

Avaliação do efeito de escala nos traçados e na caracterização física do rio Paraíba-PB a partir do MDE do SRTM

Alzira Gabrielle Soares Saraiva¹

Adriano Rolim da Paz²

Clara Tavares Gadelha³

¹ Mestranda em Engenharia Civil e Ambiental pela UFPB, João Pessoa - Paraíba, Brasil, CEP: 58051-900
saxzira@yahoo.com.br

² Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, do Centro de Tecnologia da UFPB, João Pessoa - Paraíba, Brasil, CEP: 58051-900
adrianorpaz@yahoo.com.br

³ Graduada em Geoprocessamento pelo IFPB e graduanda em Engenharia Civil pela UFPB, João Pessoa - Paraíba, Brasil, CEP: 58051-900
gadelha.clara@gmail.com

Abstract. Digital Elevation Models (DEM) are the primary source of information for analysing several characteristics of watersheds and river courses. Several products may be derived from DEM, like flow directions, flow accumulated area, drainage networks and length and slope of river reaches. If these information are to be produced in a spatial resolution lower than the available DEM, two distinct procedures may be used: DEM aggregation and flow directions upscaling. The former is based on resampling the original DEM to the lower resolution and then processing it as usual. The second approach uses specific algorithms for obtaining the low resolution flow direction grid based on the higher resolution flow direction and flow accumulated area. This paper analysis the impact of using these two procedures for deriving low-resolution drainage networks in the Paraíba river basin (located in Paraíba state, Brazil). Results are evaluated in terms of basin delineation, drainage networks flow paths and length and sinuosity of main river reaches, relatively to vector drainage network obtained by manually digitizing over Landsat images. The upscaling procedure obtained the closest results relatively to the reference vector drainage network, in terms of flow path and also in terms of the derived river characteristics (river length and sinuosity).

Palavras-chave: drainage network, flow directions upscaling, resampling, rede de drenagem, upscaling de direções de fluxo, reamostragem

1. Introdução

Os dados topográficos são usualmente obtidos por imagens de radar sob a forma de Modelos Digitais de Elevação (MDE) que possuem dados da altimetria do terreno (Burrough e McDonnell, 1998). A maioria dos estudos científicos tem utilizado imagens do Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) que são disponibilizados na forma de grade numérica para quase todo o globo com resolução espacial de 90 m e para os EUA na resolução 30 m (Farr et al., 2007; Florenzano, 2008). Esses podem ser gratuitamente acessados no site da Agência Espacial Norte Americana (NASA). Esses dados são utilizados para derivar direções de fluxo e áreas acumuladas de drenagem para obtenção da rede de drenagem, plano de informação utilizado em diversas pesquisas (Silva e Ewen, 2000; Paz e Collischonn, 2007; Silva e Pinheiro, 2010). Constituem uma das principais fontes de dados para a caracterização de bacias hidrográficas, o qual tem ocorrido de forma bastante prática, devido a maior divulgação e facilidade de utilização de ferramentas de geoprocessamento.

A praticidade encontrada para utilização do MDE em vários trabalhos científicos traz benefício e rapidez na obtenção das informações, mas muitas vezes acaba induzindo à desconsideração de erros sistemáticos associados a esse procedimento. Geralmente o plano de informações referente à rede de drenagem constitui uma das bases sobre a qual são

desenvolvidos diversos estudos. Erros inseridos no traçado da drenagem e nas características físicas podem repercutir sobre todo o restante da análise, como, por exemplo, interferir na escolha de áreas potenciais para implantação de aterro sanitário (Silva e Pinheiro, 2010).

Uma forma bastante comum de inserir erros na drenagem a ser gerada é o método adotado para obtenção dessa rede. Em vários estudos os dados do SRTM são reamostrados para uma resolução mais grosseira, principalmente quando se trabalha com grandes áreas, a fim de facilitar no processamento computacional. A degradação na resolução do MDE do SRTM, no entanto, pode produzir resultados bastante incoerentes quando esse MDE degradado é utilizado para posterior derivação das redes de drenagem (Paz, 2008; Shaw et al., 2005; Reed, 2003).

