

Eixo Temático ET-05-006 - Recursos Hídricos

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE OS MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO DO TOPODATA, SRTM E BARE EARTH

Paloma Mara de Lima Ferreira, Maisa Beatriz Marinho Fausto da Silva,
Ana Paula Campos Xavier

Universidade Federal da Paraíba – UFPB. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental – UFPB.

RESUMO

Os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) são importantes para obter informações de alívio, essenciais para muitos propósitos. Este estudo tem como objetivo avaliar os MDEs oriundos do TOPODATA (resolução 30m), SRTM e BARE EARTH (resolução 90m) a partir de análises comparativas entre os traçados das redes de drenagem e das bacias hidrográficas no rio Mamanguape-PB, utilizando para esse fim técnicas de geoprocessamento. Para a realização do trabalho, para comparar os MDEs citados a análise foi dividida em três seguimentos: comparação do relevo, da rede de drenagem e da delimitação da área de contribuição de cada MDE. Os resultados revelaram sutis diferenças nas redes de drenagem e áreas de contribuição da bacia obtidas a partir dos diferentes MDEs. Todos os DEMs apresentaram divergências de elevação em comparação com informações do solo. O MDE do TOPODATA apresenta alguma descontinuidade espacial, o que limita seu uso em áreas onde isso ocorre. Os MDEs SRTM e BAREEARTH apresentam baixa precisão espacial, o que limita sua consideração por pequenas áreas. Desse modo, ressalta-se a importância da escolha feita pelo usuário ao aplicar esses modelos.

Palavras-chaves: Sensoriamento Remoto; Sistema de informação geográfica; rede de drenagem; Rio Mamanguape.

INTRODUÇÃO

A demanda por modelos digitais de elevação (MDEs) para subsidiar estudos em várias áreas da pesquisa ambiental, tem aumentado significativamente (CHAGAS et al., 2010), no entanto, no Brasil ainda não se tem um órgão responsável pela elaboração e normatização dos procedimentos utilizados na criação desses modelos, ficando isso a cargo dos próprios usuários e pouca atenção é dada às suas limitações como fonte de informação espacial.

Segundo El-Sheimy et al. (2005), os MDEs se referem aos valores altimétricos contemplando os objetos existentes na superfície. Esse é um dos dados mais importantes para análises geoespaciais e geração de orto-imagens. A geração de MDEs, a partir de estereopares de imagens de sensores remotos orbitais atuantes no espectro óptico, baseia-se em elementos presentes nos modelos matemáticos da aerofotogrametria tradicional. Estes apresentam algumas vantagens significativas sobre outras fontes de dados, como: a disponibilidade de dados em nível mundial; grande cobertura de área por cena; resolução moderadamente elevada; processamento mais rápido através de softwares sofisticados e pouco esforço manual; baixo custo de processamento e capacidade de aquisição em qualquer condição ambiental, no caso de sensores ativos (Subramanian et al., 2005).

Hengl e MacMillan (2009) citam que o principal argumento de utilização de MDEs para o mapeamento e modelagem de paisagens naturais é a variedade de medidas, mensurações e objetos que podem ser derivados deles. Por isso, os MDE são usados para uma gama de aplicações, incluindo hidrologia e recursos hídricos. Alguns estudos têm investigado a fonte e a resolução espacial ideal do MDE para modelagem hidrológica (Merino et al. 2015; Datta e

Schack-Kirchner 2010; Zhang et al. 2008). O estudo de Datta e Schack-Kirchner (2012) numa pequena bacia na Índia compararam três fontes de MDE, o SRTM, o ASTER e um gerado a partir de curvas de níveis e verificaram com medições de campo que o SRTM foi o mais apropriado para a bacia em estudo.

Os MDEs são muito utilizados também por prover coberturas contínuas para áreas extensas e com relativo baixo custo (Hengl e Macmillan, 2009). Atualmente, a principal fonte de obtenção em termos de dados de elevação do terreno em escala global é a base de dados obtida pelo projeto *Shuttle Radar Topographic Mission* – SRTM (Farr et al., 2007) e disponibilizada gratuitamente na Internet (Rabus et al., 2003; Sun et al., 2003).

Segundo O’Loughlin et al. (2016), a precisão dos MDEs é um ponto chave para sua utilização. Em muitas aplicações que utilizam o MDE como uma importante camada de dados, por exemplo, aplicações de modelos hidrológicos, a baixa qualidade do MDE é parcialmente devida à altura da cobertura vegetal (Callow e Smettem, 2009; Callow et al., 2007; Valeriano et al., 2006). Métodos têm sido propostos para preencher vazios (Jarvis et al., 2008; Reuter et al., 2007) e remover o dossel da vegetação (O’Loughlin et al., 2016; Baugh et al., 2013; Yamazaki et al., 2012).

