

Análise Comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA

Elena Charlotte Landau¹
Daniel Pereira Guimarães²

Embrapa Milho e Sorgo – Embrapa/CNPMS
Rod. MG-424 km 45 – Sete Lagoas/MG, Brasil
CEP 35.701-970, Caixa Postal 285

¹ landau@cnpms.embrapa.br

² daniel@cnpms.embrapa.br

Abstract. Digital Elevation Models (DEMs) are important to derive relief information, essential for many purposes. This paper aims to compare the quality and accuracy of DEMs generated from different sources. Three different DEMs, covering the State of Rio de Janeiro (Brazil) were evaluated. The DEM ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) was generated from optical stereoscopic images. The DEM SRTM (Shuttle Radar Topographic Mission) was derived from radar interferometry. The DEM TOPODATA was derived from the previous one. All DEMs presented elevation divergences compared to ground information. ASTER presents some spatial discontinuity, what limits its use in areas where this occur. SRTM-4 presents low spatial accuracy, what limits its consideration for small areas. TOPODATA also presents elevation divergences, what is more evident near coastal areas.

Palavras-chave: digital elevation models, modelo digital de elevação, ASTER, SRTM, TOPODATA, Rio de Janeiro.

1. Introdução

Modelos digitais de elevação (MDEs) representam fontes para o conhecimento do relevo da superfície terrestre, permitindo a derivação de informações sobre a declividade, exposição solar e mapeamento da rede de drenagem de áreas extensas. Isto facilita a identificação de áreas favoráveis para a agricultura (culturas, variedades, possibilidade de mecanização, necessidade de irrigação, estimativa de determinados custos), além de indicação de áreas para conservação do solo e da diversidade biológica, modelagem hidrológica, ortorretificação de imagens de satélite, avaliação de riscos de desmoronamentos, etc. (Melgaço et al., 2003 ; Hoff et al., 2009; Alba et al., 2010; Huggel et al., 2010; Miceli et al., 2010; Ravelo, 2010). Inicialmente, os modelos eram gerados a partir da digitalização de dados topográficos coletados em campo. Atualmente, modelos digitais de elevação obtidos por métodos como a estereoscopia orbital e interferometria por radar representam uma alternativa mais eficiente para a geração de bases topográficas padronizadas, cobrindo áreas relativamente extensas em menor tempo.

A estereoscopia orbital baseia-se na comparação entre pares estereoscópicos de uma mesma área. Consiste na extração de informações de duas imagens de um mesmo local, adquiridas em ângulos diferentes de imageamento. Já a interferometria por radar representa uma técnica de imageamento ativo, em que o radar emite o sinal através de uma antena central e registra as características do retorno desse sinal através de duas antenas situadas a uma distância conhecida. Nesse caso, o modelo de elevação baseia-se na relação entre as características dos sinais captados pelas antenas. Os modelos digitais de elevação ASTER (NASA - *National Aeronautics and Space Administration*) e SRTM (USGS - *United States Geological Survey*) são exemplos de produtos obtidos através de diferentes técnicas de sensoriamento remoto, em escala compatível para aplicação no planejamento do uso do

espaço agrícola, gestão ambiental, manejo de bacias hidrográficas, zoneamentos ecológicos, programas de conservação de florestas e de solo, entre outros.

O ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), a bordo do satélite Terra, representa um sensor capaz de adquirir pares estereoscópicos para quase todo o globo terrestre (entre as latitudes 83° S e 83° N). Para tal, o sistema de aquisições de imagens no espectro visível (VIS) e infravermelho próximo (IVP) do ASTER conta com dois telescópios. Um deles, o instrumento VIS-IVP, gera imagens em nadir (vertical) ou com um ângulo lateral de até 8,55 graus. Cerca de 55 segundos após esse primeiro imageamento, a mesma área é imageada com outro instrumento que também opera na faixa do IVP, capaz de gerar uma imagem em retro-visada de aproximadamente 27 graus, em direção oposta à órbita do satélite. Essa operação possibilita a constituição de um par estereoscópico de bandas posicionadas no IVP, denominadas bandas 3N (*Nadir*) e 3B (*Backward looking*). Dado o curtíssimo intervalo de tempo entre a aquisição das imagens que compõem o par estereoscópico, praticamente não são verificadas diferenças radiométricas, nas condições de iluminação da cena e de cobertura de nuvens, o que não é verificado em sistemas que adquirem pares estereoscópicos a partir de órbitas adjacentes. Para a América do Sul, os dados obtidos são disponibilizados na resolução espacial de 1 arco de segundo (aproximadamente 30 m), no sistema de coordenadas Lat/Long e *Datum* WGS84.

