



ACURÁCIA POSICIONAL DO MODELO DIGITAL DE TERRENO COM OS MODELOS DIGITAIS DE ELEVAÇÃO: ASTER GDEM, SRTM E TOPODATA

Otacílio Santos de Araújo¹, Everton Valdomiro Pedroso Brum², Edgley Pereira da Silva³, Charles Caioni¹, Wesley Vicente Claudino¹

¹Engenheiro Florestal, mestrando em Biodiversidade e Agroecossistemas Amazônicos pela Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta – MT, Brasil, otaciliorayk@gmail.com.

²Engenheiro Agrônomo, Professor Mestre da Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta – MT, Brasil.

³Engenheiro Agrônomo, Professor Doutor da Universidade do Estado de Mato Grosso, Alta Floresta – MT, Brasil.

Recebido em: 30/09/2014 – Aprovado em: 15/11/2014 – Publicado em: 01/12/2014

RESUMO

Dados de sensores orbitais e aerotransportados representam uma fonte de dados imprescindíveis no mapeamento topográfico. Portanto, o objetivo deste trabalho é comparar três Modelos Digitais de Elevação (MDEs): ASTER, SRTM e TOPODATA, com um Modelo Digital Terreno (MDT), planialtimétrico, em um imóvel rural que sofreu exploração de garimpo, localizado no município de Paranaíta-MT. Os dados orbitais para análise foram adquiridos de forma gratuita, e homogeneizados em um mesmo sistema de projeção cartográfica, sendo então, extraída as altitudes referente aos pontos de coordenadas (x,y) do levantamento planialtimétrico a campo. Posteriormente realizou-se uma análise quantitativa e qualitativa da exatidão das altitudes. Em seguida utilizou-se imagem do sensor Système Pour l'Observation de la Terre (SPOT) para classificar o uso e cobertura do solo, com intuito de averiguar as relações das classes com a acurácia altimétrica dos sensores. Na análise qualitativa os MDEs comparados divergem em distintos aspectos apresentando vantagens e limitações. O MDE ASTER tem maior resolução espacial, porém, apresenta certa descontinuidade em algumas áreas, além de subestimar altitudes nas áreas de floresta densa, em contrapartida, apresentou ótimos resultados na análise quantitativa pelo método do Erro Médio Quadrático (9,69) comparados com TOPODATA 10,83 e SRTM 11,07. Na análise qualitativa o MDE TOPODATA apresentou melhor resultado em relação aos demais MDEs, apresentando, porém, limitações relacionadas à identificação de variações do relevo em áreas pouco onduladas. Relacionando as variáveis quantitativa e qualitativa, o TOPODATA apresentou melhores concordâncias entre os modelos digitais de elevação, se comparado ao levantamento topográfico.

PALAVRAS-CHAVE: Atributos de terreno; estereoscopia óptica convencional; interferometria.

ANALYSIS OF THE POSITIONAL ACCURACY OF THE DIGITAL TERRAIN MODEL WITH DIGITAL ELEVATION MODELS: ASTER GDEM, SRTM AND TOPODATA

ABSTRACT

Data orbital and airborne sensors represent an essential source of data in topographic mapping. Therefore, the aim of this work is to compare three Digital Elevation Models (DEMs): ASTER, SRTM and TOPODATA, with planialtimetric digital model on a rural property with old gold mining operation, located in the municipality of Paranaíta-MT. The orbital data for analysis were acquired free of charge, and homogenized in the same cartographic projection system, being then possible to extract the altitudes to points of coordinates (x, y) of planialtimetric the field survey. Subsequently carried out a quantitative and qualitative analysis of the accuracy of altitudes. Then we used image sensor l'Observation Système Pour la Terre (SPOT) to classify land cover and land use, in order to investigate the relations of classes with altimetric accuracy of the sensors. Qualitative analysis compared the DEMs differ in distinct ways with advantages and limitations. The DEM ASTER has higher spatial resolution, but shows some discontinuity in some areas, and underestimate altitudes in areas of dense forest, in contrast, showed excellent results in the quantitative analysis by Mean Squared (9.69) method compared with TOPODATA 10.83 and SRTM 11.07. In qualitative analysis MDE TOPODATA showed better results compared to other DEMs, however, with limitations related to the identification of variations in bit wavy relief areas. Relating the qualitative and quantitative variables, TOPODATA showed best agreement between digital elevation models, compared to the survey.