Diversas pesquisas vêm sendo conduzidas com o objetivo de analisar, comparar e atualizar informações da superfície terrestre por meio de dados do SRTM de bases diferentes (Li et al., 2017; Grohmann, 2015; Souza e Matricardi, 2013; Chagas et al., 2010). Sendo o MDE ponto de partida para a extração de características topográficas, o mesmo deve ser hidrologicamente consistente. Para fins de análises no campo dos recursos hídricos o MDE se torna uma ferramenta de análise importante, pois com ela podem-se extrair informações como a caracterização de áreas de drenagem, identificação de caminhos de escoamento, delimitação de bacias hidrográficas, comprimentos, declividades, perfil longitudinal, seções transversais entre outros.

Os modelos avaliados neste estudo são: SRTM, TOPODATA e BARE EARTH. SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) é uma missão espacial que foi possível gerar modelo digital de elevação praticamente de todo o globo terrestre (80%), num nível de detalhamento inédito (JPL 2012). Os MDE do SRTM estão disponíveis gratuitamente para toda América do Sul na resolução espacial de 3 arcos-segundos (90x90 metros) (Souza e Matricardi, 2013). O projeto TOPODATA do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), originou-se do SRTM; estes dados foram refinados da resolução espacial original de 90 m para 30 m por krigagem (Valeriano 2004), processo embasado na análise geoestatística da variabilidade dos dados, onde se definem coeficientes que melhor respondem ao modelo de superfície real (Valeriano, 2008). O MDE global BareEarth combina múltiplos conjuntos de dados de sensoriamento remoto, a fim de remover as alturas de vegetação do SRTM original através de uma correção dinâmica que varia com a altura e densidade da vegetação e que pode ser regionalizada de acordo com as zonas climáticas ou tipos de vegetação (O’Loughlin et al., 2016).

OBJETIVO

O presente estudo teve como objetivo avaliar MDEs gerados a partir de dados SRTM, TOPODATA e BARE EARTH na região da Bacia Hidrográfica do Rio Mamanguape – PB. Tal avaliação tem por finalidade auxiliar na escolha do MDE mais adequado para derivar atributos topográficos primários e secundários para utilização em modelos hidrológicos.

METODOLOGIA

Localização da área de estudo

A área de estudo é a Bacia do Rio Mamanguape (Figura 1). Segundo o Plano Estadual de Recursos Hídricos (PERH, 2006) a sede possui 30 municípios e ocupa uma área de 3.522,69 km². Está inserida nas mesorregiões da Zona da Mata e Agreste paraibano, de acordo com o

IBGE (2007) a população residente estimada foi de 457.905 habitantes. Possui uma área de drenagem de aproximadamente 3.522,69 km².

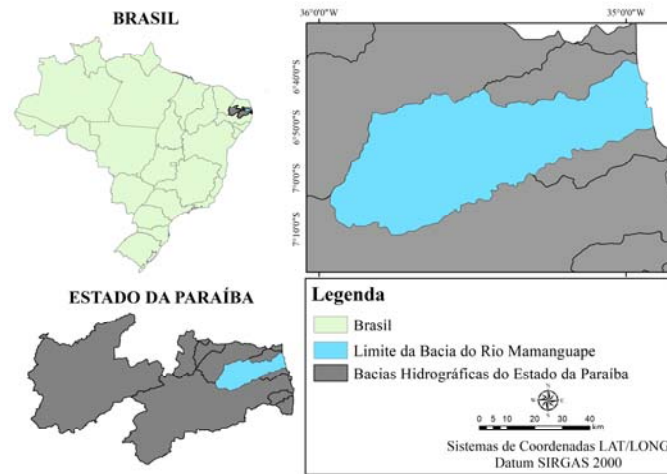


Figura 1 - Localização da Bacia do Rio Mamanguape.

Visão geral do estudo

Este estudo consiste em uma análise comparativa sobre três MDEs: TOPODATA, SRTM e BARE EARTH. Por meio, do uso de Sistemas de Informação Geográfica (SIG), com os softwares de geoprocessamento ArcMap 10.5 e TerrSet (*Geospatial Monitoring and Modeling System*). Buscou-se caracterizar a rede de drenagem, trazendo entre outros aspectos uma comparação dos traçados da rede de drenagem, da área da bacia e análise do relevo. As etapas metodológicas estão sintetizadas na Figura 2.

