

AVALIAÇÃO COMPARATIVA DA QUALIDADE DA EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DE DRENAGENS A PARTIR DE DADOS SRTM PROVENIENTES DE DIFERENTES FONTES

Clódís de Oliveira Andrades Filho^{1,2}
Ericson Hideki Hayakawa^{1,2}
Bruno Rodrigues do Prado^{1,2}

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE

² Divisão de Sensoriamento Remoto - DSR

Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil

{ clodis, ericson, prado }@dsr.inpe.br

Resumo. A disponibilização dos dados SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) a partir de 2002 permitiu a obtenção de modelos digitais de elevação (MDEs) que contribuem em diversos ramos de conhecimento, em especial a geografia e a geociências. Dentre as aplicações, tem-se a possibilidade de utilizá-los para extração automática da rede de drenagem. Em regiões onde há carência de informações cartográficas, a exemplo da Amazônia, os MDEs e a rede de drenagem obtida automaticamente são importantes elementos para interpretação desse ambiente ainda desconhecido em suas particularidades. Entretanto, devido às diferentes fontes de dados SRTM, a rede de drenagem obtida automaticamente pode apresentar incompatibilidades entre si. Desta forma, este trabalho tem por objetivos: 1) obter automaticamente a rede de drenagem a partir das diferentes fontes de dados SRTM (Projeto TOPODATA, EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e USGS – *United States Geological Survey*) em duas áreas com diferentes características topográficas e; 2) avaliar a compatibilidade entre si das redes de drenagem extraídas automaticamente e em relação às drenagens de fontes oficiais (DSG - Diretoria de Serviço Geográfico do Exército e SIPAM/IBGE - Sistema de Proteção da Amazônia/ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. A obtenção automática da rede de drenagem baseou-se no emprego do utilitário Arc Hydro (pacote ArcGis 9.2). O procedimento metodológico consistiu na obtenção da rede de drenagem de duas áreas distintas. A primeira localiza-se no setor sudeste do Estado da Paraíba em terreno com considerável variabilidade de cotas altimétricas, e a segunda localiza-se na região Amazônica, próximo ao médio curso da margem esquerda do rio Madeira, em área de relevo predominantemente suave. A avaliação quantitativa e qualitativa baseando-se nas bases cartográficas oficiais da DSG e SIPAM/IBGE apontam diferenças expressivas na rede de drenagem extraída a partir das distintas bases, assim como quando comparadas as bases oficiais.

Palavras-chave: rede de drenagem automática, SRTM, MDEs

Abstract. From 2002 the availability of SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*) data enabled the acquisition of digital elevation models (DEMs) that contribute in various branches of knowledge such as geography and geosciences. Among the applications, has the possibility to use SRTM-DEMs to obtain automatic drainage network. In regions with deficient cartographic information, such as the

Amazon, the DEMs and the automatic drainage network are important elements to interpret this environment still unknown in its characteristics. However, due to different SRTM data sources, drainage network can have incompatibilities among them. Thus, this study aims to: 1) obtain automatic drainage network from different SRTM data sources (TOPODATA Project, EMBRAPA - Brazilian Agricultural Research Corporation and USGS - *United States Geological Survey*) in two areas with different topographic characteristics, 2) assess the compatibility between the automatic drainage network and with the drainages obtained by official sources (DSG – Directory of Geographic Service and SIPAM/IBGE (Amazon Protection System/Brazilian Institute of Geography and Statistics). Automatic drainage network was obtained from Arc Hydro applicative (ArcGis 9 package). The methodological procedure consisted in obtaining automatic drainage network in two distinct areas. The first is located in the southeast of the Paraíba State, which has variable topography, and the second is in the Amazonas State, near the middle course of the left bank of the Madeira River, in softly topography. The quantitative and qualitative analysis based on official data of DSG and SIPAM/IBGE show significant differences in the drainage network extracted from different databases, as well as when compared to the official databases.

Keywords. Automatic drainage network, SRTM, DEMs

1. Introdução

O mapeamento de canais e redes de drenagem e definição precisa da unidade espacial de bacia hidrográfica, são de fundamental importância no planejamento e gestão ambiental, bem como em projetos de manejo de bacias hidrográficas, zoneamentos ecológicos, programas de conservação de florestas, do solo, dentre outros. Um exemplo refere-se à conservação de recursos florestais, o qual está presente na legislação brasileira através do Código Florestal (Lei 4771/65) que prevê as Áreas de Preservação Permanentes (APPs). Dentre os critérios de delimitação destas áreas, estabelecidos na Resolução nº 303 do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente), a presença e dimensões de cursos d'água possuem papel decisivo, além de nascentes, lagoas, lagos e reservatórios.

Mapas de drenagem baseados em dados cartográficos em áreas do território brasileiro acham-se disponíveis em diferentes escalas, ou seja, diferentes níveis de detalhamento. Dessa forma, dependendo da área de interesse os dados cartográficos podem ser insuficientes para proceder análises com maior grau de detalhamento, por exemplo. Nesse contexto, a partir de manipulação do modelo digital de elevação (MDE), tornou-se mais prático a obtenção de mapas de rede drenagem, calcados, principalmente, na técnica de extração automática de drenagem. Diversos são os modelos e algoritmos apresentados na literatura para extração automática (p.e. Deffontaines e Chorowicz, 1991; Jenson e Domingue, 1988; Martz e Garbrecht, 1992; Meisels et al., 1995; Kervyn, 2001; Curkendall et al., 2003; Jordan et al., 2005; Rennó et al., 2008), sendo que estas técnicas avançaram principalmente através da junção de diferentes métodos elaborados.

Quanto a obtenção automática da rede de drenagem a partir de MDE, tem-se o disponível no aplicativo *ArcGis*, através do utilitário *ArcHydro* (Maidment, 2002), o qual se fundamenta no método D8. Este é baseado na determinação da direção de fluxo, que envolve análise para cada *pixel* de uma imagem *raster*, a partir das cotas altimétricas destes *pixels*, indicando para qual dos oito *pixels* vizinhos segue a drenagem (Figura 1-a), sendo atribuída uma única direção (Figura 1-b).