Em virtude das incoerências que podem resultar da reamostragem, alguns autores recomendam a derivação da rede de drenagem de baixa resolução a partir da rede de drenagem de alta resolução, via um processo denominado de *upscaling* de direções de fluxo (Paz et al., 2006; Shaw et al., 2005; Reed, 2003; Olivera et al., 2002). Este processo melhora a rede de drenagem gerada, por preservar melhor as informações do traçado da hidrografia, quando trabalha-se com diferentes escalas. No entanto, ainda existe a necessidade de estudos que avaliem as potencialidades e erros gerados nesse procedimento.

Diante da problemática abordada, esse trabalho visa identificar erros nos traçados e nas características físicas do rio Paraíba-PB e nos seus principais afluentes quantitativamente. As comparações das redes de drenagem extraídas das imagens do SRTM em diferentes escalas e métodos foram realizadas em relação à rede de drenagem vetorizada das imagens do ETM+/LANDSAT 7.

2. Metodologia

Este trabalho foi dividido em quatro etapas. Na primeira etapa foram utilizadas imagens ETM+/LANDSAT 7 para vetorização da rede de drenagem. A etapa 2 consistiu na obtenção das imagens SRTM e no processo de reamostragem dessas para 100 m e de 100 m para 10 km. Na etapa 3, foram obtidas as redes de drenagem a partir do MDE do SRTM para a resolução espacial de 100 m e para outras resoluções espaciais mais grosseiras, através dos procedimentos de *upscaling* e reamostragem. A quarta etapa consistiu na comparação dos traçados e das características físicas da rede de drenagem obtidas do SRTM em diferentes resoluções espaciais com a drenagem vetorizada do LANDSAT (Figura 1).

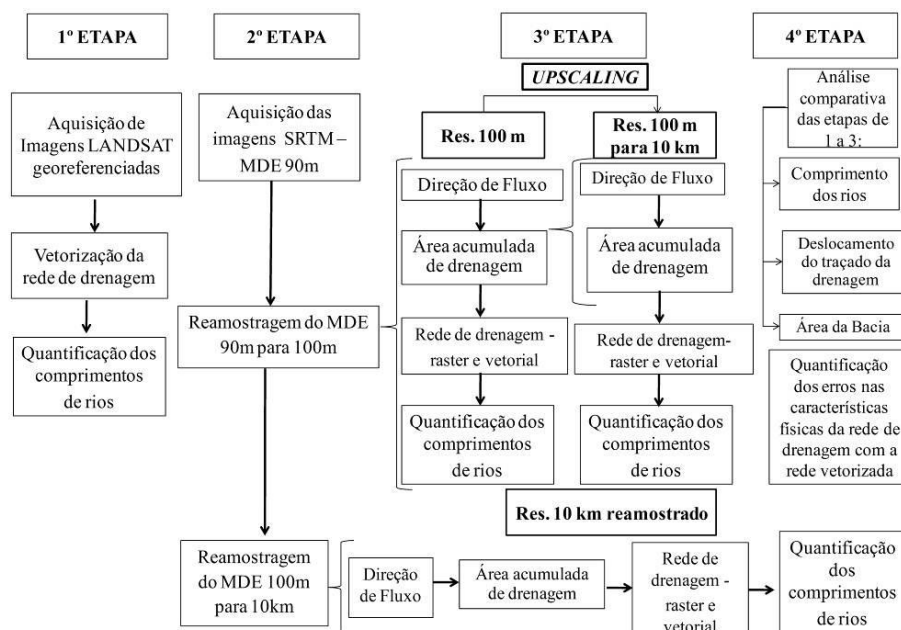


Figura 1. Organograma da metodologia utilizada no trabalho.

2.1 Processamento do MDE

O MDE possibilita a extração da rede de drenagem por meio da determinação das direções de fluxo e das áreas acumuladas de drenagem.

As direções de fluxo consistem em um plano de informações do tipo raster, cujo atributo em cada pixel da imagem significa a indicação para qual pixel vizinho ocorre a contribuição do fluxo. Para essa determinação usualmente é utilizado o algoritmo D8, onde cada pixel drena para um de seus oito vizinhos, escolhendo a direção que proporcione a maior declividade (Jenson e Domingue, 1988; Planchon e Darboux, 2001).

