

NOTAS SOBRE COMPARAÇÕES ENTRE DISTINTOS MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO

Notes on comparisons between distinct Digital Elevation Models

**Bruna Mendel Naissinger
Adriane Brill Thum**

**Universidade do Vale do Rio dos Sinos – UNISINOS
Especialização em Informações Espaciais Georreferenciadas**

Av Unisinos 950, Cristo Rei, São Leopoldo - RS, Brasil
brunamendeln@gmail.com
adrianebt@unisinos.br

RESUMO

O crescente interesse e uso de Produtos Cartográficos Digitais (PCDs) pelas mais variadas áreas de atividade têm fomentado uma verdadeira revolução nas tecnologias e metodologias de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs). A fim de se adaptar a essas mudanças, normas e padrões nacionais e internacionais têm sido propostos como meio para regular e gerar PCDs, bem como para avaliá-los quanto à sua exatidão. No presente trabalho, Modelos Digitais de Elevação (MDEs) de distintas fontes de aquisição (VANT, ASTER, SRTM e TOPODATA) são comparados quanto a sua fidedignidade em relação a pontos cotados (coletados com estação total e georreferenciados com GNSS RTK). Foram comparados também, quanto a sua exequibilidade e adequação, o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) de 1984 e o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) de 2016. Observou-se que medidas comumente negligenciadas, como a completa equalização das entradas de dados e das diferentes ferramentas de análise (neste caso, ferramentas do *software* ArcGis) são imprescindíveis para que os distintos MDEs apresentem uma maior fidedignidade aos dados originais e, conseqüentemente, um menor erro sistemático. Neste sentido, observou-se que a ferramenta de recorte “*Mask*” e as ferramentas de extração de pontos “*3D*” e “*Sample*” do ArcGis geraram valores de altitude significativas diferentes daqueles levantados em terreno. O MDT (Modelo Digital de Terreno) do VANT MDT apresentou maior exatidão dentre todos os PCDs, seguido pelos Modelos Digitais de Superfície (MDS) ASTER, SRTM, VANT MDS e TOPODATA. Por fim, o PEC-PCD mostrou-se mais adequado do que o PEC para avaliação dos MDEs.

Palavras Chave: MDE, PEC-PCD, VANT, ASTER, SRTM, TOPODATA.

ABSTRACT

The growing interest and use of Cartographic Digital Products (CDPs) in many activity areas has fomented a real revolution in Geographical Information Systems (GIS) technologies and methodologies. To adapt to these changes, some national and international norms and standards has been proposed as way to regulate and generate CDPs as well as to evaluate their accuracy. In the present work, Digital Elevation Models (DEMs) of distinct acquisition sources (VANT, ASTER, SRTM and TOPODATA) are compared for their reliability to control points (collected with total station and geo-referenced with GNSS RTK). The Brazilians 1984's Cartographic Accuracy Standard (PEC) and 2016's Cartographic Accuracy Standard to CDPs (PEC-PCD) was also compared for their feasibility and adequacy. It was observed here that commonly neglected cares, as the complete equalization of the entry data and of the distinct analysis tools (the ArcGis software tools, in this case) are indispensable measures for distinct DEMs shows the best fidelity to the original data and, consequently, the lower systematic error. In this sense, it was observed that the ArcGis's clipping tool “*Mask*” and the point extraction tools “*3D*” and “*Sample*” generate significantly different values of altitude than the topographic ones. The VANT Digital Terrain Model (VANT DTM) showed the best accuracy between all CDPs followed by the ASTER, SRTM, VANT DMS and TOPODATA Digital Surface Models (DSMs). Finally, the PEC-PCD was most adequate than PEC to evaluate DEMs.

Keywords: DEM, PEC-PCD, UAV, ASTER, SRTM, TOPODATA.

1. INTRODUÇÃO

Modelos Digitais de Elevação (MDEs) são importantes tanto para o mapeamento e representação da superfície terrestre, quanto para o suporte de decisões públicas e privadas de gerenciamento territorial de atividades econômicas, militares, políticas, sociais e ambientais (LI & ZHU, 2005). Essas aplicações têm justificado investimentos e inovações no desenvolvimento de novos métodos de aquisição e pós-processamento de dados topográficos, aéreos e espaciais (BATTY, 1999; MINASNY & MCBRATNEY, 2016). Não raro, cada um desses métodos e equipamentos geram estruturas de dados significativamente diferentes entre si, dificultando a pronta comparação e comunicação (compatibilização) entre os distintos MDEs (JORDAN, 2007; RAMOS *et al.*, 2016). Outro problema frequentemente encontrado é que MDEs estão sujeitos a erros grosseiros e sistemáticos causados tanto por fatores inerentes ao processo físico de geração dos dados, quanto à falhas ou descuidos humanos ao longo do mesmo, os quais, por sua vez, afetam o grau de precisão e exatidão dos produtos cartográficos (HUTCHINSON & GALLANT, 2005; FISHER & TATE, 2006).

A fim de mitigar esses problemas e limitações, medidas normalizadoras têm sido estipuladas para praticamente todas as fases do processo de geração de dados digitais, ou seja, desde a fase de aquisição, passando pelo pós-processamento, até a produção de MDEs propriamente dita (*e.g.*, GSDI, 2012; USGS, 2017). Além de permitir um maior controle do processo de geração de dados, essas normalizações resultam em padrões que permitem a compatibilização entre os diferentes métodos e equipamentos, bem como a avaliação da qualidade dos produtos cartográficos segundo seus graus de precisão e acurácia inferidos (CHEN & YUE, 2010; PEREIRA & NERO, 2012).

No Brasil, a normalização dos produtos cartográficos deu-se, inicialmente, através do Decreto de lei nº 89.817 de 20 de junho de 1984 quando foram estabelecidas oficialmente as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Brasileira. Baseado originalmente em dados analógicos, o PEC

passou por inúmeros testes e foi objeto de muitos estudos para englobar também os dados digitais, predominantes atualmente. Com isso, o PEC sofreu seguidas mudanças até chegar à forma vigente, a 2ª edição da Norma de Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (EB80-N-72.003), estabelecida pela Portaria nº 31 de maio de 2016 da Diretoria de Serviço Geográfico - DSG, do Departamento de Ciência e Tecnologia – DCT do Exército Brasileiro - EB. Em contraposição ao PEC de 1984, este novo padrão passou a ser conhecido como PEC-PCD, ou seja, Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais. Somente quando cumpridos os pré-requisitos estabelecidos nestes padrões um produto pode ser aceito como referência no Sistema Cartográfico Nacional - SCN e para a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE.

