



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

METODOLOGIA PARA VALIDAÇÃO DO MDE SRTM PARA A SUA UTILIZAÇÃO EM PROJETOS EM RECURSOS HÍDRICOS

Rossano Belladona ^{1*}, Tiago De Vargas ², Luan Carlos Tomé dos Reis ³ & André Luiz Lopes da Silveira ⁴

Resumo – A obtenção de dados altimétricos confiáveis para a elaboração de projetos relacionados à recursos hídricos, especialmente para a modelagem hidráulico-hidrológica de grandes áreas, pode ser comprometida por limitação financeira. Este estudo objetiva apresentar uma metodologia de validação dos dados altimétricos do Modelo Digital de Elevação (MDE) do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), através de classes de declividades do terreno, com a utilização de dados provenientes de instrumento aerotransportado, o *Light Detecting and Ranging* (LiDAR). Os resultados obtidos mostraram que o erro médio quadrático nas regiões de topografia plana, suave ondulada ou ondulada é menor que nas áreas onde a geomorfologia implica em terrenos mais acidentados, variando de 5,78 metros nas declividades mais baixas até 12,93 metros nas mais acentuadas, indicando menor erro altimétrico do SRTM para locais menos declivosos. Assim, sugere-se perícia e precaução na utilização do MDE obtido através do SRTM para projetos e obras que estão relacionados à gestão de recursos hídricos.

Palavras-Chave – SRTM, Validação, Recursos Hídricos.

VALIDATION METHODOLOGY OF THE SRTM DEM FOR ITS USE IN WATER RESOURCES PROJECTS

Abstract – Obtaining a reliable surface elevation data is a fundamental requirement for projects related to water resources, mainly for hydraulics and hydrological modelling of widespread areas, nevertheless it can be jeopardized by financial shortages. The present research study assesses a validation methodology of the elevation provided by the Digital Elevation Model (DEM) of the Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), through terrain slope classes, using airborne Light Detecting and Ranging (LiDAR) data. The results show that the root mean square error (RMSE) is lower in flat and smooth grounds than in areas where the geomorphology implies in a more rugged terrain, ranging from 5.78 meters in the lower slopes to 12.93 meters in the more steep ones, indicating lower SRTM altimetric error for smoother sites. Thus, SRTM should be used with due care in water resources projects.

Keywords – SRTM, Validation, Water Resources.

¹ UFRGS/IPH/Prof.Água e SAMAE - Caxias do Sul: rbelladona@samaecaxias.com.br *

² SAMAE - Caxias do Sul: tvargas@samaecaxias.com.br

³ SAMAE - Caxias do Sul: lreis@samaecaxias.com.br

⁴ UFRGS/IPH/Prof.Água: andre@iph.ufrgs.br



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

1. INTRODUÇÃO

A superfície do planeta não é plana e as variações altimétricas podem ser expressivas nos diferentes domínios geomorfológicos do globo, como é o caso das interfaces entre a planície costeira do nordeste do Estado do Rio Grande do Sul e a encosta do Planalto, onde a amplitude ultrapassa os 900 metros. O mapeamento desta inconstância na altimetria pode ser aplicado para inúmeras atividades humanas, sendo essencial para estabelecer condições de restrição e de contorno para modelos hidráulicos, hidrológicos e atmosféricos, especialmente em modelos de propagação do escoamento superficial e de ondas de cheias.

Entretanto, o mapeamento das variações geomorfológicas de um dado terreno pode sofrer uma restrição que antecede, em muito, ao acesso aos avanços tecnológicos, que é a limitação financeira na obtenção de dados de altimetria. Projetos que necessitam o conhecimento do terreno de grandes áreas, como é o caso de obras de barragens e de gestão de bacia hidrográfica são exemplos citados que podem ter seu resultado comprometido pela utilização de dados altimétricos de qualidade duvidosa. Uma alternativa para a inclusão de dados confiáveis de elevação para estes tipos de projetos surgiu com a disponibilização dos registros do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), ainda no início dos anos 2000.

