

ANÁLISE DA PRECISÃO ALTIMÉTRICA DOS MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO PARA ÁREA SEMIÁRIDA DO NORDESTE BRASILEIRO

Jonas Otaviano Praca de Souza¹

RESUMO: A partir do surgimento e disponibilização de base de Modelos Digitais de Elevação de abrangência mundial e gratuitos, como por exemplo, os dados Shuttle Radar Topography Mission – SRTM, houve um expressivo aumento de trabalhos utilizando essas fontes para a realização de modelagem de superfície, tal como o cálculo da declividade. Contudo, nem sempre esses dados são compatíveis com determinados tipos de aplicações, tornando assim necessária a avaliação da acurácia desses modelos. Baseado nessa necessidade o presente trabalho visou analisar a precisão altimétrica de dados SRTM, Topodata e ASTER GDEM, de uma área semiárida entre Pernambuco e Paraíba, avaliando a adequação desses dados às diferentes escalas, observando a metodologia indicada pelo Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), definido pelo Decreto 89.817 de 20 de julho de 1984. Assim, foram calculados o Erro médio quadrático, a tolerância vertical e o Erro médio dos modelos. Para a área analisada os dados ASTER GDEM tiveram os melhores resultados, sendo compatíveis, com algumas ressalvas, com a escala de 1:25.000.

Palavras-chave: acurácia MDE, PEC, ASTER GDEM.

ACCURACY ANALYSIS ALTIMETRIC OF DIGITAL ELEVATION MODELS TO BRAZILIAN NORTHEASTERN SEMIARID AREA

ABSTRACT: With onset and free distribution of world coverage DEMs, there was a boom of researches using these data as sources, for example, SRTM data. Nevertheless, these data are not always compatible with some works, making necessary the accuracy evaluation of these models. This work has as main issue to evaluate the vertical accuracy of SRTM, Topodata and ASTER GDEM data, of a semi-arid zone between Pernambuco and Paraíba, assessing the adequacy of these data to different scales through the Cartographic Accuracy Standard (CAS). It was measured the RMSE, the vertical tolerance and the ME of the models. In the study area, the ASTER GDEM data showed the best results, being compatible, with reservations, to 1:25.000 scales.

Keywords: DEM accuracy, CAS, ASTER GDEM.

1. Universidade Federal da Paraíba (jonasgeoufpe@yahoo.com.br).

INTRODUÇÃO

Ao se fazer um mapeamento temático geomorfológico, e extrair informações hidrológicas, não é necessário um emprego de técnicas detalhadas da cartografia analítica, porque sua base está relacionada com mapas planialtimétricos, e esses sim, devem ser construídos a partir de uma base cartográfica rígida (Argento, 1998).

Infelizmente, devido ao déficit de mapeamentos planialtimétricos, em grandes e médias escalas, no Brasil (Oliveira e Paradella, 2009; Valeriano e Rossetti, 2011), há uma dificuldade na obtenção e processamento de informações topográficas nessas escalas. Contudo, com o advento de novas tecnologias, como os Modelos Digitais de Elevação - MDE, a construção de mapas planialtimétricos pode ser realizada de maneira célere e precisa a partir da utilização de Sistemas de Informação Geográficas – SIG e de bases de dados altimétricas gratuitas como SRTM – Shuttle Radar Topography Mission (Guimarães et al., 2008; Wilson, 2012), ASTER GDEM – Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer Global Elevation Model, ou então a partir do refinamento desses dados como, por exemplo, dados do projeto TOPODATA/INPE, que cobrem o território brasileiro, derivados de dados SRTM, com resolução espacial melhorada para 30 metros (Valeriano e Rossetti, 2011). Modelos Digitais de Elevação derivados de dados de satélite apresentam em geral a melhor resolução espacial disponível para estudos hidrogeomorfológicos (Endreny et al., 2000), tais como os dados SRTM, ASTER GDEM e TOPODATA.

Diversos autores defendem a superioridade no uso de MDEs criados a partir de imagens de sensoriamento remoto ou fotogrametria, em relação ao uso de cartas topográficas tradicionais (Wilson, 2012), pois “a homogeneização provocada por perfis elaborados de cartas topográficas pode ocultar formas do relevo, suavizando acidentes topográficos e conseqüentemente, gerando produtos com valores de declividade e geoformas que não representam a verdade terrestre” (Carvalho e Latrubesse, 2004). Tal homogeneização é derivada da falta de informação altimétrica entre as curvas de nível, o que gera perfis com segmentos planos.

