EM ENGENHARIA AGRÍCOLA

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

ALUNO: DARLITON MACHADO DA ROCHA

ORIENTADOR: Me. BEETHOVEN GABRIEL XAVIER ALVES

Aprovado pela Comissão Examinadora:

Beethoven Gabriel Xavier

Prof. Mestre Beethoven Gabriel Xavier

Walter da Costa Mendes

Prof. Doutor Walter da Costa Mendes

Eduardo de Faria Viana

Prof. Doutor Eduardo de Faria Viana

Data da Realização 20 de maio de 2019

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, pela oportunidade e saúde.

Á toda minha família, em especial ao meus avos Antônio Francisco e Maria Madalena por todos os conhecimentos e aprendizados repassados, ao meu pai Geraldo Machado (*in memoriam*) a minha Mãe Maria Aparecida e minha irmã Caliquia, que sempre me apoiou, incentivou e que mesmo sem comentar e escondendo, percebia todas as fraquezas a as diversas vezes quando imaginava em desistir, e a todos os meus irmãos pelo companheirismo, Fabio, Derbison, Hadailane, Kemily e Beatriz, sem esquecer é claro da grande dificuldade em deixar meu querido sobrinho afilhado, quando tinha poucos dias de vida, Kawan, que foi uma das grandes inspirações o motivo de perseverança, ao grande primo Ronaldo (*in memoriam*) pelos inesquecíveis momentos de alegria

Á toda a "família UFVJM" que foi meu primeiro contato acadêmico e externo na busca de um futuro melhor, agradeço de coração pelo apoio, os conselhos e a formação política social; Diego, Gustavo Sales, Franciele Dias, Carlos o "carinha", Weverson, Kelvi, Iago.

Aos profissionais do SEBRAE regional Teófilo Otoni, que contribuíram tanto no crescimento pessoal e o desenvolvimento profissional, Kamila Domingos, Gustavo, Cirilo, Milene, Kamila Eugenio, Ramon, José Mario, Jeferson, Barbara, Loidiane, Eron, Luana, Leda, Vera.

Á equipe IF Goiano Campus Urutaí pelo acolhimento, incentivo e apoio, todos os professores e colaboradores, ao professor Victor Tomaz o qual tive o primeiro contato acadêmico com a área de geotecnologias, professor Beethoven pelo incentivo, orientação e colaboração e aos demais servidores os quais se tornaram grandes amigos, Rafael, Paulo, Rubislei, Luccas, Milton.

Á todos do Programa Ser Natureza, ao professor Eduardo pela oportunidade, Walter, Marcus e EMATER Pires do Rio.

Aos novos amigos e companheiros que tive o prazer de conhecer em Goiás, e que fizeram parte dessa trajetória.

"Que eu mantenha meu equilíbrio, mesmo sabendo que os desafios são inúmeros ao longo do caminho;

(...)

Que eu sustente a luz e o brilho no olhar, mesmo sabendo que muitas coisas no mundo, escurecem meus olhos."

Chico Xavier

RESUMO

O sensoriamento remoto é indispensável aos estudos envolvendo topografia, desde o trabalho de restituição fotogramétrica com vistas ao mapeamento altimétrico em diferentes escalas, apoiado nos princípios da estereoscopia, até a obtenção de modelos digitais de elevação. Um modelo digital de elevação (MDE) é representado por uma matriz numérica cujos valores correspondem à elevação da área (Z), referenciada a um sistema de coordenadas espaciais (X e Y), ou por uma representação vetorial. Devido ao alto custo e tempo para execução de levantamentos topográfico, e a facilidade e disponibilidade dos MDEs, o objetivo do trabalho é analisar a precisão do MDE Topodata comparado com levantamento topográfico trigonométrico, realizado em área de contribuição de nascentes. Onde seguiu-se a metodologia por etapas: levantamento topográfico e processamento dos dados; aquisição do MDE e processamentos; e comparação com análises estatísticas e visuais dos dois instrumentos. Concluindo que de acordo com a PEC padrão de exatidão cartográfica, o MDE não obteve exatidão a nenhuma das classe de carta topográfica, porem isso não descarta o uso e sua grande importância nas análises e em diagnósticos ambiental e também para projeção de trabalhos a ser executados a campo, sendo inúmeras e incontáveis suas aplicações.

Palavras-chave: Modelo digital de elevação; Levantamento topográfico; Precisão
Recuperação de nascentes.

ABSTRACT

Remote sensing is indispensable for studies involving topography, from the work of photogrammetric restitution with a view to the altimetric mapping at different scales, based on the principles of stereoscopy, to obtaining digital elevation models. A digital elevation model (MDE) is represented by a numerical matrix whose values correspond to the area elevation (Z), referenced to a spatial coordinate system (X and Y), or by a vector representation. Due to the high cost and time to perform topographic surveys, and the ease and availability of the MDEs, the objective of the work is to analyze the accuracy of the MDE Topodata compared to topographic survey trigonometric, performed in the area of contribution of springs. Where the methodology was followed in stages: topographic survey and data processing; MDE acquisition and processing; and comparison with statistical and visual analyzes of the two instruments. Concluding that according to the PEC standard of cartographic accuracy, the MDE did not obtain accuracy for any topographic chart class, but this does not rule out the use and its great importance in environmental analyzes and diagnostics and also for the projection of works to be executed to the field, being countless and countless its applications.

Keywords: Digital elevation model; Topographic survey; Accuracy Recovery of springs.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO **9**

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA **12**

2.1 Dados disponíveis remotamente (MDE) Topodata 12

2.2 Levantamento topográfico altimétrico 15

3. MATERIAL E MÉTODOS **19**

3.1 Caracterização da área de estudo 19

3.2 Levantamento topográfico 20

3.3 MDE aquisição e processamento 21

3.4 Análises da precisão 21

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES **23**

CONCLUSÕES **28**

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS **29**

ANEXOS **32**

1. INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório da Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura (Unesco) 2018, a demanda mundial por água tem aumentado a uma taxa de aproximadamente 1% ao ano, devido ao crescimento populacional, desenvolvimento econômico e mudanças nos padrões de consumo, e continuará a aumentar de forma significativa durante as próximas duas décadas. Este relatório ressalta ainda que o setor agrícola continuará tendo o maior consumo em termos gerais, contudo, a demanda por água das residências e indústrias aumentará mais rápido que a demanda da agricultura. Estima-se que a população afetada pela degradação e, ou, pela desertificação e secas é de aproximadamente 1,8 bilhão de pessoas, o que torna essa categoria de desastres naturais a mais significativa, com base na mortalidade e no impacto socioeconômico relativo ao Produto Interno Bruto (PIB) per capita.

A degradação dos ecossistemas é uma das principais causas dos crescentes desafios relativos à gestão da água. Embora cerca de 30% das terras em todo o mundo permaneçam com cobertura florestal, pelo menos dois terços dessa área se encontram em estado de degradação. A maioria dos recursos do solo em todo o mundo, especialmente em terras destinadas à produção agrícola, encontra-se apenas em condições razoáveis, precárias ou muito precárias, e a perspectiva atual é de que essa situação piore, com graves impactos negativos no ciclo da água, devido à redução da capacidade de armazenamento de águas subterrâneas e ao aumento do escoamento superficial, acompanhado pelo aumento da erosão (UNESCO, 2018).

Desde 1900, entre 64% e 71% das zonas úmidas de todo o mundo foram perdidas devido às atividades humanas. Todas essas mudanças têm gerado impactos negativos na hidrologia, desde a escala local até a escala regional e mundial. O monitoramento de bacias hidrográficas auxilia no planejamento ambiental, onde por meio da mensuração das diversas formas de degradação é possível contribuir na identificação de problemas ambientais (CUNHA e GUERRA, 2012; UNESCO, 2018).

Dentre os componentes presentes numa bacia, as nascentes se destacam por serem os mais frágeis devido à facilidade de sua contaminação. Para controlar tal característica bem como contribuir com a disponibilidade da água e evitar o soterramento da mesma, é importante a adoção de medidas que visem à sua preservação e recuperação (SEMA, 2010). As bases de dados criada para o monitoramento de bacias auxilia no entendimento sobre os processos iniciais e interações que ocorrem dentro da mesma, facilitando o reconhecimento de áreas que necessitem da adoção de medidas de prevenção e, ou, recuperação (JUSTUS, 2012).

Com o surgimento e desenvolvimento de novas tecnologias, podemos destacar a geotecnologia, que possibilita a obtenção de informações da superfície terrestre referenciadas espacialmente, onde se destaca o sensoriamento remoto, termo criado para designar o desenvolvimento dessa nova tecnologia de instrumentos, que utiliza sensores orbitais para obter imagens da superfície terrestre a distâncias remotas. Nesse sentido, os dados obtidos por meio de sensores orbitais podem ser utilizados para a representação numérica da superfície terrestre, ou seja, do relevo. Esses dados são denominados Modelos Digitais de Elevação (MDE).

A topografia e sua representação por meio de MDE mostram-se fundamentais para o entendimento do funcionamento da paisagem, especialmente em estudos hidrológicos e gestão de recursos naturais. Sendo assim, um MDE é base para uma série de estudos, como: realização de programas de manejo de bacias hidrográficas, projetos de irrigação, eletrificação rural, conservação de solos, preservação de recursos florestais, cumprimento do código florestal, gestão dos recursos hídricos, planejamento territorial, implantação de estradas rurais, melhoria da cartografia topográfica disponível, zoneamento ecológico – econômico, monitoramento ambiental, diagnósticos ambientais, dentre outros (EMBRAPA, 2012).