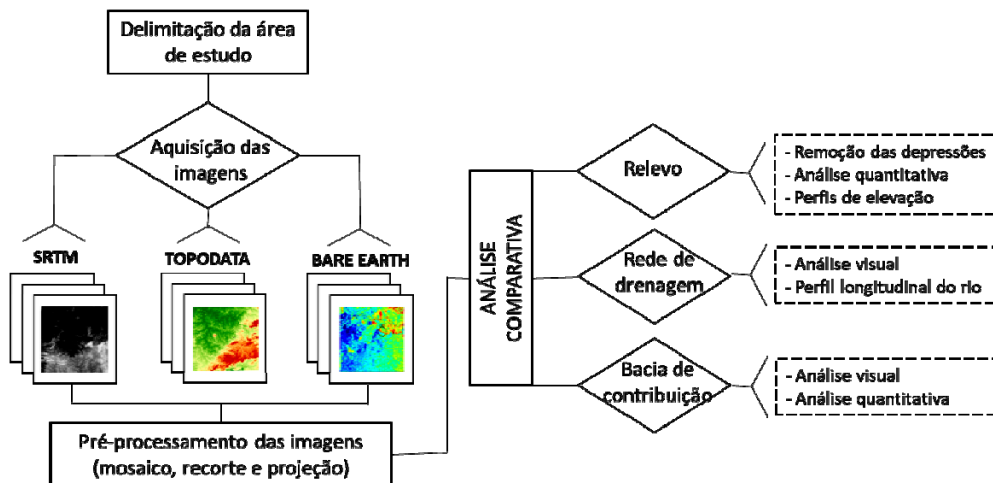


Figura 2 - Fluxograma das etapas metodológicas.

Modelos digitais de elevação

Foram utilizados, neste estudo, três MDEs obtidos a partir de sensores remotos, o MDE do SRTM (USGS), do TOPODATA e o BARE EARTH. O MDE do TOPODATA foi obtido gratuitamente na plataforma do INPE (<http://www.webmapit.com.br/inpe/topodata/>), sendo usadas duas cenas (0636 e 0736). Os dados orbitais foram processados no software de geoprocessamento ArcMap 10.5. Para compor a área de estudo obtiveram-se duas cenas do TOPODATA e, em seguida, se criou um mosaico (comando *Mosaic to new raster*) a partir dessas, de onde se recortou a área de interesse desse estudo (comando *Extract by mask*).

Finalmente, a área foi analisada para a verificação da existência de valores negativos e/ou áreas sem valores de altitudes. Durante o processamento final o MDE SRTM (resolução espacial de 90 m) foi projetado para a projeção Universal Transversa de Mercator (UTM), Zona 24S e datum SIRGAS 2000.

O MDE do SRTM foi disponibilizado gratuitamente a partir do servidor de ftp do USGS (<http://srtm.csi.cgiar.org/SELECTION/inputCoord.asp>). A imagem foi obtida da quadricula 29x14, com Latitude mínima de 10 S e máxima de 5 S, Longitude mínima de 40 W e máxima de 35 S, e ponto central com Latitude de 7.50 S e Longitude de 37.50 W. A imagem foi recortada a área de interesse desse estudo e projetado conforme citado. O INPE fornece um MDE com base no SRTM com resolução espacial de 30 m.

Do mesmo modo o MDE do BARE EARTH foi obtido gratuitamente no site da Universidade de Bristol no Reino Unido (<https://data.bris.ac.uk/data/dataset/10tv0p32gizt01nh9edcjd6wa>). Para compor a área de estudo obtive-se a imagem orbital “Best_v1_29_14.tif”, no qual foi recortada a área de interesse desse estudo e projetado conforme citado.

Análises comparativas

A análise do relevo dos MDEs foi realizada por meio da análise da quantificação das alterações realizadas pela remoção das depressões, dos histogramas de frequência e dos perfis de elevação. Para cada MDE foi feita a correção no TerrSet, usando o módulo *Pit Removal*, que restaura a altitude dos pixels que não têm continuidade no escoamento para remover as depressões. Para facilitar as análises seguintes foi necessário padronizar os MDEs através da reclassificação das imagens com o módulo *Reclass*, assim as elevações das cotas foram divididas em classes de 50 m, com variação de altitude de 40 a 790 m. Em seguida, foi obtido os histogramas frequência por quantidade pixels (pelo módulo *Histo*) para cada MDE. Os perfis de elevação foram obtidos através do módulo *Profile*, a partir de um vetor referência traçado transversalmente na bacia delimitada.