KEYWORDS: Attributes of land; conventional optical stereoscopy; interferometry.

INTRODUÇÃO

Os Modelos Digitais de Elevação (MDEs) representam fonte de dados imprescindível para o conhecimento do relevo da superfície terrestre, esses modelos são uteis em atividades aplicadas, tais como mapas de declividade, exposição solar, mapeamento da rede de drenagem de áreas extensas e planejamento urbano e rural (CAMARGO et al., 2009a). Isto facilita a identificação de áreas favoráveis para a agricultura e silvicultura, 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, e outros (CAMARGO et al., 2009b).

Por outro lado, MDEs também são fundamentais como ferramenta de apoio na correção geomorfológico de bacias de médio e grande porte (CARVALHO & LATRUBESSE, 2010). Essa geotecnologia, que utiliza métodos como estereoscopia orbital e interferometria por radar, apresenta uma alternativa mais eficiente para a geração de bases topográficas padronizadas em alta escala, cobrindo áreas relativamente extensas em menor tempo (PINHEIRO et al., 2012).

Dentre os esforços recentes para o inventário topográfico do planeta Terra, se destaca na estereoscopia orbital *Advanced Spacebine Thermal Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) e a interferometria por radar *Shutte Radar Topograohic Mission* (SRTM). O sensor ASTER/Terra se destaca por ser de baixo custo, e pela qualidade geométrica dos seus MDEs, por integrar dados altimétrico derivada do instrumento estéreo ao longo da órbita do sensor ASTER, que adquire imagens no infravermelho próximo (0,78 a 0,86 Micrometros), nas bandas 3N (Nadir)

e 3B (Of Nadir), as quais permitem gerar por processo digital de autocorrelação entre os dois canais, um MDE, com resolução espacial de 30m (RODRIGUES, 2010).

O SRTM foi uma missão lançada em fevereiro de 2000 pela NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) e NIMA (*National Imagery and Mapping Agency*), com parceria das agências espaciais da Alemanha DLR (*Deutsche Zentrum für Luft-und Raumfahrt*) e da Itália a ASI (*Agenzia Spaziale Italiana*), que gerou um modelo digital de elevação de 80% do Globo terrestre (entre as latitudes 54°S e 60°N), através de interferometria, operando na faixa de microondas (RABUS et al., 2003). Os dados referentes à América do Sul foram disponibilizados na resolução espacial de três arcos de segundo (~ 90 m), no sistema de coordenadas Lat/Long e Datum WGS84 (GROHMANN & STEINE, 2008).

Além dos modelos adquiridos diretamente por sensores remotos, há também MDEs derivados desses levantamentos. É o caso do modelo resultante do projeto TOPODATA (Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE), gerado através de processamentos digitais do MDE do SRTM. Os dados SRTM TOPODATA foram refinados por krigagem para 30 m, processo embasado na análise geoestatística da variabilidade dos dados, onde se definem coeficientes que melhor respondem ao modelo de superfície real (VALERIANO, 2008a).

Dado o avanço da geotecnologia, e sua agilidade para obter informações altimétrica do terreno, com preços acessíveis, ou grátis, e o alto custo e tempo para realizar levantamento clássico, o levantamento por sensores remotos apresenta uma alternativa viável no mapeamento terrestre. Mas, dada à diversidade de métodos para a geração dos modelos e resolução espacial das imagens resultantes, estes podem apresentar diferenças significativas entre as informações, torna-se essencial estudo que avalie a fiabilidade posicional e altimétrico de diferentes produtos dos sensores (LANDAU & GUIMARÃES, 2011).

Diante do exposto o objetivo deste trabalho foi comparar o modelo digital planialtimétrico, considerando uma mesma área geográfica com diferentes tipos de cobertura, com três modelos digitais de elevação proveniente de métodos diferentes de aquisição e processamento digital: ASTER (estereoscopia óptica convencional), SRTM e TOPODATA (interferometria), a fim de disponibilizar informações qualitativas (visual) e quantitativas da acurácia posicional dos modelos, tendo como alvo um imóvel rural que sofreu exploração de garimpo.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O presente trabalho foi realizado no município de Paranaíta-MT, em um imóvel rural, com dimensões de 800 x 800 m, totalizando uma área de 64 ha, localizada sob coordenadas geográficas W 59°48'0" e 9°53'0" S. A área em questão foi um antigo garimpo, que devido à exploração, apresenta um relevo acidentado, com ótimas características topológicas para realização dos levantamentos.