Com o MDE é possível definir a direção do fluxo da água, delimitar as bacias hidrográficas e calcular áreas de contribuição de forma mais rápida e simples, a partir de características morfológicas da bacia, tornando-se o método mais utilizado para cálculos geomorfológicos e extração de informações hidrológicas (LIN et al., 2006).

A extração automática de informações da topografia em ambiente computacional, como exemplifica as análises de redes fluviais, a participação de micro-bacias hidrográficas e a identificação de unidades de relevo, amenizam a demanda de trabalho manual e a subjetividade dessas atividades. Esses exemplos, embora predominem entre as aplicações de MDEs, estão longe de esgotar as possíveis finalidades (VALERIANO, 2008a).

MDEs fornecem informações espaciais de grande importância para análise da superfície terrestre, podendo ser provenientes de levantamentos de campo com teodolitos e estações totais, fotografias aéreas (estereopar) e cartas topográficas, as quais necessitam de um controle manual e de interpolação para gerar um MDE. Outras fontes oriundas de interferometria como o Radar (*Radio Detecting And Ranging*) e o Lidar (*Ligth Detection And Ranging*) são fontes ativas de sensores abordo de satélites (orbitais) ou aviões (sub-orbitais) (CARVALHO, 2009). Áreas de difícil modelagem, em geral associadas à topografia plana, talvegues e divisores de águas, assim como de grande inclinação, dificultam a aquisição e conhecimento das formas presentes na área analisada, resultando em um MDE inconsistente.

O município de Pires do Rio Goiás, situado na mesorregião do Sudeste goiano, no território que abrange a Estrada de Ferro, tem como afluente principal o córrego Maratá que por sua vez desempenha um papel de extrema importância, por ser o afluente responsável pelo abastecimento público do município, o qual também desde 2016 vem sendo monitorado e recebendo praticas técnicas de conversação e recuperação, envolvendo educação ambiental sob orientações da equipe do Programa Ser Natureza.

Programa Ser Natureza, criado pelo Ministério Público do Estado de Goiás, e assessorado por técnicos da Coordenadoria de Apoio à Atuação Extrajudicial (CAEJ), e do Centro de Apoio Operacional do Meio Ambiente do Ministério Público do Estado de Goiás. O Programa Ser Natureza está em execução em 23 municípios, com objetivo de promover diálogo entre os poderes Legislativo, Executivo e Judiciário, e a sociedade civil organizada. O objetivo é garantir a primazia dos interesses coletivos difusos na área ambiental, sem necessidade da judicialização, através de conjunto de ações extrajudiciais para reduzir problemas ambientais do Estado de Goiás, especificamente, na sub-bacia do córrego Maratá. Deste modo, foi criado, na Comarca do Município de Pires do Rio – GO, o grupo de trabalho para implantação do projeto em parceiras com instituições locais: Saneamento de Goiás (SANEAGO), Agência Goiana de Inovação (EMATER), Prefeitura Municipal de Pires do Rio (Secretaria de Agricultura e Meio Ambiente), e Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano – Campus Urutaí.

Devido a importância das áreas de contribuição de nascentes, e tendo em vista a necessidade de recuperação e conservação, juntamente com um estudo hidrológico aprofundado, as nascentes do córrego Maratá se tornaram objeto de estudo deste trabalho.

Contudo, tendo algumas incertezas e duvidas de até onde os produtos advindos de um MDE pode ser considerados viáveis e úteis em diagnósticos ambientais, construção e execução de projetos, sem que possa interferir na qualidade, este trabalho busca então analisar a precisão do MDE do projeto Topodata comparando-o com dados topográficos levantados na área de contribuição de uma das nascentes do córrego Maratá.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Dados disponíveis remotamente (MDE) Topodata

Recentemente, a integração dos Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) com ferramentas de análise estatística em Modelos Digitais de Elevação (MDEs) tem aumentado o poder analítico da geomorfologia moderna (EVANS et al., 2009). A geomorfometria, definida como a ciência da análise quantitativa da superfície terrestre, tem como enfoque a extração de medidas descritivas (parâmetros) e feições da superfície terrestre (objetos) (MARK e SMITH, 2004; WILSON, 2012), cujas aplicações são amparadas pela análise digital do relevo.

MDEs são muito utilizados por prover coberturas contínuas para áreas extensas e com relativo baixo custo, sendo que a computação digital automatizada fornece as medidas de formas da superfície, de contexto, de padrões e de textura que podem ser utilizados como substitutos para os critérios considerados na interpretação visual de imagens ou fotografias aéreas (HENGL e MACMILLAN, 2009).

Conforme Nelson et al. (2009), há três fontes de dados para a construção de MDEs: a) Técnicas de levantamento de campo, com a aquisição de pontos precisos de latitude, longitude e elevação (x, y, z); b) Mapas topográficos existentes, com a derivação de curvas de nível, drenagens, lagos e pontos de elevação; c) Sensoriamento remoto, com a interpretação de fotografias aéreas ou de imagens adquiridas de satélites, com destaque para a fotogrametria (métodos estereocópicos), radares e, mais recentemente, levantamentos *Laser*.

Entre os dados de interferometria mais difundidos atualmente no Brasil, citam-se os produtos da *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) - Missão Topográfica de Radar Transportado - que geraram MDEs com pixel de 90 e 30 metros de resolução (CARVALHO e BAYER, 2008), dados do projeto Topodata, resultantes de uma reamostragem, por *krigagem*, dos dados da SRTM gerando um MDE com 30 metros de resolução que recobrem o território brasileiro (VALERIANO, 2008b) e dados ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Refelctance Radiometer*), que adquire imagens pelo sensor *Visibile Near Infra-Red (VNIR*), com uma resolução de 30 metros (CARVALHO, 2009).

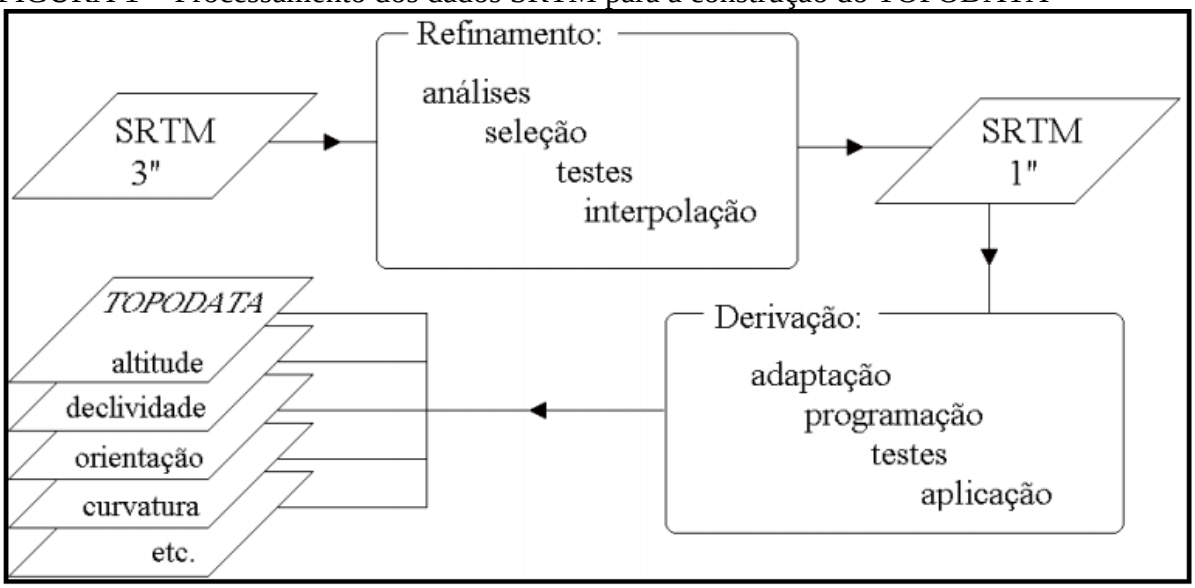
O (SRTM), nome dado à missão de imageamento global da superfície terrestre por RADAR. As instituições dos Estudos Unidos da América responsáveis pela missão foram a *Aeronautics and Space Administration* (NASA) e a *National Geospatial-Intelligence Agency* (NGA). E a agência espacial da Alemanha, a *Deutsches Zentrum für Luft-und Raumfahrt e.V.*

(DLR), além da agência espacial da Itália, a *Agenzia Spaziale Italiana* (ASI). A missão colocou em órbita em fevereiro de 2000 a nave espacial Endeavour levando um sistema de RADAR modificado e os dados da missão foram coletados durante 11 dias (de 11 a 22 de fevereiro). A missão percorreu 16 órbitas por dia e ao final totalizaram-se 176 órbitas percorridas. A missão SRTM foi concluída com a coleta de 12 Tb de dados que foram processados para a formação dos Modelos Digitais de Elevação (VALERIANO, 2004; BRAZ e MIRANDOLA, 2015).