A utilização de MDEs gerados a partir de dados SRTM tornou-se corriqueira na ciência geomorfológica (Carvalho e Latrubesse, 2004; Oliveira e Rodrigues, 2007; Carvalho e Bayer, 2008; Valeriano e Rossetti, 2008), porém a maior parte dos trabalhos tem como objetivo o mapeamento de mesoescala, a partir de 1:250.000. Um dos principais fatores limitantes de dados como o SRTM é a resolução espacial de 90 metros, a qual muitas vezes é incapaz de identificar elementos menores do relevo, tais como as formas das encostas (Tang et al., 2001; Saholiariliva et al., 2011), deste modo, normalmente, o uso de dados SRTM é aconselhado para estudos regionais (Miliarensis e Paraschou, 2005; Bhang e Schwartz, 2008; Demirkesen, 2008; Seyler et al., 2009).

Com o aporte de dados de melhor resolução, como o ASTER GDEM, com resolução espacial básica de 30 metros, abrem-se novas possibilidades para a utilização desses dados na geração de MDEs e mapeamentos associados, inclusive hidrológicos (Poggio e Soille, 2011), podendo assim ser utilizados em mapeamentos de maior detalhe, principalmente quando se trabalha, também, com dados de campo, GPS, aerofotogrametria, entre outros, para a realização dos mapeamentos.

Contudo, nem sempre esses modelos alcançam a precisão necessária aos estudos em grandes e médias escalas, seja por limitação das informações ou por erros aleatórios, os quais, devido à complexidade na captação e pré-processamento desse tipo de dado, os erros podem variar espacialmente (Tang et al., 2001; Vogt et al., 2003; Fisher e Tate, 2006; Wechsler, 2007; Lindsay e Evans, 2008; Dixon e Earls, 2009; Wilson, 2012), sendo que os dados topográficos e hidrológicos, como picos, volume, velocidade de escoamento e declividade, derivados dos MDEs, refletem os erros da base inicial (Endreny et al., 2000; Kenward et al., 2000). Assim, torna-se necessário avaliar, separadamente para cada área, a equivalência da precisão dos dados com a escala desejada.

Outro ponto é que alguns tipos de processamento de MDEs, tais como, o preenchimento de depressões, comum para os estudos de hidrogeomorfologia, ou suavização do relevo, alteram a precisão vertical dos MDEs, podendo diminuir a quantidade de erros ou criando novos erros (Endreny et al., 2000).

Deste modo, o presente trabalho visou analisar a precisão altimétrica dos dados gerados pelos projetos SRTM, TOPODATA e ASTER GDEM, para a área da Serra da Baixa Verde, componente do Planalto da Borborema (Corrêa et al., 2012) na divisa Pernambuco/Paraíba. O estudo abrangeu, os municípios de Serra Talhada, Triunfo e Santa Cruz da Baixa Verde, em Pernambuco, e os municípios de São José da Princesa, Manaíra, Princesa Isabel, Curral Velho e Boa Ventura, na Paraíba; buscando a adequação destes dados em diferentes escalas cartográficas. A região é de extrema importância social e econômica para a área, por ser um enclave sub-úmido nessa região semiárida; apresentando ocupação antiga e forte presença de atividades agrícolas.

MATERIAL E MÉTODO

Os dados utilizados foram obtidos a partir de projetos de distribuição online gratuita. Os dados SRTM obtidos a partir do programa Brasil em Relevo da EMBRAPA (disponível em <http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br>); dados TOPODATA obtidos a partir do programa TOPODATA (disponível em <http://www.dsr.inpe.br/topodata>) desenvolvido pelo INPE (Valeriano e Rossetti, 2011); e dados ASTER GDEM obtidos a partir do programa de disponibilização gratuito desenvolvido pelo Japan-US ASTER Science Team (disponível em <http://gdem.ersdac.jspacesystems.or.jp/index.jsp>).