A missão SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) objetivou gerar um modelo digital de elevação de 80% do Globo terrestre (entre as latitudes 54°S e 60°N), através de interferometria, por sensoriamento remoto operante na faixa de microondas (Rabus et al., 2003). A missão foi lançada em fevereiro de 2000 pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*), juntamente com a NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), a DLR (Agência Espacial Alemã) e a ASI (Agência Espacial Italiana). Os dados referentes à América do Sul foram disponibilizados na resolução espacial de 3 arcos de segundo (~ 90 m), no sistema de coordenadas Lat/Long e *Datum* WGS84.

Além dos modelos diretamente resultantes do processamento das informações obtidas pelos diferentes sensores remotos, há também MDEs derivados destes. É o caso do modelo resultante do Projeto TOPODATA (INPE – Instituto de Pesquisas Espaciais), gerado através de processamentos digitais do MDE do SRTM. Os dados disponíveis do TOPODATA sofreram correções, incluindo informações em pontos/áreas anteriormente com ausência de dados. Estes passaram por um processamento computacional para refinamento no tamanho da célula (*pixel*) para ~30 m. O refinamento foi realizado a partir de interpolação de todo o universo de dados pelo método de *krigagem*, processo embasado na análise geoestatística da variabilidade dos dados, onde se definem coeficientes que respondem melhor ao modelo de superfície real. Além dos dados de entrada, o processo demanda informações geoestatísticas (coeficientes) que controlam a distribuição dos pesos para o cálculo dos valores interpolados (Valeriano, 2008).

Dada a diversidade de métodos para a geração dos modelos e resolução espacial das imagens resultantes, estes podem apresentar diferenças significativas entre as informações. O objetivo deste trabalho é comparar, considerando uma mesma área geográfica, três modelos digitais de elevação provenientes de métodos diferentes de aquisição e processamento digital: ASTER (estereoscopia óptica convencional), SRTM e TOPODATA (interferometria). O Brasil carece de cartas topográficas em escala mínima de 1:50.000, cobrindo todo o território nacional. Assim, a comparação entre MDEs acessíveis gratuitamente, que permitam derivar informações sobre o relevo nessa escala, é de extrema relevância, permitindo conhecer vantagens e restrições do uso de cada um.

2. Material e Métodos

A comparação foi realizada considerando como área de estudo o Estado do Rio de Janeiro – Brasil ($20^{\circ} 45' - 23^{\circ} 22' S$, $40^{\circ} 58' - 44^{\circ} 53' W$), até aproximadamente 10 km a leste da costa atlântica, representando uma área em torno de 50.000 km^2 . A escolha da área justifica-se pelo fato desta apresentar variação considerável de relevo, latitude e longitude; áreas costeiras; ilhas oceânicas e disponibilidade de imagens dos três modelos comparados: ASTER, SRTM e TOPODATA.

Inicialmente, foi gerado um arquivo digital incluindo os limites da área de estudo. Para tanto, foram considerados os limites terrestres do Estado do Rio de Janeiro (IBGE, 2010), estendendo-se, no Oceano Atlântico, até aproximadamente 10 km da costa, incluindo as ilhas oceânicas. O arquivo vetorial foi reprojetoado para o sistema de coordenadas lat/long e *Datum* WGS84.