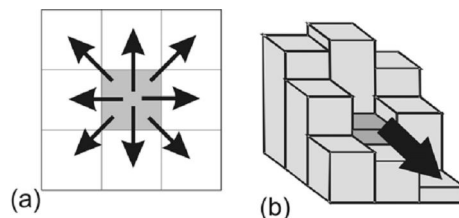


Figura 1 - Possibilidades entre pixels vizinhos (a), e direção de fluxo definida (b).

Devido aos diferentes aplicativos e algoritmos existentes, o método de extração automática pode variar conforme as peculiaridades de cada ferramenta utilizada. Outros fatores ligados as características inerentes ao MDE também podem influenciar na obtenção automática da rede de drenagem. Dentre eles, citam-se: a técnica de obtenção dos dados de altimetria, resolução espacial, espaçamento de *pixel*, consistência hidrológica, bem como a própria variação topográfica dentro do recorte espacial utilizado.

A partir da disponibilização de dados de sensoriamento remoto obtidos pela *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) para América do Sul em 2002, aumentou significativamente a frequência de trabalhos que incorporaram a extração automática de rede de drenagem como forma de dinamizar e obter maior detalhamento no mapeamento de drenagens. No entanto, pouco se tem conhecimento da compatibilidade das redes de drenagem extraídas automaticamente com as drenagens efetivamente identificadas e mapeadas em cartas topográficas e demais bases oficiais cartográficas. Além disso, os dados SRTM para o território nacional estão disponíveis em diferentes fontes na rede mundial de computadores. Dentre as fontes, destacam-se a USGS (*United States Geological Survey*), a EMBRAPA (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária) e o Projeto TOPODATA. Tais fontes disponibilizam os dados como produtos de diferentes processamentos digitais e assim, os MDEs obtidos a partir destes dados podem apresentar diferenças significativas em relação às informações extraídas. Nesse sentido, este trabalho possui dois objetivos: 1) obter automaticamente a rede de drenagem a partir das diferentes fontes de dados SRTM (Projeto TOPODATA, EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária e USGS – *United States Geological Survey*) em duas áreas com diferentes características topográficas e; 2) avaliar a compatibilidade entre si das redes de drenagem extraídas automaticamente e em relação às drenagens de fontes oficiais (DSG - Diretoria de Serviço Geográfico do Exército e SIPAM/IBGE - Sistema de Proteção da Amazônia/ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística).

2. Material e Método

A base de dados levantada para esta pesquisa corresponde a duas porções do território nacional, uma localizada na Região Norte e a outra no Nordeste do Brasil. O volume de dados abrange os MDEs da SRTM obtidos em diferentes fontes, bases cartográficas e pacotes de SIG (Sistema de Informação Geográfica).

2.1 Área de estudo

Os dois recortes espaciais utilizados localizam-se no leste do Estado da Paraíba (Figura 2) e no sudeste do Estado do Amazonas (Figura 3). Estes terrenos são topograficamente distintos, sendo que a área com maior amplitude altimétrica (214 m) corresponde à porção da Região Nordeste. Já a porção localizada no interior da Região Norte possui amplitude altimétrica de 153 m. No que diz respeito à dimensão das duas áreas, estas preservam extensões semelhantes. O setor nordestino ocupa 950 km² de área e 126 km de perímetro, já o setor nortista abrange 960 km² de área e 133 km de perímetro.

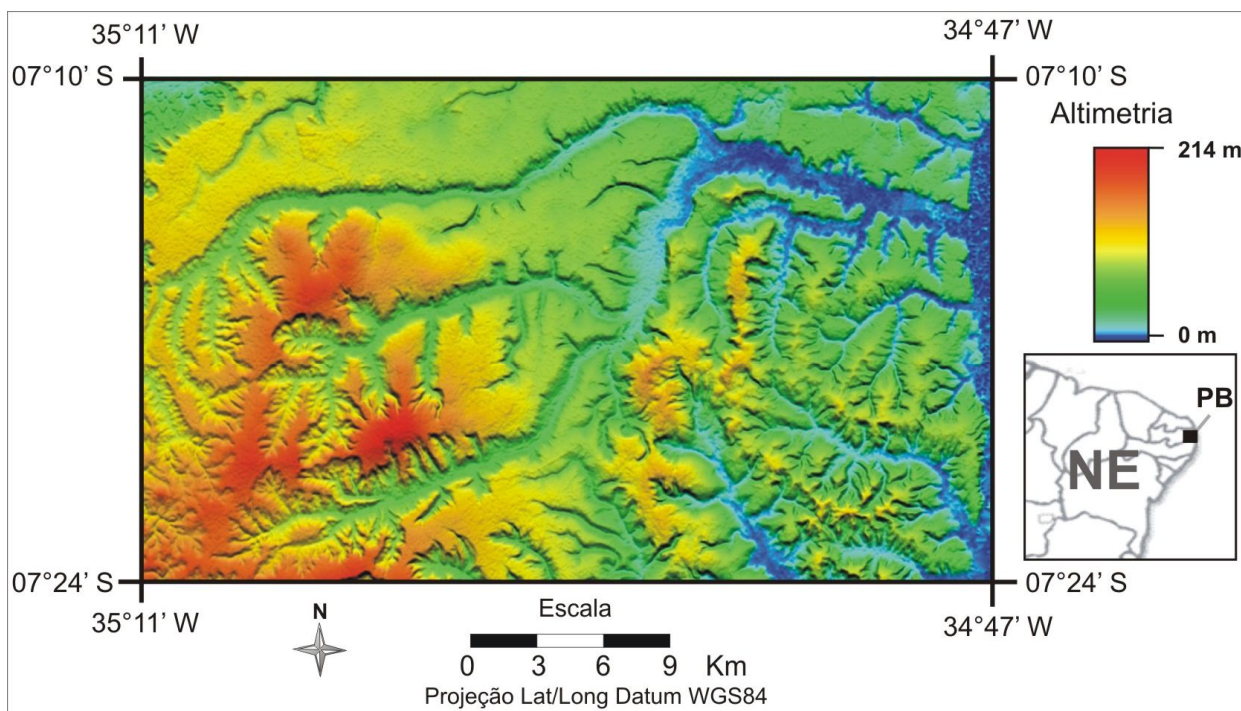


Figura 2. Representação da altimetria da área de estudo na porção leste do Estado da Paraíba.