O SRTM produziu o mais completo modelo digital de elevação da Terra e com a mais alta resolução. As tecnologias de mapeamento altimétrico da topografia convencional produzem mapas de qualidade desigual, alguns com elevada acuracidade e outros pouco adequados. O SRTM obteve um modelo digital de elevação de aproximadamente 80% do planeta, entre as latitudes 60° norte e 56° sul, sendo amostrado em uma malha de 1 arco segundo por 1 arco segundo (aproximadamente 30 metros por 30 metros), com um erro linear vertical absoluto de menos de 16 metros, com 90% de nível de confiança (RODRIGUEZ *et al.*, 2005).

As modelagens hidráulicas e hidrológicas são dependentes de dados que possuam acuracidade, tanto a nível de precisão na variação linear vertical, quanto na qualidade da resolução espacial. Schumann *et al.* (2008) recomendam uma precisão vertical na escala centimétrica e uma resolução espacial com células menores ou iguais ao tamanho de uma casa, ou seja, menores que 10 metros. Assim, uma solução às aplicações nestas áreas do conhecimento seria a utilização de dados provenientes de instrumentos aerotransportados como o *Light Detecting and Ranging* (LiDAR). Este instrumento possui alta acuracidade e elevada resolução, porém com restrição financeira quanto ao seu uso em função do tipo de obra e da capacidade de pagamento do proprietário do projeto. Desta forma, isto pode se tornar em um dilema para os estudos e projetos hidráulico-hidrológicos, em especial nos países com recursos financeiros escassos.

Neste contexto, este estudo objetiva apresentar uma metodologia de validação dos dados altimétricos do SRTM para as aplicações em projetos relacionados à recursos hídricos, especialmente para a modelagem hidráulico-hidrológicas para grandes áreas. Esta validação poderia ser aplicada a estudos de simulação de rompimento de barragem, que são importantes para o estabelecimento dos Planos de Ação de Emergência (PAEs), principalmente para

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

aquelas situações em que não há outra forma de registro topográfico. Esta metodologia foi testada no município de Caxias do Sul, RS, região caracterizada por variações altimétricas expressivas. Outras abordagens foram realizadas no sentido de consistir os dados provenientes do SRTM. A partir de dados coletados em campo com receptor DGPS e utilizando outras bases referenciais, foram validados os dados do SRTM para a região do semi-árido brasileiro, uma região eminentemente plana, apontando erro altimétrico de aproximadamente 1,7 metros (Costa, 2008). Por outro lado, Gupta *et al.* (2014) tiveram um resultado diferente quando compararam os dados do SRTM com aqueles de modelos fotogramétricos digitais de elevação de alta acuracidade, observando resultados para as regiões montanhosas dos Himalaias com erro médio da raiz quadrada de até 75,2 metros e alertaram que os resultados obtidos, para estes locais, estão muito aquém dos valores divulgados oficialmente.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A superfície geográfica utilizada para testar a metodologia de validação proposta neste estudo está localizada no município de Caxias do Sul, Rio Grande do Sul (Figura 1). Este Município está inserido na Região Geomorfológica conhecida como Planalto das Araucárias onde as Unidades Geomorfológicas mapeadas por IBGE – Projeto RADAMBRASIL (1986) são a do Planalto dos Campos Gerais e da Serra Geral. À sua porção sul, na encosta da Serra Geral, está às margens do Rio Caí junto às altitudes próximas a 30 metros com relação ao nível médio dos mares. Já a sua região nordeste, no Planalto dos Campos Gerais, as altitudes chegam próximo aos 1.000 metros. O extremo norte do município, junto à divisa com os municípios de Campestre da Serra, está inserido novamente na encosta da Serra Geral às margens do Rio das Antas com variação altimétrica entre 290 a 430 metros.