A missão SRTM foi planejada de modo que coletasse medidas tridimensionais da superfície terrestre através de técnicas de interferometria. Para isso foram necessárias duas antenas, sendo uma principal a bordo da nave e uma antena externa, na extremidade do mastro de 60m, sendo estas antenas uma para a banda C e outra para a banda X (VALERIANO, 2004). A interferometria é um conjunto de técnicas e o estudo dos padrões de interferência criados por sinais de RADAR e recebidos pela combinação de duas antenas diferentes. A tomada de dados em cobertura global pela SRTM representa uma oferta até então inédita de MDE, por áreas relativamente desprovidas de mapeamentos topográficos.

A iniciativa TOPODATA propõe a derivações básicas da informação topográfica (MDE, declividade, orientação de vertentes, curvaturas etc.), gerados a partir de dados SRTM, para que estes dados estejam prontamente à disposição da comunidade para seu uso (VALERIANO e ROSSETTI, 2010). No intuito de se acelerar este processo, a iniciativa TOPODATA foi conduzida na forma de projeto para o cálculo e a oferta de variáveis geomorfométricas locais com estes dados por todo o território nacional. Tais variáveis correspondem aos elementos básicos sobre os quais se fundamentam as técnicas de interpretação e análise do relevo (VALERIANO, 2008a). Dos produtos gerados e oferecidos pelo TOPODATA, talvez o mais difundido e de maior uso pela comunidade seria o MDE, conforme Valeriano e Rossetti (2010), foram gerados a partir de um refinamento da resolução dos dados originais da SRTM banda C. Tal refinamento de resolução foi feito mediante um processo de interpolação, em que se calculam valores de células (pixels) intermediários aos valores de entrada. Os cálculos e interpolações foram programadas em forma de lote (macro) no ambiente do programa Surfer, os demais processos estão exemplificados na Figura 1 (VALERIANO e ALBUQUERQUE, 2010; VALERIANO e ROSSETTI, 2010).

FIGURA 1 - Processamento dos dados SRTM para a construção do TOPODATA



Fonte (VALERIANO e ALBUQUERQUE, 2010)

Quanto aos detalhes do presente processamento das metodologias de derivação, as operações principais foram cercadas de cuidados acerca da preparação do MDE (pré-processamento) e do tratamento dos resultados imediatos (pós-processamento). Estes foram desenvolvidos com base fortemente empírica, como mencionado, e buscaram reproduzir os resultados mais promissores em testes sobre os dados SRTM preparados especificamente pelos processos de refinamento adotados no TOPODATA por krigagem, segundo o modelo selecionado (VALERIANO e ROSSETTI, 2010), ou seja, refinados de 3 arco-segundos (aproximadamente 90 m) para 1 arco-segundo (aproximadamente 30 m), (VALERIANO e ALBUQUERQUE, 2010). Esta abordagem não aumenta o nível de detalhe do modelo resultante, porém resulta em uma superfície com coerência de suas propriedades angulares (por exemplo, declividade, orientação de vertentes etc.) entre as células vizinhas (VALERIANO et al., 2006), fator importante em análise morfométrica. Evidentemente, outros dados, de outros sensores, ou mesmo simplesmente dados SRTM com outra (ou sem) preparação, podem requerer cuidados diferentes para a obtenção de seus melhores resultados.

O projeto Topodata oferece o MDE e suas derivações locais básicas em cobertura nacional, disponíveis no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE responsável pela elaboração do projeto.

Desde que o Topodata foi lançado pela primeira vez, em agosto de 2008, o processamento dos dados foi sucessivamente inspecionado e revisado, com vistas a aprimoramentos e correções. Os dados inicialmente disponibilizados seguiram fielmente as opções e especificações constantes no "Guia de utilização" associado ao Topodata. Porém,

problemas na articulação entre folhas e a demanda por mais formatos levaram a um novo tratamento dos dados desde sua preparação, e detalhes do processamento de derivação geomorfométrica foram oportunamente melhorados, e os novos produtos disponíveis desde o dia 6 de maio de 2009. Para possibilitar uma futura expansão do Topodata, foi feita uma nova revisão dos produtos e processos, que culminou numa metodologia passível de aplicação onde quer que existam dados SRTM. Os dados atualmente disponíveis, desde novembro de 2011, foram elaborados em fiel correspondência a estes procedimentos (VALERIANO e ALBUQUERQUE, 2015).

2.2 Levantamento topográfico altimétrico

De acordo com a NBR 13133 (ABNT, 1994, p. 3), Norma Brasileira para execução de Levantamento Topográfico, o levantamento topográfico é definido por:

> Conjunto de métodos e processos que, através de medições de ângulos horizontais e verticais, de distâncias horizontais, verticais e inclinadas, com instrumental adequado à exatidão pretendida, primordialmente, implanta e materializa pontos de apoio no terreno, determinando suas coordenadas topográficas. A estes pontos se relacionam os pontos de detalhes visando à sua exata representação planimétrica numa escala predeterminada e à sua representação altimétrica por intermédio de curvas de nível, com equidistância também predeterminada e/ ou pontos cotados (NBR 13133, 1994, p. 3).

Classicamente a Topografia é dividida em Topometria e Topologia. A Topologia tem por objetivo o estudo das formas exteriores do terreno e das leis que regem o seu modelado. A Topometria estuda os processos clássicos de medição de distâncias, ângulos e desníveis, cujo objetivo é a determinação de posições relativas de pontos. Pode ser dividida em planimetria e altimetria (PASTANA, 2010).

Tradicionalmente o levantamento topográfico pode ser divido em duas partes: o levantamento planimétrico, onde se procura determinar a posição planimétrica dos pontos (coordenadas X e Y) e o levantamento altimétrico, onde o objetivo é determinar a cota ou altitude de um ponto (coordenada Z). A realização simultânea dos dois levantamentos dá origem ao chamado levantamento planialtimétrico (VEIGA et al., 2012)

Levantamento topográfico altimétrico (ou nivelamento).

> Levantamento que objetiva, exclusivamente, a determinação das alturas relativas a uma superfície de referência, dos pontos de apoio e/ou dos pontos de detalhes, pressupondo-se o conhecimento de suas posições planimétricas, visando à representação altimétrica da superfície levantada (NBR 13133, 1994, p.3).

É o modelo de levantamento responsável por determinar o relevo do terreno, ou seja, representa as ondulações do terreno. No plano cartesiano é representado pela coordenada “Z”.

Quando apresentada juntamente com o levantamento planimétrico, tem-se uma representação tridimensional da área levantada (levantamento planialtimétrico) (RODRIGUES, 2015).

Basicamente três métodos são empregados para a determinação dos desníveis: nivelamento geométrico, trigonométrico e taqueométrico. Nivelamento geométrico ou nivelamento direto: "Nivelamento que realiza a medida da diferença de nível entre pontos no terreno por intermédio de leituras correspondentes a visadas horizontais, obtidas com um nível, em miras colocadas verticalmente nos referidos pontos (NBR 13133, 1994, p.3)".

Nivelamento trigonométrico:

> Nivelamento que realiza a medição da diferença de nível entre pontos no terreno, indiretamente, a partir da determinação do ângulo vertical da direção que os une e da distância entre estes, fundamentando-se na relação trigonométrica entre o ângulo e a distância medidos, levando em consideração a altura do centro do limbo vertical do teodolito ao terreno e a altura sobre o terreno do sinal visado (NBR 13133, 1994, p.4).

Nivelamento taqueométrico:

> Nivelamento trigonométrico em que as distâncias são obtidas taqueometricamente e a altura do sinal visado é obtida pela visada do fio médio do retículo da luneta do teodolito sobre uma mira colocada verticalmente no ponto cuja diferença de nível em relação à estação do teodolito é objeto de determinação (NBR 13133, 1994, p.4).

O nivelamento trigonométrico, face o alcance entre os pontos nivelados pode ser conduzido tanto pela Topografia como pela Geodésia. No primeiro caso tem-se o denominado nivelamento trigonométrico de curto alcance enquanto no segundo caso temos o nivelamento trigonométrico de longo alcance. Em ambos o fundamento é o mesmo, porém os procedimentos de campo são distintos (CORDINI, 2014).