A seguir, foram gerados os mosaicos correspondentes aos MDEs ASTER (ASTER, 2010), SRTM-4 (USGS, 2010) e TOPODATA (INPE, 2010), considerando as imagens adjacentes de cada modelo correspondentes à área de estudo. Valores negativos foram transformados em zeros, visando minimizar a identificação de diferenças altitudinais em função do valor negativo considerado em cada modelo para a identificação de áreas costeiras ou oceânicas, por exemplo.

Posteriormente, visando permitir uma comparação quantitativa dos MDEs, as imagens representativas de cada modelo foram redimensionadas para uma resolução espacial comum, considerando o tamanho do *pixel* e localização dos pixels referentes ao MDE ASTER. Assim, os MDEs do SRTM e TOPODATA foram re-amostrados artificialmente para a resolução espacial 30 m por interpolação (método do vizinho mais próximo), objetivando a compatibilidade com o MDE do ASTER.

Os modelos foram comparados tanto quantitativamente, quanto qualitativamente. As comparações quantitativas basearam-se na subtração de imagens. Já, a comparação qualitativa baseou-se na comparação visual entre os resultados dos modelos considerando uma área costeira que apresenta variação de relevo e ilhas oceânicas: a região da Baía de Guanabara ($22^{\circ} 39' 36'' - 23^{\circ} 01' 48'' S$, $42^{\circ} 53' 24'' - 43^{\circ} 21' 36'' W$).

3. Resultados e Discussão

Nas figuras 1 a 3 são apresentados os resultados das diferenças altitudinais entre os modelos. As diferenças altitudinais entre os MDEs ASTER e SRTM variaram entre -600 m e +2720 m, sendo a média de -15, 7376 m. Já, as diferenças altitudinais entre os MDEs ASTER e TOPODATA variaram entre -524 m e +2138 m, apresentando média de -16,8786 m. Apesar da variação das diferenças e da observação de pixels com diferenças altitudinais relativamente grandes, mais de 97% dos pixels referentes à área de estudo apresentaram diferenças entre -30 m e +30 m; sendo que 30,87% dos pixels apresentaram diferenças entre -5 m e +1 m na comparação entre os MDEs ASTER e SRTM. Na comparação entre os MDEs ASTER e TOPODATA, 29,88% dos pixels apresentaram diferenças entre -5 m e +1 m.

De uma forma geral, a distribuição das diferenças altitudinais (figura 1) permite observar que o MDE ASTER tende a subestimar a altitude, se comparado com os resultados dos MDEs SRTM e TOPODATA. No entanto, observando as figuras 2 e 3, verifica-se que essas diferenças não apresentam distribuição espacial homogêneas em toda a área de estudo. Localidades situadas em altitudes menores tendem a apresentar altitudes relativamente maiores no MDE ASTER, como pode ser visualizado na planície costeira. Por outro lado,

locais situados em áreas serranas apresentaram altitudes relativamente menores nesse mesmo modelo.

Nas figuras 2 e 3 verifica-se, ainda, um padrão “rajado”, representado por linhas no mapa com ângulo próximo de 70° , na projeção cartográfica e *Datum* considerados. Este alinhamento também é observado na imagem do MDE ÁSTER, sendo possível que tenha ocorrido certa descontinuidade ou problema de calibração ou ajuste relacionado com o processamento do par estereoscópico originário do modelo gerado para a área de estudo.

Na comparação entre os MDEs ÁSTER e TOPODATA (Fig. 3) verificam-se também faixas latitudinais paralelas em que ocorre uma descontinuidade do padrão espacial de diferenças altitudinais. Esta descontinuidade pode ser observada principalmente nas latitudes entre $20^\circ 45'$ e $21^\circ 05'$ S (norte do Estado), $22^\circ 00'$ e $22^\circ 05'$ S (próximo à latitude central do Estado) e $23^\circ 00'$ e $23^\circ 22'$ S (sul do Estado). É provável que esta descontinuidade esteja relacionada com os procedimentos adotados durante o processamento computacional, em que o processamento pode ter sido realizado por faixas latitudinais, considerando a dificuldade de processamento conjunto e simultâneo das informações necessárias para a geração do modelo abrangendo todo o território nacional na resolução espacial definida, considerando a capacidade dos equipamentos disponíveis na época para tal.