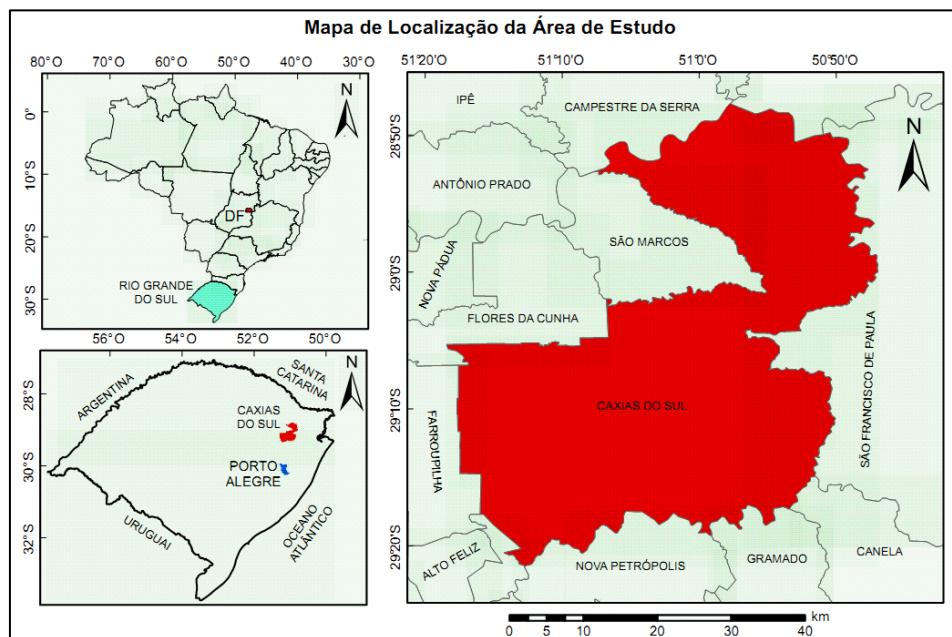


Figura 1: Localização do município de Caxias do Sul.
(Projeção Geográfica, Datum horizontal: SIRGAS 2000)



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

A validação do SRTM, banda C, foi realizada com base em dados altimétricos do terreno obtidos através de perfilamento a laser, LiDAR, sobre uma área de 453,88 km², sendo que deste total, 243,09 km² estão sobre a área urbana do município de Caxias do Sul. Caxias do Sul (2013) elucida que o LiDAR foi realizado com uma taxa de varredura não inferior a 150 kHz e aquisição das altitudes geométricas transformadas em ortométricas, baseado no referencial altimétrico do Marégrafo de Imbituba, SC, com erro médio quadrático máximo de 0,2 metros. A varredura do terreno na área urbana foi realizada com uma densidade de pontos equidistantes de 2 pontos/m².

O LiDAR possui a sua referência vertical no nível médio dos mares com a utilização da altimetria do Marégrafo de Imbituba, SC, enquanto que o SRTM baseia-se no Modelo Gravitacional da Terra 1996, que representa a altitude elipsoidal. O primeiro possui a referência horizontal no Datum SIRGAS2000, já o SRTM utiliza o WGS84 (adaptado de CAXIAS DO SUL, 2013, e de RODRIGUEZ *et al.*, 2005).

Quatro imagens de modelo digital de elevação (MDE) do SRTM, que recobrem a área de estudo, foram obtidas através do *United States Geological Service* (USGS, 2017) e realizou-se o mosaico através da ferramenta *Mosaic to New Raster* do software ArcMap 10.4.1. Para a validação do SRTM, pontos de controle foram gerados no centroide de cada pixel da imagem mosaicada (Figura 2). Desta imagem (Figura 3A) foi utilizada somente a área que coincide sobre aquela onde o LiDAR obteve as informações da superfície. Através da ferramenta *Raster to Point*, foram obtidos 538.970 pontos de controle. As informações altimétricas da superfície foram atribuídas aos pontos através da ferramenta *Extract Value to Points*.

