

O Modelo Digital de Elevação de São Paulo com correção geoidal CATI

Antoniane Arantes de Oliveira Roque¹, Carlos Reys Vukomanovic², Mario Ivo Drugowich³

¹ Coordenadoria de Assistência Técnica Integral (CATI), antoniane@cati.sp.gov.br; ² CATI, carlos.reys@cati.sp.gov.br; ³ CATI, drugo.cati@gmail.com

RESUMO

Planejar e gerir a ocupação territorial perpassa o conhecimento da superfície onde esta ocorre, ou seja, o modelado topográfico de São Paulo. O presente trabalho busca gerar um Modelo Digital de Elevação a partir dos existentes de forma gratuita na *web*, buscando-se a correção de ruídos e a sua adequação ao geóide. Para tal utilizou-se de dados do SRTM 1 arc second, Aster GDEM, e dados da ondulação geoidal provenientes do MAPGEO2015, todos processados num ambiente de SIG por meio do software ArcGIS 10.4. O processamento realizado originou o raster chamado de MDE_CATI, no qual obteve-se a correção dos 27.817 pixels *NoData*, e 23.086 pixels com valores não aceitáveis para altimetria, existentes no SRTM, obtendo-se um modelo matricial com diferença média nos valores de altimetria com relação à Rede Altimétrica de Alta precisão de 1,05 m e desvio padrão de 31,69 m, melhor adequada que os MDE's de origem.

Palavras-chave — MDE, geóide, SRTM, Aster.

ABSTRACT

Planning and managing the territorial occupation permeates the knowledge of the surface where it occurs, in this case, the topographic modeling of São Paulo/Brazil. The present work seeks to generate a Digital Elevation Model from the existing ones of free form in the web, seeking the correction of noises and their adequacy to the geoid. For this, data from the SRTM 1 arc second, Aster GDEM, and geoid ripple data from MAPGEO2015 were all processed in a GIS environment using ArcGIS 10.4 software. The processing carried out originated the raster called MDE_CATI, in which the correction of the 27,817 pixels NoData and 23,086 pixels with values not acceptable for altimetry, obtained in the SRTM. The MDE_CATI have a average difference in the values of altimetry with High Altimetric Network of 1.05 m, and standard deviation of 31.69 m, better suited than the original MDEs.

Key words — DEM, geoid, SRTM, Aster.

1. INTRODUÇÃO

Modelos Digitais de Elevação (MDE) representam a topografia, sendo que cada célula ou pixel tem como atributo o valor de elevação do terreno em relação a um determinado referencial. São usados em aplicações dos Sistemas de Informações Geográficas (SIG) e estão inteiramente relacionados com a caracterização física de bacias hidrográficas e do sistema de drenagem [1].

O uso do MDE é cada vez mais comum em ciências agrárias e auxilia na identificação das áreas rurais [2], promovendo uma visão espacial e integrada de todos os atributos ambientais, permitindo uma substituição da subjetividade dos métodos de mapeamentos convencionais para mapeamentos mais objetivos com métodos quantitativos [3], ligados diretamente ao modelado topográfico local.

O MDE permite que as atividades de planejamento no meio rural sejam mais bem adequadas à realidade da superfície da região a ser trabalhada, e segundo [4], auxilia de maneira eficaz no mapeamento de solo, tornando-o mais acurado, não dispensando, entretanto, o apoio de campo.

As diferentes variáveis passíveis de obtenção num Sistema de Informações Geográficas (SIG), à partir do MDE, podem dar suporte à classificação da paisagem, fornecendo uma segmentação da mesma em ambientes topográficos distintos [5].

Atributos primários e secundários da localidade são calculados diretamente à partir do MDE, e segundo [6], entre estes atributos, a elevação, declividade e orientação, têm sido reconhecidos como os mais efetivos para a realização de levantamentos de solos de média escala.