O PEC-PCD manteve a igualdade entre o Erro Padrão - EP, Desvio Padrão - DP e Erro Quadrático Médio - EQM estipulada no PEC, de modo que $EP = DP = EQM$. Manteve também em 10% a percentagem máxima de erros permitida entre os pontos constantes em um dado produto cartográfico e os pontos de controle coletados por métodos de alta precisão, ou seja, manteve o nível de corte em 90% ($=1,6449EP$). Além de estabelecer uma avaliação exclusiva para MDEs, o PEC-PCD diferencia-se do PEC por estabelecer um maior rigor na avaliação qualitativa das cartas planimétricas analógicas. Com relação às curvas de nível, o PEC-PCD mantém inalteradas as classes A B e C do PEC, acrescentando, porém, uma nova classe D.

Embora o PEC-PCD atual seja uma reedição revista e ampliada de edições anteriores (para um histórico sucinto, ver RAMOS *et al.*, 2016), no meio científico brasileiro, ainda hoje é possível encontrar em sua literatura muitos trabalhos de comparação e avaliação de métodos distintos de geração e tratamento de MDEs tendo apenas o PEC como referência. Além disso, nesses trabalhos não há um consenso quanto às ferramentas/metodologia para realizar a comparação/avaliação dos MDEs (*e.g.* BARROS & CRUZ, 2007; MICELI *et al.*, 2010; GROHMANN, 2015; SOUZA, 2015; GUIMARÃES &

GUIMARÃES, 2016; KOEFENDER & MARCUZZO, 2016;).

Neste contexto, o presente trabalho visa a discutir alguns procedimentos metodológicos comumente empregados no manuseio de MDEs e comparar MDEs provenientes de distintos métodos de aquisição quanto a exatidão indicada tanto pelo PEC, quanto pelo PEC-PCD.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

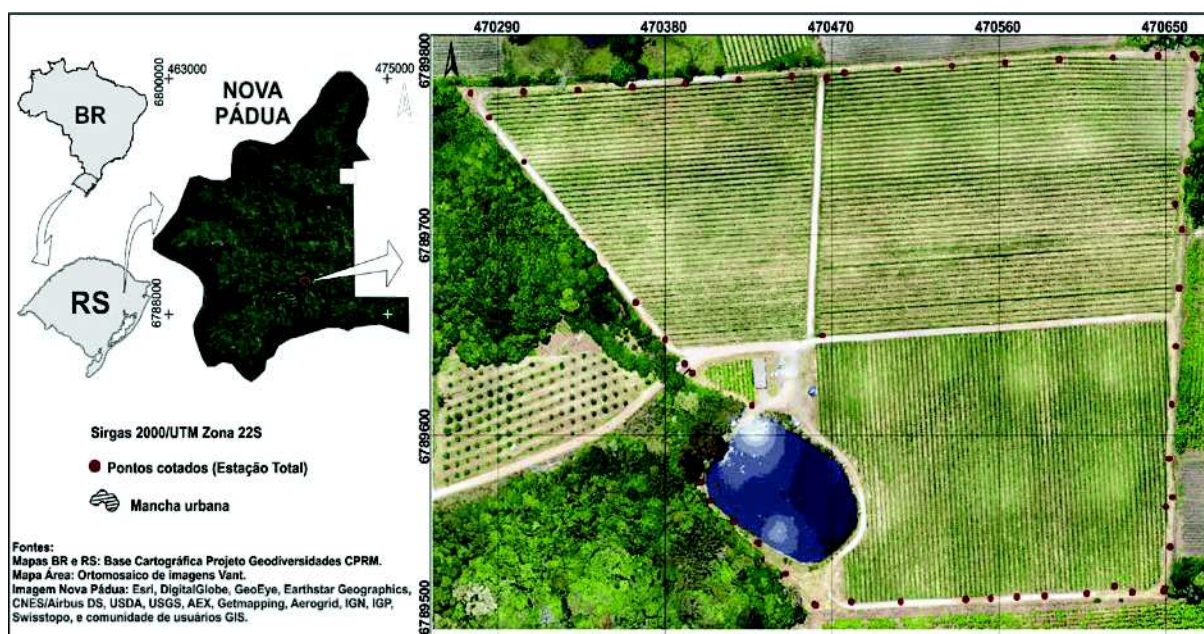
O estudo foi realizado na Vinícola Boscato, município de Nova Pádua, estado do Rio Grande do Sul – Brasil (Fig. 1). Como valores de referência foram utilizados pontos coletados por estação total no perímetro da área de 7,2 ha, os MDEs analisados foram VANT, ASTER, SRTM e TOPODATA.

O VANT (Veículo Aéreo Não Tripulado) utilizado no levantamento possui resolução máxima de 1,5 cm por pixel, precisão relativa de ortomosaico 3D de 1 a 3 vezes o valor do pixel, precisão horizontal/vertical absoluta de até 5 cm e câmera RGB acoplada de 16.1MP. O voo foi realizado com 176,6m de altura e a área total coberta foi de 57,23 ha. Foram registradas 133 imagens, a partir das quais gerou-se o ortomosaico georreferenciado ao sistema SIRGAS 2000/UTM Zona 22S por 9 pontos de controle coletados com GNSS RTK (RMS 0,041m – altitude elipsoidal). Os produtos do voo, disponibilizados pela empresa

responsável, foram o ortomosaico com distância média de amostragem de solo (GSD) de 5 cm, o MDS (Modelo Digital de Superfície) e o MDT (Modelo Digital do Terreno). Os dados brutos do VANT disponibilizaram o MDS, o qual foi tratado em *softwares* para classificação de nuvens de pontos (Envi e 3DReshaper) a fim de eliminar a vegetação e tornar o modelo mais próximo ao MDT. Os arquivos VANT MDT e VANT MDS são matriciais *raster*, extensão tif, do tipo *signed integer*, 16 bits e correspondem a área total do levantamento (57 ha), a qual engloba a área de estudo (7,2 ha).

Os MDEs SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) foram gerados por interferometria por radar (InSAR) e estão disponíveis no site Global Data Explorer (<http://gdex.cr.usgs.gov/>), as versões utilizadas foram: NGA SRTM “Finished”, 1 arcsec (arco de segundo), NGA SRTM “Finished”, 3 arcsec, NASA SRTM V3.0, 1 arcsec e NASA SRTM V3.0, 3 arcsec, aqui intituladas SRTM 1, SRTM 3, SRTM V3.1 e SRTM V3.3 respectivamente. A resolução espacial de 1 e 3 arcos de segundo correspondem a aproximadamente 30 e 90m.

Os MDEs ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) foram gerados por fotogrametria estereoscópica digital e também estão disponíveis no Global Data Explorer. A versão aqui utilizada foi a ASTER Global DEM V2 (1 arcsec), doravante ASTER.



Os arquivos SRTM e ASTER são matriciais *raster*, extensão tif, do tipo *signed integer*, 16 bits. Todas as versões foram baixadas utilizando a mesma caixa delimitadora, a saber: -51,5254167°W - 29,1343056°S, -51,1023611°E e - 28,8706944°N. De acordo com o guia do usuário (SRTM USER GUIDE, 2015) os modelos possuem como unidade de elevação o metro, estão referenciados pelo *datum* WGS84 e pelo modelo geoidal EGM96 (altitude ortométrica).