Rede de drenagem para cada MDE foi obtida por meio TerrSet usando o módulo *Flow* (Flow Direction), cujo utiliza um algoritmo de excelente desempenho o PFS (Priority-First-Search algorithm). Determinação de direções de fluxo tratada como um problema clássico de caminho de mínimo custo, isto é, busca por um caminho de fluxo drenando a depressão até a borda do MNT e ajuste da elevação dos pixels de forma decrescente ao longo do caminho de fluxo traçado na etapa anterior. A rede de drenagem usada como referência para averiguar a compatibilidade com as redes de drenagem extraídas de modo automático foi obtida através da fotointerpretação de uma imagem do Google Earth (2018), considerando a digitalização de um trecho do rio Mamanguape como traçado de referência da rede de drenagem.

Para a análise do perfil longitudinal ao longo do rio principal de cada MDE foi utilizada à rotina CAMINHO.exe, no qual os arquivos raster de entrada são: as direções de fluxo, o MDE sem depressões e um raster indicando o ponto inicial (nascente) e final (foz) do rio principal. Obtendo assim os arquivos raster de saída com a indicação do caminho de fluxo do rio principal, outro com distâncias acumuladas ao longo do caminho de fluxo do rio principal e ainda um arquivo texto com os dados do perfil longitudinal do rio.

Para analisar as bacias de contribuições derivadas de cada MDE determinou-se as direções de fluxo utilizando o módulo *Flow* citado, as áreas acumuladas foram obtidas usando para isso o recurso *Runoff* (surface runoff accumulation). Por fim, foi feito uma reclassificação do raster de áreas acumuladas através do comando *Reclass*, no qual obteve-se a rede de drenagem sendo admitido o valor de área mínima de 20 km² para todos os MDEs. Em seguida, para a definir as bacias de contribuições foi usado o módulo *Watershed*, onde delimita a bacia que drena para o ponto do exutório escolhido previamente pelo usuário. Também foi quantificado área de cada bacia através do comando *Area Calculation*.

RESULTADOS

Análise do relevo

Observa-se na Figura 1 que há diferenças significativas entre o MDE do TOPODATA com relação aos MDEs SRTM e BARE EARTH tanto com a remoção das depressões como sem a remoção das depressões. Isso pode ser justificado devido a resolução espacial do MDE do TOPODATA (resolução de 30 m) com relação aos demais MDEs (resolução de 90 m), visto que uma imagem de maior resolução possui maior quantidade de pixels. Os histogramas apresentados nas Figuras 1 e 2 trazem uma relação de frequência de ocorrência de pixels em cada faixa de classe (faixa de 50 m de altitude em cada classe).

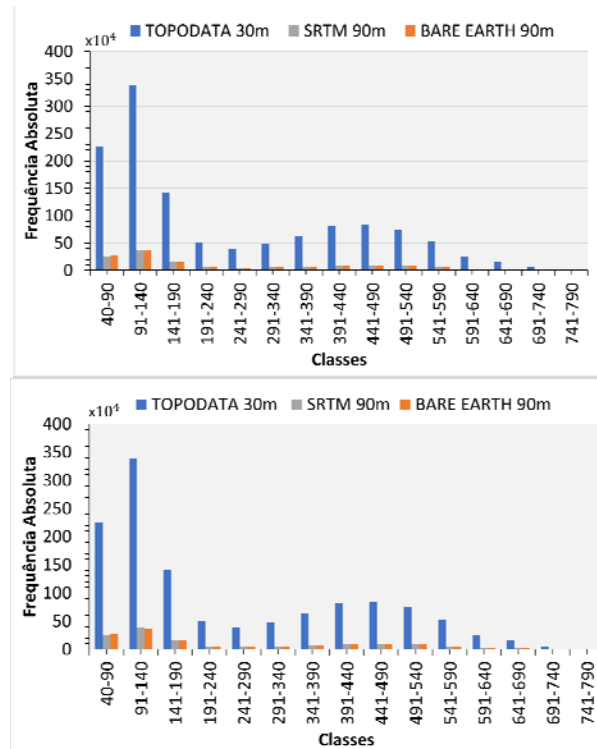


Figura 1. Histograma dos MDEs estudados: (a) com remoção das depressões e (b) sem remoção das depressões.

Os resultados da Tabela 1 mostram a quantificação das alterações realizadas pela remoção das depressões, observa-se grande semelhança entre os valores dos quanto ao número de células escavadas, preenchidas e inalteradas entre os MDEs analisados. Apesar da diferença na quantidade de pixels no MDEs de menor resolução, TOPODATA 30 m, com os MDEs de maior resolução, SRTM 90 m e BARE EARTH 90 m, os percentuais de células escavadas e preenchidas apresentaram valores similares, com a exceção do MDE do SRTM que manteve superior com 1,07% de células escavadas. Com relação as células inalteradas também observa-se maior percentual para o MDE do SRTM 30 m (98,91%). De maneira geral as células se mantiveram em grande maioria inalteradas depois da operação de remoção das depressões.