O MDE é obtido a partir de técnicas que o amarram ao elipsóide, sendo necessário ao mapeamento, sua amarração ao geóide e à Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), proporcionando a realização de medições do nível do mar correspondentes ao sistema das informações obtidas pela altimetria por satélites [7]. Estes recentes modelos globais do geopotencial tem apresentado alta resolução em suas soluções e tem permitido a determinação da ondulação geoidal de forma precisa, além de auxiliar na produção de modelos locais do geóide, como o modelo oficial brasileiro MAPGEO2015 [8].

O objetivo do presente trabalho foi obter um MDE para o Estado de São Paulo, no qual ruídos de obtenção dos valores de pixels fossem eliminados, com valores de altimetria alinhados ao geóide, permitindo-se trabalhos com maior acurácia quanto ao posicionamento da altitude.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente modelo digital de elevação foi obtido através do cruzamento dos rasters obtidos da missão SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) da NASA (National Aeronautics and Space Administration) com 30 metros de resolução espacial (1 arc second) [9], corrigindo-a com dados do sensor ASTER GDEM V2 (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer, Global Digital Elevation Model Version 2) da NASA e METI (Ministry of Economy, Trade, and Industry of Japan) também com 30 metros de resolução espacial [10], aplicando-se ao final a correção da ondulação geoidal para o Estado de São Paulo [11].

O software utilizado foi o ArcGIS versão 10.4 e 10.2 com o pacote Spatial Analyst.

A metodologia utilizada foi:

1) Confeção de Mosaico com as 37 imagens que cobrem o estado de São Paulo (SRTM 1 arco de segundo ou 30 m) - "Mosaic to new raster", conforme resultado em Figura 1;

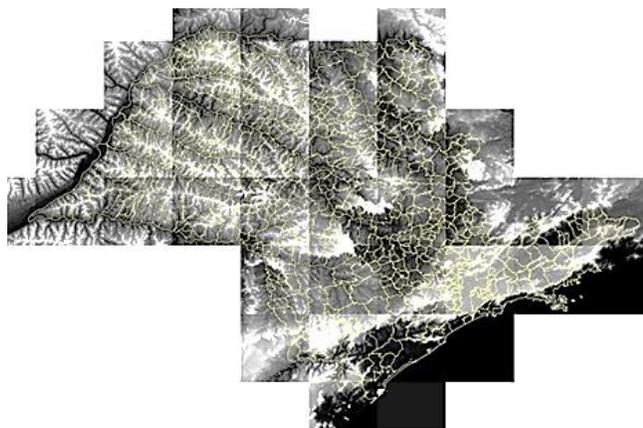


Figura 1. 37 imagens do MDE SRTM 1 arco de segundo.

2) Criação de máscara de corte utilizando-se a base de municípios do Instituto Geográfico e Cartográfico do Estado de São Paulo - "Dissolve" seguido de "Project";

3) Recorte do mosaico nos limites de São Paulo - "Clip", Figura 2;

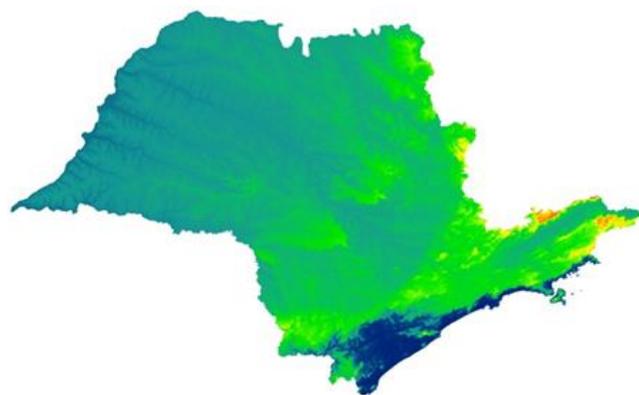


Figura 2. Mosaico SRTM 1 arco de segundo.

4) Retirada de pixels com valores "NODATA" do SRTM - "IS NULL" seguido da ferramenta "CON" com a substituição dos valores "NODATA" pelos valores do ASTER versão 2;

5) Eliminação dos pixels acima de 2788 do "SRTM sem o NODATA", substituindo-os pelos pixels ASTER versão 2 - "CON";

6) Soma raster realizada entre o SRTM corrigido na operação anterior e o raster Ondulação Geoidal (raster com a correção geoidal) - "Raster Calculator", Figura 3;



Figura 3. Raster com correção geoidal do Estado de São Paulo.