Fundamento do método de curto alcance, o fundamento do método será apresentado mediante a ilustração da Figura 2. Sejam A e B dois pontos do terreno cuja diferença de nível se quer determinar. Em um deles, ponto A por exemplo, se mede o ângulo α que a visual AB forma com o plano horizontal passante em A. Por algum procedimento se conhece a distância reduzida (horizontal) D. Do triângulo ABC. Equação 1 e 2 verifica-se que.

$$BC = D.\ Tan(\alpha) \quad (1)$$

Em que:

BC: diferença de nível entre A e B

D: distância horizontal

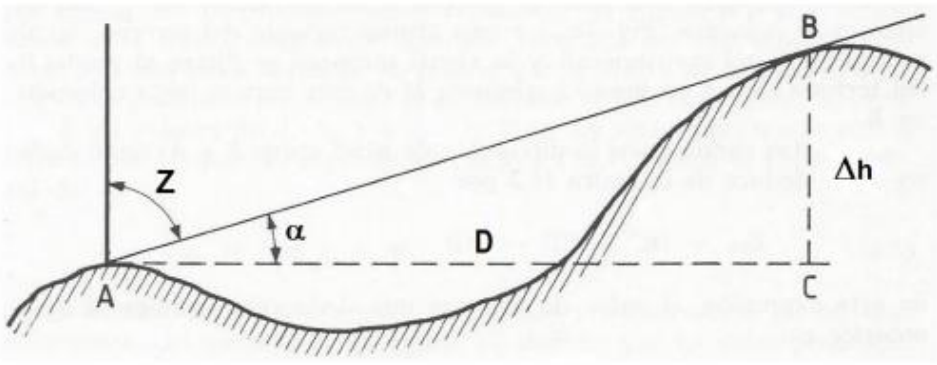
α: ângulo calculado

$$\Delta h = D.\ Tan(\alpha) \quad (2)$$

Em que:

Δh: diferença de nível

FIGURA 2 - Nivelamento trigonométrico: fundamento



Fonte (CORDINI 2014)

Onde BC é a diferença de nível entre os pontos B e A que aqui representamos por Δh. Em geral o ângulo vertical medido é o ângulo zenital (Z). Como α e Z são ângulos complementares, a equação 2 acima é reescrita como Equação 3.

$$\Delta h = D.\ Cotg(Z). \quad (3)$$

Para terrenos ascendentes (aclives) o desnível entre A e B será positivo, pois a tangente/cotangente é positiva; no caso de visadas descendentes (declives) o desnível será negativo, pois a tangente/cotangente é negativa. Para $\alpha = 0°$ ou $Z = 90°$, ambas as funções trigonométricas são nulas e o desnível entre os pontos A e B é nulo; isto é, os pontos A e B estão no mesmo nível ou estão sobre a mesma superfície equipotencial. O fundamento que foi exposto supõe que o ângulo medido é relativo à visual que une os dois pontos A e B do terreno. Mas, na realidade este ângulo é impossível de se medir.

Em geral, o equipamento de medição se coloca a uma altura variável do terreno, igual a altura hi da Figura 3; tampouco a visual se dirige ao ponto B do terreno, mas sim a um ponto qualquer M de uma mira graduada colocada verticalmente sobre o ponto B. Nestas condições a diferença de nível entre B e A pode ser reescrita conforme se deduz da Figura 3. Equação 4

$$\Delta h = MC + CD - MB \quad (4)$$

Onde:

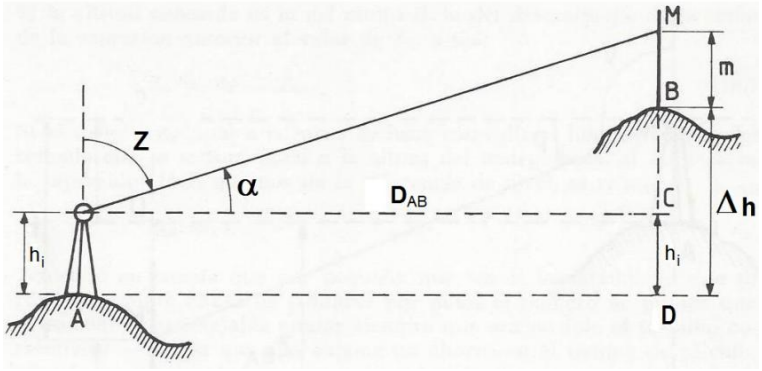
Δh: diferença de nível

MC: cateto oposto

CD: altura do aparelho

MB: altura do fio médio

FIGURA 3 - Nivelamento trigonométrico na prática



Fonte: (CORDINI 2014)

Na Equação 4 em que o segmento MC = D.Tanα = D.CotgZ; CD é a altura do aparelho designada por hi; o segmento MB é a leitura do fio médio do retículo projetado na mira: designemos por LM. Com isso podemos reescrever a expressão anterior, que se torna. Equação 6 e 7.

$$\Delta h = D.\ Tan(\alpha) + hi - LM \quad (6)$$

$$\Delta h = D.\ Cotg(Z) + hi - LM \quad (7)$$

Em que:

Δh: diferença de nível

D: distância horizontal

α: ângulo calculado

Z: ângulo zenital

hi: altura do aparelho

LM: leitura do fio médio

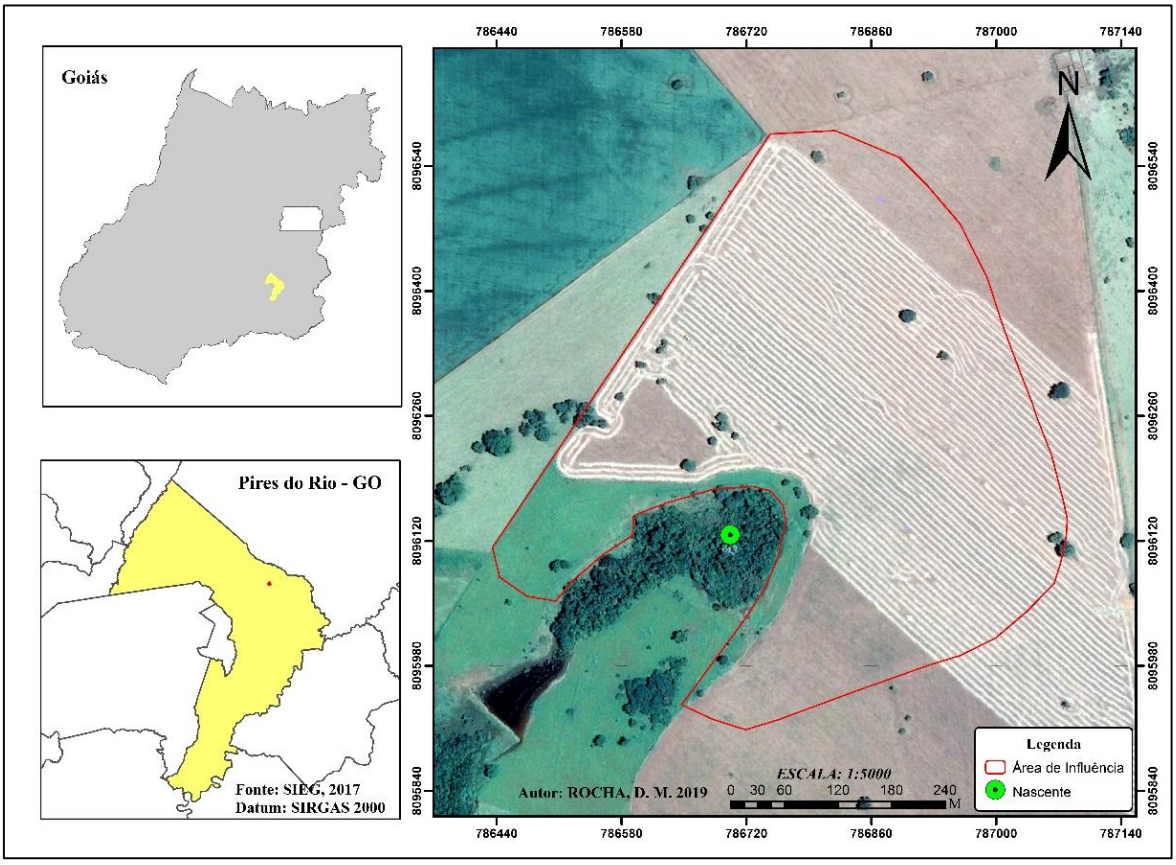
3. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização deste trabalho seguiu-se o seguinte roteiro: Levantamento de bibliografia relacionada à temática e suas aplicações; Aquisição de dados raster (MDE TOPODATA); Levantamento topográfico altimétrico da área; Relacionamento dos dados; Análise estatísticas e visuais; Discussão dos resultados, o trabalho foi realizado em partes no laboratório de geoprocessamento do Instituto Federal Goiano campus Urutaí.

3.1 Caracterização da área de estudo

O objeto em estudo compreende a uma área de influência de uma nascente, meramente denominadas pelo autor de: nascente próxima ao bananal localizada na coordenada UTM: E 786722.25m S 8096140.41m fuso 22S (Figura 4), situada no município de Pires do Rio – GO, a qual é uma das afluentes da bacia do córrego Maratá.

FIGURA 4 - mapa da área de influência da nascente.



Fonte: Elaborado pelo Autor

A delimitação da área de influência foi definida a partir de diagnóstico ambiental seguido de um estudo hidrológico aprofundado: delimitação da micro-bacia da nascente, uso e ocupação do solo: identificação do tipo de cultura e área plantada, análises de imagens;

identificação dos limites da propriedade e o proprietário, por fim, visita a campo para esclarecimento de algumas pontos.