Na Figura 2 estão os perfis de elevação dos MDEs avaliados, na qual é possível verificar, uma pequena diferença nos valores de elevação entre o MDE TOPODATA e os MDEs SRTM e BARE EARTH, sendo esta diferença, em grande parte, positiva, ou seja, o MDE TOPODATA representa uma superfície mais elevada que os demais MDEs. Por sua vez, as maiores discordâncias entre os MDEs nas seções longitudinais ocorrem nas partes mais altas e íngremes da área, as diferenças nos valores de elevação entre eles se dão exatamente nas áreas com as maiores declividades.

Tabela 1. Quantificação das alterações realizadas pela remoção das depressões.

CÉLULAS	TOPODATA	SRTM	BARE EARTH
Escavadas	133385	20824	23565
Preenchidas	3040	15716	15555
Inalteradas	12327757	1348005	1345425
% Escavado	1,07	0,02	0,02
% Preenchido	0,02	0,01	0,01
% Inalterado	98,91	0,97	0,97
total	12464182	1384545	1384545

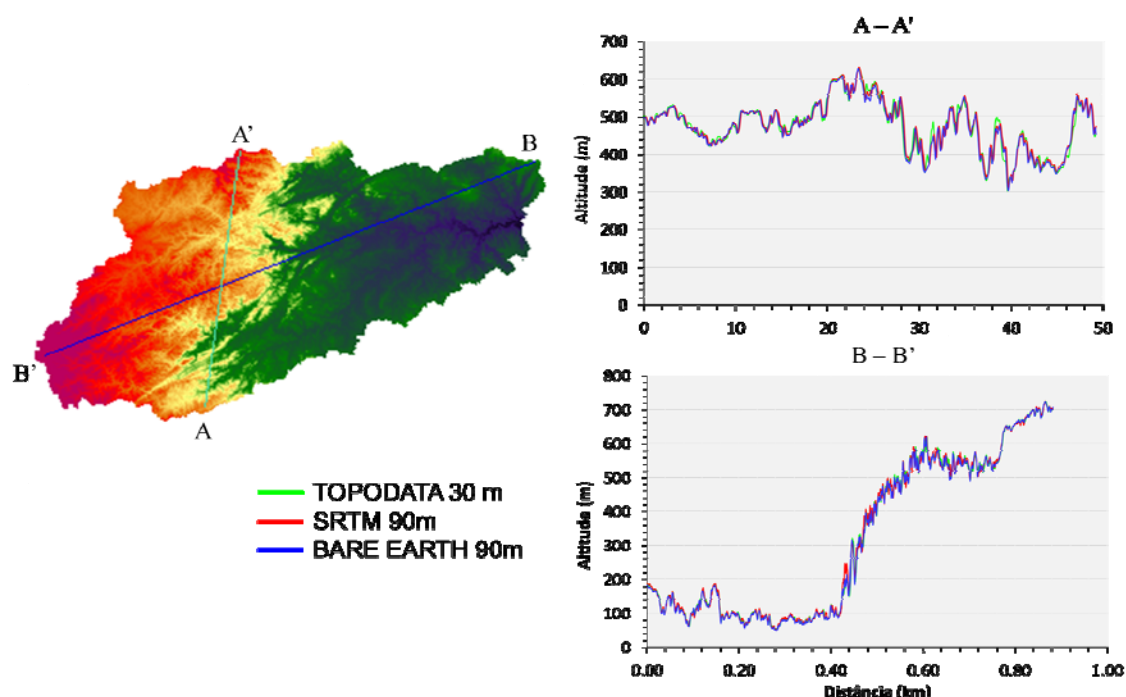


Figura 2. Perfis de elevação dos MDEs estudados.

Análise da rede de drenagem

Quanto as redes de drenagem derivadas a partir dos MDEs estudados, representa o padrão de fluxo acumulado elevado e a localização potencial da malha dos rios. As redes de drenagem foram derivadas a partir dos MDEs sem depressões e comparadas visualmente entre se e com a imagem fotointerpretada no Google Earth (Figura 4) considerando o traçado da rede de referência. Observa-se na Figura 3 que os três MDEs descreve bem a rede de drenagem na região em análise embora de maneira imprecisa, em alguns trecho há discrepância entre as rede de drenagens geradas, tanto no prolongamento e diminuição de alguns braços dos rios como em trechos de confluência dos rios.