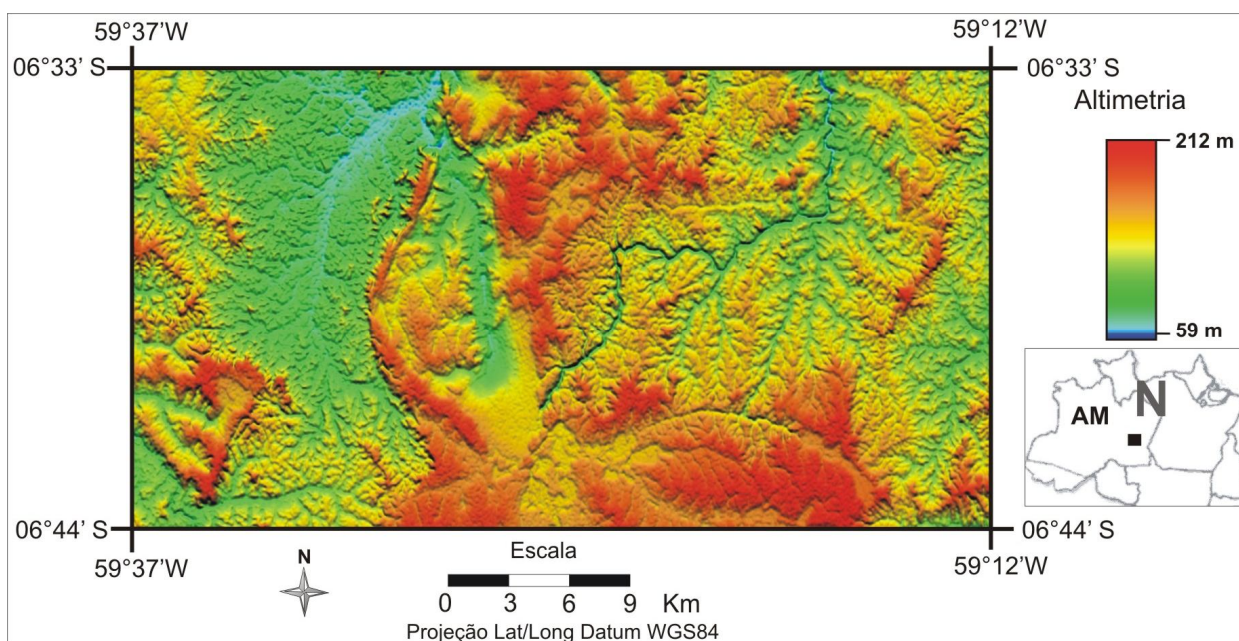


Figura 3. Representação da altimetria da área de estudo na porção sudeste do Estado do Amazonas.

2.2 Ferramentas e dados utilizados

Os dados de sensoriamento remoto utilizados neste trabalho são provenientes da missão SRTM (*Shuttle Radar Topography Mission*), desenvolvida em parceria, pela NASA, o Centro Aeroespacial Alemão (DLR) e a Agência Espacial Italiana (ASI). Este sistema radar operou baseando-se na técnica de interferometria a fim de obter dados para elaborar um modelo digital de elevação em escala quase global. Modelos interferométricos são obtidos por um sistema que possui dois pontos ligeiramente diferentes para a tomada de dados de elevação da superfície. Em banda C, este sistema cobriu aproximadamente 80% da superfície terrestre, e os dados obtidos estão disponibilizados em resolução espacial de 3 arco de segundo (~ 90 m) para América do Sul. Os valores de elevação (z) são expressos em metros inteiros, e o *datum* e o elipsóide de referência são WGS84, a acurácia vertical absoluta e a acurácia relativa do MDE é de aproximadamente 16 m, e 6 m, respectivamente (Rabus, 2003).

Neste trabalho as diferentes fontes de dados SRTM foram obtidas na rede mundial de computadores através dos sítios da USGS, EMBRAPA e o Projeto TOPODATA. O modelo digital de elevação da SRTM distribuído pelo governo norte-americano está disponível, em formato .hgt, no sítio da USGS (<http://srtm.usgs.gov/data/obtainingdata.html>). Salienta-se que esses dados possuem imperfeições as quais são representadas por presença de falsas depressões, picos anômalos, além da ocorrência de áreas/pontos com ausência de informação (Miranda, 2005). O dado disponível pela EMBRAPA, no endereço eletrônico <http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>, possui o mesmo valor de espaçamento de *pixel* (~ 90 m) que o dado da USGS. Este modelo possui uma série de processamentos computacionais que englobam correções de cortes e preenchimentos (“corte/aterro”) com patamares altimétricos bem definidos, além de interpolações e produção de dados vetoriais. Parte do procedimento de correção dos dados SRTM pautou-se na utilização de MDEs disponibilizados pela

FAO/UNEP (*Food and Agriculture Organization/United Nation Environmental Program*). Estes MDEs foram utilizados principalmente no preenchimento dos pontos/áreas sem informação e das grandes depressões não condizentes com a realidade e a remoção de picos. É importante destacar que o método de interpolação utilizado considerou vários aspectos das superfícies naturais, principalmente os elementos ligados a hidrografia, ou seja, os modelos possuem consistência hidrológica (Miranda, 2005).

Os dados disponíveis do TOPODATA (<http://www.dpi.inpe.br/topodata/data/grd/>) também sofreram correções no sentido de inclusão de informação em pontos/áreas com ausência de dado. Ademais, este MDE passou por um processamento computacional o qual promoveu o refinamento no tamanho da célula (*pixel*). Dessa forma, o dado do TOPODATA apresenta células com espaçamento de ~30m, ao contrário dos dois modelos citados anteriormente. Este refinamento foi realizado a partir de interpolação de todo universo de dados pelo método de *krigagem*. Este processo baseia-se na análise geoestatística da variabilidade dos dados, onde se definem coeficientes que melhor respondem ao modelo de superfície real. Portanto, a *krigagem* necessita, além dos dados de entrada, as informações geoestatísticas (coeficientes) que controlam a distribuição dos pesos para o cálculo dos valores interpolados, e assim este método oferece flexibilidade para comportar as características espaciais dos dados (Valeriano e Rossetti, 2008).