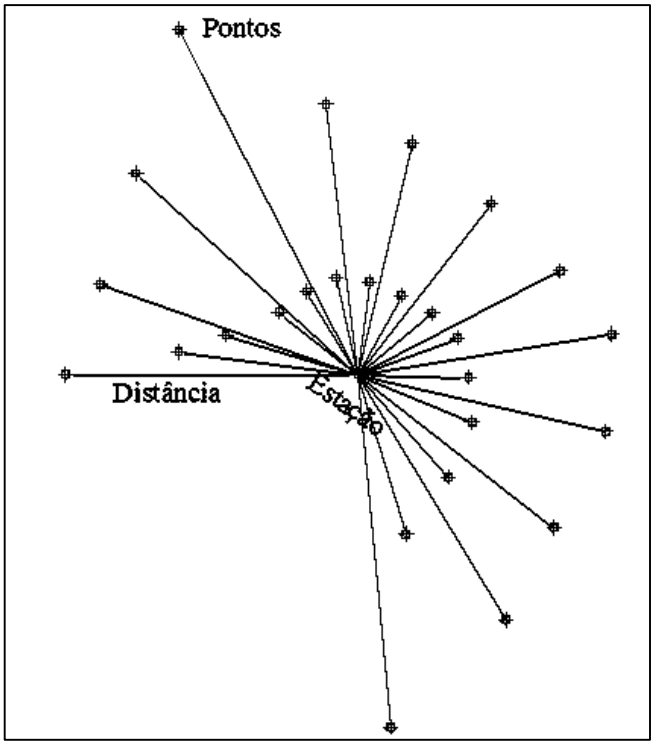
3.2 Levantamento topográfico

A metodologia de levantamento utilizado foi o nivelamento trigonométrico, o qual se baseia no triângulo retângulo onde conhecendo um dos catetos a (distância horizontal) e procura determinar o outro cateto a (diferença de nível). Os equipamentos utilizados foram: uma estação total Topocon GTS 102 N, prisma simples Topocon, bastão e também foi utilizado um GPSmap 60CS Garmin para coleta das coordenadas geográficas.

Os dados do levantamento foram agrupados e organizada em forma de tabela, onde obteve-se as coordenadas geográficas, a distância, o ângulo zenital e horizontal, e a diferença de nível de cada ponto, (estes dados podem ser observados na Tabela 5, nos anexos), posteriormente foi utilizado o programa AutoCad 2014 para obter o Grid dos pontos coletados, os mesmos foram lançados no programa utilizando a distância e o ângulo horizontal como mostra Figura 5.

Após a construção do Grid, o mesmo foi movido e rotacionado com os pontos adquiridos via GPS. Onde, com auxílio do AutoCad, os dados obtidos em levantamento a campo com estações totais ou teodolitos são movidos e rotacioandos para um ponto de interesse, de acordo com Giovanini (2016), com o Grid ajustado foi coletado a coordenada de cada ponto do levantamento, e organizado em tabela juntamente com os outros dados do levantamento topográfico, para assim seguir o processamento e as análises.

FIGURA 5 - Grid dos pontos coletados no levantamento topográfico



Fonte: Elaborado pelo Autor

3.3 MDE aquisição e processamento

Inicialmente foi adquirida a cena 17S495 do MDE, disponível no site do INPE no banco de dados do Topodata, que faz a cobertura do local de trabalho. Com auxílio programa ArcGis 10.3 foi realizado o corte na proporção da área de trabalho e então projetou-se cartograficamente segundo a projeção cartográfica Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 22, Datum SIRGAS-2000, logo após com a ferramenta *Extract by Points*, disponível na *toolbox Spatial Analyst* do ArcMap 10.3 foi extraída a atitude dos 27 pontos referentes ao levantamento topográfico, onde foi realizado com duas metodologias: a primeira extraiu-se a altitude de acordo com o pixel que o ponto estava localizado, a segunda foi realizado uma interpolação direta, opcional disponível na ferramenta *Extract by Points* do programa. Os dados foram organizados em tabelas com a seguinte denominação: Altitude proveniente do MDE normal (MDEn), Altitude proveniente do MDE interpolado (MDEi) e levantamento topográfico (Lev. Top.), feito isso os dados foram submetidos as análises estáticas e visuais.

3.4 Análises da precisão

Para realizar as análises dos MDEs foram utilizados como referências os 27 pontos do levantamento topográfico, foram calculados os desníveis do MDEn e MDEi em relação ao ponto inicial da estação no levantamento topográfico, e então atribuído a mesma cota inicial

para ambos MDE's (800m). Os dados (Tabela 6 em anexos) foram então submetidos às análises visuais (mapas) e estatísticas [regressão linear, média, mediana, desvio padrão, valor máximo, erro médio quadrático (EMQ) e mínimo e distribuições de frequências], com software Excel para avaliar a precisão e similaridade.

Os critérios para análises da precisão foram embasados na aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC). No Brasil, a Legislação que trata da qualidade dos produtos cartográficos é o Decreto n° 89.817 de 1984, que estabelece Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. O referido Decreto apresenta uma avaliação da qualidade do mapa no tocante à exatidão das informações cartográficas, criando o PEC e uma classificação, conforme apresentação da Tabela 1.

TABELA 1 - Padrão de Exatidão Cartográfico (PEC)

Carta	PEC 1984	EMQ
Classe A	1/2 equidistância	1/3 da equidistância
Classe B	3/5 equidistância	2/5 da equidistância
Classe C	3/ 4 equidistância	1/2 da equidistância

Fonte: Decreto Lei 89.817, 1984

Este decreto estabelece ainda que:

> Art.8º As cartas quanto à sua exatidão devem obedecer ao Padrão de Exatidão Cartográfica - PEC, segundo o critério abaixo indicado: 2. Noventa por cento dos pontos isolados de altitude, obtidos por interpolação de curvas-de-nível, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica - Altimétrico - estabelecido (Decreto Lei 89.817, 1984).

No tocante do trabalho desenvolvido, quando se refere as análises de acordo com os critérios da PEC, devido a escala utilizada de 1:5000 segue se de acordo com a Tabela 2, para classificar os MDEs quanto à sua exatidão altimétrica.

TABELA 2 - Classificação de documentos Cartográficos através do PEC Altimétrica

Categoria	Tolerância	EMQ
Classe A	1,0 m	0,66
Classe B	1,2 m	0,8
Classe C	1,5 m	1
Obs: Valores para a escala 1: 5000		

Fonte: Brasil 1984, editado pelo Autor

Subtrações entre dados matriciais (imagens diferença) foram utilizados para visualização da distribuição espacial dos erros, conforme Medeiros et al. (2009). Desta forma, o MDEn e MDEi foram subtraídos do levantamento de topográfico, obtendo-se um novo conjunto de dados, com valores positivos nas regiões onde os MDEs subestimam o levantamento topográfico e valores negativos nas regiões onde estes superestimam o levantamento topográfico.

Após as subtrações, os dados foram submetidos às análises estatísticas (média, desvio padrão, erro médio quadrático, valor máximo e mínimo e distribuições de frequência de erros), para se avaliar os erros e as similaridades dos MDEs em relação ao levantamento topográfico.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O MDE Topodata, nas duas metodologias de extração da altitude (MDEi e MDEn), apresentou uma certa similaridade em relação ao levantamento topográfico, contudo os valores de altitude do MDEi, mesmo que em pequena proporção, se aproximou mais aos do Levantamento Topográfico, conforme pode ser observado na Tabela 3.

TABELA 3- Estatística descritiva para os valores de altitude, em metros, provenientes do MDE normal (MDEn), do MDE interpolado (MDEi) e do levantamento topográfico

Análise	Lev. Top.	MDEn	MDEi
Média	805,575	804,469	804,339
Máximo	819,460	817,360	818,030
Mínimo	794,860	792,910	793,190
Mediana	805,390	803,910	804,330
Desvio Padrão	5,331	5,407	5,391

Fonte: Elaborado pelo Autor

Observa-se que na Tabela 3 os valores de máximo, mínimo, mediana e desvio padrão da altitude extraída do MDEi foram mais próximos aos do Levantamento Topográfico, tomando-o como de referência.

Com as análises da subtração entre os pontos do levantamento topográfico e o MDE normal e interpolado, para verificar o erro entre ambos, temos a Tabela 4.

TABELA 4 - Análise das diferenças, em metros, entre as altitudes do levantamento topográfico e as altitudes extraídas dos modelos digitais de elevação [MDE normal (MDEn) e MDE interpolado (MDEi)]

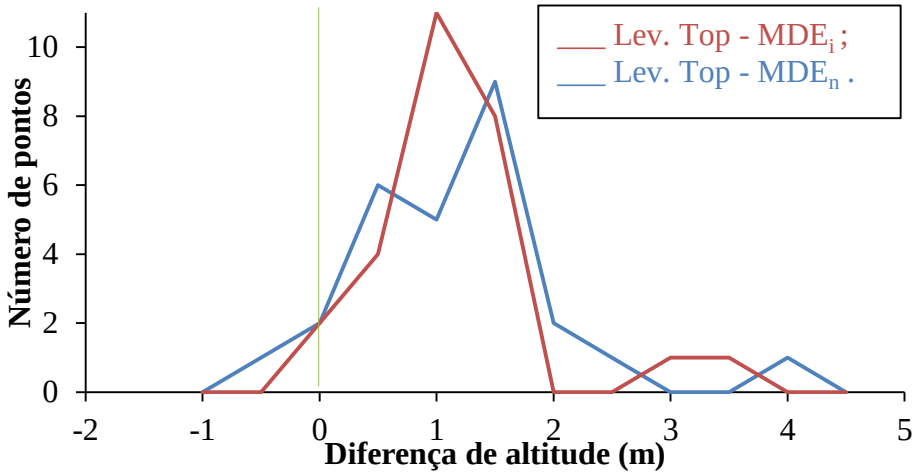
Análise	MDEn	MDEi
Média	1,1059	1,2359
Máximo	3,6800	3,3400
Mínimo	-0,7700	-0,0600
Desvio Padrão	0,8760	0,6916
Erro Médio Quadrático	1,427	1,437

Fonte: Elaborado pelo Autor

De acordo com a Tabela 4, o MDEi foi o que se mostrou com menor erro em 3 das 5 analises, nos demais o MDEn obteve menor erro em ralação ao levantamento topográfico.

