

AVALIAÇÃO DE BASES SRTM PARA EXTRAÇÃO DE VARIÁVEIS MORFOMÉTRICAS E DE DRENAGEM

João Paulo BRUBACHER, Guilherme Garcia de OLIVEIRA,
Laurindo Antonio GUASSELLI, Thiago Dias LUERCE

Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul.
Avenida Bento Gonçalves, 9500 – Campus do Vale – Agronomia. Caixa Postal: 15044. CEP 91501-970. Porto Alegre, RS.
Endereços eletrônicos: jp.brubacher@hotmail.com; g.g.oliveira10@gmail.com;
laurindo.guasselli@ufrgs.br; thiago.luerce@hotmail.com

Introdução
Metodologia
 Área de Estudo
 Materiais e Métodos
Resultados e Discussões
 Diferenças Altimétricas
 Diferenças nas Áreas das Sub-bacias
 Diferenças na Extensão dos Rios
 Deslocamentos na Drenagem: Precisão dos Dados SRTM
Conclusões
Referências Bibliográficas

RESUMO – Dados do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) constituem uma alternativa viável em análises que dependem de Modelos Digitais de Elevação (MDEs). Este estudo tem como objetivo avaliar a precisão das bases SRTM da NASA, EMBRAPA e TOPODATA (INPE) para extração de bacias, altimetria, drenagem e extensão dos rios, em diferentes padrões morfométricos. O trabalho foi estruturado em quatro etapas: a) manipulação das três bases SRTM; b) extração automática de sub-bacias e de drenagens; c) comparação de valores altimétricos, de áreas de bacias e de extensão dos rios para as três bases utilizadas; d) avaliação do deslocamento das drenagens extraídas em relação à hidrografia das cartas da DSG, na escala 1:50000. Os resultados mostraram que: (1) os dados do TOPODATA alteraram em menor grau os dados altimétricos; (2) as maiores discrepâncias na extensão dos rios ocorreram nas sub-bacias mais planas com rios sinuosos, onde foram subtraídos alguns meandros existentes na hidrografia das cartas da DSG; (3) há tendência de aumento no deslocamento das drenagens extraídas à medida que diminui a declividade e aumenta a sinuosidade dos rios; (4) entre os segmentos de drenagem foram obtidos deslocamentos inferiores a 90 m nos trechos de rio com declividade superior a 0,4%; (5) a drenagem extraída do SRTM NASA apresentou a maior precisão, com deslocamento médio de 246 m.

Palavras-chave: Modelo digital de elevação, SRTM, variáveis morfométricas.

ABSTRACT – *J.P. Brubacher, G.G. de Oliveira, L.A. Guasselli, T.D. Luerce - Precision assessment of SRTM bases for extraction of morphometric variable and drainage.* The Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) data, constitute themselves into a viable and practical alternative to minimize costs and time on the execution of works and research that depends of Digital Elevation Model (DEM). The objective of this study is to evaluate and compare the accuracy of these bases SRTM NASA, EMBRAPA and TOPODATA on extraction processes of drainage, watersheds, altimetry, and in the calculation of the extent of rivers, considering different morphometric patterns. The study was structured into four steps: a) manipulating of three bases SRTM; b) automatic extraction of watersheds and drainage; c) comparison of the altimetric values, of watershed areas and of rivers extent on three bases used; d) assessment of the displacement of drainage extracted in relation to the hydrographic maps from DSG, in the scale 1:50000. The results showed that: (1) the TOPODATA data changed in a smaller level the altimetric data; (2) the biggest discrepancies on the rivers extent, occurred in most plain with meandering rivers watersheds, which were subtracted some meanders existing in the hydrographic maps from DSG; (3) was identified the trend of increase in the displacement of extracted drainages as the slope decreases and increases the sinuosity of the rivers; (4) between the drainage segments analyzed, were obtained displacements of less than 90 meters on drainage segments with slope above than 0.4%; (5) the drainage extracted from NASA SRTM presented the bigger accuracy, with 246 meters of medium displacement.

Keywords: remote sensing, digital elevation model, hydrography.

INTRODUÇÃO

O uso dos dados de sensoriamento remoto da missão Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) já está amplamente difundido e faz parte de diversos estudos no que diz respeito à análise ambiental (Silva

& Amaro, 2008; Victoria et al., 2008), diagnósticos e processos decorrentes das dinâmicas geomorfológicas (Valeriano & Rossetti, 2006; Grohmann & Steine, 2008; Coelho, 2008) e hidrológicas (Paz & Collischonn, 2008;

Guimarães et al., 2011), assim como a análise morfométrica do terreno, de grande importância para as ciências da Terra (Valeriano, 2008a; Andrades Filho et al., 2008; Barros & Steinke, 2009; Guasselli et al., 2009; Brubacher et al., 2011). Esses dados constituem-se em uma alternativa prática e viável para minimizar custos e tempo na execução dos trabalhos (Oliveira et al., 2010).

Os dados topográficos SRTM foram disponibilizados pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), em 2003, para a América do Sul, e são o resultado de uma cooperação entre a Agência Nacional de Inteligência Geoespacial dos Estados Unidos (NRA), o Departamento de Defesa dos Estados Unidos e as agências espaciais da Alemanha (DLR) e da Itália (ASI), com o objetivo de gerar um modelo digital de elevação (MDE) com abrangência mundial (Rabus et al., 2003). Essas imagens podem ser adquiridas diretamente do endereço da USGS (United States Geological Survey), em que permanecem disponíveis sob a resolução de 3", ou cerca de 90 m (Valeriano, 2005). Na forma trivial, os MDEs são arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com um valor de elevação em cada pixel (Valeriano, 2008b). A disponibilização dos dados SRTM aumentou significativamente o volume de estudos que incorporaram a utilização de MDE na extração automática de redes de drenagem, procedimento comum em análises hidrológicas ou ambientais.

A partir da liberação dos dados SRTM para o território nacional, a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) realizou uma série de

correções dos dados nessa base original, destacando-se os cortes e preenchimentos com patamares altimétricos bem definidos, interpolações e produção de dados vetoriais, o que permite reconstituir o relevo do país, como nas cartas topográficas, só que de forma digital e homogênea (Miranda, 2005). Já o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no projeto TOPODATA, refinou os dados originais com tamanho de célula (pixel) de 90 m para aproximadamente 30 m.

Embora os dados SRTM disponibilizados pela EMBRAPA e INPE-TOPODATA sejam derivados de um produto em comum, os processos utilizados para a geração desses produtos se deram de forma diferenciada, o que obrigatoriamente provocou diferenças entre as bases. No entanto, poucos estudos até então se preocuparam em comparar as três bases SRTM utilizadas no Brasil, NASA, EMBRAPA e TOPODATA. Andrades Filho et al. (2009) e Marques et al. (2011) realizam comparações dessas bases de modo sintético, porém sem relacionar as discrepâncias apresentadas pelos dados com relação a aspectos morfométricos e hidrológicos.