O MDE TOPODATA (VALERIANO, 2008) é advindo do refinamento dos dados SRTM de aproximadamente 90 para 30 metros de resolução espacial, por meio de krigagem e está disponível no seguinte endereço: <http://www.webmapit.com.br/inpe/TOPODATA/>. Aqui foram utilizados os dados de altitude da Folha 29S525. O arquivo *raster* .tif é do tipo *floating points*, 32 bits.

O levantamento topográfico foi realizado com estação total, os erros angulares e lineares foram distribuídos e a poligonal fechada classificada como tipo IP de acordo com a NBR 13.133. A transformação das coordenadas do plano topográfico local para coordenadas UTM SIRGAS 2000/Zona 22S partiu do transporte de coordenadas da base, adquiridas com GNSS no modo estático durante 6h45min e processadas pelo Posicionamento por Ponto Preciso - PPP no site do IBGE. A altitude dos pontos é ortométrica. Foram levantados 58 pontos ao longo do

perímetro do terreno de 1.155 m, perfazendo 72.150 m² de área total.

Todo o processamento dos MDEs foi feito no ArcGis 10.1 com auxílio das seguintes ferramentas do aplicativo ArcToolbox:

- Definição de coordenadas - *Define Projections*.
- Transformação de coordenadas - *Project to Raster*.
- Recorte - *Clip* e *Mask*.
- Geração de pontos aleatórios - *Random Points*.
- Extração de pontos - *Table, Point, Sample* e *3D*.
- Cópia de *raster* - *Copy Raster*.
- Geração de Curvas de Nível - *Contour*.
- Interpolação - *Topo to Raster*.

Os caminhos utilizados para cada uma dessas ferramentas encontram-se figurados na Tabela 1. Arquivos .txt foram exportados e tratados como tabelas no *software* Excel, para fins de comparação (1) das ferramentas quanto a sua adequação para a manutenção da fidelidade dos dados derivados aos dados originais e (2) dos distintos MDEs quanto a sua exatidão segundo o PEC e o PEC-PCD.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A título de melhor compreensão dos objetivos, os resultados associados a cada um serão tratados aqui em itens separados como (1) Comparação de Ferramentas e (2) Comparação de MDEs. Para fins de representação gráfica

TABELA 1 – FERRAMENTAS UTILIZADAS E SEUS RESPECTIVOS CAMINHOS NO *ARCTOOLBOX*.

FERRAMENTA	CAMINHO
Define Projection	Data Management Tools → Projections and Transformations → Define Projection
Project Raster	Data Management Tools → Projections and Transformations → Raster → Project Raster
Clip	Data Management Tools → Raster → Raster Processing → Clip
Mask	Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract by Mask
Random Points	Data Management Tools → Feature Class → Create Random Points
Table	Geo statistical Analyst Tools → Simulation → Extract Values to Table
Point	Spatial Analyst Tools → Extraction → Extract Values to Points
Sample	Spatial Analyst Tools → Extraction → Sample (Método Bilinear)
3D	3D Analyst Tools → Functional Surface → Add Surface Information (Método Bilinear)
Copy Raster	Data Management Tools → Raster → Raster Dataset → Copy Raster
Contour	3D Analyst Tools → Raster Surface → Contour
Topo to Raster	Spatial Analyst Tools → Interpolation → Topo to Raster

dos procedimentos descritos nos itens a seguir foram elaborados fluxogramas com detalhamento de cada passo em questão.

3.1 Comparação de ferramentas

A comparação de ferramentas envolveu três procedimentos: (1) recorte dos MDE's e subsequente extração dos pontos de controle, (2) conversão de formato de dados e (3) técnica de reamostragem na conversão de coordenadas.

3.1.1 Recorte de MDE's e extração de pontos

O fluxograma dos passos realizado neste item está na Fig. 2, a Fig. 3 ilustra os produtos cartográficos utilizados neste processo. Inicialmente, foi preciso igualar os MDEs aqui analisados quanto a seu sistema geográfico de referência. O datum WGS84 é comum a todos, porém, como o TOPODATA tem um sistema de pontos flutuantes, este precisou passar por uma fase de definição de seu sistema através da ferramenta *Define Projection*. Uma vez garantido o mesmo sistema para todos os MDEs, utilizou-se a ferramenta *Project Raster* para projetá-los em SIRGAS 2000 UTM Zona 22S.

Em seguida, os MDEs foram recortados por meio de um mesmo polígono retangular, dimensionado de modo a ser maior do que a área de estudo propriamente dita e, assim, englobar distintas conformações do terreno. Para fazer o recorte, a ferramenta *Mask* tem sido geralmente recomendada, porém, observou-se que sua utilização agregou

distorções aos MDEs, ao contrário da ferramenta *Clip*. Para checar a eficiência das ferramentas, 300 pontos foram distribuídos aleatoriamente no polígono de corte (com a ferramenta *Random Points*) e utilizados como referencial para a extração dos valores de elevação nos MDEs originais e nos recortes via *Mask* e *Clip*.

O grau de fidelidade dos métodos inicialmente foi inferido a partir da comparação de 10% dos 300 pontos extraídos dos MDEs e os pontos correspondentes destes mesmos MDEs obtidos manualmente. Durante esta fase observou-se que os métodos *Point* e *Table* mantiveram inalterados os valores dos 10% de pontos utilizados. Com base nisso, assumiu-se os valores totais (100%) obtidos por essas ferramentas como inalterados nos MDEs sem recorte, tornando-os, assim, base para a comparação com os demais métodos de extração, bem como para os métodos de recorte. A estatística descritiva (ED) dessas comparações, contendo o desvio padrão (DP), a média (\bar{X}), o valor máximo ($X_{MÁX}$) e o valor mínimo ($X_{MÍN}$) estão na Tabela 2.