Segundo a classificação realizada pela SEPLAN (2006) Paranaíta possui clima equatorial continental úmido com estação seca definida e pertence a depressão marginal da borda sul amazônica, com temperatura média anual entre 24,3 e 24,8°C. O volume de precipitação pluviométrica é elevado ficando entre 2000 e 2300 mm.

Procedimentos metodológicos

Na realização do levantamento planialtimétrico (clássico) foram utilizadas duas estações total das marcas Leica modelos TS 02 e Tc 307 e um Par de GPS RTK marca Astech. Primeiramente a área foi estaqueada com espaçamento de 20 x 20m nos limites da área, e 10 x 10 m na parte central. Em seguida foi determinado o ponto central da área, onde iniciou o estaqueamento. Tal ponto foi georreferenciado pelo método relativo estático rápido. O segundo ponto seguiu os mesmos critérios, servindo de apoio para a orientação final do estaqueamento. Em seguida foi instalada a estação total em um ponto do estaqueamento, e informado e configurado as coordenadas e a altura do instrumento. A partir deste ponto foi realizado o levantamento por coordenadas, a qual formou uma planilha, com coordenadas (X, Y, Z) georreferenciado no Sistema geográfico WGS 84 21S.

Após essa etapa a campo, foi realizado levantamento com produtos orbitais, imagens do sensor ASTER, SRTM, TOPODATA. A imagem do sensor ASTER foi obtida em download gratuito, com as características: ASTER Global DEM V2, no formato geotiff, WGS – 84, 16 bits de resolução radiométrica, 30m resolução espacial, e com período de aquisição no ano de 2000 (ASTER, 2009).

O produto SRTM foi adquirido por download no site da EMBRAPA, nesta base foi realizado um processo de mosaicagem e correção dos dados para o Brasil (MIRANDA, 2005), com uma resolução espacial de 90m, formato geotiff, WGS – 84, 16 bits de resolução radiométrica, e com período de aquisição no ano de 2000. O produto TOPODATA se difere, por ter resolução espacial de 30m e adquirida gratuito (VALERIANO, 2008b).

Em seguida transformou-se a planilha com os dados do levantamento planialtimétrico, em duas SHEP's, uma com coordenadas (x,y,z) e outra (x,y) para extrair as altitudes (z) das imagens ASTER, SRTM e TOPODATA, referente a todas as coordenadas, com o auxílio do programa ARCGIS 10.1, ferramenta Arc Toolbox > Functionaal Surface > Add Surface Information.

Com as quatro sheps de coordenadas (x,y,z) foi realizada uma análise quantitativa da acurácia posicional, que se apoia nos valores de discrepâncias entre as coordenadas de referência. Nessa análise estatística foram calculadas as variáveis: média, valor mínimo e máximo, desvio padrão e Erro Médio Quadrático (RMSE). Conforme CHAGAS et al. (2010), a medida da qualidade de MDEs é usualmente apresentada na forma do RMSE da elevação, obtido conforme a equação 1:

$$RMSE = \sqrt{((\sum (h-h')^2) / n)} \quad (1)$$

Onde: h é a altitude de referencia (Planialtimétrico); h' é a altitude interpolada do MDE (ASTER, SRTM e TOPODATA); n é numero de pontos utilizados. HOLMES et al. (2000), afirmam que o REMQ é medido a partir de pontos amostrais e é utilizado para estimar o erro nos locais em que o ponto não foi medido diretamente.

Para análise qualitativa, utilizou o software Sufer 12, por apresentar uma boa interface nos resultados, com o auxílio da ferramenta > Grid > Data > Triangulation with Linear Interpolation > Surface, elaborando um MDT (Modelo Digital do Terreno) e com os dados orbital três MDEs, e em seguida uma relação do MDT com MDEs, que segundo CUARTERO et al. (2001), a avaliação da precisão dos modelos digitais pode ser observada por um simples reconhecimento visual, com a superposição dos modelos digitais de elevação.