Ao comparar as redes de drenagens geradas pelos MDEs estudados com a drenagem de referência obtida através da digitalização da imagem fotointerpretada no Google Earth (2018) de um trecho do rio Mamanguape, é possível perceber que a redes de drenagem geradas pelo MDEs mostram baixa concordância quando comparados com a drenagem de referencia. Contudo, a rede de drenagem gerada pelo MDE do TOPODATA 30m teve relativamente mais proximidade com a rede de referência do que as redes geradas pelos MDEs do SRTM 90m e o BARE EARTH 90m.

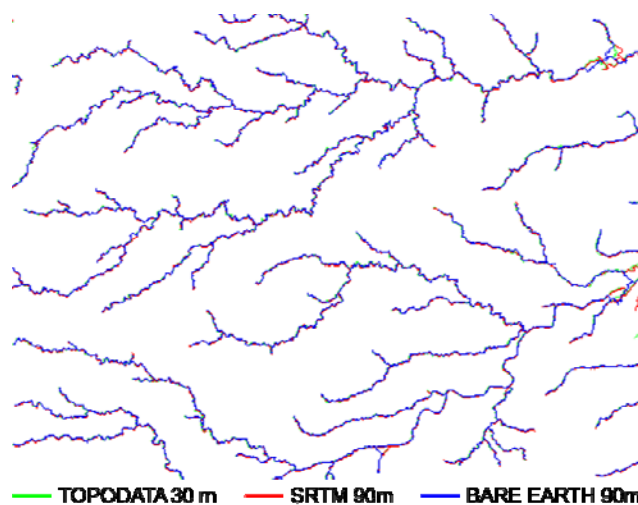


Figura 3 - Comparação entre as redes de drenagem derivadas em parte dos MDEs avaliados.

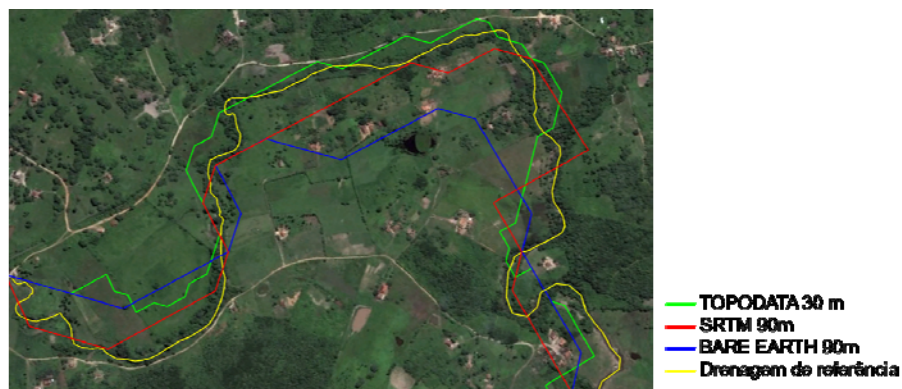


Figura 4. Comparação da rede de drenagem derivada dos MDEs em um trecho do rio Mamanguape.

O perfil longitudinal para cada produto demonstrou que a topografia do terreno possui vales em toda extensão do trecho observado. A drenagem sofre a influência do gradiente altimétrico, as cotas mais baixas são de 0,04 m, 0,13 m e 0,13 m, respectivamente. O comprimento do rio principal refletiu variações para os diferentes MDEs, com 133,15 km para o MDE do TOPODATA, 127,73 km para o MDE do SRTM e 129,41 km para o MDE do BARE EARTH. O comportamento do perfil longitudinal do rio principal pode ser observado na Figura 5.

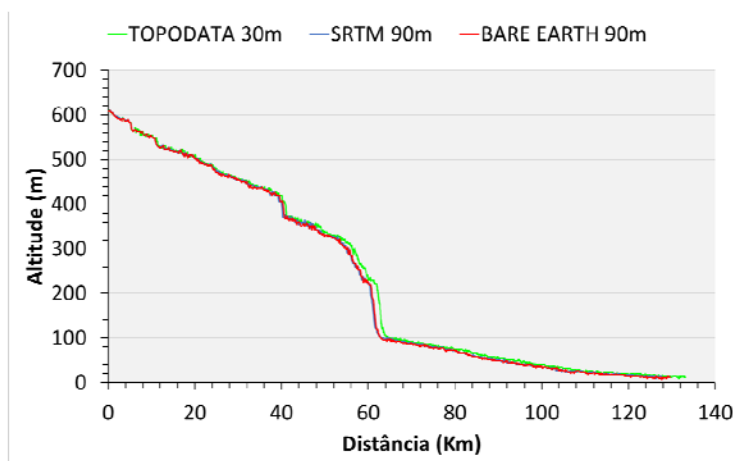


Figura 5 - Perfis Longitudinais no rio principal derivadas dos MDEs avaliados

De uma maneira geral, dos MDE analisados, o SRTM produto TOPODATA foi o modelo que mostrou melhores resultados para a extração automática da rede de drenagem, porém apresentando menor similaridade com a drenagem fotointerpretada. O MDE do BARE EARTH 90 m apresentou maior detalhamento do que a dos outros dois modelos em comparação com a drenagem fotointerpretada. O resultado do SRTM de 90m apresentou similares ao modelo TOPODATA, entretanto o SRTM de 90m, devido ao tamanho do pixel, mostrou-se mais grosseiro, enquanto que o MDE BARE EARTH apresentou perda de pequenas drenagens.