Como resultado para as ferramentas de recorte, observou-se que a ferramenta *Clip* manteve os MDEs fidedignos, enquanto que a ferramenta *Mask* apresentou altos valores de DP em relação aos valores originais. Como resultado para as ferramentas de extração de pontos, observou-se que as ferramentas *3D* e *Sample* apresentaram altos valores de DP em relação aos pontos extraídos pelas ferramentas *Point* e *Table*. Por outro lado, embora sejam inexatas, *3D* e *Sample* mostraram-se precisas, pois não variaram seu erro ao longo dos distintos casos. É importante salientar que a

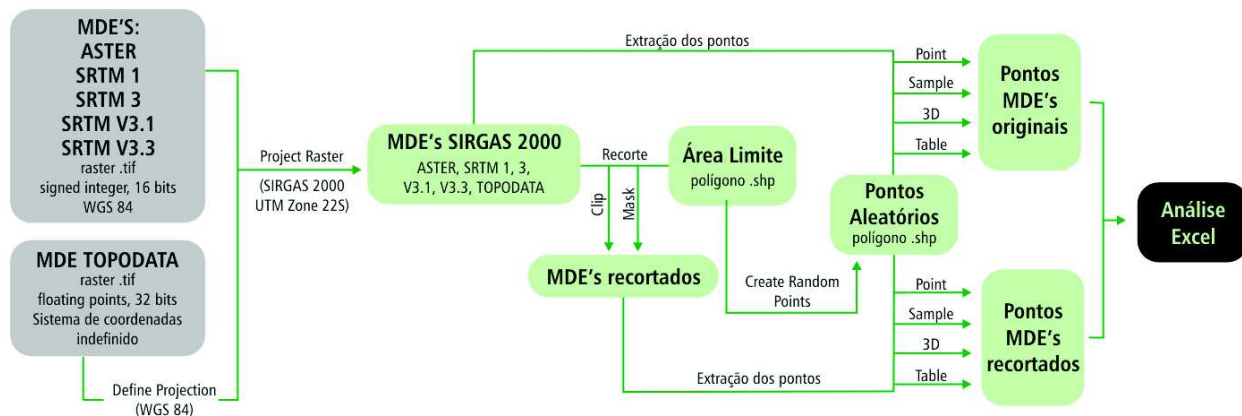


Fig. 2 – Fluxograma da comparação das ferramentas de recorte e de extração de pontos.

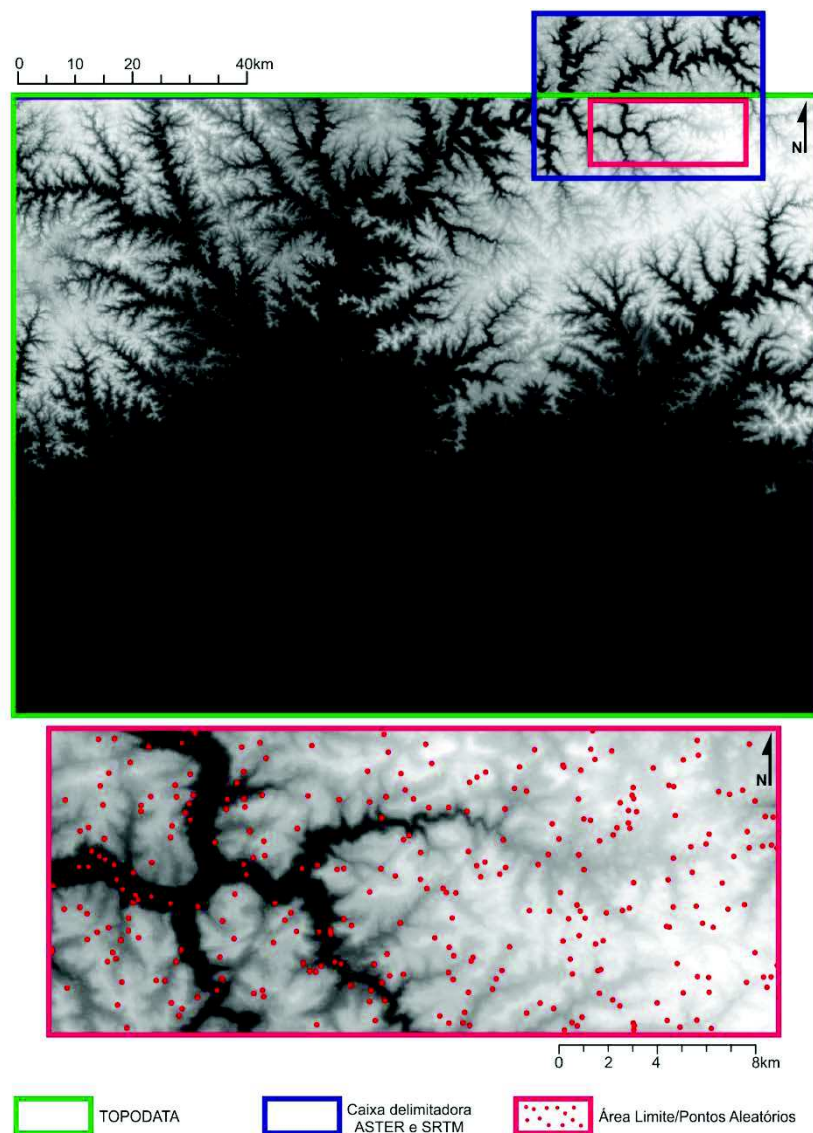


Fig. 3 – Escolha da área para teste das ferramentas, bem como geração de pontos aleatórios.

TABELA 2 – ESTATÍSTICA DESCRITIVA DA DIFERENÇA ENTRE OS VALORES REAIS (TABLE/POINT; SEM RECORTE) E OS VALORES ENCONTRADOS PELAS DISTINTAS FERRAMENTAS DE RECORTE E EXTRAÇÃO DE PONTOS.

		ASTER		SRTM 1 / SRTM V3.1		SRTM 3		SRTM V3.3	
		Sem recorte / Clip	Mask	Sem recorte / Clip	Mask	Sem recorte / Clip	Mask	Sem recorte / Clip	Mask
Table / Point	DP	0	5,3	0	4,8	0	9,6	0	9,2
	\bar{X}	0	-0,1	0	-0,1	0	1	0	0,9
	$X_{MÁX}$	0	30	0	24	0	51	0	47
	$X_{MÍN}$	0	-37	0	-29	0	-48	0	-52
3D	DP	3,7	4,4	3	3,9	8,1	9,2	7,8	9
	\bar{X}	0,1	-0,04	0,2	0,01	0,4	0,6	0,4	0,6
	$X_{MÁX}$	14,1	20,9	11,5	21	26,5	33,6	26,0	36,6
	$X_{MÍN}$	-22,3	-32,1	-16,6	-19,9	-29,1	-28,5	-29,7	-27,2
Sample	DP	6	6,5	5	5,9	14,1	14,5	13,7	14,1
	\bar{X}	-0,1	-0,4	-0,2	-0,5	-0,04	0,2	-0,1	0,2
	$X_{MÁX}$	36,5	26,7	20,8	21	53,6	57,5	55,8	59,3
	$X_{MÍN}$	-22,3	-32,1	-25	-30,9	-51,3	-59,9	-49,1	-57,6

ferramenta *Sample* não extraiu valores em cerca de 1% dos pontos, isto é, algumas células retornaram vazias (“*No Data*”). Nesses casos a diferença entre o valor real e o valor extraído foi anômala, uma vez que se baseou no valor de altitude real menos uma célula vazia. Para fins de comparação, esses valores anômalos foram excluídos. A explicação das razões destas anomalias foge ao escopo do presente trabalho.