Conforme a distribuição de frequência dos erros, calculados a partir das subtrações entre o levantamento topográfico e os modelos digitais de elevação, apresentado na Figura 6, pode observa-se a dispersão em cada modelo.

FIGURA 6 - Distribuições de frequências mostrando as diferenças de altitude entre o levantamento topográfico (Lev. Top) e o modelo digital de elevação interpolado (MDE_i), e entre o Lev. Top e o modelo digital de elevação normal (MDE_n)

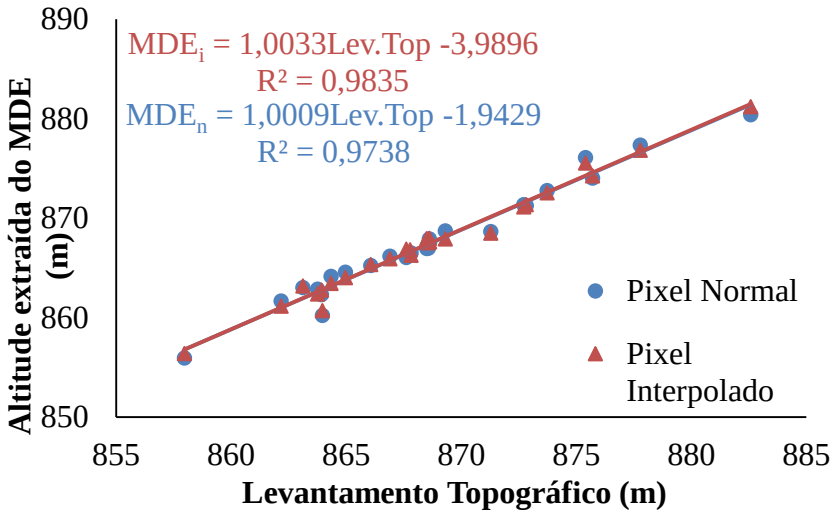


Fonte: Elaborado pelo Autor

Na Figura 6 é possível notar que a menor dispersão dos erros ocorre entre o levantamento topográfico e o MDEi.

As análises por regressão linear demostram a similaridade existente entre os modelos digitais de elevação utilizado e os 27 pontos do levantamento topográfico levantados na área de estudo, conforme Figura 7.

FIGURA 7 - Análise de regressão linear entre o levantamento topográfico (Lev. Top) e o modelo digital de elevação interpolado (MDE_i), e entre o Lev. Top e o modelo digital de elevação normal (MDE_n)

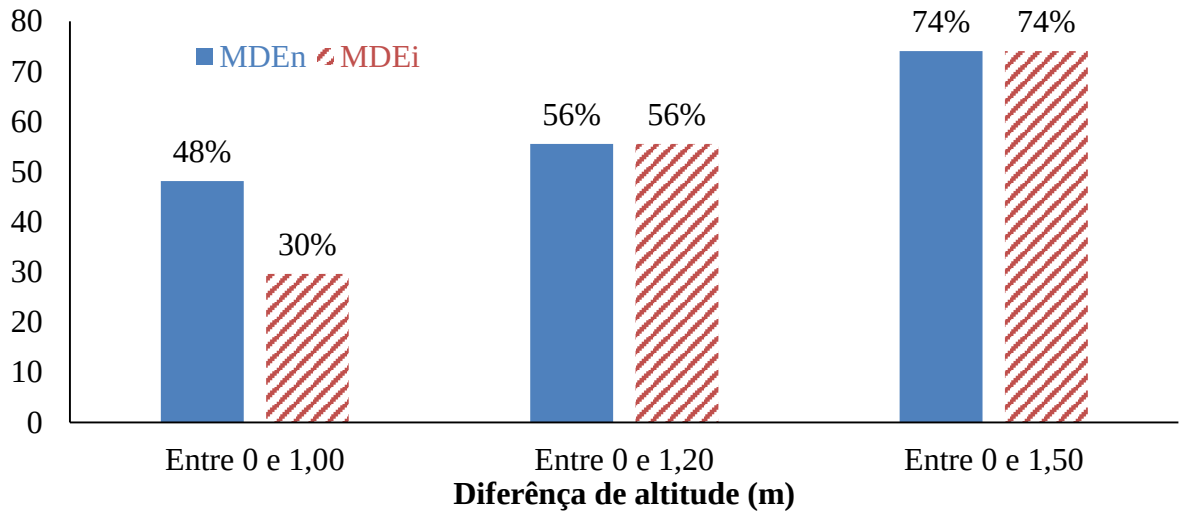


Fonte: Elaborado pelo Autor

O valor de r^2 que mais se aproxima de 1 indica que uma maior quantidade de dados do modelo digital de elevação, possuem grandezas compatíveis com àquelas do levantamento topográfico. Portanto pode se observar que a regressão linear entre o modelo digital de elevação interpolado e o levantamento topográfico foi a que apresentou melhor ajuste.

Considerando os critérios da norma da cartografia nacional, em relação a PEC, Padrão de Exatidão Cartográfica, onde estabelece um mínimo de 90% de incertezas de para cada classe de carta, nenhum dos MDEs avaliados alcançaram o Padrão de Exatidão Cartográfico para nenhuma das classes Figura 8.

FIGURA 8 - Porcentagem de incertezas das altitudes extraídas do modelo digital de elevação interpolado (MDEi) e do modelo digital de elevação normal (MDEn), em ralação ao levantamento topográfico

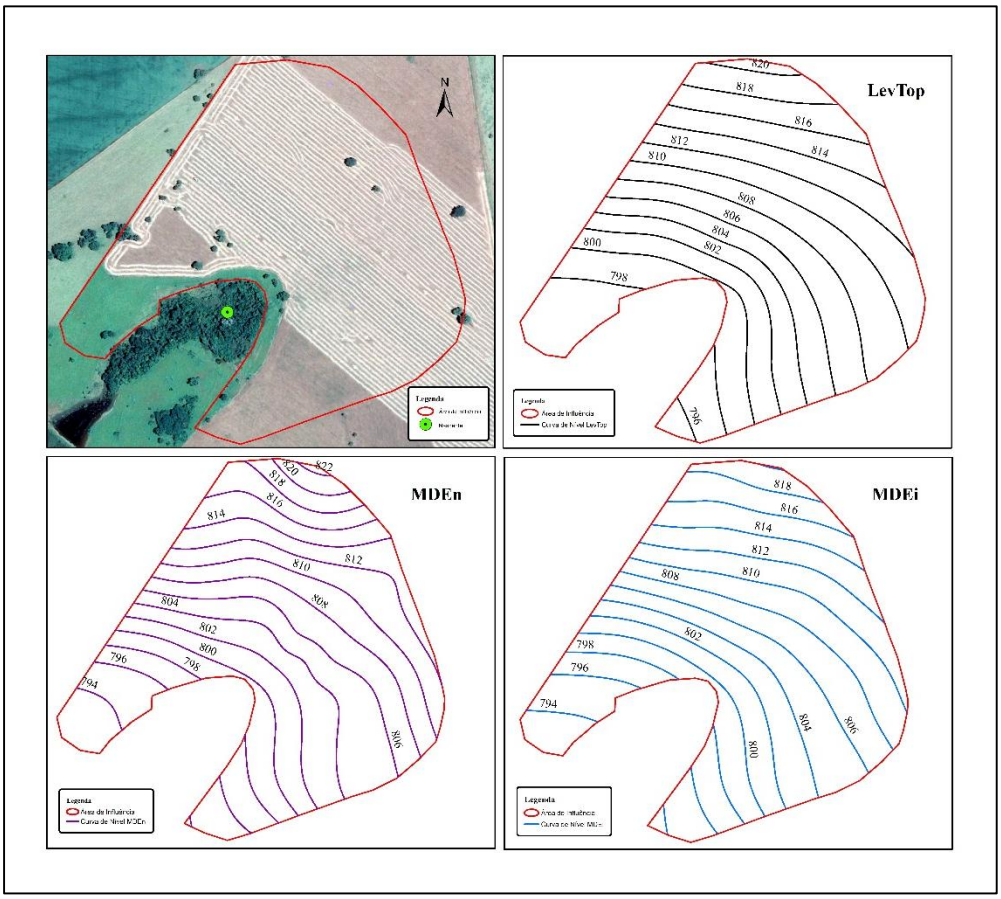


Fonte: Elaborado pelo Autor

Quando analisados para critérios da classe A observa-se que o MDEn se saiu melhor com 48% dos pontos com incerteza abaixo de 1 m, no entanto para a classe B e C os MDEs se mantiveram relativamente iguais, chegando bem próximo da classe C, com 74% de erro menor que 1,5 m.

Com as análises visuais é possível notar a semelhança entre os instrumentos, quando extraído as curvas de nível de cada um, Figura 9.

