

Influência de diferentes fontes e escalas de informação do relevo na caracterização de bacias hidrográficas

Maíra Martim de Moura²
Zandra Almeida da Cunha¹
Samuel Beskow^{1,2}
Fabrício Silva Terra^{1,2}
Felício Cassalho¹

¹ Universidade Federal de Pelotas – UFPel/CDTec/Engenharia Hídrica
Rua Gomes Carneiro, N° 01 – Campus Porto – CEP 96010-610 - Pelotas - RS, Brasil.
{zcunha.enghidrica, felicioufpel}@gmail.com
{samuel.beskow, fabricio.terra}@ufpel.edu.br

² Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos - UFPel/CDTec
Rua Gomes Carneiro, N° 01 – Campus Porto – CEP 96010-610 - Pelotas - RS, Brasil.
martimdemoura@gmail.com

Abstract. Delineating watersheds is the first and most important step in most of hydrological analyses. This procedure is usually based on Digital Elevation Model (DEM). In Brazil, DEMs are generally derived from contour lines and elevation points. However, because of their scale, especially for more detailed analysis, remote sensing data sets have been used. Among them, data sets from Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), ASTER satellite, and TOPODATA database can be highlighted. Considering that hydrological models strongly depend on reliable watershed topographical characteristics, the present study aimed to evaluate the effect of DEMs obtained from different sources and their respective spatial resolution over both automatic watershed delineation and identification of drainage network. Therefore, five watersheds located in the states of Rio Grande do Sul and Minas Gerais were taken as reference for all the analyses. The automatic watershed delineation, the derivation of the drainage network, and the watershed physiographic characterization, e.g. drainage area, perimeter, maximum and minimum altitude, flow direction, and mean slope, were conducted with the aid of ArcGIS. Based on the results obtained in the present study, it was concluded that in general: i) the TOPODATA DEMs presented better precision for greater altitudes, ii) DEMs from ASTER resulted in overestimation of the drainage network total length, iii) slope varied significantly at the watershed scale, and iv) DEMs derived from the SRTM 90m were not able to properly reproduce the physiographic characteristics of smaller watersheds due to their low spatial resolution and accuracy.

Palavras-chave: geoprocessing, remote sensing, SRTM, ASTER, TOPODATA, hydrology, geoprocessamento, sensoriamento remoto, hidrologia

1. Introdução

A observação por meio de imagens de satélites aliada ao geoprocessamento é uma das maneiras mais efetivas e econômicas de estudar alguns fenômenos espaciais da natureza, permitindo a coleta de dados para modelagem de alterações tanto no meio natural quanto no construído (Mendes e Cirilo, 2001). Análises hidrológicas e ambientais são geralmente realizadas tomando como base a bacia hidrográfica, cuja delimitação é um dos primeiros e mais comuns procedimentos executados. Segundo Freire et al. (2013), a delimitação de bacias é um processo de grande importância para um melhor entendimento da dinâmica dos recursos hídricos, uma vez que as características físicas e bióticas de uma bacia exercem relevante papel nos processos do ciclo hidrológico, influenciando na quantidade de água produzida.

Um dos interesses em análises do ciclo hidrológico é o estudo de cheias em bacias hidrográficas, permitindo a quantificação da vazão máxima ou da sequência temporal de vazões (hidrograma) oriundas de um ou mais eventos de chuva. Nesse contexto, a existência de séries históricas torna-se essencial para gestão de recursos hídricos, entretanto, no Brasil existe um número insuficiente de seções de controle com monitoramento fluviométrico,

tornando a modelagem hidrológica de cheias uma ferramenta imprescindível. Em virtude da necessidade de informações provenientes de redes de monitoramento hidrológico, aproximações geomorfológicas dos modelos conceituais de Hidrograma Unitário Instantâneo (e.g. Nash e Clark) vêm sendo empregadas, para os quais os parâmetros de ajuste são obtidos a partir da caracterização física da bacia hidrográfica e da rede de drenagem.

No processo de delimitação e caracterização de bacias hidrográficas em Sistemas de Informações Geográficas (SIGs), a informação mais primordial é a de relevo, comumente dada por um Modelo Digital de Elevação (MDE), representado por uma estrutura de dados correspondente à distribuição espacial da altitude, que pode ser obtido por meio da interpolação de curvas de nível extraídas de cartas topográficas ou através de imagens de sensores remotos (Alves Sobrinho et al., 2010).