As bases cartográficas utilizadas para verificar a compatibilidade entre as redes de drenagem cartografadas em relação a extração automática estão compatíveis com a escala 1:100 000. Estas bases correspondem a Folha de João Pessoa SB-25-Y-C-III (DSG/IBGE) e a base vetorial de drenagem disponibilizada originalmente pelo SIPAM (dado não publicado), correspondentes respectivamente a porções do Estado da Paraíba e Amazonas. As ferramentas utilizadas para extração automática de drenagem e análise dos resultados são, respectivamente, o utilitário *ArcHydro Tools* inserido no pacote *ArcGis* 9.2, e o *SPRING* 4.3.3.

2.3 Extração automática de drenagem

A etapa de extração automática da rede de drenagem foi executada com base nos MDEs das diferentes bases escolhidas com utilização da ferramenta *ArcHydro Tools*, obedecendo os seguintes procedimentos: i) aplicação do comando “*fill sinks*”, que confere a consistência da drenagem, eliminando possíveis áreas de sumidouros que ocasionam retenção de fluxo; ii) cálculo da direção de fluxo (*flow direction*), baseado no método D8; iii) obtenção da matriz com acumulação de fluxos; iv) geração da rede de drenagem, onde é definido o tamanho mínimo de bacia hidrográfica através da indicação do número de células pelo usuário; v) segmentação de rede de drenagem; vi) delimitação da grade de bacias; vii) conversão da grade para formato vetorial, obtendo os limites das bacias na forma de vetor; viii) conversão da rede de drenagem na forma matricial em vetorial; ix) conexão entre os canais e as bacias. Estas etapas estão sintetizadas na Figura 4.



Figura 4. Etapas da extração automática de drenagens.

O resultado da aplicação destes procedimentos é a geração de linhas de drenagem no formato *.shape*. A etapa que exige maior interferência do usuário corresponde ao cálculo de direção de fluxo, visto que é necessário que o limiar (número de células) indicado corresponda ao nível de detalhamento pretendido. Nesta fase, foram realizados testes para observar o limiar que geraria uma rede de drenagem compatível com a escala 1:100 000. O valor escolhido foi de 100 *pixels* para os MDEs correspondentes as bases da USGS e EMBRAPA, e o valor de 900 *pixels* para a base obtida no Projeto TOPODATA. Esta diferença entre os valores ocorreu devido à condição distinta de espaçamento de *pixel* da base do TOPODATA em relação às demais. Assim, uma área referente a um *pixel* dos MDEs as bases USGS e EMBRAPA representa nove vezes a área de um *pixel* da base TOPODATA. Esta medida assegura a consistência nos procedimentos e a compatibilidade entre os resultados para posterior comparação.

2.4 Análise quantitativa e qualitativa

A análise comparativa do universo de dados extraídos teve alicerce em informações numéricas e visuais, ou seja, uma abordagem quantitativa calcada nas intersecções entre as informações obtidas, e uma abordagem qualitativa baseada na sobreposição de planos de informação para execução de análise visual. Na análise quantitativa as ferramentas de medidas de classe e tabulação cruzada foram utilizadas para geração de tabelas. Pela medida de classes foram obtidas informações básicas da

totalidade de *pixels* “drenados”, número de linhas de drenagem e comprimento total de cursos d’água, para cada plano de informação. Já a operação de tabulação cruzada permitiu o cálculo da área de intersecção entre pares de planos de informação, de natureza matricial, referentes à rede de drenagem. Para tanto, é necessário que todos planos de informação apresentem a mesma resolução espacial horizontal e vertical e mesmo número de linhas e colunas (*pixels*), além de compreender as mesmas coordenadas no terreno. Portanto, para executar esta etapa, todos os planos de informação tiveram que passar por um processo de conversão do formato vetorial para o formato matricial (varredura). No processo de conversão foi definido como resolução horizontal vertical e horizontal da imagem de saída o valor de 90 m, compatível com a base original dos dados SRTM.

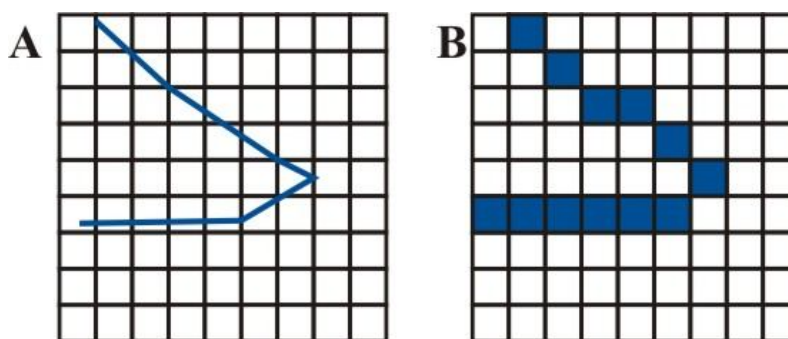


Figura 5. Representação da conversão de uma linha no formato vetorial (A) para formato matricial (B).

Na análise qualitativa a sobreposição dos planos de informação das redes de drenagem, de natureza vetorial, foi realizada com intuito prioritário de identificar visualmente os setores que apresentam incompatibilidades entre as drenagens, tanto provenientes dos MDEs, como das bases cartográficas oficiais.

3. Resultados

Os resultados estão estruturados em dados quantitativos e qualitativos, representados a partir de tabelas, gráficos, espacializações e descrições. Primeiramente, são indicadas as análises comparativas entre as informações obtidas dos MDEs provenientes da USGS, EMBRAPA e TOPODATA. No segundo momento é realizada a discussão em relação às análises de compatibilidade das redes de drenagem extraídas automaticamente e redes de drenagem mapeadas nas bases oficiais com escala 1:100 000.

3.1 Comparação entre informações provenientes dos MDEs

Em relação a informações básicas de cada rede de drenagem extraída automaticamente destacamos o comprimento total de cursos d’água, número de segmentos de drenagem e totalidade de “*pixels*” drenados, referentes aos dois recortes espaciais considerados (Tabela 1 e Tabela 2).

Tabela 1. Informações básicas da rede de drenagem para o setor do Estado da Paraíba.