Quanto à avaliação qualitativa dos modelos, na figura 4 são apresentados detalhes dos MDEs, abrangendo a Baía de Guanabara e entorno próximo. Na área continental, verifica-se que os MDEs ÁSTER e TOPODATA (resolução espacial = 30 m) apresentam informações mais detalhadas referentes à variação do relevo que o MDE SRTM (resolução espacial = 90 m). Nessas áreas, observa-se que os procedimentos computacionais adotados para a geração do modelo TOPODATA aparentemente contribuíram para melhorar a qualidade das informações sobre o relevo. No entanto, ao contrário do observado nas áreas continentais, são verificadas incorreções na delimitação das ilhas da Baía, principalmente no caso do modelo TOPODATA. No MDE TOPODATA não é possível observar claramente a delimitação costeira, sendo visualizado um gradiente inexistente de declividade na Baía (Fig. 4d). Nos MDEs ÁSTER e SRTM pode-se observar facilmente a delimitação costeira (Figs. 4b e 4c, respectivamente). Comparando esses MDEs, visualizam-se diferenças na delimitação das duas ilhas maiores, situadas na área leste da Baía. No MDE ÁSTER ambas aparecem conectadas ao continente, já no MDE SRTM, a maior aparece separada, e a segunda apresenta apenas uma pequena ligação, o que está mais de acordo com o mapa do IBGE da região (Fig. 4a).

Em trabalho comparando os modelos ÁSTER e SRTM para fins agrícolas na região de Encruzilhada do Sul/RS, Hoff et al. (2009) observaram nítidas diferenças entre os mapas de declividade e exposição solar gerados a partir desses modelos. Os autores comentam que as informações apresentadas no MDE SRTM possuem maior continuidade espacial que as do ÁSTER, que se apresentaram mais recortadas naquela região. Por essa razão, os autores consideraram o MDE SRTM como mais indicado para zoneamento de regiões mais extensas, recomendando testar a adequação do MDE do ÁSTER para aplicações considerando áreas menores, como na escala de microbacias ou pequenas propriedades rurais.

Alba et al. (2010) relacionaram dados altimétricos levantados em campo com os indicados pelos MDEs ÁSTER e SRTM. Os autores confrontaram informações levantadas em 233 pontos distantes 25 m entre si, localizados numa propriedade rural de ~16 ha, com relevo médio-ondulado, situada no Município de Não-Me-Toque/RS. Para as medições em campo utilizaram estação total, GPS-RTK e GPS- GARMIN HCx. O MDE ÁSTER apresentou correlação de 0,50 com as informações altitudinais registradas em campo; enquanto o MDE SRTM apresentou correlação apenas em torno de 0,30. Comparando as informações sobre as altitudes registradas pelos modelos ÁSTER e SRTM, a correlação foi de 0,68. Os autores observaram que, para a área estudada, os dados SRTM sempre apresentaram altitude acima da encontrada com os dados da referência, indicando uma superestimativa das altitudes. No caso do

modelo ASTER, verificaram uma acentuada distinção em relação às informações obtidas em campo e, ao contrário do SRTM, os valores foram sempre subestimados.

Miceli et al. (2010) compararam diversos MDEs com informações obtidas em campo na região Amazônica e mapas escala 1:10.000 da Área de Proteção Ambiental (APA) de Petrópolis, no RJ. Analisaram as divergências com base na aplicação do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), definido pelo Decreto 89.817 de 20 de Julho de 1984 (CONCAR, 2004). Os autores consideraram que, provavelmente em função da irregularidade do terreno e dos procedimentos computacionais para a geração do modelo, no caso da APA, o MDE TOPODATA apresentou altitudes próximas às esperadas, o que não foi verificado para a região Amazônica, onde o relevo era bem suave.