7) Substituição por 0 dos valores negativos obtidos na operação anterior do Aster com correção geoidal - "CON";

Para a comparação e validação do raster resultado, chamado de MDE_CATI, utilizou-se tanto os valores de pixel do MDE Aster e SRTM, bem como informações sobre a Rede Altimétrica de Alta Precisão (RAAP) do Sistema Geodésico Brasileiro (SGB), disponibilizados de forma contínua na plataforma da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE), pela Diretoria de Geociências do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) [12].

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Efetuada os procedimentos descritos na metodologia, confeccionou-se o mapa contido na Figura 4, para divulgação do resultado, bem como disponibilização do mesmo no endereço *web* da instituição (www.cati.sp.gov.br).

Os parâmetros técnicos do resultado final são: Sistema de Coordenadas Geográficas WGS84; Datum: WGS1984; Formato: tiff; Dado: 16 bits inteiro com sinal; Número de bandas: 1; Unidade angular: graus; Tamanho do pixel: 30m; Valor mínimo e máximo: 0 e 2.788; Colunas e linhas: 32.191 e 19.901.

Para acompanhamento e checagem de valores que pudessem ser acompanhados localmente por meio de reambulação a campo pela equipe envolvida, utilizaram-se também os valores da rede de marcos geodésicos do município de Campinas/SP [13], como apresentado para o vértice PMC-3049, na Figura 5.

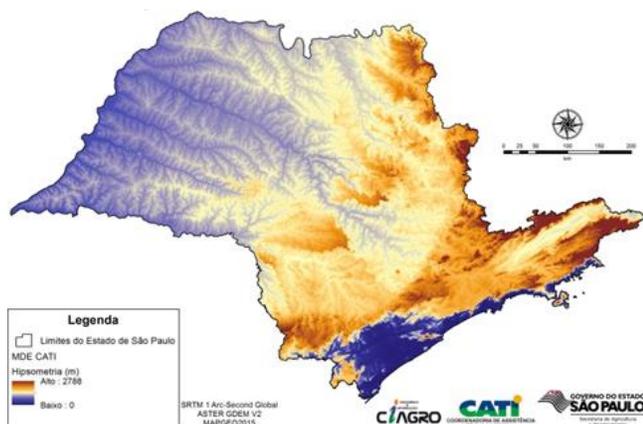


Figura 4. MDE CATI.

Cabe destaque que, em todas as checagens realizadas, o MDE-CATI foi o que melhor se aproximou das altitudes dos marcos em questão, possibilitando assim que as altitudes provenientes do MDE_CATI fossem mais próximas dos valores obtidos a campo em equipamentos de navegação global por satélite, com a devida correção ao geoido.



Figura 5. Checagem de pontos conhecidos locais.

Pela característica de ausência de valores *NoData* (sem dados), valores negativos, e valores discrepantes (altitudes acima da oficial do Estado – Pedra da Mina com 2798m), o modelo matricial de altimetria aqui apresentado, possui melhores propensões a manutenção de sua consistência hidrológica.

Na Figura 6 é apresentada a distribuição de frequência de valores de pixel dos MDE's em análise, por classes de estrato definido. Nota-se há presença de valores negativos no raster do modelo ASTER GDEM, provavelmente por ter sido gerado por estereoscopia orbital de imagens de satélite, que segundo [14], são influenciados pela ocorrência de nuvens, sombras, e tipo de cobertura do solo. Destaca-se ainda que, apesar deste não apresentar valores discrepantes e de valores *NoData*, há elevada ocorrência de ruídos nos valores de altimetria quando observados de forma global, como também apontado por [15].

Quando da observação de valores discrepantes, nota-se que apenas o MDE SRTM possui tais valores, com 23.086 pixels com valores próximos a 65.000, e ainda a ocorrência de 27.817 pixels com valor *NoData*. A avaliação de dados SRTM banda C de arco de 1 segundo é também ainda pouco abordada, sobretudo no Brasil, devido à recente disponibilização, em setembro de 2014 [14].