Análise da bacia de contribuição

Os resultados obtidos para a área e perímetro da bacia do Rio Mamanguape variaram de acordo com os MDEs dos quais foram originados, como pode ser observado na Tabela 2. De modo geral, em termos de valores de área, perímetro e comprimento do rio principal as diferenças divergem em pequena escala. No entanto, é possível perceber que o TOPODATA 30 m diverge numa escala de valores um pouco maior em perímetro e comprimento do rio com os respectivos valores de 440,85 Km e 133,15 Km, enquanto que em área em menor proporção com um valor de 2959,6 Km².

Tabela 2. Área e perímetro obtidos a partir dos diferentes modelos digitais de elevação para a bacia do Rio Mamanguape

MDE	ÁREA (Km ²)	PERÍMETRO (Km)
TOPODATA 30 m	2959,6	440,85
SRTM 90 m	2963,2	415,05
BARE EARTH 90 m	2963,4	414,51

As delimitações das bacias de contribuição obtidos estão demonstradas na Figura 6. De maneira geral, verifica-se boa concordância entre os MDEs avaliados com relação às bacias de contribuição derivadas. Embora é perceptível algumas singularidades, através do “zoom” da imagem (Figura 6) verifica-se incorreções na delimitação da bacia em cada MDE analisado em alguns trechos, áreas noroeste e nordeste das bacias.

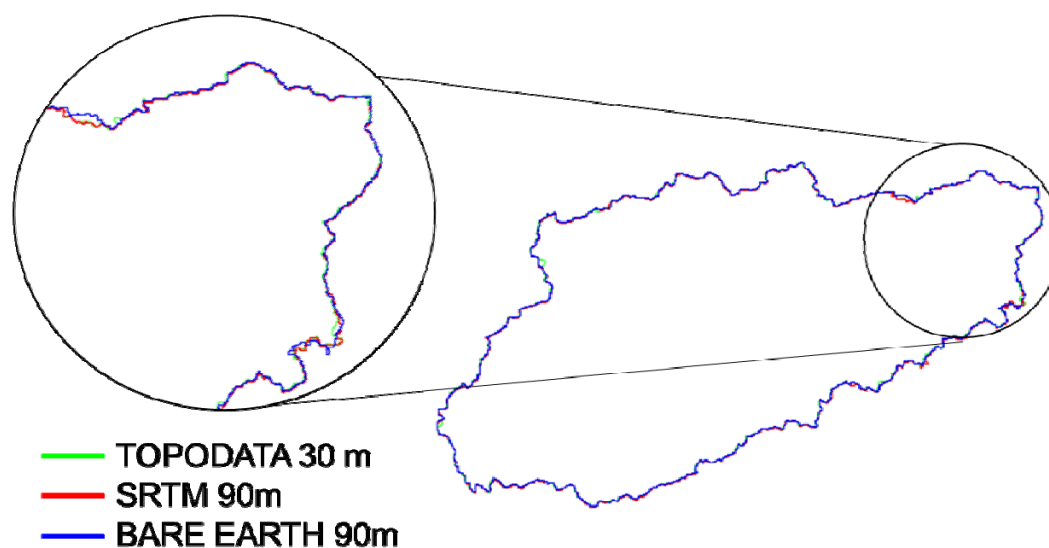


Figura 6 - Bacias de contribuição derivadas dos MDEs.

De modo geral, verifica-se que o MDE do TOPODATA (resolução espacial de 30 m) apresenta informações mais detalhadas referentes à variação do relevo que os MDEs SRTM e BAREEARTH (resolução espacial de 90 m). Observa-se que os procedimentos computacionais adotados para a geração do modelo TOPODATA aparentemente contribuíram para melhorar a qualidade das informações sobre o relevo.