A metodologia proposta neste estudo consiste em aplicar classes de relevo, que são atribuídas de uma base topográfica, e classificar os pontos de controle em diferentes classes de declividades, conforme sua posição com relação à sobreposição à superfície do terreno (Figura 2). Embrapa (2013) define que as classes de relevo qualificam as condições de declividade, o comprimento das encostas e a configuração superficial do terreno, que afetam as formas topográficas da área. A Tabela 1 foi adaptada de Embrapa (2013, *op cite*) e, a partir dela, as classes apresentadas foram utilizadas para reclassificar, nas 6 categorias distintas, uma imagem de declividades com resolução espacial de 1 metro obtida pelo LiDAR (Figura 3B).

O teste da qualidade entre o MDE do LiDAR e o do SRTM foi conduzido sob a referência da elevação, distribuída em cada uma das seis classes de declividade. A precisão de cada MDE é expressa pelo erro médio quadrático (EMQ) dado pela Equação 1.

$$EMQ = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Elev_{LiDARi} - Elev_{SRTMi})^2}{n}} \quad (1)$$

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

Onde $Elev_{LiDAR}$ corresponde à cota do ponto de controle atribuída pelo MDE do LiDAR [m], $Elev_{SRTM}$ denota a cota do ponto de controle atribuída pelo MDE do SRTM [m] e n equivale ao total de pontos de controle utilizados na classe ou em todo o estudo.

Tabela 1: Classes do relevo e níveis de declividades.

Classe	Definição	Declividade
Plano	Superfície de topografia esbatida ou horizontal, onde os desníveis são muito pequenos.	0 a 3 (%)
Suave Ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas, apresentando declives suaves.	3 a 8 (%)
Ondulado	Superfície de topografia pouco movimentada, constituída por conjunto de colinas, apresentando declives moderados.	8 a 20 (%)
Forte Ondulado	Superfície de topografia movimentada, constituídas por morros e raramente colinas, apresentando declives fortes.	20 a 45 (%)
Montanhoso	Superfície de topografia vigorosa, com predomínio de formas acidentadas, constituídas por morros e montanhas, apresentando declives fortes e muito fortes.	45 a 75 (%)
Escarpado	Áreas com predomínio de formas abruptas, compreendendo superfícies muito íngremes e escarpamentos, tais como, itaimbés, aparados e falésias.	> 75 (%)

Fonte: Adaptado de Embrapa (2013).

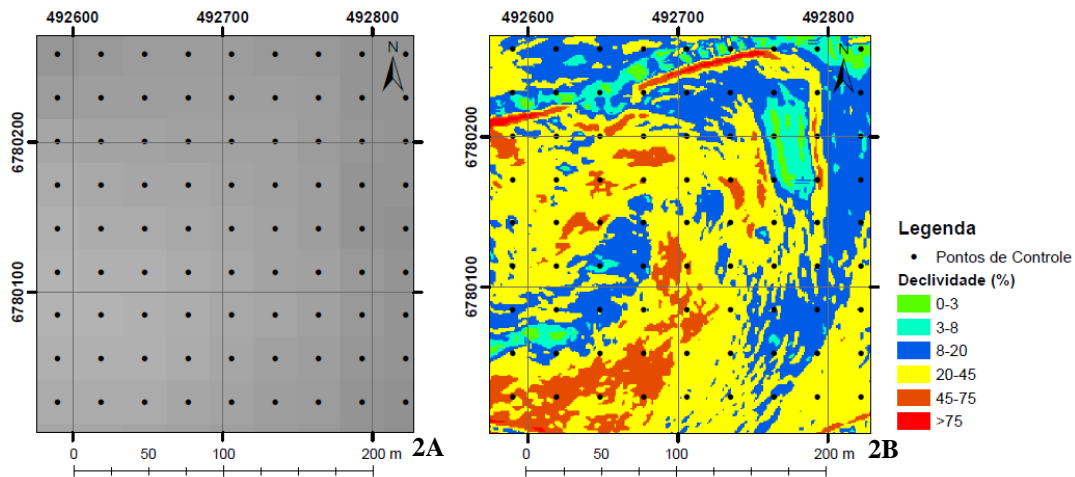


Figura 2: Distribuição dos pontos de controle sobre o centroide dos pixels do MDE do SRTM (Figura 2A) e seu posicionamento sobre a declividade gerada pelo MDE do LiDAR com resolução de 1 metro (Figura 2B). (Projeção UTM - Fuso 22S, Datum horizontal: SIRGAS 2000).

XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

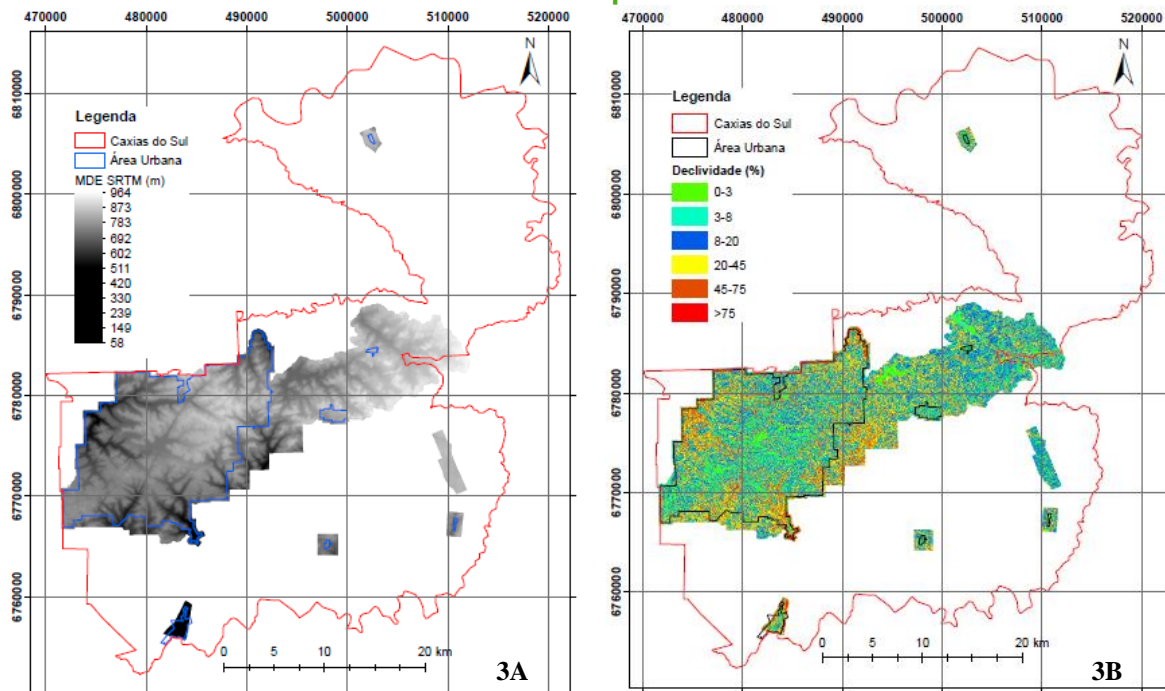


Figura 3: Localização da superfície geográfica sobre a qual foi realizada a validação do SRTM.

A Figura 3A ilustra a área de cobertura do LiDAR sobre o município de Caxias do Sul com a qual o MDE do SRTM foi utilizado, enquanto que a Figura 3B apresenta os níveis de declividades gerados a partir do MDE proveniente do LiDAR com resolução espacial de 1 metro, conforme classes dadas por Embrapa (2013).

(Projeção UTM - Fuso 22S, Datum horizontal: SIRGAS 2000).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Devido às incertezas na elevação fornecida por MDEs do SRTM sobre um dado local, que depende de diversos fatores relacionados à geomorfologia da região, é razoável sugerir que o conjunto de dados do SRTM seja utilizado com precaução. Por isto, este estudo não foi focado em somente um tipo de conformação topográfica, ao contrário, utilizaram-se seis classes distintas para a avaliação destas incertezas, a fim de permitir uma metodologia aplicável em qualquer outro local do país ou do globo.