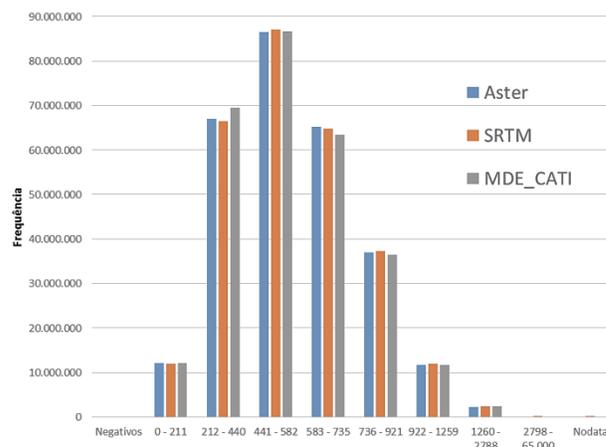


Figura 6. Frequência de ocorrência de valores nos rasters.

A distribuição de frequência de valores é praticamente semelhante nos diferentes estratos utilizados, merecendo atenção o estrato de 212 a 440 m, tendo o MDE_CATI cerca de 2,4 e 2,9 milhões de pixels acima do Aster e do SRTM respectivamente. Isto se deve pela correção pela Ondulação Geoidal que influenciou em maior medida este estrato.

O estabelecimento da rede de referência de nível do IBGE é realizado através da técnica de nivelamento geométrico de alta precisão, possibilitando a determinação de estações geodésicas dotadas de um valor de altitude referida ao Nível Médio do Mar (NMM) em Imbituba –SC. Desta forma, confeccionou-se a Tabela 1, visando-se a comparação dos valores de pixel dos MDE's em análise, referenciando-os aos valores de altitude geoidais e não elipsoidais.

A comparação realizada levou em consideração os 6.355 pontos da RAAP situados nos limites administrativos do Estado de São Paulo.

Diferença RAAP	Aster	SRTM	MDE_CATI
mínima	-874	-874	-874
máxima	596	65.532	607
mediana	2,30	2,69	-2,23
média	2,51	14,04	-1,05
desvio padrão	31,86	823,07	31,69

Tabela 1. Comparação MDE's com altimetria IBGE.

Não houve variação de valores entre a diferença mínima verificada entre os valores da RAAP e os valores dos MDE's em análise. A diferença máxima permite a

verificação da existência dos valores discrepantes do MDE SRTM também existentes em pontos da RAAP.

Quando analisado apenas os valores de mediana das diferenças entre os MDE's e os valores da RAAP, nota-se que há baixa variação entre os resultados, explicado pelo fato da mediana, ser o valor que divide o conjunto de valores ordenados em partes iguais. Porém quando analisado os valores de média das diferenças, nota-se a maior variabilidade encontrada nos valores do SRTM, corroborada pela análise do desvio padrão.

Os valores do Aster e do MDE_CATI são bastante parecidos estatisticamente, apesar do raster principal de origem do MDE_CATI ser o SRTM. Nota-se que os valores de média das diferenças de valores do MDE_CATI para com os da RAAP são os mais baixos, demonstrando assim sua melhor similaridade com os valores de altitude referida ao NMM. Conforme [16], o MDE SRTM está em conformidade com o padrão exigido para o mapeamento na escala 1:50.000, o que coloca o MDE_CATI na mesma escala de aplicação, porém com valores de altimetria relacionados ao geóide e com uma maior consistência hidrológica devido às correções oriundas do Aster.

5. CONCLUSÕES

Voltado a usuários de Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), sejam pesquisadores, técnicos, planejadores e gestores privados e do erário, o uso do MDE_CATI aqui apresentado, traz perspectivas de análise da altimetria correlacionados à altitude geoidal.

A melhor correlação com valores da RAAP, evidenciado pela menor diferença verificada no MDE_CATI com relação aos demais, não melhora a escala de aplicação do mesmo diante do Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) do insumo de origem (MDE SRTM), porém o coloca como mais fidedigno às altitudes referenciadas ao geóide.