A extração de pontos no MDE TOPODATA não foi condizente com o arquivo original em nenhuma das ferramentas.

O MDE VANT disponível ocupa apenas uma pequena parte do polígono criado para análise das ferramentas, razões pelas quais não participou desta primeira etapa.

3.1.2 Conversão de formato de dados

O fluxograma dos passos realizado neste item está na Fig. 4. A fim de sanar os problemas observados na extração de pontos do MDE TOPODATA, seus pontos flutuantes foram convertidos em pontos inteiros através da ferramenta *Copy Raster*. Feito isto, os 300 pontos aleatórios foram novamente extraídos do MDE TOPODATA original pelas ferramentas *Table* e *Point*.

Como esperado, a ferramenta *Point* extraiu os valores de elevação no MDE TOPODATA *signed integer* condizentes aos originais do MDE TOPODATA *floating points*, porém a ferramenta *Table* apresentou algumas

distorções: 84% dos pontos (252) foram iguais aos reais, enquanto os 16% restantes (48) diferiram, resultando em um DP de 3,06m, \bar{X} de 0,11m, $X_{MÁX}$ de 22m e $X_{MÍN}$ de -16m. A ferramenta *Point*, então, mostrou-se ser a mais adequada para a manutenção da fidedignidade aos valores de elevação originais em processo de extração de pontos e, por isso, foi escolhida para a comparação dos MDEs da área em questão (área limite, ver Fig. 3) e posterior comparação na área de estudo (Vinícola Boscato, ver Fig. 1).

3.1.3 Técnica de reamostragem na transformação de coordenadas

O fluxograma dos passos realizado neste item está na Fig. 5. Todos os MDEs e arquivos vetoriais utilizaram como referência o *datum* SIRGAS 2000 obedecendo a resolução do presidente do IBGE, de 25 de fevereiro de 2005 (R.PR – 1/2005). A transformação do sistema de coordenadas pelo *Project Raster* utiliza como *default* a técnica de Reamostragem por Vizinhança Mais Próxima, porém essa técnica não é a ideal para dados contínuos (ARCGIS, 2012). Assim, a fim de saber se houve diferenças significativas nos dados aqui analisados, comparou-se as tabelas de pontos extraídos do MDE ASTER, transformados pela técnica *default*, aos pontos extraídos do mesmo MDE, transformados pela técnica de Reamostragem por Interpolação Bilinear. A

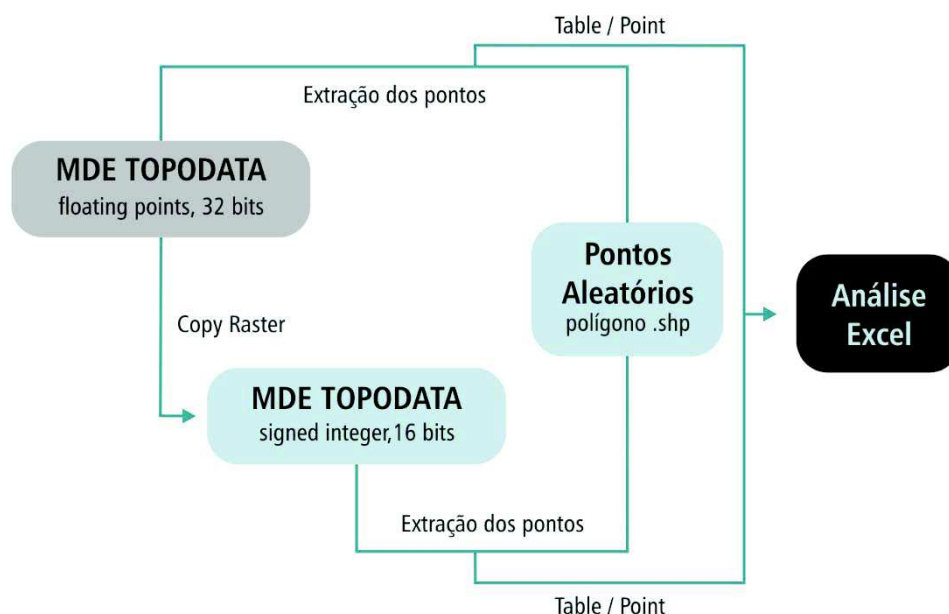


Fig. 4 – Fluxograma da conversão do formato de dados no MDE TOPODATA.

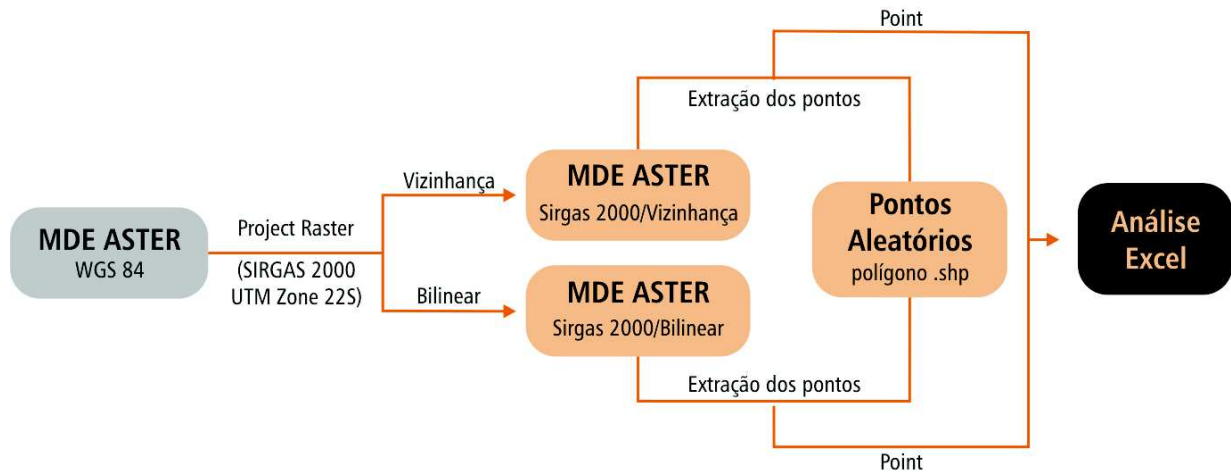


Fig. 5 – Fluxograma das técnicas de reamostragem.

análise desses dados mostrou que 81,3% dos pontos (244) não apresentaram diferenças, porém os 18,7% restantes (48) diferiram, resultando em um DP de 3,31m, \bar{X} de 0,16m, $X_{MÁX}$ de 17m e $X_{MÍN}$ de -22m. Por conta desses valores e a observação feita pelo próprio fabricante do *software* (ARCGIS, 2012), considerou-se aqui que estas diferenças advieram das possíveis limitações da transformação *default* e, por isso, a ferramenta escolhida para extrair os pontos na comparação da área de estudo foi a Reamostragem por Interpolação Bilinear.