A área acumulada de drenagem é o caminho percorrido pixel a pixel, no qual cada um recebe um valor correspondente ao somatório das áreas de todos os pixels de montante. O valor de área acumulada pode ser expresso em quantidade de pixels ou em unidades de área (km²). Esse plano de informação é utilizado para determinar a rede de drenagem adotando-se um valor mínimo de área acumulada para denotar o início da drenagem, de forma que os pixels com área contribuinte igual ou maior ao valor adotado são considerados integrantes da rede de drenagem e os pixels com área inferior são desconsiderados.

2.2 Determinação da rede de drenagem a partir de imagens LANDSAT

Foram utilizadas imagens ETM+/LANDSAT 7, disponibilizadas no portal <<http://glcfapp.glcf.umd.edu:8080/esdi/index.jsp>> já georeferenciadas. Tais imagens foram usadas para vetorizar a rede de drenagem do Rio Paraíba e principais afluentes. Essa vetorização foi tomada como verdadeira e comparada com os traçados das drenagens extraídas das imagens SRTM segundo diferentes procedimentos (reamostragem e *upsampling*).

2.3 Upsampling de direções de fluxo e reamostragem

O procedimento denominado de *upsampling* consiste na derivação da rede de drenagem de baixa resolução a partir da rede de alta resolução.

O algoritmo de *upsampling* utilizado neste artigo foi o proposto por Paz et al. (2006), que consiste basicamente em duas etapas. Na primeira etapa o algoritmo escolhe o pixel exutório que apresenta a maior área de drenagem da célula que está sendo analisada. Essa decisão é tomada com base nos planos de informação de alta resolução (direção de fluxo e área acumulada de drenagem). Outra condição a ser tomada ainda na primeira etapa é o rio a montante obedecer à condição de comprimento mínimo pré-estabelecido no algoritmo, geralmente correspondente a 1/5 da dimensão da célula. Na segunda etapa, decide-se para qual célula a jusante o pixel em questão irá drenar. Para essa decisão considera-se a Área Incremental Mínima (AIM), um parâmetro que interfere sobre a escolha de direções de fluxo ortogonais ou diagonais. Quanto maior o valor da AIM maior será a quantidade de trechos diagonais da rede de drenagem. A recomendação para escolha do AIM é tomar a área superficial média das células.

Já o método de reamostragem, procedimento muito utilizado, consiste na degradação da resolução espacial do MDE para uma resolução mais grosseira, utilizada para posterior derivação das direções de fluxo.

2.4 Determinação das características físicas e Critérios de avaliação das redes de drenagem

Para a caracterização fisiográfica do rio Paraíba e principais afluentes foram determinadas a área da bacia do rio principal, o comprimento dos rios e sinuosidade.

A delimitação da bacia considera o fato de que qualquer escoamento partindo de um pixel que pertence à bacia deve possuir um caminho de fluxo a jusante até o exutório (Buarque et al., 2008).

O comprimento de rios consiste simplesmente em comparar os comprimentos obtidos de duas redes de drenagem em avaliação. Obtêm-se erros quantitativos do comprimento de trechos de rio específicos, os quais são utilizados como indicador do grau de similaridade

entre as duas redes de drenagem. Porém, tal avaliação é limitada porque rios com comprimentos semelhantes não necessariamente significam que possuem o mesmo traçado.

O cálculo da sinuosidade foi obtido pela razão do comprimento do rio segundo seu traçado pelo comprimento medido em linha reta (Buarque et al., 2008).

Os critérios adotados para avaliar as redes de drenagem obtidas na resolução 10 km por diferentes métodos foram os de distância entre redes de drenagem e o cálculo de área entre as redes. Essas análises consistiram em comparar os procedimentos metodológicos com a rede de drenagem vetorizada da imagem LANDSAT, considerada verdadeira, para avaliar o grau de similaridade entre os traçados das redes (Davies, Bell 2008; Tatsch et al., 2009).

1. Área de Estudo

A bacia do rio Paraíba está compreendida entre as latitudes 6°51'31" e 8°26'21" Sul e as longitudes 34°48'35"; e 37°2'15"; Oeste de Greenwich, abrangendo 38% do Estado e abrigando 52% da população total (Paraíba (2012)). Essa bacia é a segunda maior do Estado da Paraíba (Figura 2), com área de 20.071,83 km² e está dividida em alto, médio e baixo curso e os seus principais afluentes são os rios Taperoá, Gurinhém, Paraibinha e Sanhauá.