No Brasil, a fonte de dados mais comum para a geração de MDEs é aquela constituída por curvas de nível e pontos de altitude conhecida e, de forma complementar, pela rede hidrográfica, obtidas em cartas topográficas, geralmente elaboradas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). Segundo Chagas et al. (2010), o MDE derivado de curvas de nível, na escala 1:50.000, e obtido através da ferramenta *topo to raster* do SIG ArcGIS, tem apresentado qualidade superior aos MDEs derivados de sensores remotos. Entretanto, as escalas disponíveis normalmente não são adequadas para estudos mais detalhados. Devido à confiabilidade e facilidade de aquisição de dados oriundos de imagens de sensores remotos, este vêm sendo cada vez mais utilizados para a geração de MDEs, destacando-se as imagens da missão *Shuttle Radar Topographic Mission* (SRTM), do sensor *Advanced Spaceborne Emission and Reflection Radiometer* (ASTER) e do banco de dados TOPODATA.

A missão SRTM foi realizada em fevereiro de 2000 e mapeou aproximadamente 80% das áreas emersas do planeta e utilizou a técnica de interferometria de radar de abertura sintética (InSAR), a partir da qual a altitude é determinada pela defasagem entre reflexões de um mesmo sinal de radar captado por dois receptores (Rabus et al., 2003). Foram utilizados dois pares de antenas, operando nas bandas X e C e coletando dados com resolução espacial de 30m e 90m, respectivamente. Os dados para o território brasileiro foram processados pela Embrapa (Miranda, 2005) e estão disponíveis segundo a articulação das folhas topográficas em escala 1:250.000, com resolução de 90m. O *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais* (INPE) fornece, de forma gratuita, dados reamostrados por krigagem de 90m para 30m por meio do banco TOPODATA iniciado em 2008 (Valeriano e Rossetti, 2009). No final de 2015, a *National Aeronautics and Space Administration* (NASA) passou a fornecer os dados com resolução espacial de 30m de forma gratuita, onde o Brasil é um dos países com mapeamento digital completo de elevação do terreno.

O sensor ASTER é um imageador multiespectral a bordo do satélite TERRA, lançado em dezembro 1999, com cobertura de 99% da superfície do globo terrestre e resolução espacial de 30m. Para a obtenção dos dados, o ASTER conta com dois telescópios, fazendo aquisições de imagens no espectro visível (VIS) e infravermelho próximo (IVP). Além de uma maior cobertura do globo terrestre, no que concerne ao MDE, o ASTER possui algumas vantagens em relação ao SRTM, visto que a construção do produto é realizada de forma direta por processo estereoscópico, sem a necessidade de interpolação de dados e não apresenta ausência de informações. Contudo, como as imagens são óticas e não de radar, tal como ocorre no SRTM, há a desvantagem de poder haver algumas falhas de correlação causadas por coberturas de nuvens nas imagens de entrada (ASTER GDEM, 2011).

De acordo com Landau e Guimarães (2011), devido às diferentes formas de obtenção e resolução espacial das imagens resultantes, os MDEs podem apresentar diferenças significativas entre as informações. Como consequência, podem exercer impacto sobre a estimativa de atributos do solo (Pinheiro et al., 2012), a extração da rede de drenagem (Souza e Almeida, 2014) e a caracterização morfométrica de bacias (Freire et al., 2013). Neste

contexto, é essencial a realização de estudos que avaliem a confiabilidade posicional e altimétrica de diferentes produtos dos sensores, bem como a importância das interpretações das relações solo-paisagem (Pinheiro et al., 2012).

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o efeito da fonte e da escala de informações do relevo para fins de delimitação automática, bem como para identificação de segmentos referentes a rede de drenagem, tomando como base bacias hidrográficas de diferentes tamanhos localizados nos estados do Rio Grande do Sul e Minas Gerais. A hipótese inicial do presente trabalho é que a fonte e a escala de informações do relevo exercem influência na caracterização física de bacias hidrográficas.

2. Metodologia de Trabalho

As bacias hidrográficas avaliadas foram as bacias do arroio Cadeia (BHAC), do arroio Caneleira (BHACN), do ribeirão Jaguara (BHRJ), do ribeirão Lavrinha (BHRL) e da sanga Ellert (BHSE), cujas áreas de drenagem são de, aproximadamente, 121,3; 60,7; 31,8; 6,7 e 0,7 km², respectivamente, e perímetros de 71,9; 48,4; 35,2; 11,7 e 4,2 km, respectivamente (Figura 1).