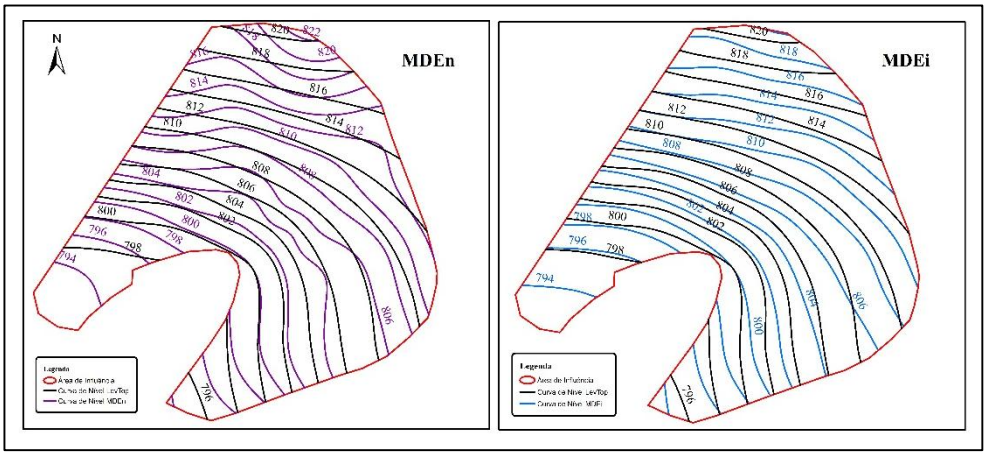
FIGURA 9 - Curvas de nível do Levantamento topográfico, MDE normal e MDE interpolado espaçamento de 2 metros.



Fonte: Elaborado pelo Autor

Sobrepondo as curva de nível do MDE normal e MDE interpolado com o Levantamento topográfico é possível visualizar qual se aproximou mais do levantamento topográfico, Figura 10

FIGURA 10 – Curvas de nível MDEn e MDEi sobreposta com a curva do Levantamento topográfico.

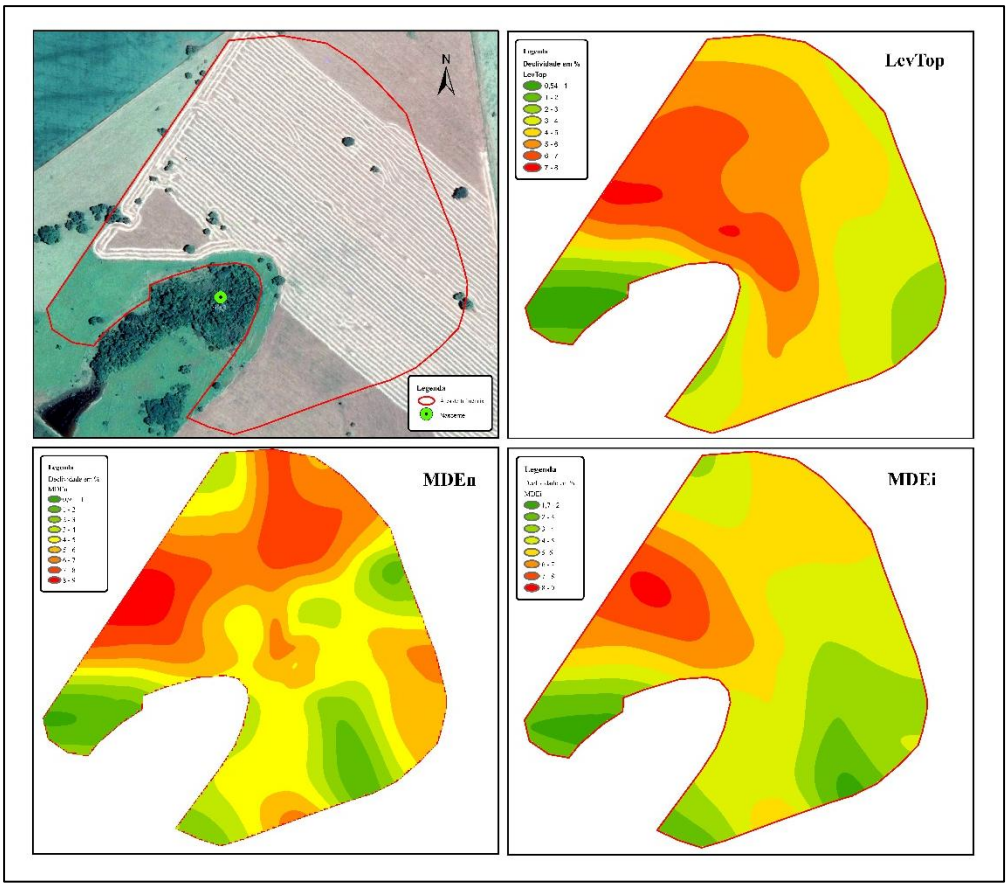


Fonte: Elaborado pelo Autor

Observando a figura 10, é possível notar que as curvas de nível do MDE interpolado tem maior similaridade com as do levantamento topográfico, comparado com as do MDE normal, portando ainda não apresenta semelhança satisfatória.

Observando o índice de declividade, expresso em porcentagem, é possível identificar as áreas mais íngreme do terreno e também é uma forma de analisar a semelhança entre os instrumentos estudados, Figura 11.

FIGURA 11 - declividade expressa em porcentagem



Fonte: Elaborado pelo Autor

Analisando a figura 11 pode observar-se a coloração vermelha como parte mais íngreme do terreno, sendo o MDEi o que mais aproximou-se do LevTop tendo o MDEn com glebas bem mais desuniforme quando comparados.

CONCLUSÕES

Após as análises estatísticas foi possível concluir, que o MDE Topodata não atingiu resultados satisfatórios de acordo ao exigido para o Padrão de Exatidão Cartográfico PEC, não atendendo os critérios para nenhuma de suas classes conforme a norma, quando comparado ao levantamento topográfico com escala de 1:5.000, portanto observou ainda que o MDE interpolado teve uma maior aproximação do levantamento topográfico em relação ao MDE normal.

Quanto as comparações visuais, é possível notar que as curvas de nível geradas a partir do MDEi também se aproximou mais do LevTop, mesmo se distanciando consideravelmente em alguns pontos, ainda obteve contornos suaves, semelhantes ao do LevTop o que não ocorre no MDEn.

Todavia deve se ressaltar ainda, que mesmo mostrando-se estatisticamente diferente do levantamento topográfico e incompatível com os padrões da PEC, isso não impossibilita o MDE e nem o deixa inviável, sendo inúmeras suas aplicações, devido a agilidade no processamento e na aquisição, o que torna o MDE muito utilizado na elaboração de diagnostico ambiental principalmente na extração morfométrica, representação gráfica e projeção de projetos a serem implantados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. Decreto nº.89.817 de 20 de junho de 1984. **Dispõe sobre as instruções reguladoras das normas técnicas da cartografia nacional**. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 22 jun. 1984.

BRAZ, A. M.; MIRANDOLA, P. H. **Geotecnologias Aplicada: uma análise ambiental da bacia hidrográfica do córrego carro queimado**. 1. ed. Saarbrücken: Novas Edições Acadêmicas, 2015. 145 p.

CARVALHO, T. M. Parâmetros geomorfométricos para descrição do relevo da reserva de desenvolvimento sustentável do Tupé, Manaus, Amazonas. In: SANTOS, E. N.; SCUDELLER, V. V. (Org.). Biotupé: meio físico, diversidade biológica e sociocultural do Baixo Rio Negro, Amazônia Central. Manaus: UEA, 2009. v. 2. 18 Pg.

CARVALHO, T. M.; BAYER, M. Utilização dos produtos da 'Shuttle Radar Topography Mission' (SRTM) no mapeamento geomorfológico do Estado de Goiás. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v.9, n.1, p.35-41, 2008.

CORDINI, J. **Altimetria: teoria e métodos visando a representação do relevo.** Material de apoio acadêmico - Universidade Federal de Santa Catarina. 2014

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia e meio ambiente.** 11 ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2012. 396p.

EVANS, I. S.; HENGL, T.; GORSEVSKI, P. Applications in Geomorphology. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (eds.) **Geomorphometry - Concepts, Software, Applications**, Series Developments in Soil Science vol. 33, Amsterdam: Elsevier, p.497-526, 2009.

EMBRAPA MONITORAMENTO POR SATÉLITE. **Sistemas Orbitais de Monitoramento e Gestão Territorial**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2012. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br>. Acesso em: 16 de janeiro. 2019.

GIOVANINI, A. Georreferenciamento de dados o guia definitivo, 2017. Disponível em: < http://adenilsongiovanini.com.br/wp-content/uploads/2017/09/Georreferenciamento-de-dados.pdf>. Avesso em: 18 de fevereiro de 2019.

HENGL, T.; MACMILLAN, R. A. Geomorphometry - A Key to Landscape Mapping and Modelling. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (eds.) **Geomorphometry - Concepts, Software, Applications**, Series Developments in Soil Science vol. 33, Amsterdam: Elsevier, p.433-460, 2009.

JUSTUS, C. M. Utilização do SIG para monitoramento de alguns parâmetros físico- químico das águas superficiais da bacia hidrográfica do rio Pedro em Faxinal – PR. Geoingá: **Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia,** Maringa, v. 4, n.2, p.26-39, 2012.

LIN, W; CHOU, W; LIN, C; HUANG, P; TSAI, J. Automated suitable drainage network extraction from digital elevation models in Taiwan's upstream watersheds. **Hydrological Processes**. v.20, p.289–306, 2006.