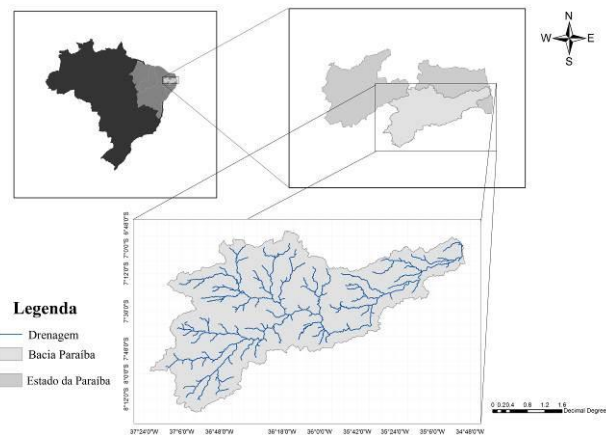


Figura 2. Localização da bacia do rio Paraíba no Estado da Paraíba- Brasil.

2. Resultados e Discussão

Na Figura 3 estão apresentadas as redes de drenagens adquiridas por diferentes métodos e escalas. Na Figura 3A, as redes de drenagens obtidas por vetorização das imagens LANDSAT foram consideradas como referência para comparação com as redes obtidas das imagens SRTM em diferentes resoluções espaciais (Figura 3. B, C, D).

A rede de drenagem de alta resolução do SRTM (100 m) quando comparada visualmente com a drenagem vetorizada observa-se que os traçados dos rios apresentam bastante similaridade (Figura 3 B). Quando essa comparação é realizada com as drenagens em escala mais grosseira percebe-se que trechos de rios extraídos por reamostragem (Figura 3 C) possuem incoerências graves no traçado, o que no método de *upscaling* (Figura 3 D) muitas vezes esses erros conseguem ser evitados.

Foram analisados quantitativamente parâmetros como as áreas da bacia obtidas pelos métodos de reamostragem e *upscaling* na resolução 10 km. Essas foram comparadas com a bacia na resolução 100 m do SRTM. Observa-se na Figura 4 que não ocorre grandes diferenças no formato das bacias analisadas. Quantificando essas diferenças verificou-se que os erros inseridos em ambos os métodos subestimaram as áreas em relação à bacia na resolução 100 m. Verificou-se também que o procedimento de reamostragem foi o que perdeu mais informação de área com 1,61% contra 0,99% do *upscaling*.

Para o comprimento dos rios (Figura 5), verificou-se que a resolução 100 m do SRTM apresentou em 80% das situações maior proximidade com os comprimentos da rede

vetorizada. Esse fato pode ser explicado por essa rede de drenagem ser extraída de um dado de alta resolução do SRTM (Figura 5 A). Nessa resolução, observou-se que na maioria das vezes houve superestimativa nos comprimentos.