As três primeiras localizam-se no Rio Grande do Sul e as demais em Minas Gerais. As bacias hidrográficas em questão são monitoradas pelo Grupo de Pesquisa em Hidrologia e Modelagem Hidrológica/CNPq e possuem tamanho, declividade do relevo, uso e ocupação do solo, classe de solo e classificações climáticas diferenciadas.

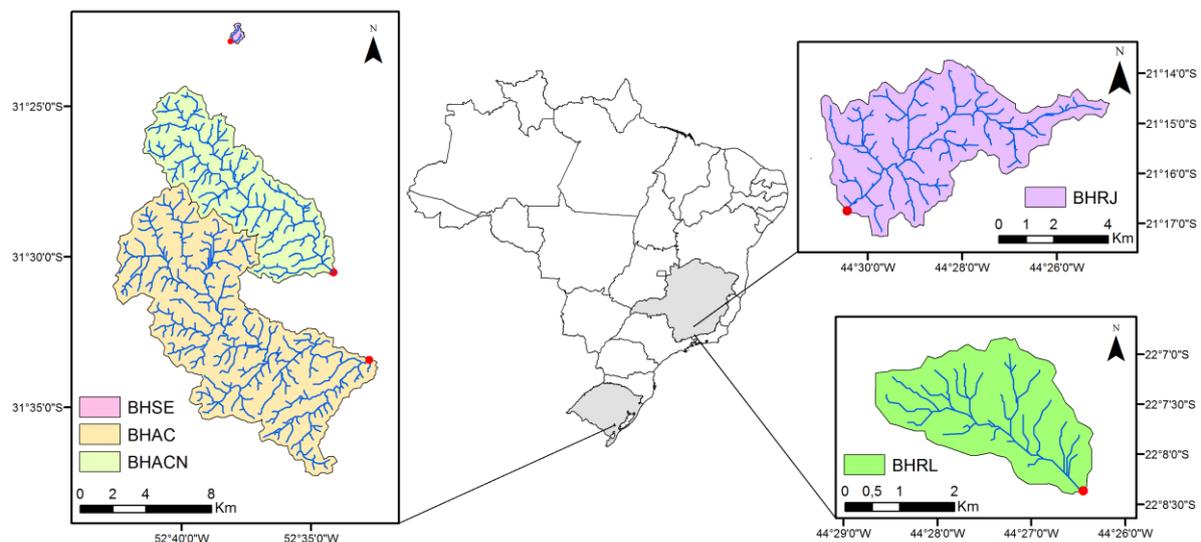


Figura 1. Localização das bacias hidrográficas estudadas.

Para verificação do MDE mais adequado, optou-se pela escolha de uma fonte a ser considerada como verdadeira. Seguindo recomendações de Chagas et al. (2010), com exceção da BHSE, o MDE derivado de base cartográfica (1:50.000) e com resolução espacial de 25m foi considerado como a verdadeira feição do relevo. Para a BHSE, utilizou-se como referência o MDE com resolução espacial de 1m, derivado de levantamento plani-altimétrico com 1.000 pontos, realizado com auxílio de uma estação total (marca Sokkia, modelo SET630RK) e com os receptores GNSS (marca Topocon, modelo Hiper Life+). As demais fontes de informações do relevo utilizadas foram os MDEs SRTM 30m e 90 m, TOPODATA 30m e ASTER 30m. Todos os dados foram georreferenciados utilizando o sistema de projeção cartográfica UTM e datum SIRGAS 2000.

A delimitação das bacias foi realizada de forma automática no software ArcGIS e seguiu a metodologia descrita por Martins et al. (2011), subdividindo-se nas seguintes etapas: preenchimento de depressões (*fill sinks*), direção de fluxo (*flow direction*), fluxo acumulado (*flow accumulation*) e delimitação automática de bacias (*Watershed*).

A hidrografia das bacias foi gerada a partir da drenagem numérica. Primeiramente, obteve-se o limiar de pixels para geração de rede de drenagem tomando como base a hidrografia observada no levantamento topográfico, no caso da BHSE, e a hidrografia existente nas cartas, para as demais bacias. De posse da área drenada para existência de cursos d'água, reproduziu-se o mesmo limiar para a extração da drenagem numérica nas demais fontes de relevo e obteve-se o comprimento total dos cursos d'água. As demais características físicas analisadas foram: área de drenagem, perímetro, altitudes máximas e mínimas, direção de fluxo e declividade média da bacia. Para a análise de altitudes, direção de fluxo e declividade, todas as fontes foram reamostradas na resolução espacial de 30 m.