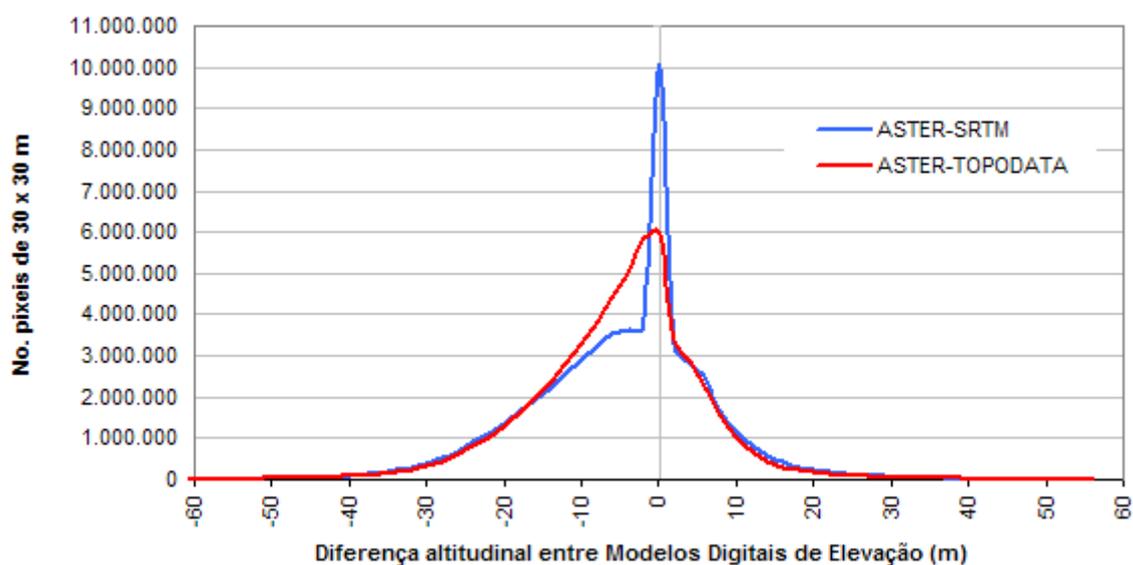


Figura 1. Distribuição das diferenças altitudinais entre os MDEs ASTER, SRTM e TOPODATA para o Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