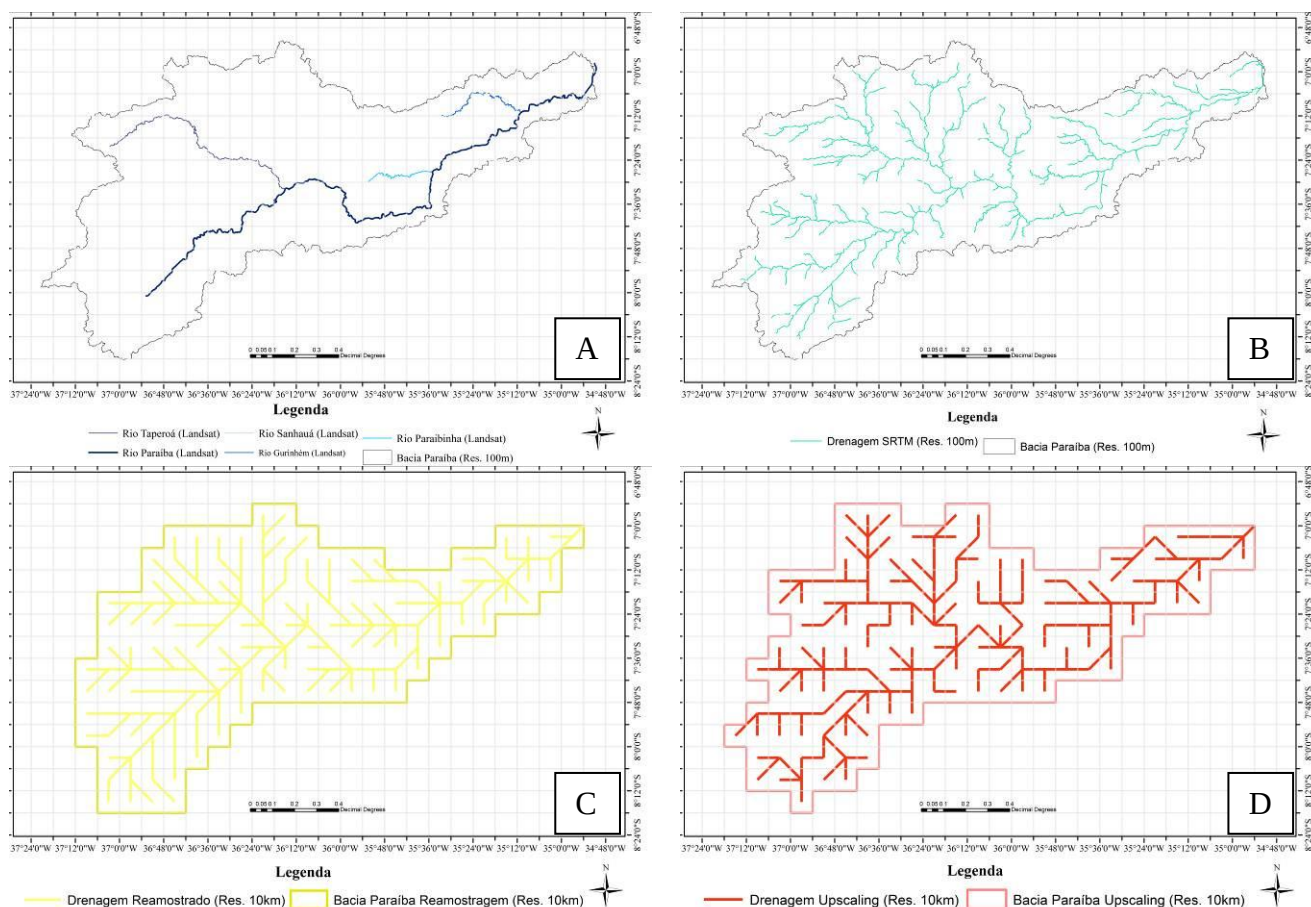


Figura 3. Redes de drenagens em diferentes escalas e métodos. Drenagem vetorizada das imagens LANDSAT (A), drenagem obtida do SRTM na resolução 100 m (B), drenagem obtida por reamostragem na resolução 10 km (C), drenagem obtida por *upsampling* na resolução 10 km (D).

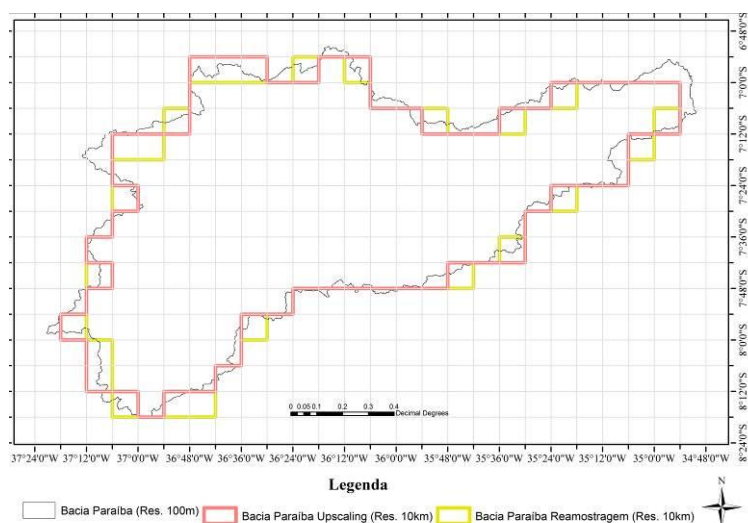


Figura 4. Delimitação da bacia do rio Paraíba por diferentes método e resoluções

Quando feita essa análise apenas com a escala mais grosseira em relação a rede vetorizada, o método de *upsampling* se apresentou mais coerente quando equiparado ao método

de reamostragem. No entanto, em ambos os casos, na maioria das vezes ocorreu subestimativa dos comprimentos, exceto para o rio Sanhauá que houve superestimativa em todas as resoluções. Esse fato pode ter relação com a declividade, por esse afluente está inserido na parte baixa da bacia e ser um rio de pequeno porte (Figura 5 B).