O agrupamento das classes de declividades foi realizado com base na classificação proposta pela EMBRAPA (1979): plano (0-3%), suave-ondulado (3-8%), ondulado (8-20%), forte-ondulado (20-45%), montanhoso (45-75%) e forte-montanhoso (>75%).

As análises estatísticas para avaliar cada MDE e mapa de declividade foram realizadas de acordo com o sugerido por Thompson et al. (2001), onde cada amostra de pontos do mapa *raster* de interesse foi confrontada com a respectiva fonte de dados de maior acurácia (valores considerados reais). As estatísticas consideradas foram o erro médio absoluto (MAE) (Equação 1) e a raiz do erro médio quadrático (RMSE) (Equação 2), sendo estas análises realizadas no software R. Para ambos os parâmetros, quanto mais próximo de zero for o valor, melhor será o desempenho do MDE (e do mapa de declividade) de interesse em relação ao de feição real do relevo (Chagas et al., 2010; Ferreira, 2011).

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |y_i - o_i| \quad (01)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - o_i)^2} \quad (02)$$

Onde n é o número de células comparadas, y_i é o valor estimado da variável e o_i é o valor real (observado) da variável.

3. Resultados e Discussão

Na Tabela 1 são apresentados os valores obtidos para área de drenagem e comprimento total de cursos d'água para todas as bacias estudadas, considerando os diferentes MDEs utilizados.

De forma geral, os valores de área obtidos pelos diferentes MDEs foram superestimados em relação à fonte de maior acurácia, mas aproximaram-se entre si. Diferentemente das áreas, o perímetro foi subestimado por praticamente todas as fontes de relevo, em todas as bacias estudadas, com valores entre 0,2 a 4,2%.

Foram encontradas algumas dificuldades na delimitação automática para a BHSE, visto que sua área de drenagem é muito pequena frente à resolução espacial utilizada. As BHAC, BHACN e BHRJ foram facilmente delimitadas devido às suas maiores áreas de drenagem, contudo, houveram diferenças em relação às altitudes mínimas entre os MDEs. Para a BHRL, a delimitação apresentou os menores erros percentuais, o que se deve, possivelmente, ao relevo mais acidentado na região.

Tabela 1. Área de drenagem (km²) e comprimento total de cursos d'água ($\sum L$) (km), obtidos a partir de diferentes fontes de relevo para as bacias hidrográficas estudadas.

FONTE	BHAC		BHACN		BHRJ		BHRL		BHSE	
	Área	$\sum L$	Área	$\sum L$	Área	$\sum L$	Área	$\sum L$	Área	$\sum L$
Cartas	121,30	228,94	60,96	118,89	31,88	67,01	6,71	19,36	0,76	2,21
SRTM 30	135,78	248,38	67,92	149,41	32,32	65,99	6,84	17,53	0,86	2,83
SRTM 90	135,83	216,87	67,85	137,18	32,19	62,32	6,89	16,63	0,97	2,50
TOPODATA	135,55	227,09	67,78	136,09	32,30	59,30	6,82	15,45	0,87	2,41
ASTER	135,67	252,51	67,72	153,10	32,34	77,17	6,89	17,42	0,93	3,60
P. Cotados	-	-	-	-	-	-	-	-	0,66	2,01

Para a BHSE, o MDE obtido do SRTM 90m apresentou a maior discrepância de área, aproximadamente 68%, enquanto que as cartas de escala 1:50.000 apresentaram o valor mais próximo, cerca de 31%. Nas bacias BHAC e BHACN, a área foi superestimada em aproximadamente 11,6% e, nas bacias BHRJ e BHRL, as superestimativas foram substancialmente menores (~ 1,7%).

Pode-se observar que o MDE ASTER superestimou o comprimento da rede de drenagem para todas as bacias de estudo, enquanto que o MDE SRTM 90m subestimou em grande parte delas (Tabela 1). Estes resultados corroboram com Freire et al. (2013), os quais afirmaram que os MDEs obtidos a partir de imagens ASTER apresentam uma maior ramificação dos sistemas de drenagens. Andrades Filho et al. (2009), comparando os sistemas de drenagem gerados em região do Pantanal brasileiro a partir de diversas fontes, recomendaram que o modelo ASTER não fosse utilizado com essa finalidade, dada a grande diferença constatada em relação às demais fontes.