Para analisar a precisão dos MDEs (SRTM, TOPODATA e ASTER GDEM) foram utilizados 59 pontos de controle, número superior ao aconselhado pelo United States Geological Survey – USGS (Endreny et al., 2000; Cuartero et al., 2005; Souza e Loch, 2008; Oliveira e Paradella, 2009), obtidos utilizando um GPS topográfico PRO-XH (Trimble), a partir do datum WGS84, e posteriormente corrigidos pelo método diferencial, usando o provedor de base CORS-Fortaleza 2005, resultando em um erro vertical médio abaixo de 1m. Os pontos se concentram no Maciço da Baixa Verde (Figura 01), intrusão sienítica circundada de rochas metamórficas (Corrêa, 2001), pertencente à Encosta Meridional do Planalto da Borborema, em direção ao norte na Zona de Cisalhamento (Corrêa et al., 2012).

A área apresenta uma diferença altimétrica de 881 metros, sendo que o ponto de controle de menor altitude marcou 304 metros, no extremo norte na cidade de Boa Ventura, e o

ponto de controle com maior altitude marcou 1115 metros, ao sul no município de Triunfo. Nota-se uma transição abrupta entre o Maciço da Baixa Verde na porção sul, com escarpas de 500 metros de amplitude altimétrica, enquanto que na porção norte apresenta escarpas mais suaves, esta diferença deve-se ao controle estrutural e à influência de falhamentos na porção sul (Corrêa, 1997).

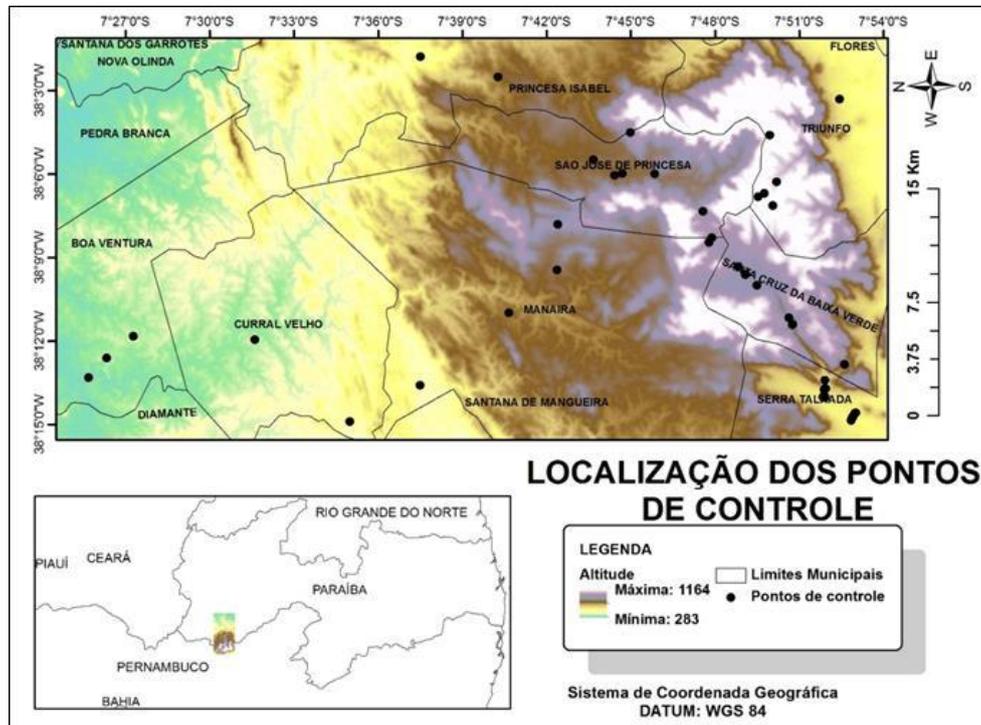


FIGURA 01: Localização dos pontos de controle.

Fonte: Dados SRTM do Brasil em Relevo (MIRANDA, 2005).

A partir dessas informações, foram utilizados dois métodos para avaliar o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), definido pelo Decreto 89.817 de 20 de julho de 1984, dividido em três classes de precisão (classes A, B e C): o primeiro método é a partir do cálculo do erro médio quadrático (EMQ) e o segundo a partir do cálculo da tolerância vertical, métodos semelhantes aos indicados pelo USGS (Miliareis e Paraschou, 2005).

Deste modo, identificou-se os valores de EMQ e tolerância vertical para as escalas de 1:25.000, 1:50.000 e 1:100.000. O decreto 89.8127/84 coloca como base a equidistância entre curvas de nível na análise dos valores de EMQ e da tolerância vertical. Onde a tolerância vertical para a classe A o valor é $\frac{1}{2}$ da equidistância entre as curvas; para a classe B o valor é $\frac{2}{3}$ da equidistância e o valor C é $\frac{3}{4}$ da equidistância. E para o EMQ para a classe A o valor é $\frac{1}{3}$ da equidistância entre as curvas; para a classe B o valor é $\frac{2}{3}$ da equidistância e o valor C é $\frac{1}{2}$ da equidistância.