A hipótese dessa pesquisa considera que uma investigação baseada na comparação das três bases SRTM permite, entre outros, identificar quais dados são mais consistentes para a escala de trabalho apresentada nesse estudo. Desse modo, o objetivo deste estudo é avaliar e comparar a precisão das três bases SRTM utilizadas no Brasil nos processos de extração de drenagem, bacias, altimetria, e no cálculo da extensão dos rios, considerando diferentes padrões morfométricos.

METODOLOGIA

ÁREA DE ESTUDO

Para a realização do estudo foram adotadas duas abordagens de análise. A primeira compreendeu as comparações e avaliações na bacia hidrográfica do rio dos Sinos, localizada no nordeste do estado do Rio Grande do Sul, no Planalto Meridional Brasileiro. Essa bacia faz parte de uma pesquisa no Centro Estadual de Pesquisas em Sensoriamento Remoto e Meteorologia (CEPSRM) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS) e financiada pela Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio Grande do Sul (FAPERGS) que tem como finalidade a sua caracterização para a definição de áreas suscetíveis a inundações e a movimentos de massa. As nascentes do rio dos Sinos localizam-se no município de Cará (em torno de 600m de altitude) e possuem três trechos distintos até a foz: o superior, onde suas águas possuem rápido escoamento; o médio, e o trecho inferior, onde

a declividade é praticamente nula (Luerce et al., 2011).

Na segunda abordagem, foram avaliados apenas os deslocamentos da rede de drenagem extraída automaticamente a partir dos dados originais SRTM. Nessa análise, foram selecionados diversos segmentos de rios, procurando incorporar diferentes características topográficas do terreno observadas nas unidades de relevo pertinentes ao Rio Grande do Sul. Seis segmentos de rios na bacia do rio dos Sinos (Baixo rio dos Sinos, Médio rio dos Sinos, rio Paranhana, arroio da Areia, Baixo rio Rolante e Alto rio Rolante) foram estudados, assim como três segmentos numa bacia litorânea da Planície Costeira do RS (rio Maquiné, rio Tramandaí e arroio Encantado), cinco segmentos no Planalto Sulriograndense (arroio Irapuazinho, arroio do Salso (2), arroio Irapua da Pitangueira e arroio Irapuazinho do Borges) e um segmento na Cuesta do Haedo (Figura 1). A escolha de segmentos em compartimentos de

relevo do estado, com características diferentes, buscou analisar o comportamento das três bases SRTM na extração das variáveis morfométricas.

MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho foi estruturado em quatro etapas: a) obtenção e manipulação dos dados SRTM; b) extração automática das sub-bacias da bacia do rio dos Sinos e

da drenagem nos segmentos analisados no estado; c) comparação dos valores altimétricos, das áreas de bacias e de extensão dos rios obtidos pelas três bases SRTM, nas sub-bacias do rio dos Sinos; d) comparação e avaliação do deslocamento entre as drenagens extraídas em relação à drenagem da Divisão de Serviços Geográfico do Exército (DSG), na escala 1:50000, e análise dos resultados.

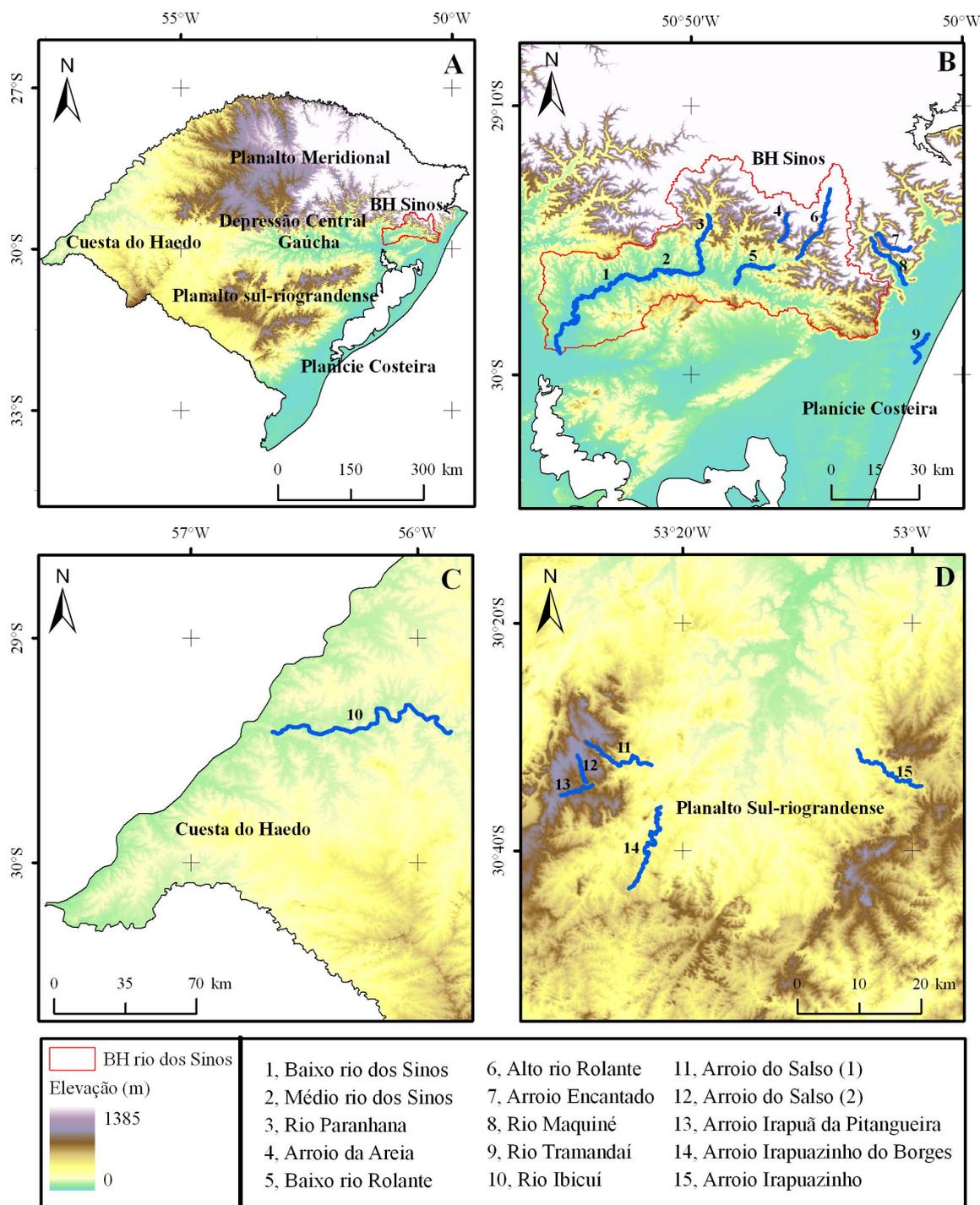


FIGURA 1. Localização das unidades de relevo no Rio Grande do Sul (A), com destaque para a bacia do rio dos Sinos/RS e os segmentos de drenagem na Planície Costeira, Planalto Sul-riograndense e Cuesta do Haedo.