De forma geral, com exceção dos dados ASTER, as fontes estudadas subestimaram os comprimentos da rede de drenagem. Na BHAC a maior aproximação foi obtida pelo TOPODATA, enquanto que, em bacias de relevo mais acidentado, BHRL e BHRJ, foram obtidas pelos dados SRTM 30m. Os resultados corroboram com Marques et al. (2011), na bacia do córrego Salobrinha e com Souza e Almeida (2014), no sertão nordestino.

A Tabela 2 apresenta os valores obtidos para o MAE e o RMSE para as bacias avaliadas. Sendo o MAE a média do afastamento dos valores contrapostos e o RMSE um indicativo das diferenças individuais entre as amostras (Chagas et al., 2010), pode-se observar que os valores de altitude diferiram dos valores adotados como referência nas análises e que os índices estatísticos resultantes do SRTM 30m e TOPODATA apresentaram valores semelhantes e mais aproximados das verdades consideradas. Os dados ASTER, seguidos do SRTM 90m, apresentaram os maiores erros em geral.

Tabela 2. Erro médio absoluto (m) e raiz do erro médio quadrático (m) obtidos após a comparação entre os MDEs.

FONTE	BHAC		BHACN		BHRJ		BHRL		BHSE	
	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE	MAE	RMSE
SRTM 30	11,02	17,90	12,37	16,20	6,85	9,20	2,45	4,44	6,93	7,76
SRTM 90	11,58	18,47	12,43	16,36	7,11	9,67	2,59	4,54	6,86	7,90
TOPODATA	10,15	17,18	11,97	15,81	7,28	9,77	2,84	4,80	6,39	7,60
ASTER	12,18	19,04	12,02	16,27	9,67	12,47	2,72	4,43	7,62	8,67
Cartas	-	-	-	-	-	-	-	-	22,44	23,31

Os valores de RMSE obtidos corroboram com recentes estudos comparando dados SRTM (Li et al., 2013; Shafique e Van Der Meijde. 2014) usando fontes de maior acurácia. De

acordo com Toutin (2002), um erro vertical entre 12 e 20m é um consenso na precisão MDE extraído a partir de um Radar de Abertura Sintética, como é o caso dos dados SRT. Logo, as amplitudes de erros obtidas neste estudo encontram-se dentro dos limites de precisão descritos por Toutin (2002).

No caso da BHSE, os valores de MAE e RMSE obtidos para as cartas topográficas apresentaram-se discrepantes em relação aos dados SRTM e ASTER, visto que as mesmas subestimaram praticamente todos os valores de altitudes da bacia em 20 m. Analisando os valores dos erros obtidos em relação às amplitudes médias das BHAC, BHACN, BHRJ, BHRL e BHSE, iguais a 304, 334, 129, 574 e 95m, respectivamente, foi possível observar que os melhores estimadores se encontram nas maiores bacias e em relevos mais acidentados, como é o caso da BHRL.

A direção de fluxo foi comparada pixel a pixel e, com exceção da BHRL, as fontes que mais acertaram a direção de fluxo foram o TOPODATA e o SRTM 90m. Para a BHRL, ambas as fontes SRTM, de 30 e 90m, obtiveram os melhores resultados. Deve ser ressaltado que, para todas as bacias hidrográficas, as fontes de relevo utilizadas não conseguiram acertar, em média, metade das direções de fluxo da verdadeira feição.

Na Figura 2, estão apresentadas as classes de declividades para as bacias de estudo, segundo as fontes tomadas como referência, conforme classificação proposta pela EMBRAPA (1979). A partir da declividade média, a BHRL foi enquadrada como forte-ondulada, enquanto que as demais variaram de suave ondulada a ondulada. Salienta-se que, a variação da fonte de dados de relevo, em alguns casos, foi suficiente para permitir a alteração da classe de declividade de uma mesma bacia hidrográfica. Para as BHAC e BHSE, todas as declividades médias foram subestimadas; para as demais bacias, todas foram superestimadas.