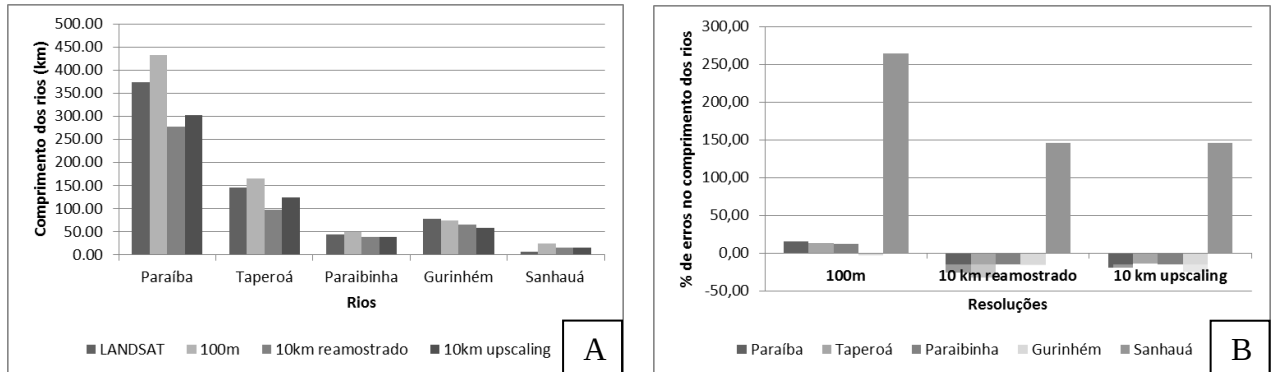


Figura 5. Comprimento do rio Paraíba e afluentes em diferentes resoluções e métodos (A). Erros nos comprimentos em relação a rede vetorizada da imagem LANDSAT em diferentes resoluções (B).

Na sinuosidade (Figura 6), para a resolução 100 m verificou-se que houve superestimativa desse parâmetro, exceto para o rio Gurinhém (Figura 6 B). Esse é um erro típico quando a resolução espacial do MDE tem dimensão inferior à largura do rio (Paz *et al.*, 2007; Paz e Collischonn, 2008). No entanto, para todos os afluentes do rio Paraíba foi o que apresentou resultados mais próximos da rede considerada verdadeira.

Fazendo a análise entre os métodos reamostragem e *upsampling* para a resolução 10 km em relação à drenagem vetorizada, o segundo procedimento obteve na maioria das vezes resultado próximo à rede comparada, observando-se que a predominância em ambos os métodos foi de subestimativa da sinuosidade (Figura 6 B), pois em resoluções mais grosseiras o MDE não é capaz de representar os meandros da rede de drenagem.