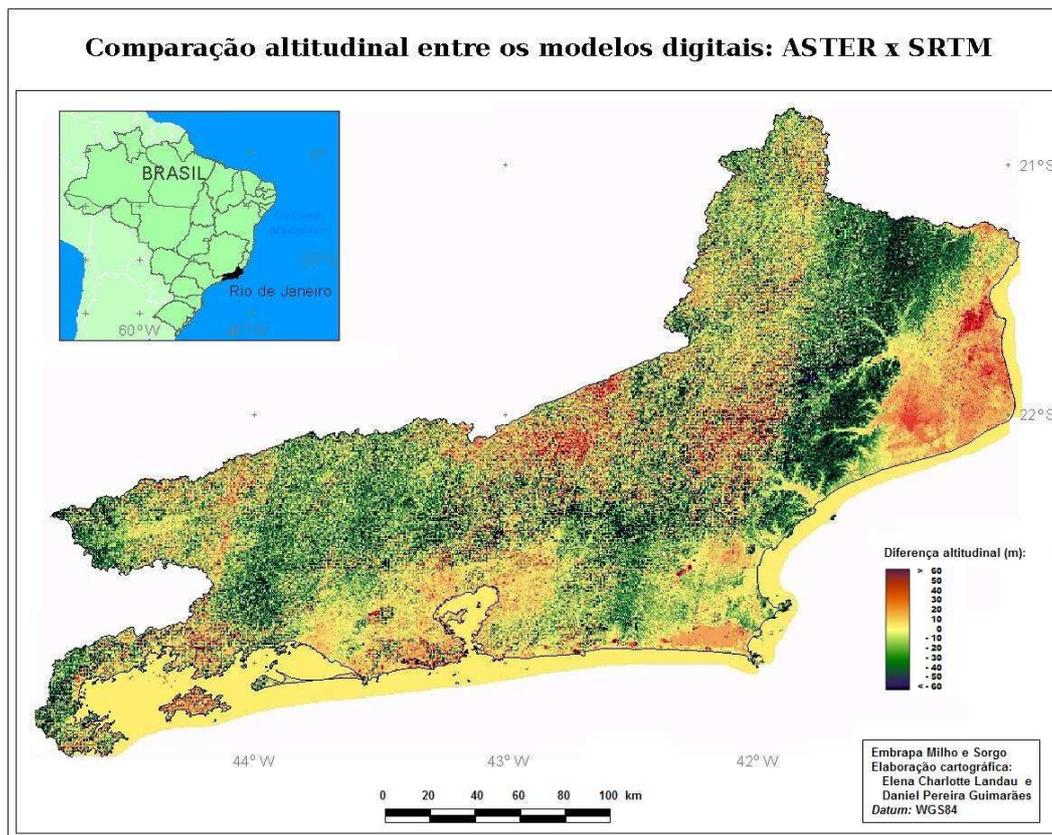


Figura 2. Imagem resultante da subtração dos MDEs extraídos dos sensores ASTER e SRTM para o Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

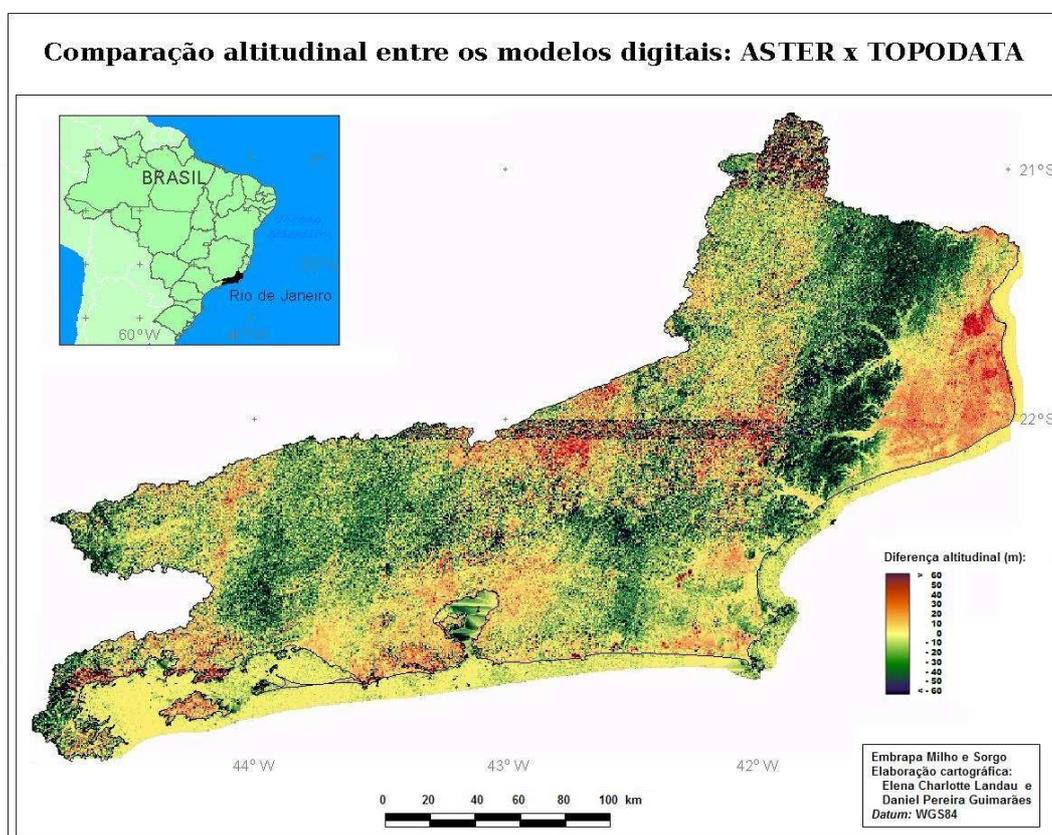


Figura 3. Subtração dos MDEs ASTER e TOPODATA para o Estado do Rio de Janeiro, Brasil.