Inicialmente, foram obtidos os dados originais SRTM (<http://www2.jpl.nasa.gov/srtm/>), com resolução de 3 arc-segundos, aproximadamente 90 m por pixel; os produtos SRTM da EMBRAPA (<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br>) e do TOPODATA-INPE (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/acesso.php>). O produto da EMBRAPA possui a mesma resolução espacial dos dados disponibilizados pela NASA, entretanto, nesta base foi realizado um processo de mosaicagem e correção dos dados para o Brasil (Miranda, 2005). 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, 2008b). Após a obtenção das bases SRTM, foi realizada a manipulação dos dados, que compreendeu a filtragem dos modelos de elevação para a remoção de informações discrepantes (variações abruptas e inconsistentes). Esse processo garante a continuidade do fluxo de drenagem no modelo, imprescindível para a extração de variáveis morfométricas mais coerentes.

As direções de fluxo foram extraídas conforme o método de Jenson & Domingue (1988), no qual se considera, pela lógica da maior declividade, uma única direção de fluxo para cada pixel do modelo (janela 3x3).

A partir das direções de fluxo foi gerada uma grade com as áreas acumuladas de drenagem, onde cada pixel tem um valor correspondente à soma das áreas dos pixels que deságuam nele (Jenson & Domingue, 1988; Tarboton et al., 1991).

A extração automática da drenagem, organizada de forma hierárquica conforme Strahler (1952), foi realizada com base nas direções de fluxo e na grade de áreas acumuladas, utilizando o *software* ArcGIS 9.3.

A bacia hidrográfica do rio dos Sinos foi fragmentada em 8 sub-bacias (Figura 2): Alto rio Rolante, Baixo rio Rolante, arroio da Areia, rio da Ilha, rio Paranhana, Alto rio dos Sinos, Médio rio dos Sinos e Baixo rio dos Sinos. Essa fragmentação teve como objetivo comparar as bases SRTM em aspectos morfométricos: altitudes, área de bacia e extensão dos rios.

A extração de índices morfométricos para as sub-bacias permitiu a comparação das discrepâncias apresentadas por cada base SRTM, considerando os índices morfométricos de área, sub-bacias, declividades, sinuosidade e extensão dos rios e na geração de mapas de diferença altimétrica entre os MDEs da NASA, EMBRAPA e TOPODATA.

A base utilizada para a avaliação das drenagens extraídas através dos dados SRTM foi composta pelas cartas topográficas (SH.21-X-C, SH.22-Y-A, SH.22-X-C,

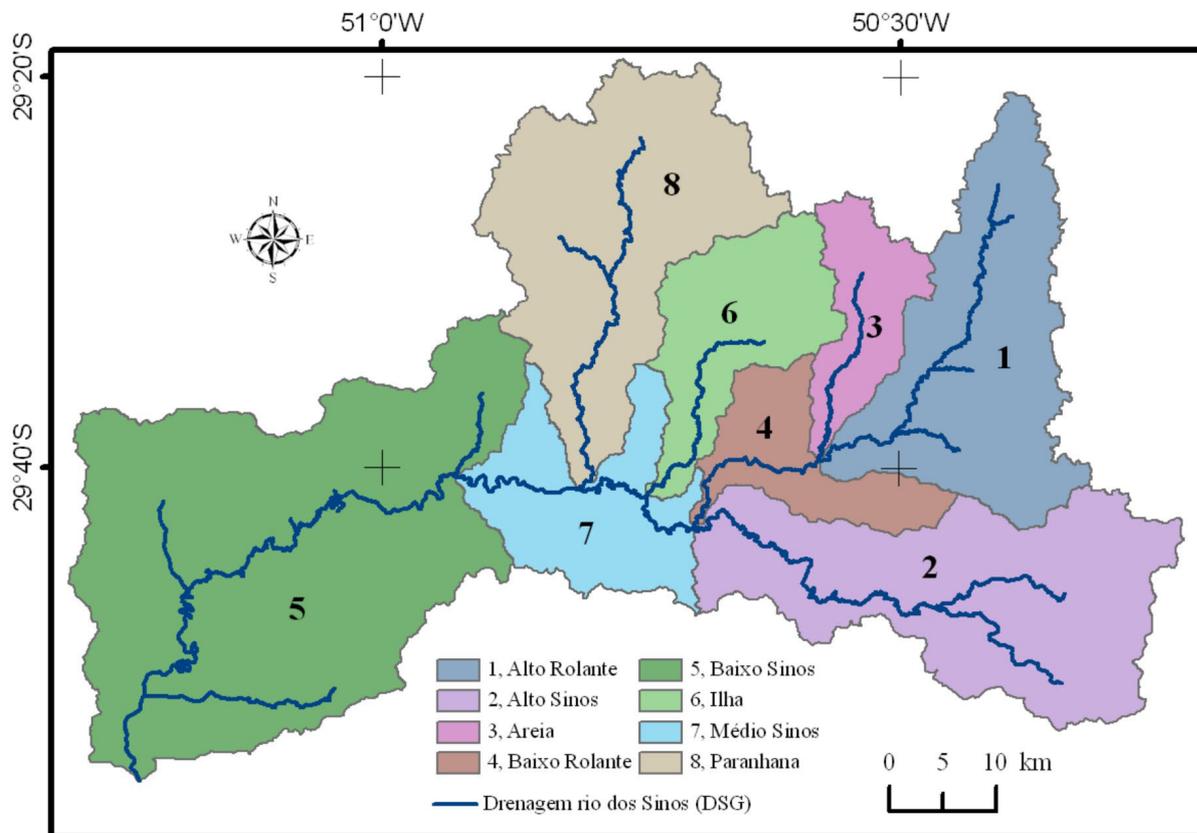


FIGURA 2. Sub-bacias que compõem a bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS.

SH.22-X-D) na escala 1:50.000, que abrangem os segmentos de rio analisados, disponibilizadas pela Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG) e vetorizadas por Hasenack & Weber (2010).