3.2 Comparação de MDEs pelos PECs

O fluxograma dos passos realizado neste item está na Fig. 6. Para esta etapa, um novo polígono ligeiramente maior do que a área de estudo foi gerado para recorte dos MDEs com seus sistemas de coordenadas já devidamente projetados para SIRGAS 2000 Zona 22S.

A comparação pelo PEC e “PEC/PCD Altimetria” é realizada com base nas equidistâncias entre curvas de nível, enquanto a comparação pelo “PEC/PCD MDE” baseia-se

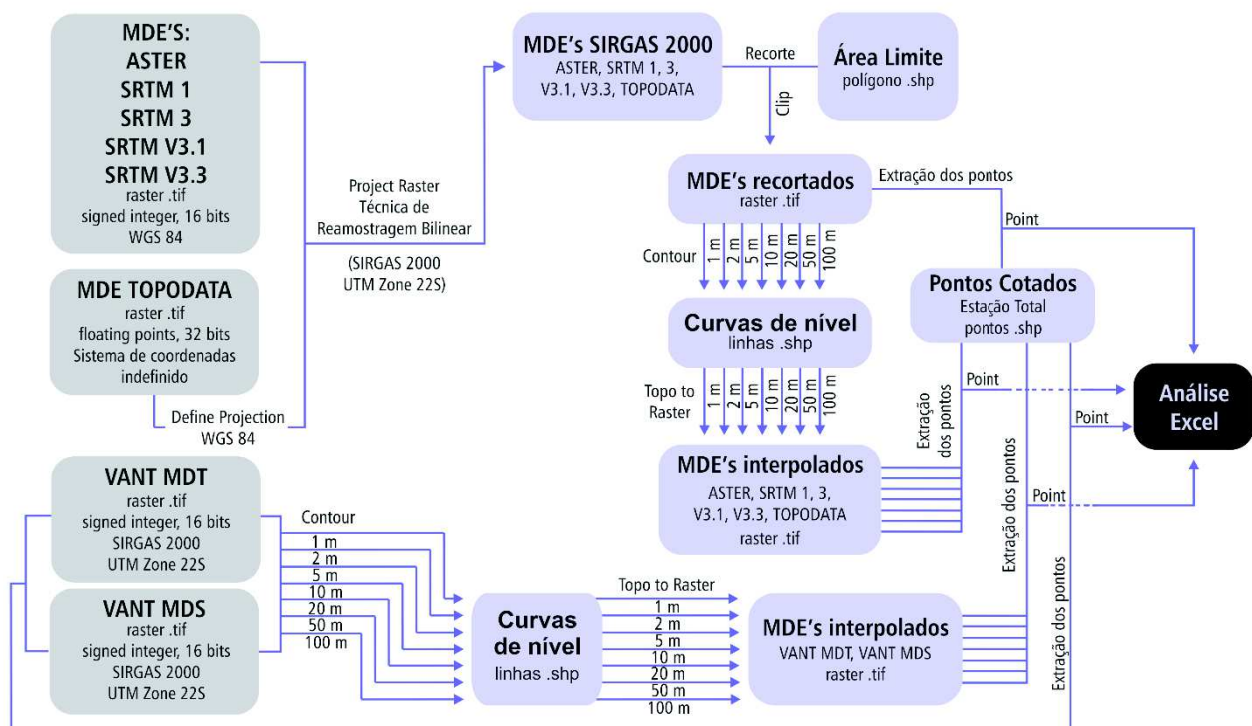


Fig. 6 – Fluxograma da comparação entre MDEs.

na extração de pontos diretamente do MDE. Assim, para o “PEC-PCD MDEs” a exatidão foi calculada com base nos 58 pontos cotados com estação total, extraídos diretamente dos MDEs recortados, enquanto que para o “PEC-PCD Altimetria”, a exatidão foi calculada com base nos mesmos 58 pontos, porém, extraídos dos MDEs recortados e interpolados. Para tal, inicialmente foram geradas curvas de nível (*Contour*) com equidistâncias de 1, 2, 5, 10, 20, 50 e 100 m, em seguida essas curvas foram utilizadas para gerar novos MDEs por meio da ferramenta de interpolação *Topo to Raster*. A escolha desse interpolador se deveu ao fato dessa ferramenta ser amplamente empregada em trabalhos desta natureza. De fato, ao

analisar a precisão altimétrica em MDEs gerados por diferentes interpoladores, Oliveira (2015) encontrou melhores resultados com a ferramenta *Topo to Raster*, inclusive em modelos com baixo volume de dados.

As altitudes dos MDE’s e dos pontos da estação total são ortométricas, enquanto que as do VANT são geométricas. Para a equalização destes dados as coordenadas dos pontos de controle foram verificadas no *software* livre MapGeo 2015 V1.0, que indicou uma ondulação geoidal de 6,29 m para todos os pontos, os quais foram subtraídos dos pontos do VANT MDT e VANT MDS no Excel.

A Tabela 3 ilustra os resultados obtidos para as diferentes equidistâncias (EQ), a linha