Bases \ Drenagens	Comprimento total (km)	Nº de segmentos	Total de “ <i>pixels</i> ” drenados
USGS	709,84	604	6703
EMBRAPA	708,24	600	6690
TOPODATA	708,48	627	6937

Tabela 2. Informações básicas da rede de drenagem para o setor do Estado do Amazonas.

Bases \ Drenagens	Comprimento total (km)	Nº de segmentos	Total de “ <i>pixels</i> ” drenados
USGS	715,76	622	6852
EMBRAPA	710,17	618	6744
TOPODATA	707,92	631	7011

Primeiramente, os dados contidos na Tabela 1 e Tabela 2, referentes aos dois recortes espaciais, indicam a viabilidade da comparação proposta no trabalho, visto que dentro das variáveis consideradas não existem valores que destoam do comportamento do conjunto. Explorando as sensíveis diferenças entre os dados, observa-se que nos dois recortes espaciais, a base da USGS apresentou maior comprimento total de canais de drenagem. No entanto, no que diz respeito ao número total de segmentos e de “*pixels*” drenados, a base do TOPODATA que apresentou os maiores valores e a base da EMBRAPA os menores. No contexto geral, sabendo-se que as áreas dos recortes são as mesmas, constata-se que a densidade e frequência de drenagem, a partir das diferentes bases, são muito semelhantes.

As diferenças entre os produtos dos distintos MDEs ficam mais precisas e evidentes a partir dos resultados de tabulação cruzada, ou seja, das intersecções entre os planos de informação. Estes resultados estão representados em porcentagens, sendo esta a forma de indicação do grau de conformidade entre as bases comparadas. De modo geral, observa-se que as redes de drenagens extraídas pelas bases da USGS e EMBRAPA possuem maior conformidade entre si (88,18% e 87,13%), em relação à comparação destas com a base do TOPODATA (Figura 6 – A e Figura 6 – B). No entanto, esta diferença é mais evidente no recorte espacial localizado na Paraíba, onde a discrepância chega a entorno de 28%.

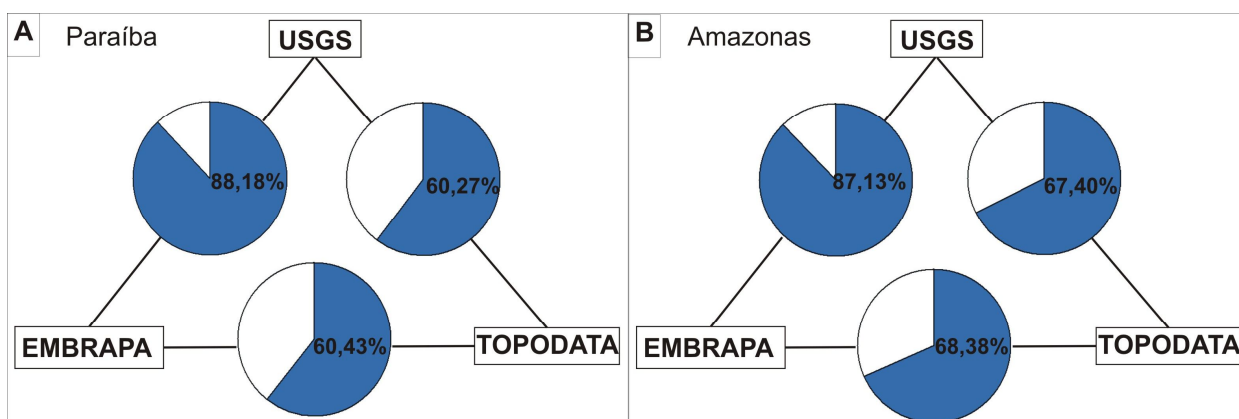


Figura 6. Porcentagem de conformidade entre as redes de drenagem extraídas automaticamente na Paraíba (A) e Amazonas (B) a partir das diferentes bases.

Em relação à análise visual, constata-se que nos dois recortes espaciais há um alto grau de sobreposição entre as informações. No entanto, algumas discrepâncias são observadas em setores localizados e estas são marcadas, principalmente, por um deslocamento de segmentos de drenagem. Em menor ocorrência, também se observa a omissão ou comissão de segmentos de drenagem na relação entre as três bases. As sobreposições estão representadas na Figura 7 – A, B, C e D, e na Figura 8 – A e B. Na visualização destas sobreposições, foi adotada a posição da rede de drenagem do produto TOPODATA em primeiro plano, visto que os dados quantitativos indicam que esta base apresenta maior discordância em relação às bases da USGS e EMBRAPA.