Após essa etapa de confecção de modelos digitais, foi obtida imagem do satélite Système Pour l'Observation de la Terre (SPOT) disponibilizada pela

Secretária Municipal do Meio Ambiente (SECMA) de Alta floresta - MT com resolução espacial de 2,5m, e mapeada no ano 2009, utilizada por apresentar a mesma cobertura vegetal do ano do levantamento orbital. Na confecção do mapa de classificação supervisionada utilizou-se o software Arcgis 10.1, ferramenta *Create Signatures* para criar o *creates_extract2.gsg*, e após a ferramenta *Maximum Likelihood Classification* para gerar *MLClass_Extra*, que representou a classificação do uso da área divididas em seis classes. Após o processamento dos dados foi calculada a área de cada classe em hectares, e elaborados os mapas abordando os resultados obtidos através dos processamentos realizados anteriormente.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Com os dados do levantamento realizado *in loco*, foi possível confeccionar um banco de dados com 2475 pontos de controle com coordenadas (E, N, H) georreferenciado (figura 1A), com todas as informações necessárias para análise e elaboração de mapas temáticos, que descora as características topográficas do terreno. Com levantamento orbital do satélite SPOT, obteve-se o mapa do uso e ocupação do solo (figura 1B), apresentando 23,5% de Floresta Densa, 23,2% de Floresta Aberta, 8,3% de Capoeira, 34,5% de Pastagem, 6,2% de Corpos d'água e 4,2% Solos exposto, com total de 64 ha. A partir dessa informação pode-se observar uma interação da vegetação com a variação do erro altimétrico.