TABELA 3 –ESTATÍSTICA DESCRITIVA DAS DIFERENÇAS ENTRE OS PONTOS DE CONTROLE E OS MDEs

EQ	ED	VANT MDT	VANT MDS	ASTER	SRTM 1	SRTM 3	SRTM V3.1	SRTM V3.3	TOPODATA
---	DP	0,68	5,81	5,94	4,54	4,97	4,45	5,00	9,66
	Ī	0,73	-3,39	0,05	-3,68	-2,04	-3,63	-1,57	-3,99
	X _{MÁX}	2,45	0,82	13,14	4,08	8,77	4,00	9,77	19,10
	X _{MÍN}	-0,44	-22,22	-15,00	-14,86	-11,50	-12,86	-10,04	-17,42
1 m	DP	0,56	4,10	4,85	4,49	4,86	4,86	4,95	10,34
	Ī	0,51	-3,12	0,95	-1,70	-0,66	-1,46	-0,26	-2,91
	X _{MÁX}	1,96	0,59	9,97	9,13	10,87	9,92	11,51	26,33
	X _{MÍN}	-0,53	-14,88	-12,33	-10,36	-8,35	-9,40	-7,84	-18,10
2 m	DP	0,62	4,11	4,88	4,53	4,86	4,90	5,05	10,35
	Ī	0,55	-3,23	1,15	-1,85	-0,70	-1,40	-0,28	-2,93
	X _{MÁX}	1,93	0,29	10,19	8,61	10,73	10,40	11,76	26,31
	X _{MÍN}	-0,95	-15,37	-12,68	-10,46	-8,50	-9,20	-7,71	-18,32
5 m	DP	1,02	4,06	4,28	4,37	5,07	5,16	5,00	10,59
	Ī	0,85	-3,34	0,16	-1,68	-0,87	-1,31	-0,37	-3,36
	X _{MÁX}	3,71	0,50	6,60	9,16	11,01	10,16	11,19	26,26
	X _{MÍN}	-1,18	-16,02	-11,53	-10,71	-9,18	-9,88	-8,10	-18,98
10 m	DP	2,02	4,26	4,90	4,10	5,01	4,90	5,17	10,40
	Ī	1,30	-4,00	-0,77	-2,26	-0,94	-1,64	-0,30	-3,08
	X _{MÁX}	4,91	2,21	8,69	8,25	11,07	11,07	11,07	26,24
	X _{MÍN}	-4,91	-15,20	-11,94	-10,73	-9,70	-10,13	-8,53	-19,14
20 m	DP	2,49	4,73	4,54	4,52	5,05	6,19	5,72	10,71
	Ī	1,40	-4,59	-0,92	-3,47	-0,16	-4,02	0,82	-3,56
	X _{MÁX}	5,20	4,41	8,52	8,08	12,91	11,56	13,31	26,10
	X _{MÍN}	-4,75	-11,98	-10,55	-10,87	-10,13	-13,38	-10,39	-19,10
50 m	DP	12,07	8,03	8,47	6,82	7,25	6,87	6,88	11,34
	Ī	22,19	3,65	7,06	6,65	6,65	7,01	6,97	4,02
	X _{MÁX}	39,45	15,91	19,26	15,95	18,72	16,46	18,66	29,42
	X _{MÍN}	-2,11	-13,47	-10,10	-10,19	-9,30	-10,00	-8,51	-17,48
100 m	DP	11,23	19,91	11,42	11,69	11,60	11,46	11,51	11,90
	Ī	70,59	35,26	61,57	61,86	61,68	60,82	61,33	61,46
	X _{MÁX}	85,58	57,86	76,96	77,59	77,44	76,25	76,97	77,32
	X _{MÍN}	46,25	-3,08	37,08	36,94	37,16	36,30	37,04	36,23

Altimetria nenhum dos MDEs alcançou essa classificação, alguns inclusive foram classificados como D, classe adicionada na revisão do PEC para PEC-PCD Altimetria, isto é, alguns MDEs classe A seriam descartados de acordo com o PEC original, essa diferença na classificação é decorrente da perda de informação causada pela geração de curvas de nível.

A Fig. 7 ilustra o comportamento dos pontos extraídos diretamente dos MDEs, evidenciando que o VANT MDT é o modelo que mais se aproxima aos pontos coletados pela estação total, seguidos de ASTER, SRTM, VANT MDS e por fim, TOPODATA.

4. CONCLUSÕES

Os resultados obtidos demonstraram a necessidade de um acompanhamento contínuo da perda de fidedignidade dos dados tratados em relação aos dados originais, questionando a escolha das ferramentas do ArcGis, que embora se propunham a chegar ao mesmo fim, utilizam algoritmos distintos, podendo adicionar erros grosseiros aos MDEs (e.g. ferramentas *Mask*, *3D* e *Sample*).

A transformação da nuvem de pontos, realizada pela empresa encarregada do levantamento do VANT, de MDS para MDT resultou no MDE mais fidedigno. Os MDEs ASTER e SRTM, por sua vez, apresentaram resultados ligeiramente melhores que o VANT

MDS, levantando a hipótese de que a transformação nos MDEs ASTER e SRTM de MDS para MDT aumentaria significativamente sua acurácia, sugerindo, assim, interessantes linhas de pesquisas futuras. Estranhamente o MDE TOPODATA não apresentou bons resultados aqui, vale lembrar que os MDEs ASTER, SRTM e TOPODATA apresentam comportamentos distintos de acordo com as características morfométricas. Embora já existam trabalhos nessa área, o fato desses MDEs serem de livre acesso justifica a importância de se continuar pesquisando para analisar o comportamento em distintas regiões, para realizar adequações nas suas aplicabilidades e para comparar o desempenho em relação a MDEs comercializados.

A revisão do PEC para PEC-PCD mostrou-se adequada, uma vez que, na menor escala, MDEs enquadrados como classe A pelo padrão revisado (PEC-PCD MDEs) não atingiriam a acurácia mínima necessária para se enquadrar em quaisquer das classes da PEC original, os mesmos seriam enquadrados como classe D pela PEC-PCD Altimetria.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem a empresa que realizou o levantamento do VANT pelos esclarecimentos prestados, aos colegas Ulisses Lopes por realizar o levantamento topográfico (Estação Total e GNSS RTK) e aos colegas

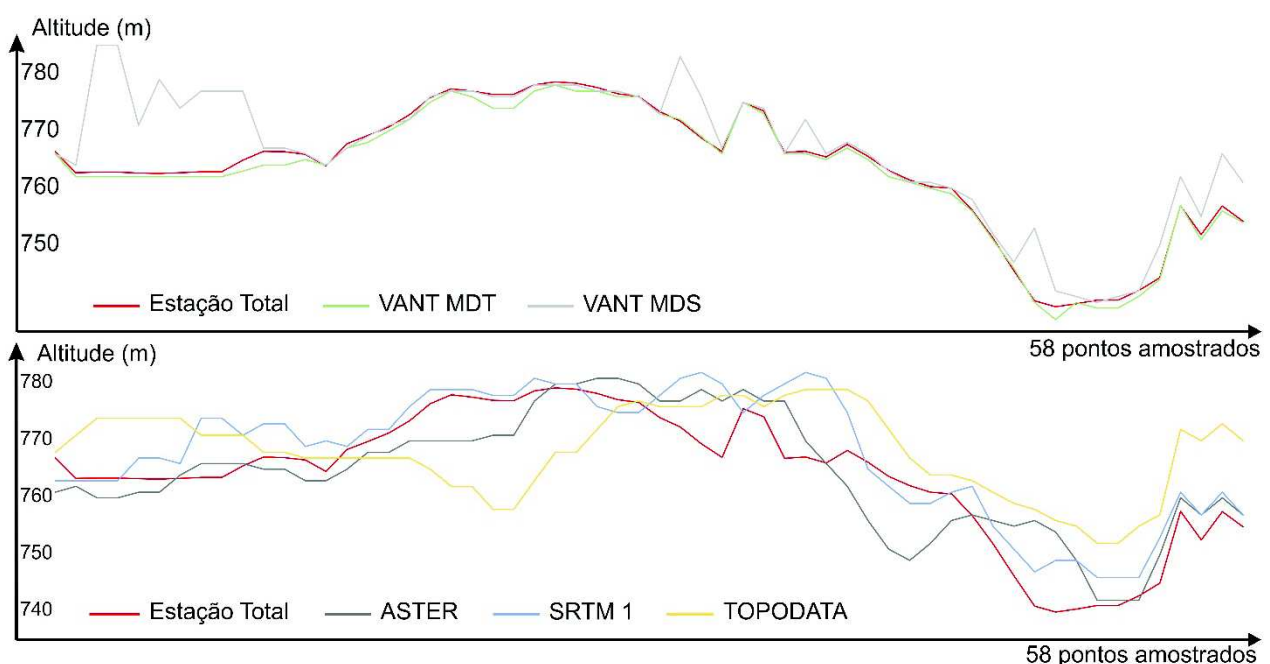


Fig. 7 – Comportamento dos pontos extraídos diretamente nos MDEs.