Para obter o deslocamento médio dos segmentos de drenagem selecionados, de cada base SRTM, em relação à cartografia da DSG, foram adotados os seguintes procedimentos: a) cálculo da área compreendida pelas drenagens extraídas nas duas bases; b) divisão da área pela extensão do segmento de rio analisado, obtendo o deslocamento médio do trecho do rio. Visando compreender a variação da precisão da

drenagem extraída em rios com diferentes características morfométricas, também foram calculadas as declividades e o índice de sinuosidade de cada segmento (comprimento vetorial dividido pelo comprimento real do trecho de rio), conforme Christofolletti (1981).

Foi realizada uma análise estatística da correlação entre as variáveis hipoteticamente relacionadas (deslocamento médio, declividades e sinuosidades). Através da técnica de regressão, foi estimada a variação da precisão das drenagens extraídas (deslocamento médio) em relação à declividade e sinuosidade dos rios (Christofolletti, 1981).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

DIFERENÇAS ALTIMÉTRICAS

A comparação entre as três bases SRTM em relação à altitude é apresentada na Figura 3, nos mapas de diferença altimétrica para a bacia hidrográfica do rio dos Sinos. Destaca-se que as maiores diferenças altimétricas entre os três modelos de elevação ocorrem em áreas escarpadas da bacia, principalmente na porção nordeste da bacia.

Devemos, entretanto, considerar que as discrepâncias evidenciadas em áreas escarpadas, apesar de apresentarem maiores diferenças altimétricas, são proporcionalmente inferiores às observadas nas áreas planas e baixas da bacia. O entendimento dessas discrepâncias entre as bases é extremamente relevante, principalmente se considerarmos a ocorrência, nas áreas planas, de áreas sujeitas a inundações, no sentido de poder indicar qual delas é a mais apropriada para um determinado estudo.

A sub-bacia do Baixo rio dos Sinos, região mais baixa e plana da bacia, apresenta proporcionalmente as maiores discrepâncias altimétricas entre as bases SRTM (Tabelas 1 e 2). A maior variação ocorre entre as bases da EMBRAPA e do TOPODATA, com diferença média de altitudes de 4,03 m, cerca de 7% de variação no Baixo rio dos Sinos. A menor discrepância foi observada na sub-bacia do Alto rio dos Sinos, entre as bases da NASA e do TOPODATA, com diferença média de apenas 0,02 m, isto é, menos de 0,01% de variação.

Na análise pixel a pixel, a diferença altimétrica entre os MDEs da NASA e TOPODATA, Figura 3A, apresentou menor diferença entre as três combinações de dados. A maioria dos pixels possui diferenças altimétricas inferiores a 4 m nesse mapa, ao contrário do observado nos outros dois mapas (Figuras 3B e 3C), onde a maioria dos pixels possui mais de 6 m de diferença altimétrica. Desse modo, é possível afirmar que as transformações realizadas pelo INPE no projeto

TOPODATA alteraram em menor grau a base SRTM da NASA.

Na análise regional, no entanto, ao calcular a altitude média nas oito sub-bacias a partir das três bases SRTM e comparar as médias altimétricas obtidas para cada base, podem-se verificar resultados que contradizem a análise pixel a pixel (Tabela 2). A Tabela 2 mostra que as altitudes médias das sub-bacias possuem menores discrepâncias entre as bases EMBRAPA e NASA, diferentemente do observado na análise visual da Figura 3. Isso ocorre em virtude da boa sobreposição das sub-bacias extraídas pelas bases da NASA e da EMBRAPA. Os dados SRTM TOPODATA originaram uma delimitação de sub-bacias mais discrepante em relação às demais, o que influenciou nos valores diferenciados de altimetria média por sub-bacia.

A diferença altimétrica entre as bases SRTM da EMBRAPA e TOPODATA, configura-se como a comparação que apresenta maior discrepância (Figura 3C). Isso ocorre tanto nas áreas escarpadas da bacia como nas áreas mais aplainadas, comprovado também através da análise das altitudes médias das sub-bacias (Tabela 2). Esse resultado já era esperado, uma vez que se trata de bases derivadas da NASA com diferentes métodos de interpolação.

Em relação à orientação do relevo e o padrão de diferenças altimétricas entre as bases derivadas e a original também se observam algumas diferenças. Na Figura 4, o diagrama A mostra a sobreposição do mapa de diferenças altimétricas NASA-TOPODATA à base de orientação do relevo. Verifica-se que as diferenças de altitude entre as bases TOPODATA e SRTM são pequenas, sendo negativas nas vertentes de orientação a oeste e positivas nas vertentes de orientação a leste.

Já ao sobrepor o mapa de diferenças altimétricas NASA-EMBRAPA à base de orientação do relevo (Diagrama B, da Figura 4), verifica-se que as dife-