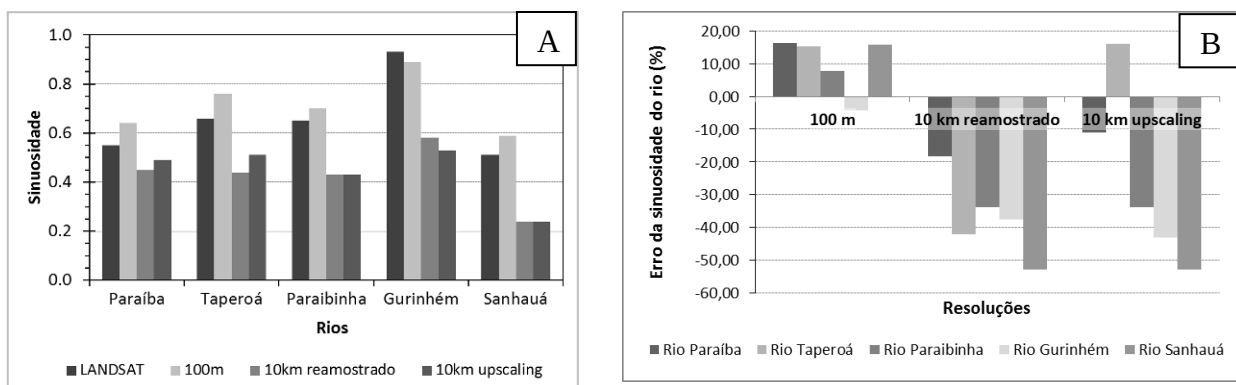


Figura 6. Sinuosidade do rio Paraíba e afluentes em diferentes resoluções e métodos (A). Erros nas sinuosidades em relação a rede vetorizada da imagem LANDSAT em diferentes resoluções (B).

Outro critério adotado para avaliar as redes de drenagem de baixa resolução geradas dos procedimentos de reamostragem e *upsampling* foi a de averiguar a formação de áreas entre essas redes com a drenagem vetorizada das imagens LANDSAT e realizar o cálculo de distância média entre as mesmas (Figura 7).

Com isso observou-se que o melhor resultado, na definição dos traçados foi pelo método *upsampling*, verificando-se que para todos os rios analisados esse procedimento foi menor em valor de área e distancia média, o que aponta para uma maior proximidade com a drenagem adotada como verdadeira.

Quando comparado o método de reamostragem com o *upsampling* observou-se uma superestimativa nos resultados reamostrados de quase até 400 vezes em relação ao valor de área extraído pelo procedimento de *upsampling* e para distância média de até aproximadamente 2600 vezes.

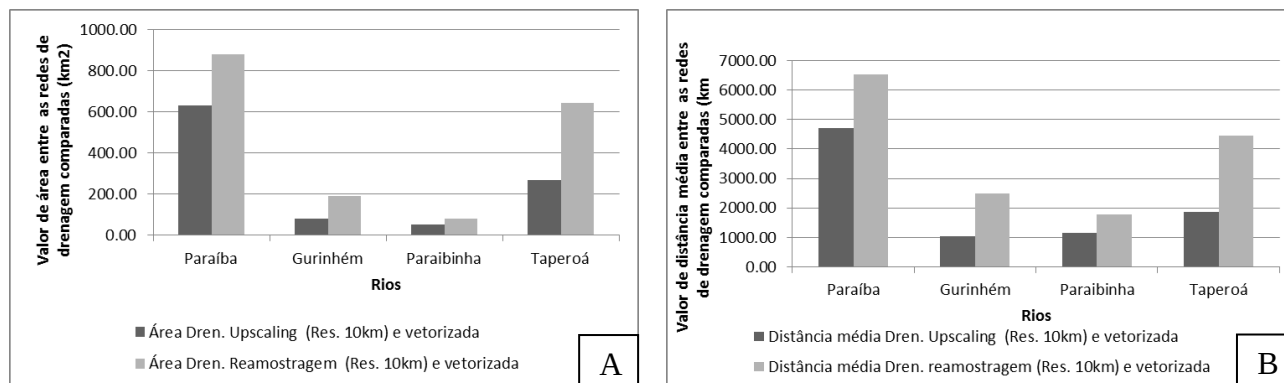


Figura 7. Formação de áreas (A) e de distância média (B) entre redes de drenagem em baixa resolução para os métodos reamostragem e *upsampling* com a rede vetorizada da imagem LANDSAT.

3. Conclusões

Quanto aos erros nos traçados e nas características físicas da bacia do rio Paraíba, em diferentes escalas e resoluções, a rede de drenagem na resolução 100 m do SRTM apresentou maior proximidade com a rede vetorizada da imagem LANDSAT, tomada como verdadeira. A drenagem na escala 100 m na maioria das análises superestimou as informações geradas.

Apesar da drenagem em alta resolução resultar em informações mais precisas, muitas vezes por se trabalhar com grandes áreas o processamento computacional se torna alto, inviabilizando a utilização desses produtos. Por isso, trabalhar com escalas mais grosseiras nessas situações torna-se uma necessidade.

Os resultados das características físicas para a resolução de 10 km entre os dois métodos de derivação adotados (reamostragem e *upsampling*) indicaram que as informações adquiridas por *upsampling* mostraram-se na maior parte dos casos mais coerentes com a rede vetorizada. Como são informações adquiridas de produtos de baixa resolução, em ambos os métodos e na maioria das vezes, os resultados foram subestimados por haver perda de informação.