Desse modo; como a equidistância entre curvas de nível é 10m, 20m e 50m, para as escalas 1:25.000, 1:50.000 e 1:100.000 respectivamente; o valor da tolerância vertical na escala 1:25.000 para a classe A é 5m; para a classe B o valor é 6m e a classe valor C é 7,5m. O valor do EQM para a classe A é 3,3m; para a classe B é 4m e o 5m na C. Para a escala de 1:50.000 o

valor da tolerância vertical para a classe A é 10m; para a classe B o valor é 12m e a classe valor C é 15m.

O EMQ para a classe A é 6,6m; para a classe B o valor é 8m e o valor C é 10m. Enquanto que na escala 1:100.000 o valor para tolerância vertical a classe A é 25m; para a classe B o valor é 30m e a classe valor C é 36,6m. sendo o valor do EMQ para a classe A 16,6m; para a classe B 20m e o valor C é 25m (Tabela 01).

O EMQ é definido pela raiz quadrada da soma do quadrado da diferença entre os pontos analisados (SRTM, TOPODATA e ASTER GDEM), e os pontos de controle (pontos do GPS) dividido pelo número de pontos de controle menos um. Para se enquadrar em cada classe e escala o EMQ deve ser menor que o erro padrão de cada escala/classe

A tolerância vertical é calculada a partir da porcentagem de pontos que apresentem resíduo, isto é, diferença de altitude entre o ponto visitado e o ponto de controle, abaixo da tolerância vertical aceita para cada classe/escala; a porcentagem dos pontos dentro da tolerância vertical deve ser pelo menos de 90% (Santos et al., 2006; Souza e Loch, 2008). Por último, para identificar se os MDEs superestimam ou subestimam as altitudes reais, foram calculados o Erro Médio entre os MDEs e os pontos de controle (Mukherjee et al., 2013).

TABELA 01. Limites da Tolerância Vertical e do Erro Médio Quadrático para diferentes classes e escalas.

	Tolerância vertical	Erro Médio Quadrático
Classe A de 1:25.000	5 metros	3,3 metros
Classe B de 1:25.000	6 metros	4 metros
Classe C de 1:25.000	7,5 metros	5 metros
Classe A de 1:50.000	10 metros	6 metros
Classe B de 1:50.000	12 metros	8 metros
Classe C de 1:50.000	15 metros	10 metros
Classe A de 1:100.000	25 metros	16,6 metros
Classe B de 1:100.000	30 metros	20 metros
Classe C de 1:100.000	36,6 metros	25 metros

Fonte: Definido a partir de Brasil (1984).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na escala 1:100.000, os três MDEs atingiram a classe A, tanto no EMQ (Figura 02) quanto na tolerância vertical. O SRTM teve o EMQ de 10,01 metros e 93,18% na tolerância vertical; o TOPODATA teve 5,39 metros de EMQ e 100% de tolerância vertical; e o ASTER GDEM teve o EMQ de 4,31 metros e 100% de tolerância vertical. Na escala 1:50.000, o ASTER GDEM atingiu a classe A no EMQ e na tolerância vertical (100%).

O TOPODATA atinge a classe A para o EMQ e a classe A para a tolerância vertical (92,66%). Por outro lado, o SRTM não atinge nenhum dos índices de EMQ e tolerância vertical para a escala de 1:50.000, não sendo indicado para uso em trabalhos nessa escala.

Por fim, apenas o ASTER GDEM atinge os índices da escala 1:25.000, atingindo a classe C no EMQ, com 4,31 metros; e a classe C na tolerância vertical com 98,33% dos resíduos abaixo

de 7,5 metros. Enquanto que o TOPODATA tem 78,33% de tolerância vertical para a classe C e o SRTM apenas 63,33% abaixo dos 7,5 metros.

A partir desses resultados, observa-se que os dados SRTM apenas se enquadram na precisão necessária para a escala 1:100.000, não sendo aconselhável o uso para escalas maiores. Os dados TOPODATA podem ser utilizados para as escalas 1:100.000 e 1:50.000. Já os dados ASTER GDEM podem ser utilizados para as três escalas analisadas, contudo, por não ter alcançado a classe A, com ressalvas para a escala 1:25.000; desse modo, deve-se preferencialmente utilizar os dados ASTER GDEM em conjunto com dados de outras fontes, como dados de GPS.