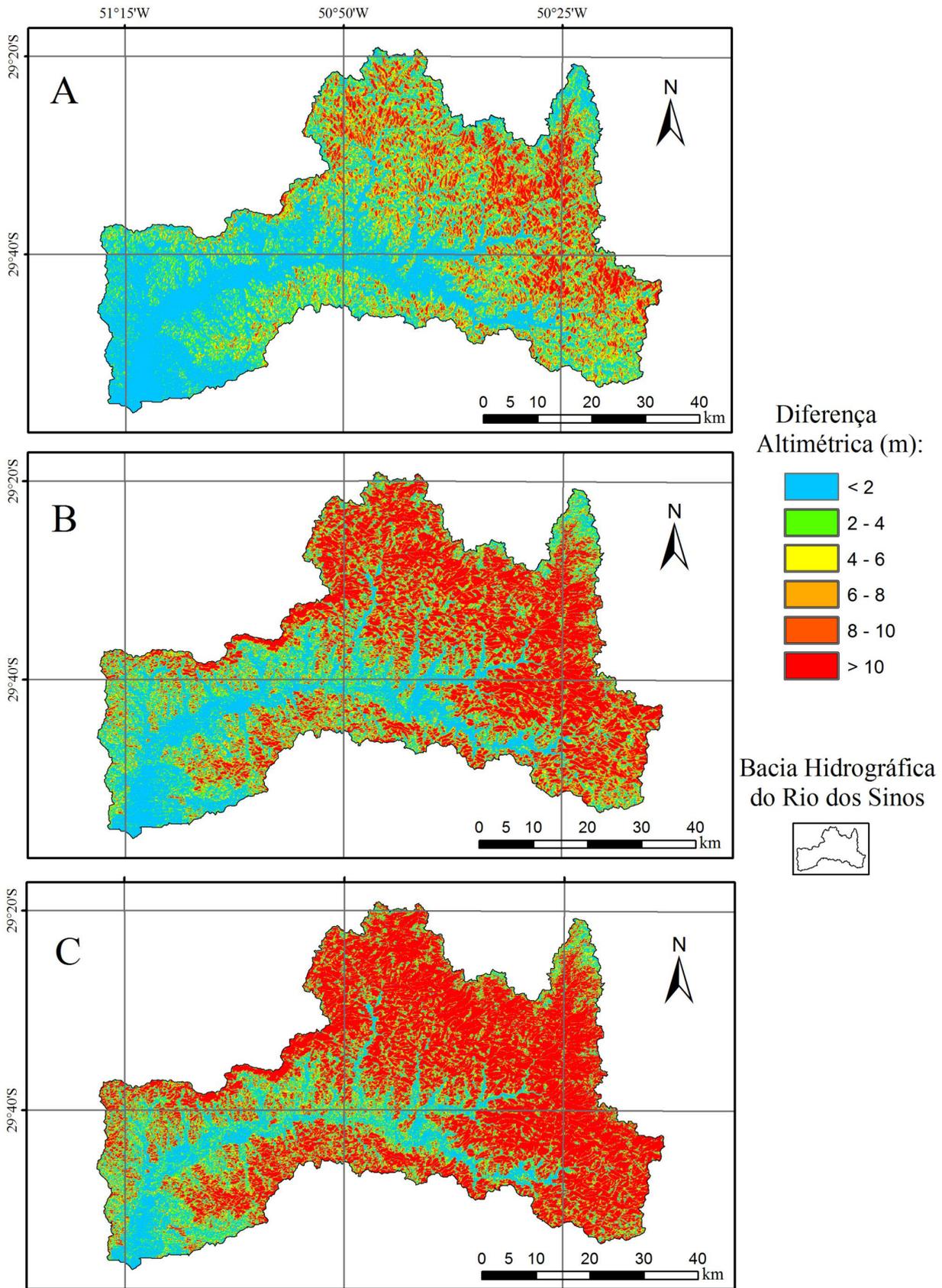


FIGURA 3. Diferença altimétrica entre três bases SRTM, bacia dos Sinos – RS.

TABELA 1. Altitude média (m) das bases SRTM por sub-bacia, da bacia do rio dos Sinos/RS.

Sub-bacia	NASA	EMBRAPA	TOPODATA
Alto Rio Rolante	588,2	589,4	589,0
Baixo Rio Rolante	174,1	174,4	175,3
Arroio da Areia	543,7	541,9	540,8
Rio da Ilha	338,4	338,5	338,9
Rio Paranhana	418,5	418,4	419,4
Alto Rio dos Sinos	221,9	221,9	221,9
Médio Rio dos Sinos	109,6	109,5	109,3
Baixo Rio dos Sinos	59,3	59,9	55,9

TABELA 2. Discrepâncias e variações altimétricas para os mapas de diferenças SRTM, bacia do rio dos Sinos/RS.

Sub-bacia	Diferença Altimétrica (m)			Variação Altimétrica (%)		
	NASA-EMBRAPA	NASA-TOPODATA	EMBRAPA-TOPODATA	NASA-EMBRAPA	NASA-TOPODATA	EMBRAPA-TOPODATA
Alto Rio Rolante	-1,18	-0,76	0,42	-0,20%	-0,13%	0,07%
Baixo Rio Rolante	-0,26	-1,16	-0,89	-0,15%	-0,66%	-0,51%
Arroio da Areia	1,77	2,85	1,08	0,33%	0,53%	0,20%
Rio da Ilha	-0,12	-0,52	-0,39	-0,04%	-0,15%	-0,12%
Rio Paranhana	0,13	-0,90	-1,03	0,03%	-0,22%	-0,25%
Alto Rio dos Sinos	0,06	0,02	-0,05	0,03%	0,01%	-0,02%
Médio Rio dos Sinos	0,06	0,24	0,18	0,05%	0,22%	0,17%
Baixo Rio dos Sinos	-0,62	3,41	4,03	-1,04%	5,92%	6,96%

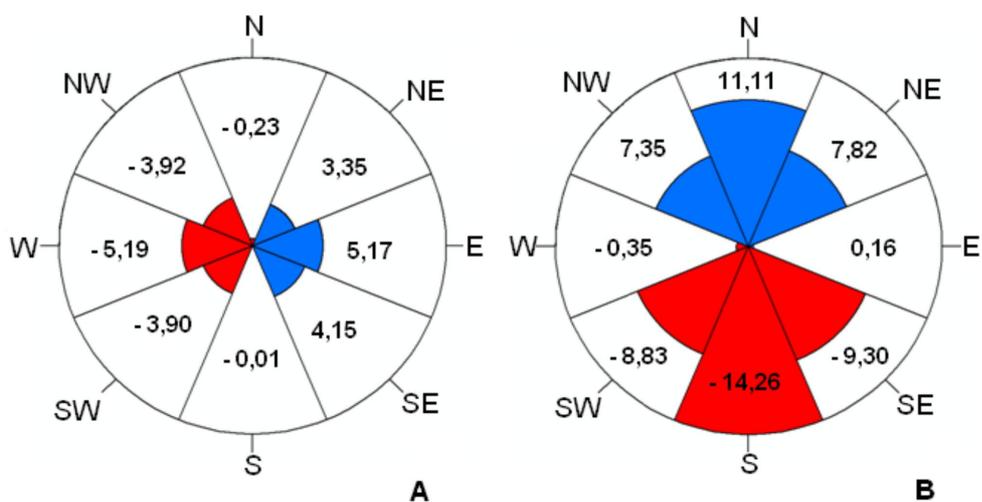


FIGURA 4. Diferenças altimétricas médias positivas (azul) e negativas do relevo (vermelho) do relevo, bacia rio dos Sinos/RS. Diagrama A: NASA-TOPODATA; Diagrama B: NASA-EMBRAPA.

renças de altitude entre as bases da EMBRAPA e o SRTM são bem maiores, sendo negativas nas vertentes de orientação sul e positivas nas vertentes de orientação a norte.

O Diagrama da Figura 5 apresenta as diferenças altimétricas por orientação do relevo, na comparação entre as bases EMBRAPA-TOPODATA. Esse Diagrama mostra que as diferenças são mais significativas, principalmente na orientação norte-sul.