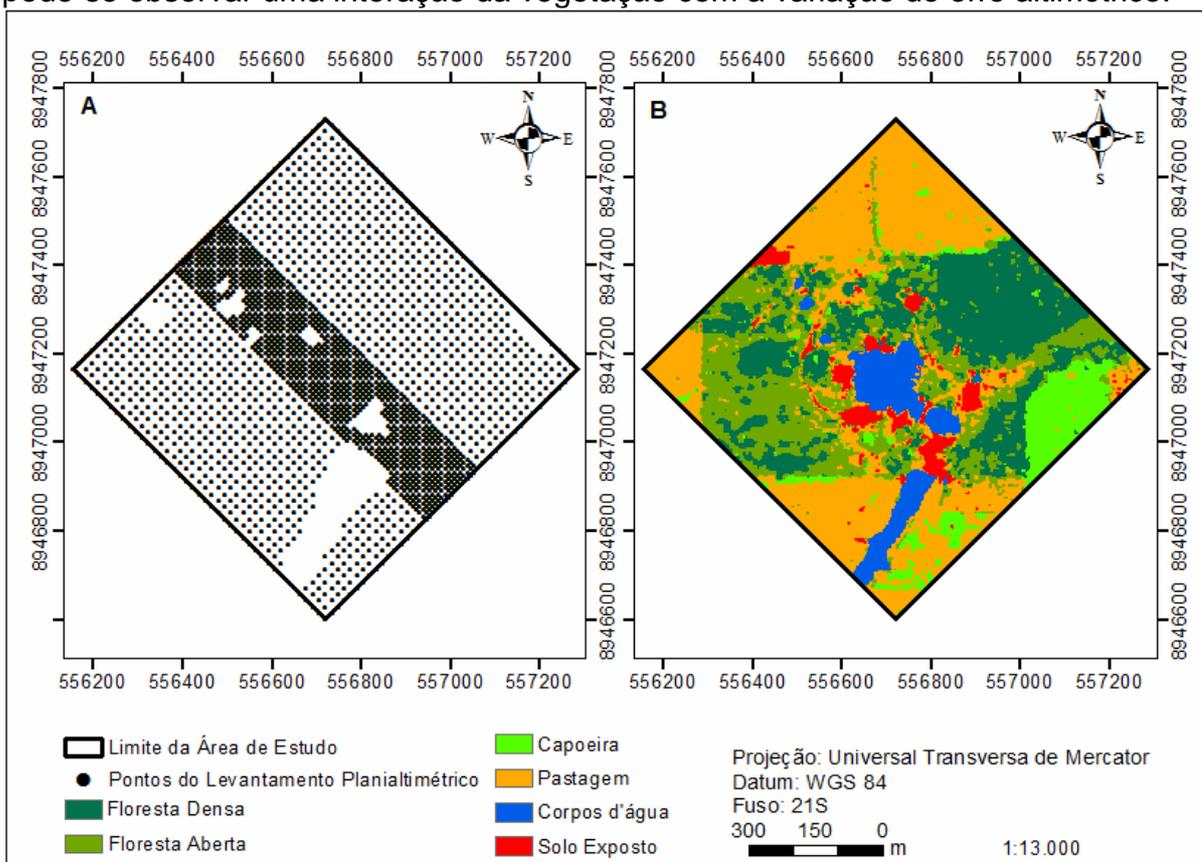


FIGURA 1. A) Mapa do levantamento planialtimétrico. B) Mapa de uso e ocupação do solo.

De acordo com pesquisa desenvolvida por FUCKNER et al., (2009) as maiores diferenças de altitude são encontradas em áreas de maior declividade, e em estrato arbóreo superior coberto por densa vegetação. FERREIRA et al. (2011), afirmam que as resoluções dos sensores são fundamentais para amenizar o erro

altimétrico, e as discrepâncias são comprovadas através de análise das altitudes (BRUBACHER et al., 2012).

Para a análise qualitativa (figura 2), foi assumido o planialtimétrico como fidedigno, por apresentar as condições reais das características topográficas do terreno (figura 2D), e por isso tomada como modelo para gerar as combinações entre os MDEs (figura 2: A, B, C).