Os dados contendo as informações de altimetria dos pontos de controle foram separados por classe de declividade com o auxílio do Software ArcMap 10.4.1 e a sua manipulação matemática e estatística foi realizada em planilha eletrônica comumente encontrada no ambiente digital. Os resultados provenientes desta avaliação são resumidos na Tabela 2, que demonstra que o erro médio quadrático aumenta a medida com que a declividade do terreno é mais acentuada, esta relação de proporcionalidade direta é corroborada com a análise do desvio padrão que evidencia que a dispersão das diferenças altimétricas em torno da média amostral é maior nas declividades mais elevadas.



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

Quando a análise foi realizada somente sobre o total dos 538.970 pontos de controle (Tabela 2), sem a discriminação em classes de declividades, constatou-se que o erro médio quadrático foi de 7,43 metros, com uma variação absoluta de altitude do SRTM para o LiDAR de 0,00 metros até 109,66 metros. A média, mediana e o desvio padrão também obtiveram valores intermediários àqueles observados nas classes.

Tabela 2: Resumo dos resultados matemático e estatísticos obtidos.

Classes	Declividade	Pontos Controle	ΔH_{\min}	ΔH_{\max}	Média	Mediana	Desvio Padrão	EMQ
Plano	0 a 3 (%)	54.087	0,00 m	43,09 m	4,08 m	2,95 m	4,08 m	5,78 m
Suave Ondulado	3 a 8 (%)	91.238	0,00 m	45,03 m	4,39 m	3,12 m	4,15 m	6,05 m
Ondulado	8 a 20 (%)	185.302	0,00 m	103,61 m	4,93 m	3,65 m	4,53 m	6,69 m
Forte Ondulado	20 a 45 (%)	155.852	0,00 m	76,05 m	6,32 m	5,06 m	5,18 m	8,17 m
Montanhoso	45 a 75 (%)	44.441	0,00 m	97,37 m	7,95 m	6,63 m	6,18 m	10,07 m
Escarpado	> 75 (%)	8.050	0,00 m	109,66 m	9,52 m	7,46 m	8,75 m	12,93 m
	Total	538.970	0,00 m	109,66 m	5,47 m	4,01 m	5,01 m	7,43 m

Onde: ΔH_{\min} corresponde a variação altimétrica mínima, em valores absolutos, entre a cota observada no LiDAR e aquela observada no SRTM, para cada ponto de controle. E ΔH_{\max} corresponde a variação altimétrica máxima, em valores absolutos, entre a cota observada no LiDAR e aquela observada no SRTM, para cada ponto de controle.

Foi observado que 338 amostras (pontos de controle) distribuídas aleatoriamente sobre a região de estudo não sofreram variação altimétrica até a escala milimétrica, somente 1.905 amostras sofreram variação nesta escala. Enquanto que 7.851 amostras (1,45% da população) tiveram variação altimétrica na escala centimétrica e 67.178 (12,46% da população) na escala decimétrica. O total de amostras com variação altimétrica submétricas representa 14,36% da população. Por outro lado, 77.819 amostras tiveram variações altimétricas entre 10 e 20 metros o que representa 14,43%, 8.868 amostras com variação altimétrica entre 20 e 40, representando 1,64% e as variações de 40 metros até o máximo observado totalizaram 172 representando somente 0,03% da população amostral. A Tabela 3 apresenta um resumo destes valores. Com isso é possível verificar que as maiores e as menores diferenças ocorrem em menor número de amostras.

Tabela 3: Distribuição da variação altimétrica com relação a população amostral.