DIFERENÇAS NA ÁREA DAS SUB-BACIAS

A comparação das áreas (em hectares) das oito sub-bacias da bacia dos Sinos é apresentada na Tabela 3. De modo geral, a geometria das sub-bacias extraídas

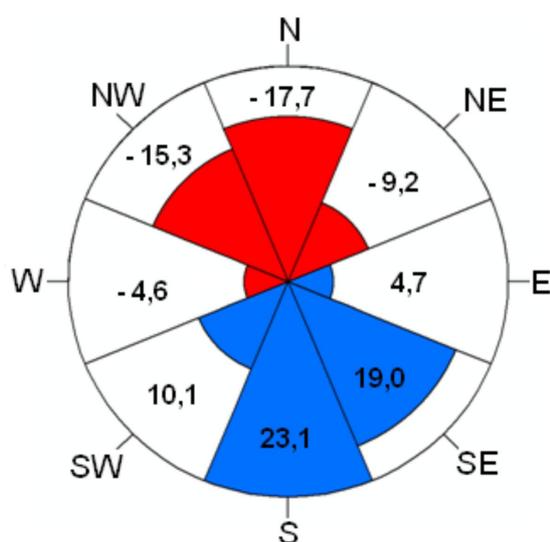


FIGURA 5. Diferenças altimétricas positivas (azul) e negativas (vermelho) por orientação do relevo, bacia do rio dos Sinos/RS. Diagrama EMBRAPA-TOPODATA.

a partir dos dados do TOPODATA é a que apresenta as maiores diferenças. As sub-bacias obtidas a partir dos dados SRTM TOPODATA tiveram também suas áreas superestimadas em comparação às outras duas bases. Isso se deve, provavelmente, às alterações geométricas resultantes dos diferentes métodos de interpolação (krigagem) e da alteração da resolução espacial de 90 para 30 m.

A sub-bacia do Baixo rio dos Sinos foi a que apresentou as maiores diferenças de área entre as bases. A diferença na comparação EMBRAPA-TOPODATA chega a ser de 8.706 ha. Esse resultado está associado à dificuldade de delimitação dos divisores de água, de forma automática, em áreas baixas e de relevo muito plano, em virtude da baixa precisão vertical dos dados SRTM.

DIFERENÇAS NA EXTENSÃO DOS RIOS

Para a análise da extensão dos rios gerados a partir das bases SRTM, utilizou-se como referência a hidrografia vetorizada das cartas da DSG, em escala de 1:50.000. Nesta análise, as drenagens extraídas automaticamente dos dados SRTM não foram comparadas entre si, mas sim comparadas com a base da DSG, o que permitiu avaliar a qualidade dos modelos de elevação para esse tipo de medida (Tabela 4).

De acordo com os dados da Tabela 4, as maiores discrepâncias em relação à extensão dos rios ocorreram nas sub-bacias Alto, Médio e Baixo Sinos, mais planas, cujos rios apresentam mais meandros, com diferenças superiores a 10 km.

As estimativas de extensão do Arroio da Areia e do Baixo Rolante foram as que apresentaram menor discrepância com relação aos dados da DSG, em diferenças inferiores a 2,13 km em todas as drenagens

TABELA 3. Diferença de área (ha) das sub-bacias extraídas das bases SRTM NASA, TOPODATA e EMBRAPA, bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS.

Sub-bacia	Diferença de área (hectares)		
	NASA - TOPODATA	NASA - EMBRAPA	EMBRAPA - TOPODATA
Alto Rio Rolante	112	27	85
Baixo Rio Rolante	2	-38	40
Arroio da Areia	-42	-59	16
Rio da Ilha	32	-2	34
Rio Paranhana	-284	11	-296
Alto Rio dos Sinos	-12	3	-16
Médio Rio dos Sinos	133	22	111
Baixo Rio dos Sinos	-7.535	1.171	-8.706
Total da Bacia	-7.595	1.136	-8.732

TABELA 4. Diferença de extensão da drenagem (km) extraída das sub-bacias do rio dos Sinos/RS em relação à hidrografia das cartas da DSG.

Sub-bacia	Diferença de extensão dos rios (km)		
	DSG - NASA	DSG - EMBRAPA	DSG - TOPODATA
Alto Rolante	5,66	5,25	4,72
Arroio da Areia	1,07	2,13	1,76
Alto Sinos	23,29	23,40	22,98
Rio da Ilha	5,76	5,81	0,42
Rio Paranhana	8,57	7,94	5,57
Baixo Rolante	1,32	1,74	0,54
Médio Sinos	10,85	11,02	10,64
Baixo Sinos	30,33	30,81	29,33

extraídas. Trata-se de segmentos de drenagem mais retilíneos que os demais, ou seja, com poucos meandros, além das características morfométricas dessa região, de elevada declividade e vales bem encaixados, o que contribui para a representação mais precisa com dados SRTM.

Para todos os segmentos de rios das sub-bacias analisadas, há subestimação da extensão de drenagem, isto é, alguns meandros existentes na hidrografia da DSG não são bem delineados pelos dados SRTM. Segundo Valeriano (2006, 2008a, 2008b) 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.

Na maioria das sub-bacias a hidrografia gerada pela base TOPODATA possui valores de extensão mais semelhantes aos dados da DSG. Entretanto, esta semelhança não significa necessariamente que a drenagem extraída pelos dados TOPODATA represente melhor a hidrografia real (em termos de posição). O que na verdade ocorre é que a hidrografia proveniente dessa TOPODATA apresenta mais meandros do que as outras bases, devido à maior resolução espacial, gerando sinuosidades mais semelhantes às cartas da DSG.

A qualidade da drenagem extraída a partir dos dados SRTM também foi analisada por Paz & Collischonn (2008), que detectaram dois tipos de problemas principais: a) falha em representar meandros do rio considerados pequenos em relação à resolução espacial do modelo de elevação; b) sinuosidade artificial criada quando a largura do rio é maior do que a dimensão dos pixels do modelo de elevação. Segundo os autores, o primeiro problema é a principal causa da

subestimativa de comprimentos de rio (como pode ser observado na Tabela 4), enquanto o segundo problema leva à superestimativa dos comprimentos (caso da base TOPODATA).

DESLOCAMENTOS NA DRENAGEM: PRECISÃO DOS DADOS SRTM

A análise da precisão das redes de drenagens foi realizada com base no deslocamento apresentado pelas drenagens extraídas a partir dos produtos SRTM da NASA, EMBRAPA e TOPODATA em relação à hidrografia da DSG. A Tabela 5 apresenta os segmentos analisados, ordenados por ordem crescente de declividade, com seus respectivos índices de sinuosidade e os deslocamentos observados nas drenagens extraídas das bases SRTM.