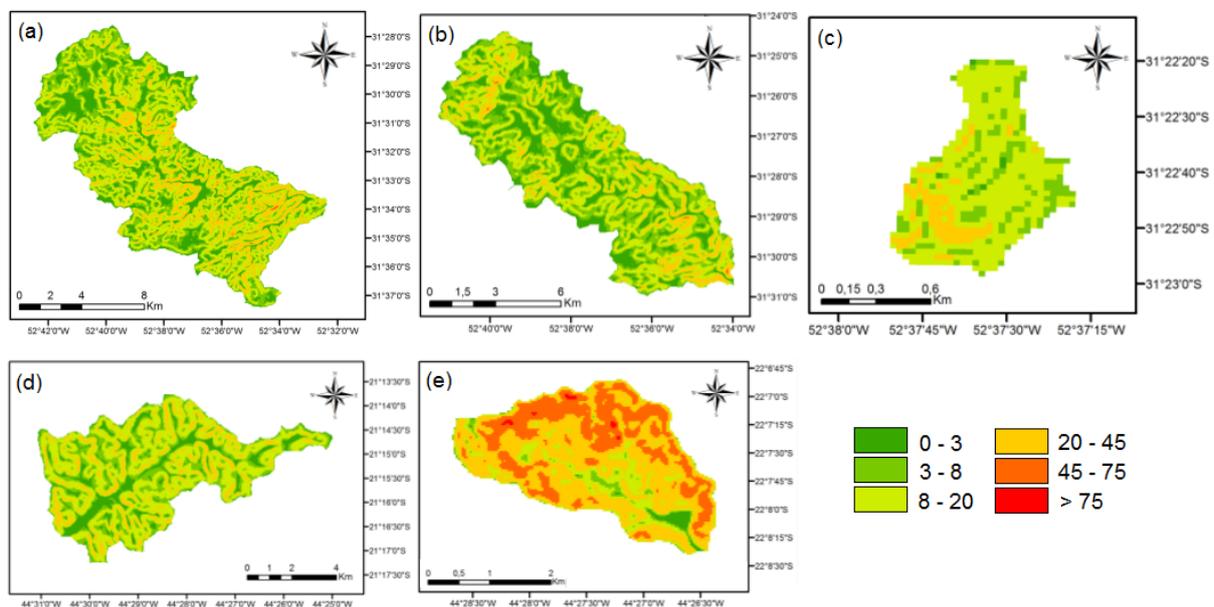


Figura 2. Disposição das classes de declividade na BHAC (a), BHACN (b), BHSE (c), BHRJ (d) e BHRL (e), segundo classificação da EMBRAPA (1979).

Aplicando as Equações 1 e 2 para os mapas de declividade, pode-se observar menores erros na fonte TOPODATA e maiores na SRTM 90m, corroborando com resultados observados por Miceli et al, (2011). Os valores do RMSE para o TOPODATA variaram de 6,20m a 13,50m, respectivamente, para as BHAC e BHRJ. Para o SRTM 90m, os valores variaram de 7,66m a 23,91m, respectivamente para as BHSE e BHRL.

4. Conclusões

Com base nas análises realizadas, consta-se que, em geral, dados de relevo provenientes do banco de dados TOPODATA apresentam menores erros em relação aos MDEs SRTM e ASTER. Observa-se, também, que o MDE SRTM 90m interferiu na caracterização fisiográfica da BHSE, visto que esta área é muito pequena em relação à resolução espacial da fonte de informação, o que pode vir a influenciar no ajuste e/ou aplicação de modelos hidrológicos.

A caracterização da rede de drenagem é muito influenciada pela fonte de informação de relevo, onde dados SRTM 90m e ASTER devem ser utilizados para este fim com bastante cautela, visto a falta de acurácia dos resultados obtidos.

É importante ressaltar que outros parâmetros de grande importância devem ser analisados para maior acurácia dos resultados, como por exemplo, as leis de Horton, que podem nortear as classificações das bacias por ordem da rede de drenagem e as áreas de influência de cada uma delas, bem como ser empregadas na modelagem hidrológica de cheias.

Agradecimentos

À CAPES e ao CNPq pelo auxílio financeiro e pelas bolsas para a realização do presente estudo.