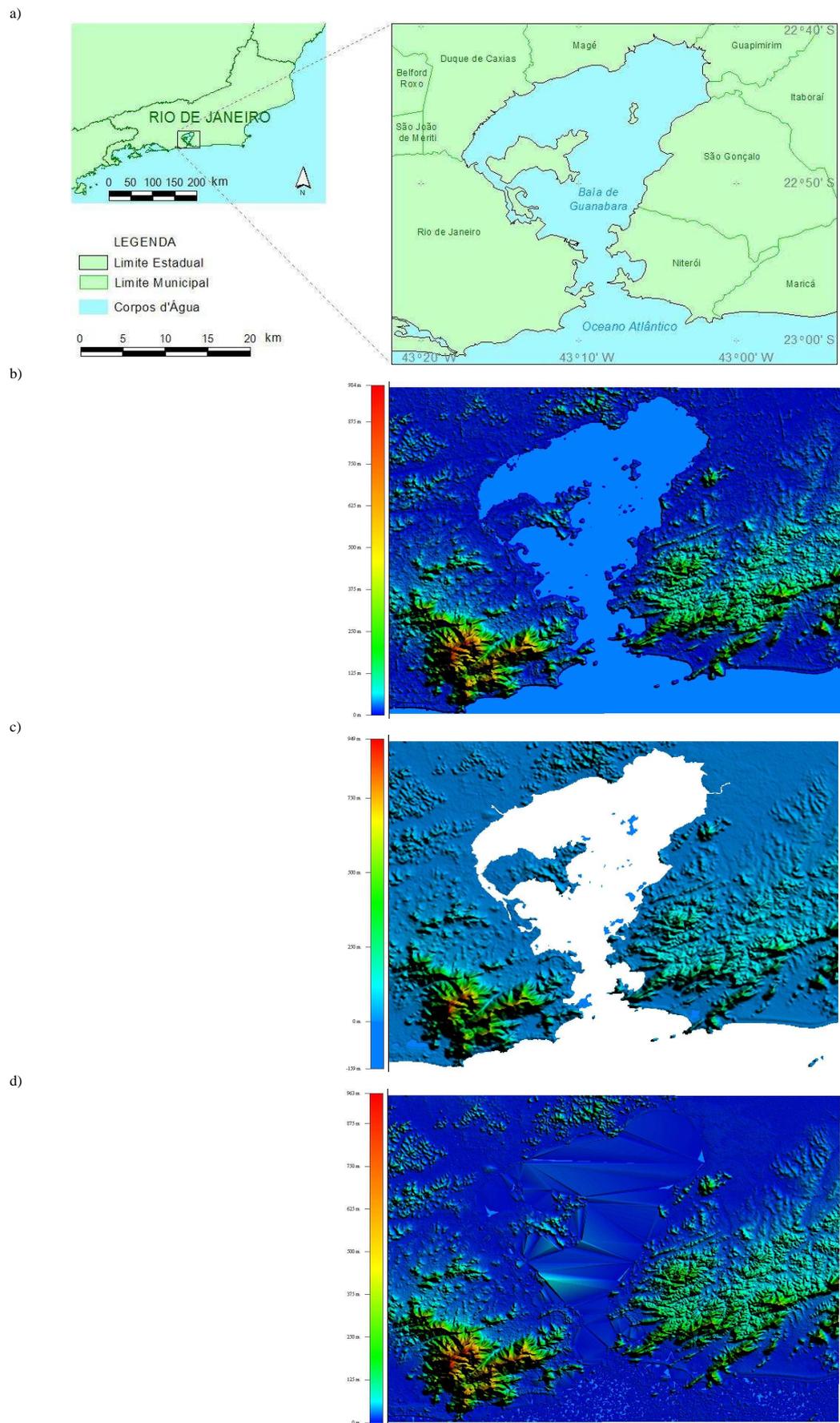


Figura 4. Comparação entre os resultados dos MDEs para a região da Baía da Guanabara, Rio de Janeiro, Brasil: a) Localização geográfica, b) ASTER, c) SRTM, d) TOPODATA.