Os maiores deslocamentos médios das drenagens extraídas foram observados no rio Tramandaí, situado na Planície Costeira, cujo deslocamento médio foi da ordem de 664 m e no Baixo rio dos Sinos, situado na planície fluvial adjacente ao Planalto Meridional, com deslocamento médio da ordem de 722 m. Tratam-se de segmentos de drenagem com largura, em geral, inferior ao pixel dos dados SRTM original (90 m), com alta sinuosidade e baixa declividade.

Com base nos dados apresentados na Tabela 5, foi possível identificar uma tendência de aumento no deslocamento das drenagens nas três bases SRTM à medida que diminui a declividade, cujo coeficiente de correlação (r) foi de -0,578. Esta tendência já havia sido mencionada no estudo de Oliveira et al. (2009).

A sinuosidade dos segmentos de drenagem também está bem relacionada com o deslocamento médio, com r de 0,744, isto é, à medida que aumenta a sinuosidade, observa-se também aumento no deslocamento das drenagens extraídas.

TABELA 5. Declividade, sinuosidade e deslocamento médio dos segmentos de drenagem analisados no estado do Rio Grande do Sul.

Segmento de Drenagem	Declividade	Índice de Sinuosidade	DmT (m)*	DmE (m)*	DmN (m)*	Dm (m)**
Rio Ibicuí	0,012%	1,43	325	483	109	306
Rio Tramandaí	0,012%	1,43	621	700	672	664
Baixo rio dos Sinos	0,015%	2,03	764	708	695	722
Médio rio dos Sinos	0,023%	1,69	457	510	476	481
Baixo rio Rolante	0,086%	1,59	433	361	387	394
Rio Paranhana	0,116%	1,44	192	157	149	166
Rio Maquiné	0,231%	1,25	231	232	238	234
Arroio Irapua da Pitangueira	0,449%	1,54	48	65	52	55
Arroio Irapuazinho do Borges	0,533%	1,36	76	61	76	71
Arroio Irapuazinho	1,426%	1,44	191	226	47	155
Alto rio Rolante	1,781%	1,35	81	91	82	85
Arroio do Salso (segmento 1)	1,910%	1,26	46	96	51	64
Arroio da Areia	1,913%	1,19	45	41	36	41
Arroio do Salso (segmento 2)	1,953%	1,12	28	32	31	30
Arroio Encantado	4,956%	1,36	32	70	50	51
Deslocamento Relativo***	-	-	322	365	246	-

*DmT, DmE e DmN: Deslocamento médio das drenagens extraídas TOPODATA, EMBRAPA e NASA, respectivamente;

**Dm: Deslocamento médio das drenagens extraídas das três bases SRTM;

***Deslocamento relativo se refere aos deslocamentos médios na drenagem, observados em cada base SRTM, ponderados pela extensão dos segmentos.

As Figuras 6 e 7 apresentam os ajustes realizados por regressão dos deslocamentos médios observados nas drenagens extraídas das bases SRTM em relação às declividades e sinuosidades. Nota-se um bom ajuste, principalmente no que diz respeito à declividade, o que permite estimar os erros com deslocamento de drenagem com os dados SRTM, a partir da declividade média dos cursos d'água.

A relação entre deslocamento médio e declividade pode ser verificada pelo valor de R^2 que é de 0,798, que demonstra o quanto a variável declividade pode explicar o deslocamento obtido com as drenagens extraídas. O R^2 obtido na regressão entre o deslocamento médio e sinuosidade foi de apenas 0,553, utilizando uma função linear simples, a qual apresentou os melhores resultados.

Alguns segmentos merecem destaque nessa análise. Embora os resultados demonstrem a existência de uma correlação, alguns trechos possuem valores discrepantes em relação aos demais resultados. O

segmento do rio Ibicuí, por exemplo, embora apresente valores semelhantes de declividade e sinuosidade em relação ao rio Tramandaí, possui um deslocamento médio (Dm) menor que o esperado.

Esse comportamento pode ser explicado pela largura do rio Ibicuí, que atinge aproximadamente 1.000 m em alguns trechos. Isso elimina o efeito dos diques, margens e do dossel das matas ciliares, que podem afetar ocasionalmente o aproveitamento dos dados SRTM para identificação de rios.

Esse fato pode ter influenciado numa melhor espacialização da drenagem, com um padrão mais próximo do verdadeiro curso do rio, sem as discrepâncias habituais nos trechos com pequena declividade. O deslocamento médio desse trecho foi de apenas 306 m, enquanto o deslocamento médio no rio Tramandaí foi de 664 m.

É importante ressaltar, entretanto, que o baixo deslocamento médio do segmento do rio Ibicuí, está diretamente relacionado com o valor obtido pela base

de elevação até inferiores aos observados ao longo de onde estaria a drenagem. Logo, há uma alteração do curso d'água e muitos meandros são ignorados na drenagem extraída.

É possível avaliar, a partir dos dados da Tabela 5, que a drenagem extraída da base de dados original, apresenta uma maior compatibilidade em relação à hidrografia da DSG, principalmente nas áreas mais planas, já que nas áreas mais declivosas os três produtos

apresentaram-se satisfatórios. Considerando a média dos deslocamentos das drenagens de todos os segmentos extraídos ponderada pela extensão dos mesmos, a drenagem extraída da NASA, apresenta a maior precisão, com 246 m de deslocamento. Apesar dos aprimoramentos realizados nas bases TOPODATA e EMBRAPA, ambas apresentaram deslocamentos maiores do que a base original, respectivamente, de 322 m e 365 m.

CONCLUSÕES

Neste estudo foram realizadas comparações entre as bases SRTM da NASA, EMBRAPA e TOPODATA, em relação à altimetria, delimitação de bacias e extensão dos rios, e avaliados os deslocamentos entre as drenagens extraídas dos dados SRTM e da base cartográfica da DSG.

As maiores diferenças altimétricas absolutas entre os três modelos de elevação SRTM ocorreram em áreas escarpadas da bacia do rio dos Sinos. No entanto, ao analisar a proporção das diferenças altimétricas, considera-se que estas são mais relevantes nas áreas baixas das planícies fluviais, principalmente se considerarmos a ocorrência de áreas de inundação.

Na comparação altimétrica entre as bases, as transformações realizadas pelo INPE, no projeto TOPODATA, alteraram em menor grau a base SRTM NASA.

Foi constatado um padrão de diferenças altimétricas em relação à orientação do relevo. As diferenças de altitude dos pixels do modelo SRTM-TOPODATA em relação às altitudes do SRTM NASA são pequenas e se dão na orientação leste-oeste. No SRTM-NASA e EMBRAPA, as diferenças de altitude são maiores e ocorrem, preferencialmente, na direção norte-sul.

Quanto à geometria das sub-bacias, as maiores diferenças foram para os dados TOPODATA que, de

modo geral, tiveram suas áreas superestimadas em comparação às outras duas bases.