MARK, D. M., SMITH, B. A science of topography: from qualitative ontology to digital representations. In: Bishop, M.P., Shroder, J.F. (Eds.), **Geographic Information Science and Mountain Geomorphology**. Springer–Praxis, Chichester, England, p.75–97, 2004.

MEDEIROS, C. L. et al. Avaliação de modelos digitais de elevação para delimitação automática de bacias hidrográficas. **Revista Brasileira de Cartografia,** N° 61/02, p 137-151, 2009.

NELSON, A.; REUTER, H. I.; GESSLER, P. DEM Production Methods and Sources. In: HENGL, T.; REUTER, H. I. (eds.) Geomorphometry: Concepts, Software, Applications. Series Developments in Soil Science vol. 33, Amsterdam: Elsevier, p.31-64, 2009.

NBR 13133/1994 – Versão Corrigida 1996**: Execução de levantamento topográfico**. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1996

PASTANA. C. E. T. **Topografia I e II** – Notas de Aula. Faculdade de Engenharia. Arquitetura e Tecnologia. UNIMAR. Marilia. 2010. Disponível em < http://civilnet.com.br/Files/topo2/TOPOGRAFIA-APOSTILA-2010-1.pdf. Acesso frequentemente.

RODRIGUES, R.S da. **Comparações entre coordenadas no plano topográfico local obtido a partir de topografia e de geodésia**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em engenharia civil) - Universidade Federal de Santa Maria. 2015

Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA. **Nascentes protegidas e recuperadas**. Curitiba. 2010. 24 pg. Disponível em < http://www.meioambiente.pr.gov.br/arquivos/File/corh/Cartilha_nascentesprotegidas.pdf > Acesso em 14 de fevereiro de 2019.

UNESCO WWAP: CONNOR. R; COATES, D; UHLENBROOK, S; KONCAGÜL, E. Soluções baseadas na natureza para gestão das aguas UNESCO 2018, Disponível em < http://portalods.com.br/wp-content/uploads/2018/03/261594por.pdf> Acesso em 12 de fevereiro de 2019.

VALERIANO, M. M. **Modelo digital de elevação com dados SRTM disponíveis para a América do Sul**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-10550-RPQ/756). 72p., 2004 (Boletim).

VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. **Topodata: processamento dos dados SRTM**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-16702-RPQ/854). 79p., 2010 (Boletim)

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. **Topodata: seleção de coeficientes geoestatísticos para refinamento unificado de dados SRTM.** São José dos Campos: INPE, 2008. 76p.

VALERIANO, M. M**. Topodata: guia para utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos, SP: INPE: Coordenação de Ensino, Documentação e Programas Especiais (INPE-15318-RPE/818). 72p., 2008a (Boletim).

VALERIANO, M. M. Dados Topográficos. In: FLORENZANO, T. G. (org). **Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008b. Cap. 3, p.72-103.

VALERIANO, M. M.; ALBUQUERQUE, P. C. G. **Derivação de Modelos Digitais de Elevação (MDE) em coordenadas geográficas.** Simpósio Brasileiro De Sensoriamento Remoto, 17. (SBSR), 2015, João Pessoa. Anais. São José dos Campos: INPE, 2015

Valeriano, M. M.; Kuplich, T. M.; Storino, M.; Amaral, B. D.; Mendes Júnior., J. N.; Lima, D. Modeling small watersheds in Brazilian Amazônia with SRTM-90m data. Computers & Geosciences, v.32, n.8, p.1169-1181, 2006.

VEIGA. L. A. K.. ZANETTI. M. A. Z.. FAGGION. P. L. **Fundamentos de Topografia. Engenharia Cartográfica e de Agrimensura**. Universidade Federal do Paraná 2012.

WILSON, J. P. Digital terrain modelling. Geomorphology, v.137, p.107–121, 2012.

ANEXOS

Tabela 5 - Dados do levantamento topográfico

Ordeval bananal									
Pontos	Coordenadas		Alt. Inst.	Alt. Prism	D. Horiz	Dif. Nível	Âng. Vert.	Âng. Horiz	Desnível
Estação	786782	8096155	1,56						
1	786525	8096247	1,56	1,8	280,5	1,05	89°47'10"	0°00'00"	0,81
2	786637	8096236	1,56	1,8	173,18	0,88	89°42'34"	7°1555"	0,64
3	786584	8096321	1,56	1,8	261,85	6,43	88°35'40"	19°18'42"	6,19
4	786650	8096412	1,56	1,8	287,59	12,52	87°30'32"	42°16'35"	12,28
5	786731	8096531	1,56	1,8	373,1	19,70	86°58'15"	62°41'25"	19,46
6	786844	8096420	1,56	1,8	261,45	14,90	86°44'20"	83°20'56"	14,66
7	786910	8096359	1,56	2,45	228,19	13,48	86°37'39"	103°10'57"	12,59
8	786965	8096282	1,56	2,45	208,2	11,51	86°54'14"	127°54'45"	10,62
9	787008	8096199	1,56	2,45	218,54	10,61	87°13'21"	152°53'46"	9,72
10	787036	8096126	1,56	2,45	247,19	10,49	87°34'18"	170°57'46"	9,60
11	787003	8096040	1,56	1,8	244,22	8,41	88°01'42"	192°57'22"	8,17
12	786927	8095967	1,56	1,8	239,02	4,94	88°49'90"	217°54'21"	4,70
13	786857	8095896	1,56	1,8	275,34	1,09	89°46'35"	238°51'59"	0,85
14	786721	8095831	1,56	1,8	340,21	-4,90	90°49'34"	264°39'25"	-5,14
15	786791	8096004	1,56	1,8	160,11	-0,70	90°15'06"	253°07'35"	-0,94
16	786847	8096044	1,56	1,8	131,67	2,09	89°05'22"	228°31'51"	1,85
17	786884	8096088	1,56	1,8	118,9	4,03	88°03'33"	202°42'47"	3,79
18	786894	8096130	1,56	1,8	106,58	4,94	87°20'57"	181°26"27"	4,70
19	786896	8096169	1,56	1,8	102,14	5,70	86°48'28'	159°51'34"	5,46
20	786879	8096199	1,56	1,8	92,57	5,76	86°26'20"	140°25'26"	5,52
21	786856	8096224	1,56	1,8	86,94	5,69	86°15'05'	118°47'34"	5,45
22	786831	8096246	1,56	1,8	90,02	5,74	86°21'09!	97°14'21"	5,50
23	786800	8096257	1,56	1,8	95,18	5,63	86°36'07"	77°17'33"	5,39
24	786770	8096254	1,56	1,8	93,5	4,74	87°04'39"	58°38'53"	4,50
25	786740	8096244	1,56	1,8	96,42	3,20	88°05'53"	38°37'28"	2,96
26	786683	8096240	1,56	1,8	132,35	1,47	85°14'39"	16°45'51"	1,23

Tabela 6 - Dados processados para análises

Pontos	Altitude Lev. Topográfico	Altitude MDE Normal	Altitude MDE Interpolado	Dif. de Nível Lev. Topo.	Dif. de Nível MDEn	Dif. de Nível MDEi	Lev. Top.- MDEn	Lev. Top.- MDEi
Estação	800,00	800,00	800,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
1	800,81	799,28	799,57	0,81	-0,72	-0,43	1,53	1,24
2	800,64	799,81	799,20	0,64	-0,19	-0,80	0,83	1,44
3	806,19	805,67	804,73	6,19	5,67	4,73	0,52	1,46
4	812,28	813,05	812,34	12,28	13,05	12,34	-0,77	-0,06
5	819,46	817,36	818,03	19,46	17,36	18,03	2,10	1,43
6	814,66	814,32	813,63	14,66	14,32	13,63	0,34	1,03
7	812,59	810,98	811,06	12,59	10,98	11,06	1,61	1,53
8	810,62	809,74	809,35	10,62	9,74	9,35	0,88	1,27
9	809,72	808,22	808,17	9,72	8,22	8,17	1,50	1,55
10	809,60	808,33	807,93	9,60	8,33	7,93	1,27	1,67
11	808,17	805,62	805,32	8,17	5,62	5,32	2,55	2,85
12	804,70	803,47	803,08	4,70	3,47	3,08	1,23	1,62
13	800,85	797,17	797,51	0,85	-2,83	-2,49	3,68	3,34
14	794,86	792,91	793,19	-5,14	-7,09	-6,81	1,95	1,67
15	799,06	798,62	797,96	-0,94	-1,38	-2,04	0,44	1,10
16	801,85	801,54	800,83	1,85	1,54	0,83	0,31	1,02
17	803,79	803,13	802,73	3,79	3,13	2,73	0,66	1,06
18	804,66	803,47	803,64	4,66	3,47	3,64	1,19	1,02
19	805,46	803,93	804,33	5,46	3,93	4,33	1,53	1,13
20	805,52	804,55	804,44	5,52	4,55	4,44	0,97	1,08
21	805,45	804,34	804,48	5,45	4,34	4,48	1,11	0,97
22	805,50	804,88	804,78	5,50	4,88	4,78	0,62	0,72
23	805,39	803,91	804,76	5,39	3,91	4,76	1,48	0,63
24	804,50	803,03	803,70	4,50	3,03	3,70	1,47	0,80
25	802,96	802,21	802,15	2,96	2,21	2,15	0,75	0,81
26	801,23	801,12	800,24	1,23	1,12	0,24	0,11	0,99