Em relação ao Erro Médio Quadrático, o ASTER GDEM teve como resultado 2,39 metros, o TOPODATA -4,45 metros e o SRTM -5,57 metros, ou seja, os dados ASTER GDEM tenderam a superestimar as elevações, e os dados Topodata e SRTM subestimaram as elevações.

A precisão alcançada pelos dados SRTM, a base mais utilizada nos trabalhos nacionais, são compatíveis com estudos regionais, como pode ser observado em trabalhos de mapeamentos de ênfase regional; como no mapeamento geomorfológico do Estado de Goiás (Carvalho e Bayer, 2008).

Ao mesmo tempo a qualidade apresentada está diretamente ligada a forte variação altimétrica da área, visto que a resposta do SRTM para áreas de baixa declividade e cobertura vegetal densa apresenta maiores problemas, como foi constatado por Carvalho e Latrubesse (2004).

Ao mesmo tempo há uma variação nos resultados sobre a precisão dos dados SRTM, sendo encontrado na literatura resultados dispares para o EMQ tais quais 2,9m (Bhang e Schwartz, 2008); 7m (Pinheiro, 2006); 9,6m (Rodrigues et al., 2011); 11m (Santos et al., 2006); 18,4m (Saholiariliva et al., 2011) 25,5m (Miliarexis e Paraschou, 2005).

Essas variações de precisão ocorrem não só nos MDEs gerados a partir dos dados SRTM, mas também para os dados TOPODATA e ASTER GDEM (Mukherjee et al., 2013). As diferenças entre os resultados podem ter como explicação erros inerentes aos modelos digitais, tais como erros sistemáticos, picos/depressões e randômicos, além de problemas nas interpolações e tamanho do pixel.

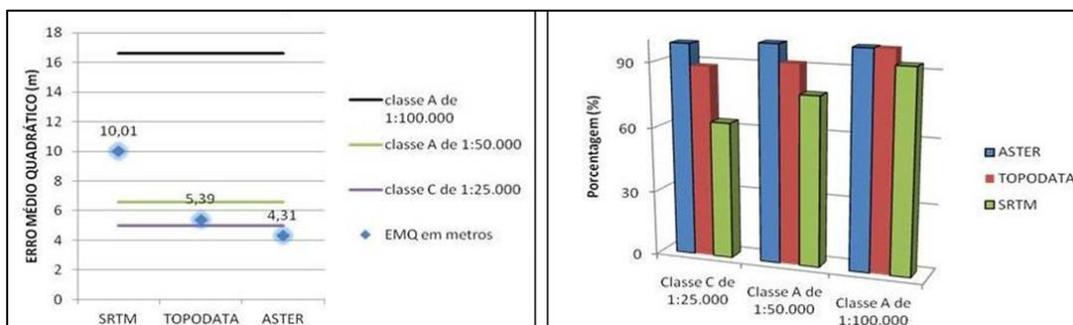


FIGURA 02: Erro Médio Quadrático e Tolerância Vertical para as bases de dados SRTM, TOPODATA e ASTER GDEM.

Fonte: Souza (2015).

CONCLUSÃO

Para a área analisada, com o advento dos dados ASTER GDEM pode-se trabalhar com informações altimétricas compatíveis com a escala de 1:25.000, sensivelmente superior em relação as cartas topográficas desenvolvidas pela SUDENE, que para a área possui escala de 1:100.000. Por outro lado, os dados SRTM e TOPODATA devem ser utilizados em estudos com ênfase regional, como também a delimitação de compartimentos de relevo onde a altitude absoluta é vital, como por exemplo, a delimitação das planícies de inundação deve ser realizada com cautela, preferencialmente utilizando dados de campo ou de imagem de satélite.

Apesar do TOPODATA apresentar resolução de 30m, bem como apresentar melhor resultado na análise da precisão vertical, seus dados devem ser utilizados com a mesma cautela dos dados SRTM, visto tratam-se de dados derivados do SRTM original, e por isso mantêm parte da generalização/homogeneização topológica dos dados SRTM.