Quanto aos erros associados ao cálculo de extensão dos rios, as maiores discrepâncias ocorreram nas sub-bacias mais planas, com rios sinuosos, com diferenças de extensão superiores a 10 km. Ocorre também um aumento no deslocamento das drenagens nas três bases SRTM, à medida que diminui a declividade e aumenta a sinuosidade dos rios, sendo que aproximadamente 80% do deslocamento médio das drenagens extraídas podem ser explicados pela declividade do rio. Foram obtidos resultados satisfatórios nos trechos de rio com declividade superior a 0,4%, com deslocamentos médios abaixo de 90 m.

A drenagem extraída do SRTM NASA apresentou a maior precisão, com 246 m de deslocamento médio. Apesar dos aprimoramentos realizados nas bases TOPODATA e EMBRAPA, ambas apresentaram deslocamentos maiores do que a base original, respectivamente, de 322 m e 365 m.

Com os resultados deste trabalho, o pesquisador/ usuário interessado em utilizar as bases SRTM compreende melhor algumas das limitações na extração de bacias e drenagens, e as diferenças que existem entre as bases analisadas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. 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, 2009, Corumbá. **Anais...** Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p. 51-61. CD-ROM on line, disponível em: <<http://www.geopantanal2009.cnptia.embrapa.br/cd/pdf/p118.pdf>> Acessado em 20nov2010.
2. ANDRADES FILHO, C.O.; GUASSELLI, L.A.; SUERTEGARAY, D.M.A. Identificação de deformações neotectônicas, através de imagens SRTM, e sua relação com a gênese dos areais, sudoeste do Rio Grande do Sul. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 2, p. 96-110, 2008.
3. BARROS, L.L. & STEINKE, V.A. Análise morfométrica automatizada para bacia do rio Maranhão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009, p. 4655-4661.
4. BRUBACHER, J.P.; OLIVEIRA, G.G.; GUASSELLI, L.A. Suscetibilidade de enchentes a partir da análise das variáveis morfométricas na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011, p. 1863-1870. DVD. ISBN: 978-85-17-00057-7.
5. COELHO, A.L.N. Uso de dados SRTM como ferramenta de apoio ao mapeamento geomorfológico de bacia de médio porte. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 2, p. 138-153, 2008.

6. CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia fluvial**. São Paulo: Edgard Blücher, 313 p., 1981.
7. 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.
8. GUASSELLI, L.A.; EVERS, H.; OLIVEIRA, M.G.; SUERTEGARAY, D.M.A. Definição de padrões de formas das vertentes relacionadas com a ocorrência de areais, através de dados geomorfométricos, em sub-bacias da Bacia Hidrográfica do Rio Ibicuí - RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, Natal. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009, p. 3867-3874.
9. GUIMARÃES, J.C.; SRINIVASAN, V.S.; RUFINO, I.A.A. Simulação Hidrosedimentológica, analisando dois MDEs, de duas pequenas sub-bacias no Cariri Paraibano utilizando o modelo SWAT. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 5, n. 1, p. 48-58, 2011.
10. HASENACK, H. & WEBER, E. (Orgs.). **Base cartográfica vetorial contínua do Rio Grande do Sul - escala 1:50.000**. Porto Alegre: UFRGS-IB - Centro de Ecologia. 2010. DVD-ROM (Série Geoprocessamento, 3).
11. LUERCE, T.D. ; OLIVEIRA, G.G. ; GUASSELLI, L.A. Análise da distribuição espacial e temporal das chuvas aplicada ao estudo de cheias na bacia hidrográfica do rio dos Sinos/RS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** Curitiba: SBSR, 2011, p. 5410-5417.
12. JENSON, S.K. & DOMINGUE, J.O. Extracting Topographic Structure from Digital Elevation Data for Geographic Information System Analysis. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 1988.
13. MARQUES H.G.; PENATTI, N.C.; PARANHOS FILHO, A.C.; FROELICH, 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, 15, 2011, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011, p. 1863-1870. DVD. ISBN: 978-85-17-00057-7.
14. MIRANDA, E.E.; (Coord.). **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpem.embrapa.br>>. Acessado em: 9nov2010.
15. OLIVEIRA, G.G.; GUASSELLI, L.A.; SALDANHA, D.L. Avaliação da qualidade da drenagem extraída a partir de dados SRTM. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 18, 2009, Campo Grande. **Anais...** Campo Grande, 2009, 2745-2751.
16. OLIVEIRA, G.G.; SALDANHA, D.L.; GUASSELLI, L.A. Espacialização e Análise das Inundações na Bacia Hidrográfica do Rio Cai/RS. **Geociências**, v. 29, n. 3, p. 413-427, 2010.
17. PAZ, A.R. & COLLISCHONN, W. Derivação de rede de drenagem a partir de dados SRTM. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 2, p. 84-95, 2008.
18. 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.
19. SILVA, D.R.V. & AMARO, V.E. Integração entre dados ópticos e radar (SRTM) para a caracterização geoambiental da costa setentrional do Rio Grande do Norte. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 2, p. 111-123, 2008.
20. STRAHLER, A.N. Dynamic basis of Geomorphology. **Geological Society of America Bulletin**, v. 63, p. 923-938, 1952.
21. TARBOTON, D.G.; BRAS, R.L.; RODRIGUEZ-ITURBE, I. On the Extraction of Channel Networks from Digital Elevation Data. **Hydrological Processes**, n. 5, p. 81-100, 1991.
22. VALERIANO, M.M. Modelo digital de variáveis morfológicas com dados SRTM para o território nacional: o projeto TOPODATA. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12, 2005, Goiânia. **Anais...** Goiânia, 2005, p. 1-8.
23. 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, 2008. (a)
24. VALERIANO, M.M. **TOPODATA: Guia de utilização de dados geomorfométricos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/topodata/data/TDkrig.pdf>> Acessado em: 9nov2010. (b)
25. VALERIANO, M.M. & ROSSETTI, D.F. **Potencial de exploração de dados SRTM na análise geomorfológica da Ilha do Marajó**. São José dos Campos, 2006. Disponível em: <sid.inpe.br/ePrint@80/2006/04.28.17.27>. Acessado em: mar2010.
26. VICTORIA, D.C.; HOTT, M.C.; MIRANDA, E.E., OSHIRO, O.T. Delimitação de Áreas de Preservação Permanente em topos de morros para o território brasileiro. **Revista Geográfica Acadêmica**, v. 2, n. 2, p. 66-72, 2008.

*Manuscrito Recebido em: 17 de novembro de 2011
Revisado e Aceito em: 19 de junho de 2012*