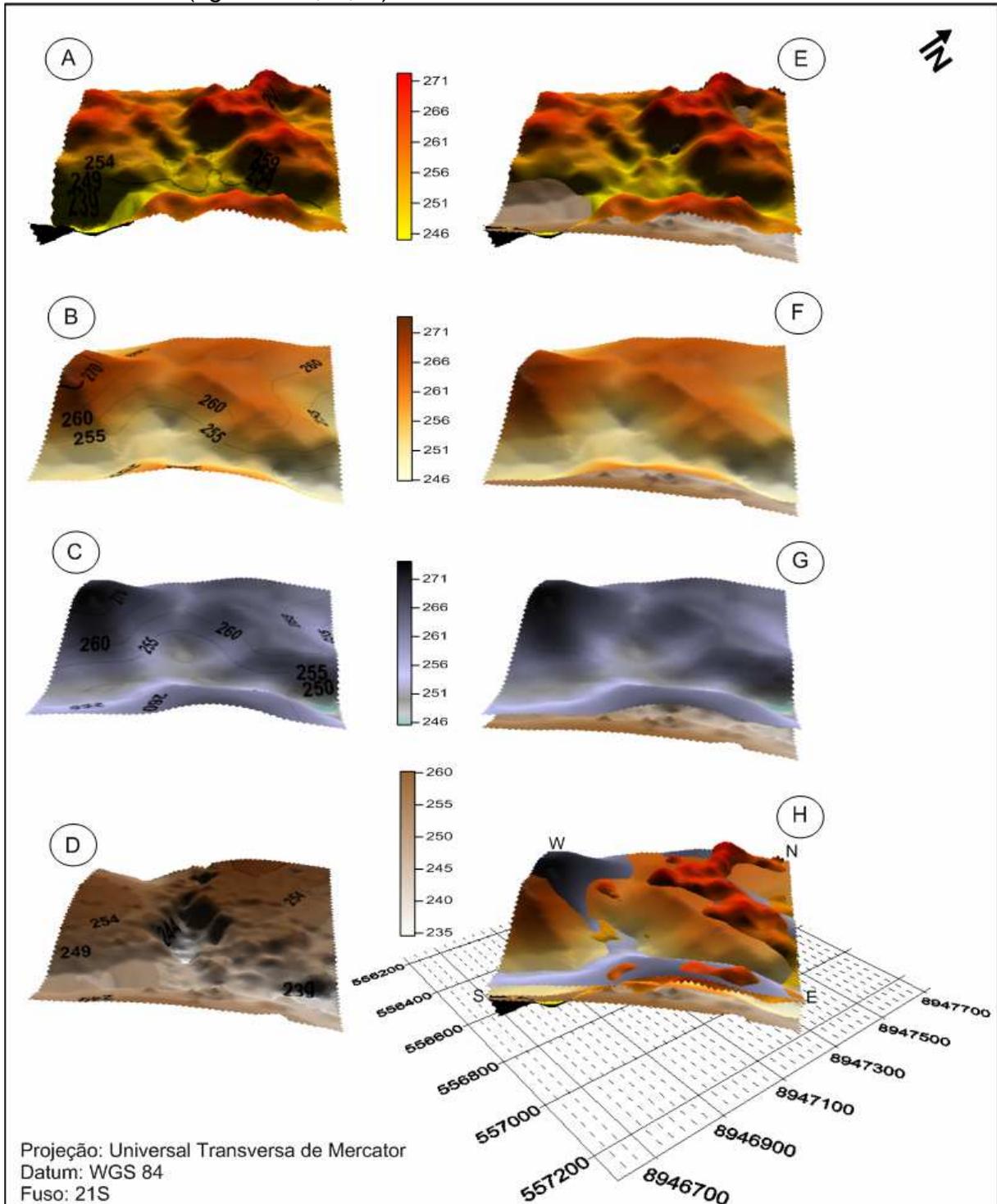


FIGURA 2. Modelo Digital Elevação: A) ASTER, B) SRTM, C) TOPODATA. Modelo Digital Terreno: D) Planialtimétrico. Cruzamento entre Modelo Digital Terreno com Modelo Digital Elevação: E) Planialtimétrico com ASTER, F) SRTM, G) TOPODATA, H) ASTER, SRTM e TOPODATA.

O modelo do ASTER GDEM (figura 2E) se sobrepôs ao modelo planialtimétrico, apresentando menores altitudes nas regiões de corpos d'água, especificamente no leito do córrego, e elevadas altitudes com maiores discrepâncias nas regiões onde tem presença de Floresta Densa. RODRIGUES (2010), afirma na sua pesquisa, que a diferença apresentada no modelo ASTER está relacionada ao subsistema do sensor ASTER submergir a altura da mata densa como a altura do terreno. LANDAU & GUIMARÃES (2011), ressaltam que também apresenta uma certa descontinuidade em algumas áreas, além de aparentemente subestimar altitudes de locais elevados.

A formalidade simétrica do modelo digital SRTM (figura 2F), é semelhante ao arquétipo, porém o mapa se sobpõe, com maior diferença em regiões elevadas, que de acordo com pesquisas de VALERIANO & ROSSETTI (2006) e VALERIANO (2008a) fatores relacionados à aquisição dos dados, como a baixa resolução espacial, a acurácia vertical e às características de obtenção dos dados de radar em relação à influência de feições superficiais (florestas e construções em geral) interferem na precisão dos valores de altimetria. Por essa razão que GERSTENECKER et al. (2005), mostraram que a exatidão de MDEs derivados de sensores remotos é muito dependente da inclinação do terreno, sendo a qualidade mais baixa em áreas declivosas que em áreas planas.

Na figura 2G o modelo oriundo de dados TOPODATA, possui valores menos sinuosos deixando a área mais plana, assemelhando ao MDT, entretanto, esta semelhança não significa necessariamente que apresentou menor erro altimétrico. O que na verdade, ocorreu foi uma distribuição espacial dos dados, devido ao modelo geoestatística krigagem (CASTRO et al., 2010). LANDAU & GUIMARÃES (2011), completam que 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.

De forma geral, observa-se nas combinações entre todos os MDEs (figura 2H) um cruzamento entre os dados, e que somente o modelo do ASTER apresentou intersecção com o modelo digital planialtimétrico. Diante dessa vasta diferença, nas relações qualitativas, e a fim de assegurar as informações discutidas, foi realizada a avaliação qualitativa, porquanto, levando em consideração estatística que descora a relação das variáveis.

TABELA 1. Avaliação quantitativa, representada em metros.