Lucio Carvalho e Olindo Scarparo por cederem os dados do VANT.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARCGIS DESKTOP 9.3 HELP, 2012. Disponível em: <[http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=1627&pid=1624&topicname=project_raster_\(data_management\)](http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.3/index.cfm?id=1627&pid=1624&topicname=project_raster_(data_management))>. Acesso em 06 mar. 2017.

BARROS, Rafael Silva de; CRUZ, Carla Bernadete Madureira. **Avaliação da altimetria do modelo digital de elevação do SRTM**. In: Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, v.1, pp: 1243-1250, 2007.

BATTY, Michael **New technology and GIS**. In: Paul A. Longley; Michael F. Goodchild; David J. Maguire & David W. Rhind (eds.), *Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Applications and Management*, New York: John Willey & Sons, 2nd ed., v. 1, pp: 309-316, 1999.

CHEN, Chuanfa; YUE, Tianxiang. **A Method of DEM construction and related error analysis**. *Computer & Geosciences*, 36: 717-725, 2010.

EB80-N-72.003. **Norma de especificação técnica para aquisição de dados geospaciais vetoriais de defesa da força terrestre (ET-ADGC DEFESA F Ter)**. In: Ministério da Defesa, Exército Brasileiro Departamento de Ciência e Tecnologia Diretoria de Serviço Geográfico, 2ª ed., 2016.

FISHER, Peter F.; TATE, Nicholas J. **Causes and Consequences of error in Digital Elevation Models**. *Progress in Physical Geography*, 30: 467-489, 2006.

Global Spatial Data Infrastructure Association (GSDI). **The SDI Cookbook: Developing Data Infrastructure**. 2a. ed., 153 pp, 2012.

GROHMANN, Carlos Henrique. **Análise comparativa preliminar entre dados SRTM, Topodata, ASTER GDEM e Modelos de**

Superfície/Terreno do Projeto Radiografia da Amazônia. In: Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, João Pessoa-PB, 2015, v.1, pp: 5726-5732, 2015.

GUIMARÃES, Ferlipe Silva; GUIMARÃES, Lucas da Silva. **Utilização de cinco bases cartográficas distintas para a determinação de áreas de preservação permanente no município de Rio Acima, MG: divergências entre os resultados**. *Caderno de Geografia*, 26(1): 136-154, 2016.

HUTCHINSON, M. F. & GALLANT, J. C. **Representation of Terrain**. In : P. A. Longley; M. F. Goodchild; D. J. Maguire & D. W. Rhind (eds.), *Geographic Information Systems and Science*. Chichester: John Wiley & Sons, 2a. ed., pp.: 105-124, 2005.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - Diretoria de Geociências, Departamento de Cartografia, **Noções básicas de Cartografia**, Rio de Janeiro, [2000?]. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoos/indice.htm>. Acesso em: 20 dez. 2016.

JORDAN, G. **Digital Terrain Analysis in a GIS Environment. Concepts and Development**. In.: Robert Joseph Peckham & Gyoza Jordan (eds.), *Digital Terrain Modelling: Development and Applications in a Policy Support Environment*. New York: Springer Science & Business Media, 313 pp, 2007.

KOEFENDER, Amália; MARCUZZO, Francisco. **Estudo da delimitação automática das sub-bacias do rio Ibicuí na bacia do rio Utilizando diferentes MDT**. In: XIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Aracaju, v.1., pp: 1-9, 2016.

LI, Zhilin; ZHU, Quing; GOLD, Chris. **Digital Terrain Modeling: Principles and Methodology**. Boca Raton: CRC Press, 2nd. ed., 318 pp, 2005.

MICELI, Bruna Santos; DIAS, Filipe de Meireles; SEABRA, Fernanda Moraes;

SANTOS, Paulo Roberto Alves dos; FERNANDES, Manoel do Couto. **Comparação da avaliação vertical de modelos digitais de elevação para médias e pequenas escalas em diferentes configurações topográficas.** In: Anais III Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2010, v.1, pp: 3-7, 2010.

MINASNY, Budiman; MCBRATNEY, Alex B. **Digital soil mapping: A brief history and some lessons.** Geoderma, 264(B): 301–311, 2016.

OLIVEIRA, Guilherme de Castro. **Precisão de modelos digitais de terreno, mapeamento automático de APPS em topos de morros e a eficácia do novo Código Florestal.** 2015. 152f. Dissertação (Mestrado). Programa de Pós-Graduação em Solos e Nutrição de Plantas, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2015.

PEREIRA, Túllio Áullus Jó; NERO, Marcelo Antonio. **Análise de Normas de Controle de Qualidade Posicional em Cartografia ao Redor do Mundo: Exemplos Atuais de Alguns Países.** In: Anais do IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, 2012, v. 1, pp: 001-009, 2012.

RAMOS, Ana Paula Marques; CAMPOS, Mariana Batista; PROL, Fabricio dos Santos; MARCATO Jr, José; IVÁNOVÁ, Ivana. **Abordagem Sistemática para a Especificação da Qualidade de Base Cartográfica nos Padrões para os Dados da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais.** Revista Brasileira de Cartografia, 68(8): 1601-1620., 2016.

SOUZA, Jonas Otaviano Praca. **Análise da precisão altimétrica dos modelos digitais de elevação para área semiárida do nordeste brasileiro.** Revista do Departamento de Geografia – USP, 30: 56-64, 2015.

SRTM The Shuttle Radar Topography Mission - Collection User Guide. 2015. Disponível em: <<https://lpdaac.usgs.gov/sites/default/files/publ>

ic/measures/docs/NASA_SRTM_V3.pdf>. Acesso em: 16 jan. 2017.

USGS. **Digital Elevation Model Standards.** [1998?]. Disponível em: <<https://nationalmap.gov/standards/demstds.html>>. Acesso em: 06 mar. 2017.

VALERIANO, Márcio de Morisson. **TOPODATA: guia para utilização de dados geomorfológicos locais.** Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE-15318-RPQ/818, São José dos Campos, 2008.

XU, Fengliang; WOODHOUSE, Neil; XU, Zhizhong; MARR, David; YANG, Xinghe; WANG, Younian. **Blunder Elimination Techniques Adaptive Automatic Terrain Extraction.** Annals of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII, Part B1, Beijing, pg: 1139-1144, 2008.