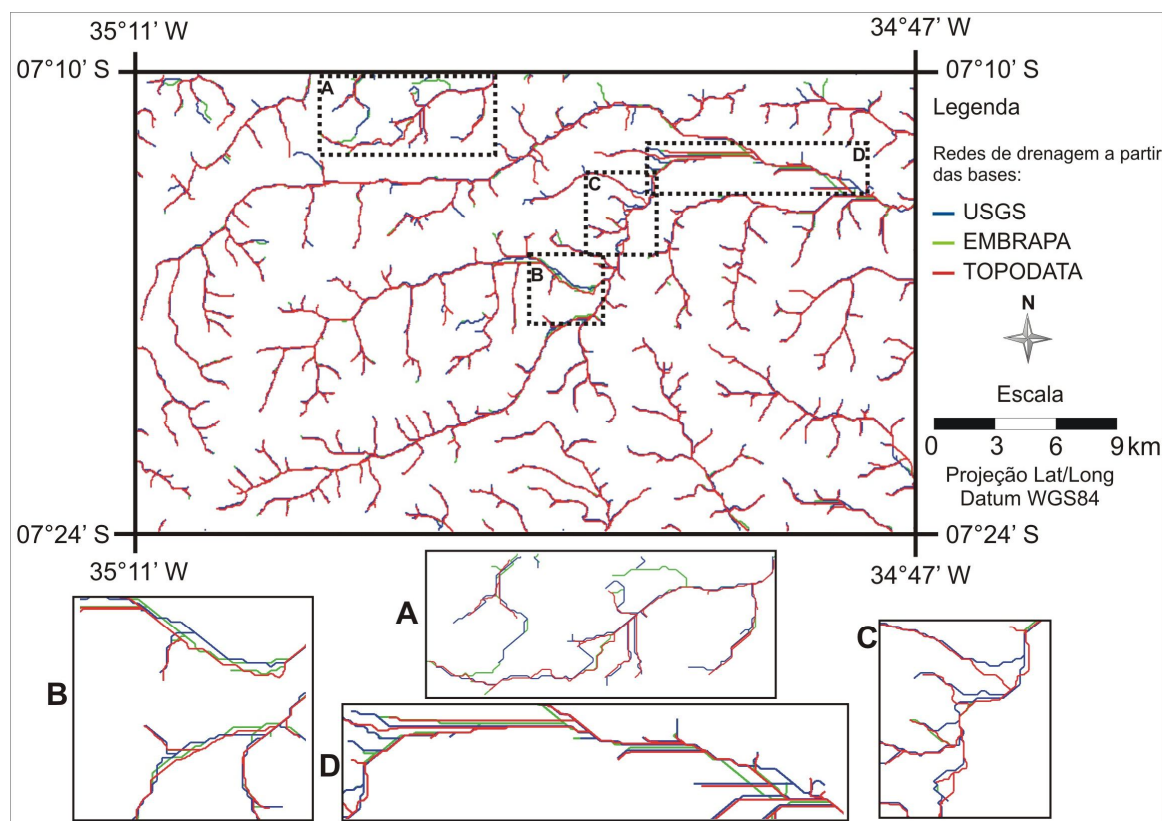


Figura 7. Recorte espacial no Estado da Paraíba. Sobreposição das redes de drenagem obtidas pelos diferentes MDEs. A, B, C e D) Discrepâncias identificadas entre as redes de drenagem.

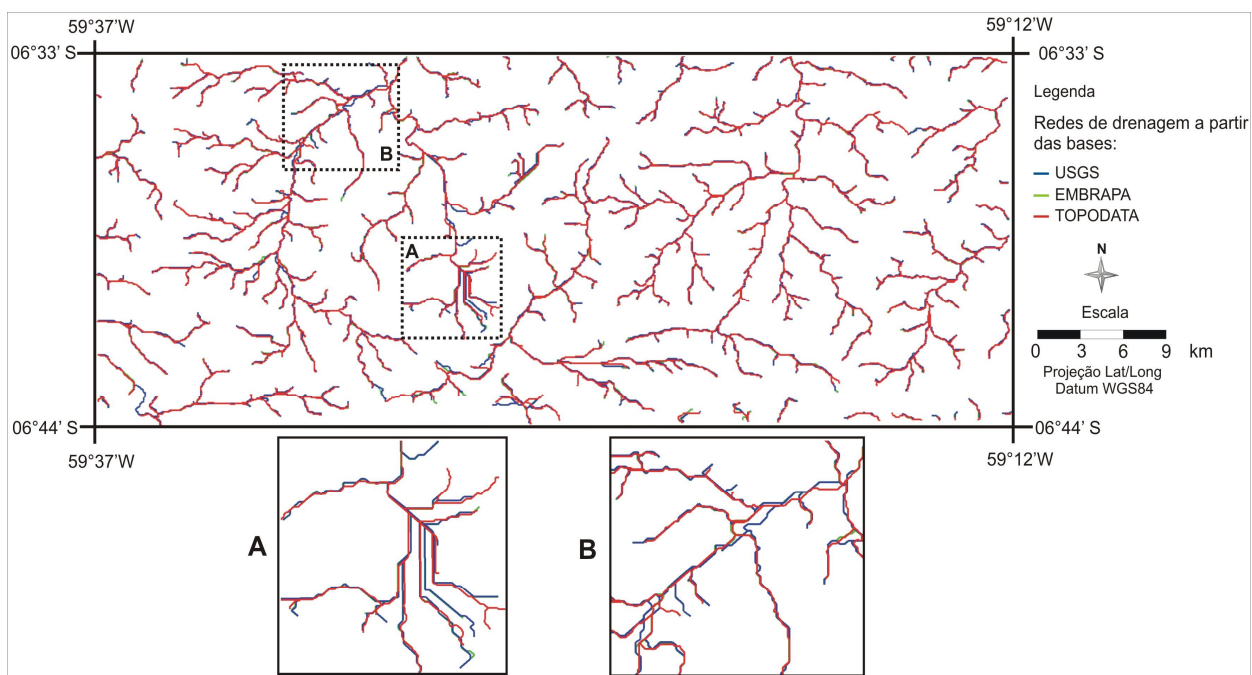


Figura 8. Recorte espacial no Estado do Amazonas. Sobreposição das redes de drenagem obtidas pelos diferentes MDEs. A e B) Discrepâncias identificadas entre as redes de drenagem.

3.2 Comparação entre informações provenientes dos diferentes MDEs e bases oficiais

Os dados quantitativos obtidos pela tabulação cruzada indicam uma baixa conformidade entre as redes de drenagem obtidas pelo método automático e as redes de drenagem efetivamente mapeadas. De modo geral, as porcentagens de conformidade para todas as bases de referência em relação à base oficial, tiveram valores muito semelhantes dentro dos devidos recortes espaciais (Figura 9 – A e B). Na área correspondente ao setor da Paraíba o grau de conformidade entre as bases (~ 44% e 45%) foi significativamente maior que no setor amazônico (~26%). Os valores obtidos nas duas áreas não permitem apontar, quantitativamente, uma base de MDE que apresente maior conformidade com a rede de drenagem mapeada em dados oficiais. No entanto, nesta abordagem mais minuciosa, de caráter quantitativo, os reduzidos valores de conformidade obtidos permitem constatar a reduzida compatibilidade entre a rede de drenagem extraída a partir dos MDEs e as bases oficiais.