Assim, se além dos dados ASTER GDEM forem utilizadas outras informações, tais como dados de campo e imagens de satélite (ex. QUICKBIRD, para delimitação precisa dos limites dos compartimentos geomorfológicos) (Pinheiro et al., 2005), pode-se gerar, por exemplo, mapas geomorfológicos de maneira rápida e precisa para a escala 1:25.0000. Pode-se também, visando a melhoria da precisão dos dados altimétricos realizar o georreferenciamento local/regional, o que melhoraria a precisão geométrica das informações, como pode ser visto em Souza e Loch (2008); além dos processamentos comumente já realizados como a remoção de depressões e picos irreais.

Vale lembrar que devido à complexidade de obtenção e pré-processamento, susceptíveis a diversos tipos de erros e ruídos, os dados fornecidos por estas três fontes variam espacialmente de precisão, ou seja, os resultados obtidos são exclusivos para a área analisada. Também é necessário avaliar se a resolução espacial da base de dados é compatível com a identificação das formas a serem analisadas.

Este trabalho demonstra a importância de se avaliar a adequação dos MDEs disponíveis para a escala desejada, evitando assim a utilização de dados com precisões incompatíveis com o objetivo de cada trabalho. Desta maneira será possível construir de forma precisa uma base planialtimétrica compatível com as informações geomorfológicas e hidrológicas que se pretende mapear.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi financiado a partir da concessão de bolsa de doutorado ao autor pela Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco – FACEPE, com vigência entre março de 2011 e fevereiro de 2014.

BIBLIOGRAFIA

- ARGENTO, M.S. Mapeamento geomorfológico, in(ed) Guerra, A. T.; Cunha, S. B. Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos, 3 ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, pp. 365-391, 1998.
- BHANG, K.J., SCHWARTZ, F.. Limitations in hydrologic applications of C-Band SRTM DEM in low-relief settings. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters* 5, 497-501, 2008.
- CARVALHO, T.M., BAYER, M.. Utilização dos produtos da "Shuttler Radar Topography Mission" (SRTM) no mapeamento geomorfológico do estado de Goiás. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 9, 35-41, 2008.
- CARVALHO, T.M., LATRUBESSE, E.M.. Aplicação de modelos digitais do terreno (MDT) em análises macrogeomorfológicas: o caso da bacia hidrográfica do Araguaia. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 5, 85-93, 2004.
- CORRÊA, A.C.B.. Mapeamento geomorfológico de detalhe do maciço da Serra da Baixa Verde, Pernambuco: estudo da relação entre a compartimentação geomorfológica e a distribuição dos sistemas geoambientais. *Dissertação (Mestrado)*. Recife, UFPE, 1997.
- CORRÊA, A.C.B.. Dinâmica geomorfológica dos compartimentos elevados do Planalto da Borborema, Nordeste do Brasil. *Tese (Doutorado)*. Rio Claro, UNESP, 2001 .
- CORRÊA, A.C.B., TAVARES, B.; MONTEIRO, K.; CAVALCANTI, L.; LIRA, D.. Megageomorfologia e morfoestrutura do Planalto da Borborema. *Revista do Instituto Geológico* 31, 35-52, 2012.
- CUARTERO, A., FELICÍSSIMO, A. M., ARIZA, F. J.. Accuracy, reliability, and deputation of SPOT HRV and Terra ASTER digital elevation models. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing* 43, 404 - 407, 2005.
- DEMIRKESEN, A.C.. Digital terrain analysis using Landsat-7 ETM+ imagery and SRTM DEM: a case study of Nevsehir province (Cappadocia), Turkey. *International Journal of Remote Sensing* 29, 4173-4188, 2008.
- DIXON, B., EARLS, J.. Resample or not?! Effects of resolution of DEMs in watershed modeling. *Hydrological Process* 23, 1714-1724, 2009.
- ENDRENY, T.A., WOOD, E.F., LETTENMAIER, D.P. Satellite-derived digital elevation model accuracy: hydrogeomorphological analysis requiremets. *Hydrological Processes*. V. 14, 1-20, 2000.
- FISHER, P.F., TATE, N.J.. Causes and consequences of error in digital elevation models. *Progress in Physical Geography* 30, 467-489, 2006.
- GUIMARÃES, D.P., LANDAU, E.C., Costa, T.C.C.. *Relevo Digital dos Municípios Brasileiros*. Sete Lagoas: EMBRAPA Milho e Sorgo, 2008.
- KENWARD, T., LETTENMAIER, D.P., Wood, E. F. Fielding, E. Effects of digital elevation model accuracy on hydrologic predctions. *Remose Sensing of Environment* 74, 432-444, 2000.
- LINDSAY, J. B., EVANS, M. G.. The influence of elevation error on the morphometrics of channel networks extracted from DEMs and the implications for hydrological modelling. *Hydrological Processes* 22, 1588-1603, 2008.
- MILIARESIS, G. C., PARASCHOU, V. E.. Vertical accuracy of the SRTM DTED level 1 of Crete. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 7, 49-59, 2005.
- MUKHERJEE, S. JOSHI, P.; MUKHERJEE, S.; Ghosh, A.; Garg, R.; Mukhopadhyay, A.. Evaluation of vertical accuracy of open source Digital Elevation Model (DEM). *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 21, 205-217, 2013.