4. Conclusões

A potencialidade de aplicações dos modelos está relacionada com a sua resolução espacial horizontal e vertical, o que determina a escala e área para a qual poderão ser utilizados. Os MDEs comparados divergem em distintos aspectos, apresentando vantagens e limitações. O MDE ASTER tem maior resolução espacial, porém apresenta uma certa descontinuidade em algumas áreas, além de aparentemente subestimar altitudes de locais mais elevados. O MDE SRTM-4 apresenta maior continuidade das informações que os MDEs ASTER e TOPODATA comparados. Em função da sua resolução, apresenta limitações de uso para áreas pequenas, sendo relativamente mais adequado para áreas extensas. O MDE TOPODATA melhorou a resolução das informações, considerando principalmente locais em que o relevo é mais acidentado, apresentando, porém, limitações relacionadas com a delimitação de áreas costeiras e identificação de variações do relevo em áreas pouco onduladas.

Modelos digitais de elevação apresentam diversas aplicações no ramo das geotecnologias, sendo importante avaliar vantagens e limitações de cada um visando alcançar os melhores resultados conforme o objetivo de cada trabalho.

Agradecimentos

Ao CNPq pelo auxílio financeiro e pela bolsa de Iniciação Científica. À FAPEMIG, pelo apoio financeiro.

Referências Bibliográficas

- Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer. (ASTER). Disponível em: <http://asterweb.jpl.nasa.gov/>. Acessado em out/2010.
- Alba, P. J.; Amado, T. J. C.; Nicoloso, R. S.; Schossler, D. S.; Trindade, B. S. Comparação de Modelos de Altitudes com Diferentes Fontes de Dados. Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão (Anais), Ribeirão Preto/SP, 2010.
- Guimarães, D. P.; Landau, E. C.; Costa, T. C. e C. da. Relevo digital dos municípios brasileiros (Boletim de Pesquisa). Embrapa Milho e Sorgo. Sete Lagoas/MG. 2008. 8 p.
- Hoff, R.; J. R. Ducati; M. Bergmann. Comparação de dados de modelo digital de elevação - MDE: ASTER e SRTM por processamento digital de imagem para identificação de terroir vitivinícola na Folha Encruzilhada do Sul, RS, Brasil. In Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 215-222.
- Huggel, C.; D. Schneider, D.; Miranda, P. J.; Granados, H. D.; Kääh, A. Evaluation of ASTER and SRTM DEM data for lahar modeling: A case study on lahars from Popocatepetl Volcano, Mexico. *Journal of Volcanology and Geothermal Research* 170 (2008) 99–110. Disponível em: www.sciencedirect.com. Acesso em: nov/2010.
- Melgaço, L. M.; Souza Filho, C. R.; Steinmayer, M. Comparação entre modelos digitais de elevação gerados por sensores ópticos e por radar. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1215-1220.
- Melgaço, L. M.; Souza Filho, C. R.; Steinmayer, M. Comparação entre modelos digitais de elevação gerados por sensores ópticos e por radar. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005, INPE, p. 1215-1220.
- Miceli, B. S.; Dias, F. de M.; SEABRA, F. M.; Santos, P. R. A. dos; Fernandes, M. do C. Comparação da Avaliação Vertical de Modelos Digitais de Elevação para Médias e Pequenas Escalas em Diferentes Configurações Topográficas. III **Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife - PE, 2010. p. 001 – 007
- Rabus, B., Eineder, M., Roth, A., Bamler, R. The Shuttle Radar Topographic Mission – A New Class of Elevation Models Acquired by Spaceborne Radar. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 57 (4): 241-262. 2003.
- Ravello, M. M. Análise da Utilização do MDE SRTM e do MDE ASTER para Determinação do Traçado da Rede de Drenagem, da Delimitação de Bacias Hidrográficas e das Curvas Cota x Área e Cota x Volume de Reservatórios. 8p. 2009? Acesso em: Nov/2010.
- SRTM - Shuttle Radar Topography Mission. 2008. Disponível em: <http://srtm.usgs.gov/data/obtainingdata.html>.
- Valeriano, M. M. . Topodata - banco de dados geomorfométricos locais do Brasil. 2008. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/topodata/data/grd/>. Acesso em: Nov/2010.