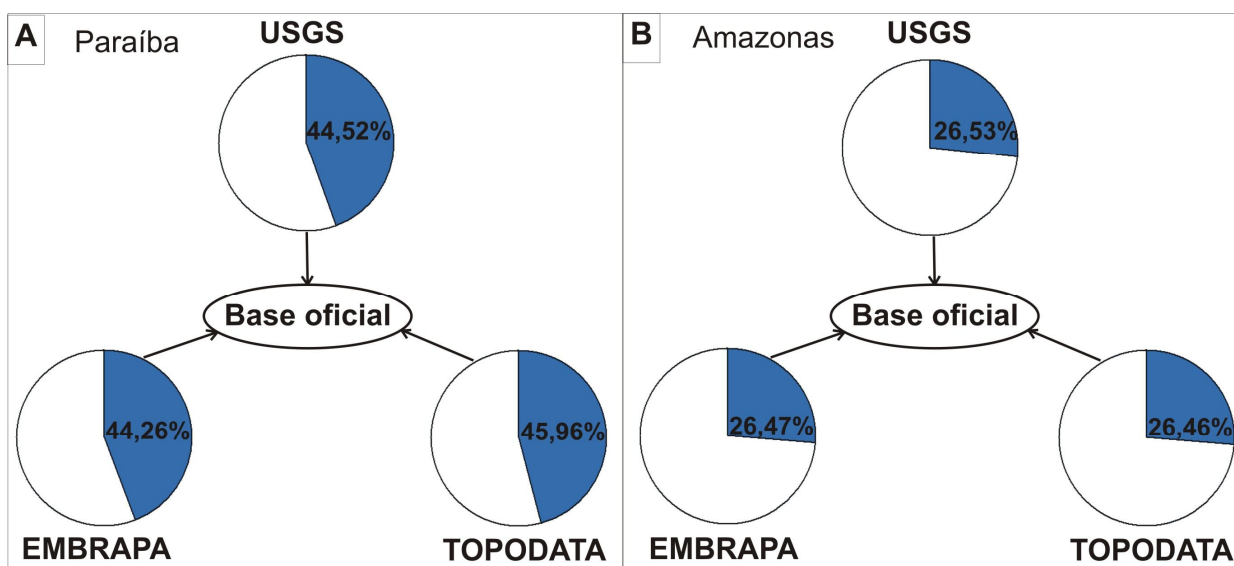


Figura 9. Porcentagem de conformidade entre as redes de drenagem extraídas automaticamente a partir das diferentes bases, e as bases oficiais na Paraíba (A) e Amazonas (B).

A análise visual, assim como nas comparações somente entre os resultados dos MDEs (ver item 3.1), apresentou considerável compatibilidade na sobreposição entre as redes de drenagem obtidas automaticamente e as bases oficiais. No entanto, constata-se um número expressivo de setores com grande discrepância entre as linhas de drenagem. No setor da Paraíba, as maiores diferenças estão relacionadas a setores com presença de segmentos de drenagem que estão definidos na extração automática, mas não estão mapeados nas bases oficiais (Figura 10 – A). Assim como existem setores que a base cartográfica oficial aponta a presença de segmentos de drenagem, e estes segmentos não foram definidos na extração automática de drenagem (Figura 10 – B). No setor do Amazonas, também são encontradas as discrepâncias de mesma natureza do setor nordestino (Figura 10 – B), no entanto, destacam-se setores com expressivos deslocamentos das redes extraídas automaticamente e as drenagens mapeadas na base oficial (Figura 10 – A).

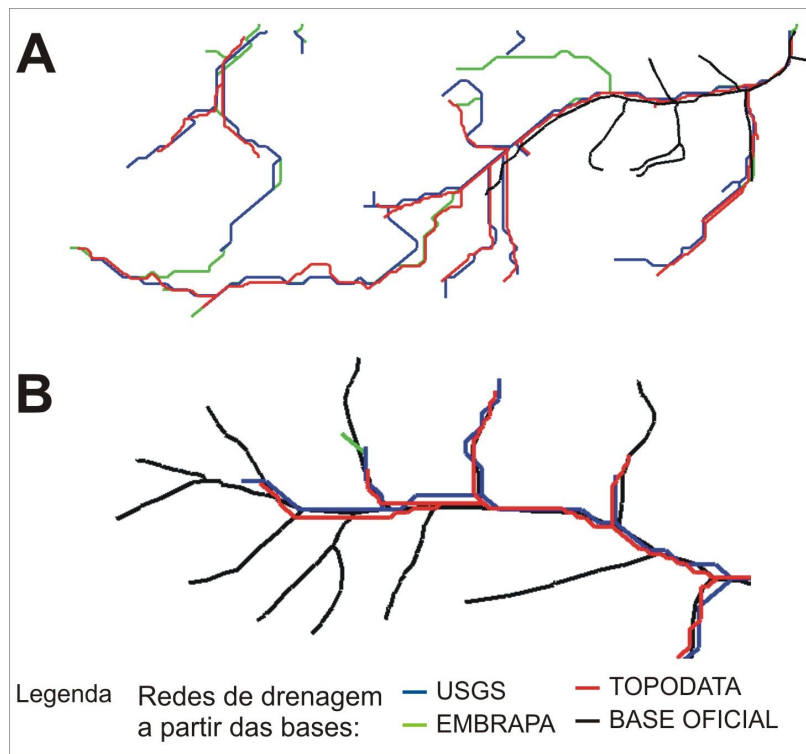


Figura 10. Setores no recorte espacial no Estado da Paraíba. Sobreposição das redes de drenagem obtidas pelos diferentes MDEs e a base oficial. A e B) Discrepâncias identificadas entre as redes de drenagem.