- OLIVEIRA, C. G., PARADELLA, W. R. Evaluating the quality of the Digital Elevation Models produced from ASTER stereoscopy for topographic mapping in the Brazilian Amazon Region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 81, 217-225, 2009.
- OLIVEIRA, P. C. A., RODRIGUES, S. C.. Cartografia do relevo: um estudo aplicado na região oeste de Minas Gerais. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 8, 37-44, 2007.
- PINHEIRO, E. S.. Comparação entre dados altimétricos Shuttle Radar Topography Mission, Cartas Topográficas e GPS: numa área com relevo escarpado. *Revista Brasileira de Cartografia* 58, 1-9, 2006.
- PINHEIRO, E. S., KUX, H. J. H., VILLWOCK, J. A. O potencial de imagens QUICKBIRD para análise de um setor do Planalto das Araucárias, RS: Centro de Pesquisas e Conservação da natureza Pró-Mata. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 6, 65-73, 2005..
- POGGIO, L., SOILLE, P. A probabilistic approach to river network detection in digital elevation models. *Catena* 87, 341-350, 2011..
- RODRIGUES, T. G., PARADELLA, W. R., OLIVEIRA, C. G. Evaluation of the altimetry from SRTM-3 and planimetry from high-resolution PALSAR FBD data for semi-detailed topographic mapping in the Amazon Region. *Anais da Academia Brasileira de Ciências* 83, 953-966, 2011..
- SAHOLIARILIVA, N. G., GUNNELL, Y., PETIT, C., MERING, C. Techniques for quantifying the accuracy of gridded elevation models and for mapping uncertainty in digital terrain analysis. *Progress in Physical Geography* 35, 739-764, 2011..
- SANTOS, P. R. A., GABOARDI, C., OLIVEIRA, L. C. Avaliação da precisão vertical dos modelos SRTM para a Amazônia. *Revista Brasileira de Cartografia* 58, 101-107, 2006.
- SEYLER, F.; MULLER, F.; COCHONNEAU, G.; GUIMARÃES, L.; GUYOT, J.. Watershed delineation for the Amazon sub-basin system using GTOPO30 DEM and a drainage network extracted from JERS SAR images. *Hydrological Processes* 23, 3173-3185, 2009.
- SOUZA, J. M., LOCH, R. E. N. Análise e melhoria da qualidade altimétrica dos dados da shuttle radar topography mission, srtm-3. *Revista Brasileira de Cartografia* 60, 155-166, 2008.
- TANG, G., HUI, Y., STROBL, J., LIU, W. The impact of resolution on the accuracy of hydrologic data derived from DEMs. *Journal of Geographical Sciences* 11, 393-401, 2001.
- VALERIANO, M. M., ROSSETTI, D. F.. Topographic modelling of Marajó island with SRTM data. *Revista Brasileira de Geomorfologia* 9, 53-64, 2008.
- VALERIANO, M. M., ROSSETTI, D. F. Topodata: Brazilian full coverage refinement of SRTM data. *Applied Geography* 32, 300-309, 2011.
- VOGT, J. V., COLOMBO, R., BERTOLO, F.. Deriving drainage networks and catchment boundaries: a new methodology combining digital elevation data and environmental characteristics. *Geomorphology* 53, 281-298, 2003.
- WECHSLER, S. P. Uncertainties associated with digital elevation models for hydrologic applications: a review. *Hydrology and Earth System Sciences* 11, 1481-1500, 2007..
- WILSON, J. P. Digital terrain modeling. *Geomorphology* 137, 107-121, 2012.

Artigo submetido em	27/05/2015
Artigo aceito em	26/08/2015