Dados Avaliados	Planialtimétrico	ASTER	SRTM	TOPODATA
Altitude Mínima	234,51	224,15	245,68	245,49
Altitude Máxima	260,29	272,42	273,86	274,26
Média	249,20	257,22	259,31	259,19
Desvio Padrão	6,22	7,15	5,27	5,71
RMSE	-	9,69	11,07	10,83

Na avaliação quantitativa (Tabela 1) o sensor ASTER apresentou menor altitude mínima (224,15) e a menor altitude máxima (272,42) e menor média (257,22), o que demonstra que os MDEs estão com altitude média de 8 a 10m, acima da superfície, e a máxima altitude apresentada foi pelo TOPODATA (274,26). O desvio padrão que representa a variação do erro, apresentou o maior índice

ASTER (7,15), em seguida TOPODATA (5,71) e SRTM (5,27), um baixo desvio padrão indica uma pequena variação em torno da média, corroborando com RÔVERE & HOLLER (2011), sobre a suavidade no modelo digital, e afirmam que a distribuição espacial, somente diminui a discrepância, e não diminui o erro altimétrico considerando ponto com ponto.

Em relação ao Erro Médio Quadrático, o ASTER apresentou menor índice (9,69), seguido pelo TOPODATA (10,83), e SRTM (11,07). Nesta análise o MDT do ASTER apresentou maior concordância, devido às altitudes nas regiões de floresta aberta, pastagem e solo exposto, obtendo alta eficácia. Porém na análise qualitativa, sua simetria é bastante discrepante da configuração do relevo, e relacionando com outros autores esses resultados são mais satisfatórios, CHAGAS et al. (2010), comparando MDE da Carta topográfica do IBGE com MDE gerados a partir de imagens ASTER e SRTM, obtiveram RMSE 37m e 12m, respectivamente, mas corroboram com a eficiência do MDE SRTM, por promover melhor representação dos atributos da superfície do terreno, principalmente em áreas de vegetação densa.

Conforme observado na avaliação qualitativa e interligando com a quantitativa, e relacionando com objetivo de um MDE, que visa à obtenção de um modelo que contenha o máximo possível de detalhes topográficos, preservando sempre as características do terreno; assim, verificam-se boas concordâncias entre MDEs TOPODATA e SRTM, porém em relação à acurácia posicional são inferiores aos resultados obtidos no sensor ASTER.

CONCLUSÃO

Os MDEs comparados divergem em distintos aspectos apresentando vantagens e limitações. O MDE ASTER tem maior resolução espacial, porém apresenta certa descontinuidade em algumas áreas, além de subestimar altitudes nas áreas de floresta densa e em corpos d'água.

O MDE SRTM apresenta maior continuidade das informações que os MDE ASTER, porém, na avaliação quantitativa obteve o RMSE maior que MDE ASTER. Logo em função da sua resolução, apresenta limitações de uso para áreas pequenas, sendo relativamente mais adequado para áreas extensas.

No MDE TOPODATA melhorou a resolução das informações, considerando principalmente locais em que o relevo é mais acidentado, apresentou melhor resultado qualitativo em relação aos MDEs e quantitativos pelo método RMSE em relação MDE SRTM, apresentando, porém, limitações relacionadas à identificação de variações do relevo em áreas pouco onduladas.

Relacionando as variáveis quantitativa e qualitativa, o TOPODATA apresentou melhores concordâncias entre os modelos digitais de elevação, comparando com levantamento topográfico.

REFERÊNCIAS

ASTER - ADVANCED SPACEBORNE THERMAL EMISSION AND REFLECTION RADIOMETER. **Equipe de validação GDEM de 2009**. ASTER validação DEM global. Relatório de síntese. Elaborado pelo METI / ERSDAC, NASA / LPDAAC, USGS / EROS, 2009. Disponível em: <<http://gdex.cr.usgs.gov/gdex/>> acesso em 09 de março de 2014.

BRUBACHER, J. P.; OLIVEIRA, G. G. D.; GUASSELLI, L. A.; LUERCE, T. D. Avaliação de bases srtm para extração de variáveis morfométricas e de drenagem. **Geociências**, v. 31, n. 3, p. 381-393, 2012.

CAMARGO, F. F.; ALMEIDA, C. M.; FLORENZANO, T. G.; OLIVEIRA, C. G. Acurácia Posicional de MDE ASTER/Terra em Área Montanhosa. **Revista Geomática**, v. 4, n. 1, p. 12–24, 2009a.

CAMARGO, F. F.; FLORENZANO, T. G.; ALMEIDA, C. M.; OLIVEIRA, C. G.; FEITOSA, R. Q. Análise Orientada a Objeto e Dados ASTER/Terra na Classificação do Relevo. **Bol. Ciênc. Geod., sec. Artigos**, v. 15, n. 1, p. 81-102, 2009b.