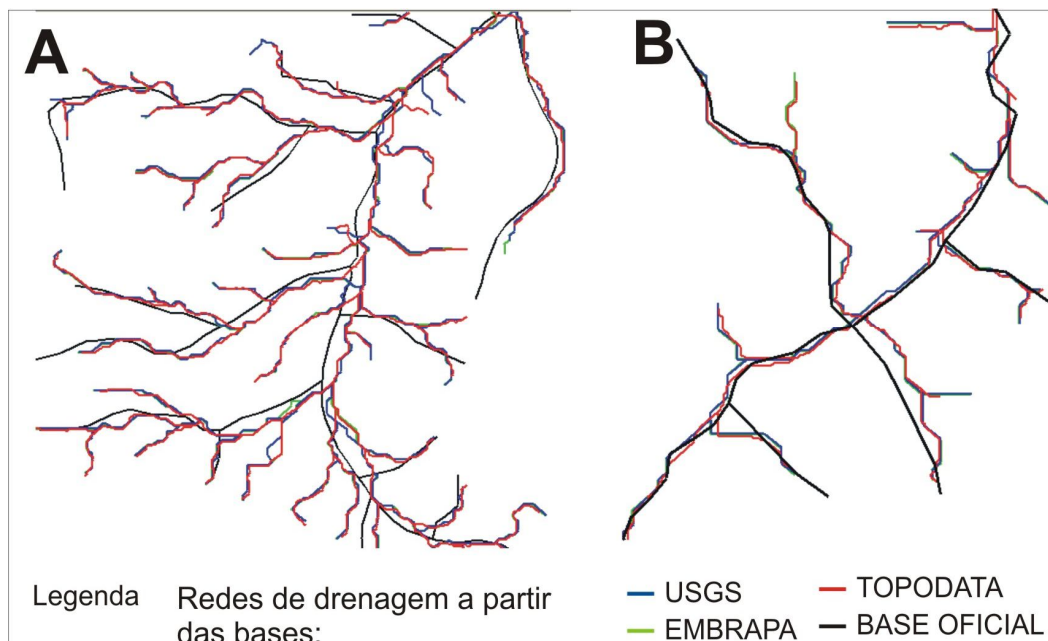


Figura 11. Setores no recorte espacial no Estado da Paraíba. Sobreposição das redes de drenagem obtidas pelos diferentes MDEs e a base oficial. A e B) Discrepâncias identificadas entre as redes de drenagem.

4. Conclusões

Os procedimentos adotados foram efetivos no cumprimento dos dois objetivos gerais da investigação. A iniciativa de análise por abordagem quantitativa e qualitativa demonstrou que é fundamental o levantamento e trabalho de dados com essa natureza, de forma que é possível associar e contrapor resultados, além de direcionar uma análise mais apurada dos dados qualitativos, tendo como base os dados obtidos a partir da análise quantitativa.

A análise comparativa entre as redes de drenagem extraídas pelo método automático demonstrou que a base obtida pelo TOPODATA possui expressiva diferença em relação à base da USGS e EMBRAPA. Já estas duas últimas bases, possuem uma conformidade de aproximadamente 88% em relação às redes de drenagem obtidas, tanto para a área costeira no Estado da Paraíba, quanto à porção do Estado do Amazonas. Portanto, dentro de um mesmo projeto, não é aconselhado a elaboração de mapas de drenagem obtidos a partir de MDE que utilize concomitante as diferentes bases (USGS, EMBRAPA e TOPODATA). Tais diferenças ficam mais evidentes a partir da exploração de dados quantitativos, visto que a partir da visualização das informações sobrepostas é necessária uma verificação em detalhe das discrepâncias entre os dados.

Na análise comparativa entre as redes extraídas automaticamente e as bases cartográficas oficiais, constatou-se expressiva diferença entre os dados, evidentes principalmente pela quantificação da conformidade entre estes e representadas também na análise das sobreposições. Nesse sentido, não é possível apontar a fonte do dado SRTM que apresenta um maior grau de conformidade com as drenagens efetivamente mapeadas. Este fato se deve aos semelhantes e baixos valores obtidos na análise conformidade, não ultrapassando a faixa de aproximadamente 45 %. Portanto, para os dois recortes espaciais utilizados, existe uma expressiva diferença entre as bases cartográficas oficiais e os dados advindos de sensoriamento remoto. No entanto, é importante destacar que a escolha pela utilização da extração automática da rede de drenagem depende diretamente da natureza, grau de detalhe, acuidade e tempo disponível para o estudo a ser implementado. Nesse sentido, esta técnica pode colaborar na dinamização do trabalho do usuário, que pode obter melhores resultados tendo conhecimento das potencialidades e limitações da técnica.

5 Referências bibliográficas

Curkendall, D.; Fielding, E. J.; Cheng, T.; Pohl, J. M. A. Computational-Grid based system for continental drainage network extraction using SRTM digital elevation models, 3., In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PARALLEL PROCESSING WORKSHOPS, 3., 2003, p. 181, Kaohsiung, Taiwan. **Proceeding...** Kaohsiung, Taiwan: IEEE Computer Society, 2003. p. 181.

Deffontaines, B.; Chorowicz, J. Principles of drainage basin analysis from multisource data: Application to the structural analysis of the Zaire Basin. **Tectonophysics**, v. 194, n. 3, p. 237-263, Aug, 1991.

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, Nov - 1988.

Jordan, G.; Meijninger, B.M.L.; Van Hinsbergen, D.J.J.; Meulenkamp, J.E.; Van Dijk, P.M. Extraction of morphotectonic features from DEMs: Development and application for study areas in Hungary and Grece. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, n. 7, p. 163–182, 2005.

Kervyn, F. Modelling topography with SAR interferometry: illustrations of a favourable and less favourable environment. **Computers & Geosciences**, v. 27, n. 4, p. 1039-1050, Nov-2001.

Maidment, D. **ArcHydro: GIS for Water Resources**. Redlands, CA: ESRI, 2002.

MARTZ, L.W.; GARBRECHT, J. Numerical definition of drainage networks and subcatchment areas from digital elevation models. **Computers & Geosciences**, v. 18, n. 6, p. 747 – 761, Jul - 1992.

Meisels, A.; Raizman, S.; Karnieli, A. Skeletonizing a DEM into drainage network. **Computers & Geosciences**, v. 21, n. 1, p. 187-196, Feb - 1995.

Miranda, E. E. de; (Coord.). **Brasil em Relevô**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2005. Disponível em: <<http://www.relevobr.cnpm.embrapa.br>>. Acesso em: 2 nov. 2008.

Rabus, B.; Eineder, M.; Roty, A.; Bamler, R. The Shuttle Radar Topographic Mission: a new class of digital elevation models acquired by spaceborne radar. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 57, p. 241-262, 2003.

Rennó, C. D.; Nobre, A. D.; Cuartas, L. A.; Soares, J.V.; Hodnett, M.G.; Tomasella, J.; Waterloo, M.J. Hand, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: Mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, p. 3469-3481, 2008.

Valeriano, M. M.; Rossetti, D. F. **TOPODATA: seleção de coeficientes geoestatísticos para o refinamento unificado de dados SRTM**. São José dos Campos: INPE, 2008. On line. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/topodata/data/TDkrig.pdf>. Acesso em: 10 Jan. 2008.