Referências Bibliográficas

- Alves Sobrinho, T.; Oliveira, P.T.S.; Rodrigues, D.B.B.; Ayres, F.M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, v. 30, n. 1, p.46-57, 2010.
- Andrades Filho, C. O., Zani, H., Gradella, F.S. Compatibilidade da rede de drenagem obtida através de dados SRTM, ASTER e carta topográfica DSG: estudo de caso no Pantanal de Aquidauana. In: Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, 2., Corumbá, 2009. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009, p. 51-61.
- ASTER GDEM. **Aster Global Digital Elevation Model: Release of ASTER GDEM Version**, 2011. Disponível em: <<http://www.jspacesystems.or.jp/ersdac/GDEM/E/4.html>>. Acesso em 08 de agosto de 2016.
- Chagas, C. S.; Fernandes Filho, E. I.; Rocha, M. F.; Carvalho Júnior, W.; Souza Neto, N. C. 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.
- Costa, C. A. G.; Teixeira, A. S.; Andrade, E. M.; Lucena, A. M. P.; Castro, M. A. H. Análise da influência vegetacional na altimetria dos dados SRTM em bacias hidrográficas no semiárido. **Revista Ciência Agronômica**, v. 41, n. 2, p. 222-230, 2010.
- Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos** (Rio de Janeiro, RJ). Súmula da 10. Reunião Técnica de Levantamento de Solos. Rio de Janeiro, 839, 1979.
- Ferreira, S. P. **Estudo comparativo do pós-processamento estatístico aplicado ao modelo BRAMS**. 2011. 151 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2011.
- Freire, A.J.; Lage, G.B.; Christóforo, C. Comparação entre parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas gerados por dados SRTM e ASTER GDEM: estudo de caso para bacias do Vale do Jequitinhonha-MG. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. Artigos, p. 5443-5450.

Landau, E. C.; Guimarães, D. P. Análise Comparativa entre os modelos digitais de elevação ASTER, SRTM e TOPODATA. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011, p. 4003–4010.

Li, S.; Sun, D.; Goldberg, M.; Stefanidis, A. Derivation of 30-m-resolution water maps from TERRA/MODIS and SRTM. **Remote Sensing of Environment**, v. 134, p. 417–430, 2013.

Marques, H. G.; Penatti, N. C.; Paranhos Filho, A. C.; Froehlich, O.; Almeida, T. I. R.; Shimabukuro, Y. Comparação entre os modelos de elevação SRTM, TOPODATA e ASTER na delimitação automática de rede de drenagem e limite de bacia hidrográfica. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 1271-1278.

Martins, V. S.; Guedes, H. A. S.; Capobiango, G. V.; Silva, D. D. A importância do condicionamento hidrográfico no estudo morfométrico de bacias. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15., 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011, p. 5418-5425.

Mendes, C. A. B.; Cirilo, J. A. **Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 1.ed., 2001. 536p.

Miceli, B. S.; Dias, F. M.; Seabra, F. M.; Santos, P. R. A.; Fernandes, M. C. Avaliação vertical de modelos digitais de elevação (MDEs) em diferentes configurações topográficas para médias e pequenas escalas. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 63, p. 191-201, 2011.

Miranda, E.E. **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<https://www.cnpm.embrapa.br/projetos/relevobr/download/>> Acesso em 21 de junho de 2016.

Pinheiro, H. S. K.; Chagas, C. S.; Carvalho Júnior, W.; Anjos, L. H. C. 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, R.; Bamler, R. **The Shuttle Radar Topography Mission—a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar**. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, v.57, p.241-262. 2003.

Shafique, M., Van der Meijde, M. Impact of uncertainty in remote sensing DEMs on topographic amplification of seismic response and V_s^{30} . **Arab J. Geosci**, v. 8, n. 4, 2014.

Souza, J.O.P.; Almeida, J.D.M. Modelo digital de elevação e extração automática de drenagem: dados, métodos e precisão para estudos hidrológicos e geomorfológicos. **Bol. geogr.**, v. 32, n. 2, p. 134-149, 2014.

Thompson, J. A.; Bell, J. C.; Butler, C. A. Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soil- landscape modelling. **Geoderma**, v.100, p.6789, 2001.

Toutin, T. Impact of terrain slope and aspect on radargrammetric DEM accuracy. **ISPRS Journal Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, n. 03, p. 228-240, 2002.

Valeriano, M. M.; Rossetti, D. F.; Albuquerque, P. C. G. Topodata: desenvolvimento da primeira versão do banco de dados geomorfológicos locais em cobertura nacional. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 14., 2009, Natal, RN. **Anais...**, São José dos Campos, SP : INPE, 2009. v. CD-ROM. p. 1-8..