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**, v. 5, n. 1, 2010.

CASTRO, F. S.; PEZZOPANE, J. E. P.; CECÍLIO, R. A.; PEZZOPANE, J. R. M.; XAVIER, A. C. Avaliação do desempenho dos diferentes métodos de interpoladores para parâmetros do balanço hídrico climatológico. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.8, p.871-880, 2010.

CHAGAS, C. S.; FERNANDES FILHO, E.; ROCHA, M.F.; CARVALHO JÚNIOR, W.; SOUZA NETO, N.C. de. Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, p.218-226, 2010.

CUARTERO, A.; FELICÍSIMO, A. M.; ARIZA, F. J. Análisis del error en modelos digitales de elevaciones según la fuente de datos. **Universidad de Extremadura**, 2001.

FERREIRA, G. F.; COSTA, A. P. P. R.; CANDEIAS, A. L. B. Análise comparativa de Modelos Digitais d'e Elevação. In.: **Anais** do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Curitiba, p.2324, 2011.

FUCKNER, M. A.; FLORENZANO, T. G.; MORAES, E. C. Avaliação altimétrico de modelos digitais de elevação extraídos de imagens ASTER em áreas com configuração topográfica distinta. In.: **Anais** do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, p. 683-690, 2009.

GERSTENECKER, C.; LÄUFER, G.; STEINECK, D.; TIEDE, C.; WROBEL, B. Validation of digital elevation models around Merapi Volcano, Java, Indonesia. **Natural Hazards and Earth System Sciences**, v.5, p.863-876, 2005.

GROHMANN, C. H.; STEINE, C. S. S. Aplicações dos modelos de elevação em Geomorfologia. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 2, p. 73-83, 2008.

HOLMES, K. W.; CHADWICK, O. A.; KYRIAKIDIS, P. C. Error in a USGS 30-meter digital elevation model and its impact on terrain modeling. **Journal of Hydrology**, v.233, p.154-173, 2000.

LANDAU, E. C.; GUIMARÃES, D. P. Análise Comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. **Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, v.15, p. 4003-4010, 2011.

MIRANDA, E. E.; (Coord.). **Brasil em Relevo**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acessado em: 9 de março de 2014.

PINHEIRO, H. S. K.; CHAGAS, C. S.; JÚNIOR, W. C.; ANJOS, L. H. C. A. Modelos de elevação para obtenção de atributos topográficos utilizados em mapeamento digital de solos. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 47, n. 9, p. 1384-1394, 2012.

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 and Remote Sensing**, v. 57, n. 4, p. 241-262, 2003.

RODRIGUES, T. L. Avaliação da adequação dos produtos ASTER GDEM no auxílio ao planejamento sistemático brasileiro. In.: **Anais** do XIII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Recife, p. 001-005, 2010.

RÔVERE, S. D.; HOLLER, W. A. Análise de dados altimétricos obtidos por carta topográfica SRTM, Aster GDEM e Topodata para a região do município de Canela, RS. In: Embrapa Monitoramento por Satélite-Artigo em anais de congresso (ALICE). In: CONGRESSO INTERINSTITUCIONAL DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA, 5., 2011, Campinas. **Anais...** Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2011.

SECRETARIA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO E COORDENAÇÃO GERAL (SEPLAN). Unidades Climáticas do Estado de Mato Grosso. In: **Zoneamento Sócio Econômico Ecológico**. 2001. Cuiabá: PRODEAGRO. CDRom do Atlas Climatológico de Mato Grosso. Governo do Estado de Mato Grosso. Secretaria de Estado de Planejamento e Coordenação Geral. Laboratório de Climatologia. Universidade Federal do Estado de Mato Grosso, 2006.

VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: T.G. FLORENZANO (Org.), **Geomorfologia - conceitos e tecnologias atuais**. 1 ed. São Paulo: Oficina de Textos, v. 1, p. 72-104, 2008a.

VALERIANO, M. M. **Topodata: banco de dados geomorfométricos locais do Brasil**. 2008b. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>> Acesso em: 9 de março de 2014.

VALERIANO, M. M.; ROSSETTI, D. F. **Potencial de exploração de dados SRTM na análise geomorfológica da Ilha do Marajó**. São José dos Campos, 2006.