As mudanças de escalas para resoluções mais grosseiras refletiram sobre os traçados da rede de drenagem, principalmente no método de reamostragem. Essa análise pode ser visualizada no cálculo de área e distância média entre as redes de drenagem. Com isso, observou-se que para todos os rios avaliados, o método de *upsampling* obteve o melhor desempenho por conseguir se aproximar mais dos traçados da drenagem adotada como verdadeira.

Agradecimentos

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo apoio fornecido no desenvolvimento dessa pesquisa.

Referências Bibliográficas

Buarque, D. C. *et al.* Extração automática de parâmetros físicos de bacias hidrográficas a partir do MNT para utilização em modelos hidrológicos. In: II Simpósio de Recursos Hídricos do Sul-Sudeste. 21p. 2008. **Anais ...** CD-ROM.

- Burrough, P.A., McDonnell, R.A. 1998. *Principles of Geographical Information Systems: Spatial Information Systems and Geostatistics*. Oxford University Press. Oxford, 333 p.
- Colombo, R.; Vogt, J. V.; Soille, P.; Paracchini, M. L. E Jager, A. (2007). "Deriving river networks and catchments at the European". *Catena*, 70, pp. 296–305.
- Davies, H. N.; Bell, V. A.. *Assesment of methods for extracting low resolution river networks from high resolution digital data*. *Hydrological Sciences Journal*. In: Press.
- Farr, T. G., et al. 2007. The Shuttle Radar Topography Mission. *Rev. Geophys.*, 45, RG2004, doi:10.1029/2005RG000183.
- Florenzano, T. G. (Org.) (2008). *Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais*. São Paulo: Oficina de Textos.
- Jenson, S.K., Domingue, J.O. (1988). "Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis". *Photogramm. Eng. Remote Sens.*, 54(11), pp. 1593-1600.
- Larentis, D. G. et al.(2010). "Gis-based procedures for hydropower potential spotting". *Energy* 35, pp. 4237 - 4243.
- Olivera, F.; Lear, M. S.; Famiglietti, J. S.; Asante, K. (2002). "Extracting low-resolution river networks from high-resolution digital elevation models". *Water Resources Research*, 38(11), 1231.
- Paraíba (2012). "Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba-AESA". Disponível em <<http://www.aesa.pb.gov.br/geoprocessamento/geoportal/cad.html>> Acesso em 10 de Maio de 2012.
- Paz, A.R.; Collischonn, W.; Tucci, C. (2006). "Geração de direções de fluxo para modelagem hidrológica de grande escala". In *Anais do XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH*. João Pessoa (PB).
- Paz, A. R. et al. (2007). "Extração automática de comprimentos de trechos de rio a partir do Modelo Numérico do Terreno para modelagem hidrológica distribuída" in *Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. 8p. 2007.
- Paz, A.R.; Collischonn, W. (2008). "Derivação de rede de drenagem a partir de dados do SRTM". *Rev. Geogr. Acadêmica* v.2 n.2 (viii.2008) pp. 84-95.
- Planchon, O.; Darboux, F. (2001). "A fast, simple and versatile algorithm to fill the depressions of digital elevation models". *Catena* 46, pp. 159-176.
- Reed, S.M. (2003). "Deriving flow directions for coarse-resolution (1-4 km) gridded hydrologic modeling". *Water Resources Research* 39(9), 1238.
- Shaw, D.; Martz, L. W.; Pietroniro, A. (2005). "Flow routing in large-scale models using vector addition", *Journal of Hydrology* 307, pp. 38-47.
- Silva, L. P Da; Ewen, J. (2000). "Modelagem Hidrológica de Grandes Bacias Hidrográficas: A Necessidade de Novas Metodologias". *RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos*. v. 5 n.4 Out/Dez 2000, pp. 81-92.
- Silva, A. D. da; Pinheiro, E. da S. (2010). "A problemática dos resíduos sólidos urbanos em Tefé, Amazonas". *Sociedade & Natureza*, Uberlândia, 22 (2): pp. 297-312.
- Tatsch, J. D. et al. Comparação entre dois procedimentos de upscaling de redes de drenagem. In: *XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. 8p. 2009. **Anais ...** CD-ROM