Espera-se que esse material subsidie diferentes trabalhos ao Estado, melhorando o conhecimento do espaço de São Paulo, embasando Planos Diretores e Leis Orgânicas, auxiliando estudos sobre as consequências da pressão sobre os recursos naturais e suas bacias hidrográficas, bem como ao meio rural e seus recursos ambientais. O material disponibilizado possibilitará uma melhora significativa nas áreas em que os problemas de *NoData* e valores discrepantes do SRTM ocorrem em maior medida.

6. REFERÊNCIAS

[1] Castro, V.L.S. et al. "Processamento de modelo digital de elevação para estimativa do tempo de percurso do escoamento superficial". In: *Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, v. 17, p. 6305-6312, 2015.

[2] Chagas, C. S. et al. "Avaliação de modelos digitais de elevação para aplicação em um mapeamento digital de solos". *Rev. Bras. de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.14, p.218-226, 2010.

[3] Silva Júnior, J.F. et al. "Classificação numérica e modelo digital de elevação na caracterização espacial de atributos dos solos". *Rev. Bras. de Eng. Agrícola e Ambiental*, v.16, n.4, p. 415-424, 2012.

[4] Sousa Junior, J.G.A.; Demattê, J.A.M. "Modelo digital de elevação na caracterização de solos desenvolvidos de basalto e material arenítico". *Rev. Bras. de Ciência do Solo*, v.32, n.1, p.449-459, 2008.

[5] Sirtoli, A.E. et al. "Atributos do relevo derivados de Modelo Digital de Elevação e suas relações com solos". *Scientia Agraria*, v.9, n.3, p.317-329, 2008.

[6] Chagas, C.S. "Mapeamento digital de solos por correlação ambiental e redes neurais em uma bacia hidrográfica no domínio de mar de morros". *Tese (Doutorado)*. Univ. Fed. de Viçosa, Viçosa, 2006. 223p.

[7] IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. "Relatório de Monitoramento da Variação do Nível Médio do Mar nas Estações da Rede Maregráfica Permanente para Geodésia 2001-2012". Rio de Janeiro, 2013.

[8] Silva, V.C. "Análise do potencial de gravidade nas estações da rede maregráfica permanente para Geodésia obtido com diferentes modelos geoidais". *TCC Eng. Agrimensura*. Univ. Fed. de Uberlândia. 2017.

[9] USGS - United States Geological Survey. "Obtenção dos modelos SRTM 1 arco de segundo". Disponível em: <ftp://edcsgs9.cr.usgs.gov/pub/data/srtm/South_America>.

[10] ASTER-GDEM. "Aster Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer". Jet Propulsion Laboratory. Disponível em: <<https://asterweb.jpl.nasa.gov/latest.asp>>.

[11] IBGE. "O novo modelo de ondulação geoidal do Brasil MAPGEO2015". Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/geociencias/geodesia/modelo_geoidal.shtm>.

[12] IBGE. "Informações digitais de dados altimétricos - Referência de Nível". Rio de Janeiro, 2018. Disponível em: <<http://www.visualizador.inde.gov.br>>.

[13] Prefeitura Municipal de Campinas/SP. "Marcos da rede de referência cadastral municipal". *Site*. SEPLURB, Campinas, 2018. Disponível em: <<https://marcosgeodesicos.campinas.sp.gov.br>>.

[14] Moraes, J.D. "Avaliação de modelos digitais de elevação provenientes de dados de sensoriamento remoto de distribuição gratuita". *Dissertação Mestrado*. UFMG, Belo Horizonte, 2017.

[15] Grohmann, C.H. "Análise comparativa preliminar entre dados SRTM, Topodata, ASTER GDEM e Modelos de Superfície/Terreno do Projeto Radiografia da Amazônia". *Anais Simp. Bras. de Sens. Rem.*, v. 17, p. 5726-5732, 2015.

[16] França, L.L.S.; Almeida, A.D.O.; Penha, A.L.T. "Avaliação da qualidade dos modelos digitais de elevação Aster e SRTM para o Estado da Bahia". *Rev. Bras. de Cartografia*, Rio de Janeiro, n. 69/9, p. 1797-1806, 2017.