CONCLUSÕES

Os resultados apontam diferenças expressivas nas redes de drenagem extraídas a partir dos distintos MDE, demonstrando que cabe critério ao usuário ao aplicar esses modelos, além da utilização de alguma fonte complementar de dados para verificar a acurácia dos resultados. Entretanto houve um ganho significativo no detalhamento da rede de drenagem no modelo com pixel de 30m, sendo que o modelo TOPODATA se mostrou mais acurado. Também, destaca-se que o MDE BARE EARTH em relação ao SRTM apresentou um acréscimo mínimo de valores de área, perímetro e comprimento de rio. Apesar das diferenças abordadas nos produtos de cada MDE estudado, percebeu-se a partir dos resultados obtidos que a representação da rede de drenagem pelos MDEs é relativamente imprecisa em certos pontos da bacia do rio Mamanguape.

REFERÊNCIAS

- CALLOW, J.; SMETTEM, K. The effect of farm dams and constructed banks on hydrologic connectivity and runoff estimation in agricultural landscapes. **Environ. Model. Softw.**, v. 24, p. 959-968, 2009.
- CALLOW, J. N.; VAN NIEL, K. P.; BOGGS, G. S. How does modifying a DEM to reflect known hydrology affect subsequent terrain analysis?. **J. Hydrol.**, v. 332, p. 30-39, 2007.
- CHAGAS, C. S. et al. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 14, n. 2, p. 218-226, 2010
- DATTA, P. S.; SCHACK-KIRCHNER, H. EROSION. Relevant Topographical Parameters Derived from Different DEMs: A Comparative Study from the Indian Lesser Himalayas. **Remote Sens.**, v. 2, p. 1941-1961, 2012.

- EL-SHEIMY, N.; VALEO, C.; HABIB, A. **Digital Terrain Modelling: Acquisition, Manipulation and Applications**. Norwood, Massachusetts: Artech House, 2005.
- FARR, T. G. et al. The Shuttle Radar Topography Mission. **Rev. Geophys.**, 45p., 2007.
- GROHMANN, C. H. 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 - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.
- 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, pp. 433-460, 2009.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Contagem da população 2007. Brasília: IBGE, 2007.
- JARVIS, A.; REUTER, H. I.; NELSON, A.; GUEVARA, E. **Hole-filled SRTM for the Globe Version 4**. Available from the CGIAR-CSI SRTM 90m Database., 2008.
- LI, X.; ZHANG, Y.; JIN, X.; ELE, Q.; ZHANG, X. Comparação de digital modelos de elevação e atributos derivados relevantes. **Journal Applied Sensores Remotos**, v. 11, n. 4, 2017.
- MERINO, E. R.; PUPIM, F. N.; MACEDO, H. A.; ASSINE, M. L. Realce e integração de Imagens Orbitais Óticas com Dados SRTM para Mapeamento e Estudo de Grandes Planícies Fluviais: Exemplos no Pantanal. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 16, p. 49-62, 2015.
- PERH - Plano Estadual de Recursos Hídricos. Resumo estendido. João Pessoa: Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba, AESA. – Consórcio TC/BR – Concremat, 2006. 112p.
- O'LOUGHLIN, F. E.; PAIVA, R. C. D; DURAND, M.; ALSDORF, D. E.; BATES, P.D. A multi-sensor approach towards a global vegetation corrected SRTM DEM product. **Remote Sensing of Environment.**, v. 182, p. 49-59, 2016.
- RABUS, B.; EINEDER, M.; ROTH, A.; BAMLER, R. The shuttle radar topography mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, p. 241-262, 2003.
- REUTER, H. I.; NELSON, A.; JARVIS, A. An evaluation of void-filling interpolation methods for SRTM data. **Int. J. Geogr. Inf. Sci.**, v. 21, p. 983-1008, 2007.
- SOUZA, G. M.; MATRICARDI, E. A. T. Análise comparativa dos modelos de elevação SRTM, ASTER GDEM e TOPODATA para estimar o fator topográfico (LS) da USLE. In: Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Foz do Iguaçu, PR, Brasil, 13 a 18 de abril de 2013, INPE.
- SUN, G.; RANSON, K. J.; KHARUK, V. I. ; KOVACS, K. Validation of surface height from shuttle radar topography mission using shuttle laser altimeter. **Remote Sensing of Environment**, v. 88, p. 401-411, 2003.
- YAMAZAKI, D.; BAUGH, C. A.; BATES, P. D.; KANAE, S.; ALSDORF, D. E.; OKI, T.; Adjustment of a spaceborne DEM for use in floodplain hydrodynamic modeling. **J. Hydrol.**, v. 436, p. 81-91, 2012.
- ZHANG, J. X.; CHANG, K. T.; WU, J. Q. Effects of DEM resolution and source on soil erosion modelling: A case study using the WEPP model. **Int. J. Geogr. Inf. Sci.**, v. 22, p. 925-942, 2008.