Amostras (Pontos de Controle)	ΔH	População Amostral	% da População
338	< Milimétrica	538.970	0,06
1.905	Milimétrica	538.970	0,35
7.851	Centimétrica	538.970	1,45
67.178	Decimétrica	538.970	12,46
77.442	< Métrica	538.970	14,36
77.819	10 – 20	538.970	14,43
8.868	20 – 40	538.970	1,64
172	40 – 110	538.970	0,03

Os resultados aqui apresentados sugerem perícia e precaução na utilização do MDE obtido através do SRTM, em especial para projetos e obras que estão relacionados à gestão de recursos hídricos. Entretanto, fica evidente que o erro médio quadrático nas regiões de topografia plana, suave ondulada ou ondulada é menor que nas áreas onde a geomorfologia implica em terrenos mais acidentados, com isso a utilização do SRTM se torna mais indicado para locais menos declivosos. Baseado neste estudo, recomenda-se que o gerenciamento hidrológico e/ou hidráulico em regiões com declividades acima de 20% seja realizada com base



XXII SÍMPOSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS

26 de novembro a 01 de dezembro de 2017

Florianópolis- SC

em levantamento topográfico de maior detalhe. ANA (2016) indica a possibilidade de utilização do MDE do SRTM para situações onde não está disponível forma de levantamento da superfície do terreno. Assim, a metodologia sugerida neste trabalho pode contribuir em uma avaliação prévia do produto geográfico do SRTM para os estudos que envolvem a área de engenharia de segurança de barragens.

Como recomendação de complemento de pesquisa, sugere-se o estudo do erro médio quadrático para outras formas de classificação do terreno como, por exemplo, comprimento de rampa e tipos de cobertura vegetal, onde a capacidade de penetração da onda do radar pode permitir um melhor ajuste do erro. Ainda, pode-se realizar verificação quanto a este erro em relação à diferentes Data verticais.

4. REFERÊNCIAS

- ANA. (2016). *Guia de orientação e formulários do Plano de Ação de Emergência - PAE*. Agência Nacional do Águas. Brasília: ANA, 129 p.
- CAXIAS DO SUL. (2013). *Termo de referência para a contratação de empresa para prestação de serviços de aerolevantamento, perfilamento a laser, geração de ortofotos, mapeamento, geocodificação e conversão de dados, cruzamento de informações e apontamento de inconsistências, desenvolvimento de ferramentas, treinamento/transferência de tecnologia e suporte técnico*. Processo administrativo 2013013811, Caxias do Sul – RS.
- COSTA, C. A. G. (2008). *Avaliação dos dados SRTM através de análise altimétrica e morfométrica de bacias hidrográficas no semi-árido*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 120 p.
- EMBRAPA. (2013). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. 3 ed. Brasília – DF: Embrapa.
- GUPTA, R. D.; SINGH, M. K.; GANJU, A. (2014). *Validation of SRTM X band DEM over Himalayan mountain*. In *Anais do IV Symposium of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*. Suzhou, China, May. 2014, Volume XL-4.
- IBGE (1986). Projeto RADAMBRASIL: *Folha SH.22 Porto Alegre e parte das folhas SH.21 Uruguaiana e SI. 22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra*. IBGE, Vol. 33, Rio de Janeiro – RJ.
- RODRIGUEZ, E.; MORRIS, C. S.; BELZ, J. E.; CHAPIN, E. C.; MARTIN, J. M.; DAFFER, W.; HENSLEY, S. (2005). *An assessment of the SRTM topographic products, Technical Report*. Jet Propulsion Laboratory – NASA, Pasadena, California – EUA, 143 p.
- SCHUMANN, G.; MATGEN, P.; CUTLER, M. E. J.; BLACK, A.; HOFFMANN, L.; PFISTER, L. (2008). *Comparison of remotely sensed water stages from LiDAR, topographic contours and SRTM*. *Journal of Photogrammetry & Remote Sensing* 63, pp. 283–296.
- USGS (2017) – United States Geological Service. EarthExplorer. Disponível em <<https://earthexplorer.usgs.gov/>>. Acesso em: 14 abr. 2017.