

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

AVALIAÇÃO DOS TRAÇADOS DA REDE DE DRENAGEM DO RIO PARAÍBA-PB COM ÊNFASE NA MUDANÇA DE ESCALA

Alzira Gabrielle Soares Saraiva¹; Antônio Félix da Silva Júnior² & Adriano Rolim da Paz³

RESUMO – O MDE do SRTM tem sido largamente utilizado na derivação da rede drenagem e aplicado a diversos tipos de estudos ambientais. Dependendo do método utilizado para a extração, a rede obtida pode ser de melhor ou de pior qualidade. Outro fator que pode acarretar em perda da qualidade é a mudança de escala. Essas duas condições aliadas podem resultar em uma rede incoerente quando comparada a uma rede de drenagem de alta resolução. Este artigo visou identificar erros nos traçados da rede de drenagem do rio Paraíba-PB e nos principais afluentes, de forma qualitativa, para diferentes resoluções utilizando os métodos de reamostragem e *upsampling* de direções de fluxo, comparativamente à rede vetorizada de imagens LANDSAT. Verificou-se que os traçados da drenagem obtidos por reamostragem apresentaram várias incoerências principalmente quando utilizadas escalas mais grosseiras, existindo erros considerados como graves por não conseguirem representar os traçados do rio principal e afluentes em vários trechos. Já as redes obtidas por *upsampling* foram de melhor qualidade para mudança de escala por essas se apresentarem mais coerentes com a drenagem vetorizada tomada como verdadeira.

ABSTRACT– The SRTM DEM has been widely applied for deriving river drainage networks in several types of environmental studies. The quality of derived drainage network depends on the method used for extraction. Change in scale is another aspect that may worsen the results. These two conditions together can lead to a derived drainage network incoherent to a high resolution network. This paper aimed at identifying errors in flow paths of river Paraíba and its major tributaries (PB) through a qualitative analysis by comparing DEM-derived drainage networks to a vector river network obtained by manually digitizing over LANDSAT images. Two procedures are performed for obtaining drainage networks from DEM: resampling and flow direction upscaling. The results obtained showed that the procedure of DEM resampling led to several incoherencies mostly when working with coarse scales. In this case, some errors were considered serious due to mismatch of representing flow path of main river and tributaries along several reaches. When applying the upscaling procedure, the results were better, with drainage networks closer to the vector river network considered as ground truth.

Palavras-Chave – rede de drenagem, modelo digital de elevação, mudança de escala.

1) Mestranda em Engenharia Urbana e Ambiental pela UFPB, Campus Universitário I, João Pessoa – Paraíba; CEP: 58051-900, Fone: 55 83 3216-7393, Fax: 55 83 3216-7179 e e-mail: saxzira@yahoo.com.br

2) Bolsista do PIBIC-EM pela UFPB, Campus Universitário I, João Pessoa – Paraíba; CEP: 58051-900, Fone: 55 83 3216-7393, Fax: 55 83 3216-7179 e e-mail: antonio_fsj@hotmail.com

3) Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, do Centro de Tecnologia da UFPB, Campus Universitário I, João Pessoa – Paraíba; CEP: 58051-900, Fone: 55 83 3216-7355, Fax: 55 83 3216-7179 e e-mail: adrianorpaz@yahoo.com.br

1 INTRODUÇÃO

Modelos digitais de elevação (MDE) e seus produtos derivados tem sido largamente usados para diversos estudos e pesquisas, abrangendo a área de modelagem hidrológica (Sá *et al.*, 1993; Silva e Ewen, 2000; Santos e Zeilhofer, 2003; Paz e Collischonn, 2007) estudos de doenças de veiculação hídrica como o mapeamento da distribuição de esquistossomose (Moura *et al.*, 2005), análise morfométrica do relevo (Augusto, 1998), entre outras aplicações de grande importância ambiental, social e econômica. A maioria desses estudos tem utilizado dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), que produziu dados de elevação do terreno de quase todo o globo. Esses dados são disponibilizados na forma de grade numérica com resolução espacial de 90 m.

Dentre os processamentos realizados, a análise do MDE para extração de características da rede de drenagem é um dos procedimentos de maior aplicabilidade para estudos ambientais. O MDE é uma alternativa viável aos tratamentos tradicionais e avaliação manual dos mapas topográficos (Colombo *et al.*, 2007). No caso de grandes bacias, muitas vezes este produto pode constituir a única fonte de informações disponível.

Com a maior divulgação e facilidade de utilização de ferramentas de geoprocessamento, a caracterização da rede de drenagem a partir do MDE tem ocorrido de forma bastante prática. Ao mesmo tempo que isso traz o benefício da rapidez na obtenção das informações, induz à desconsideração de erros sistemáticos associados a esse procedimento. Como geralmente o plano de informações referente à rede de drenagem constitui uma das bases sobre a qual é desenvolvido o estudo ambiental, erro no traçado dos rios pode repercutir sobre todo o restante da análise. Por exemplo, em estudos para verificação de alternativas de localização de barramentos para construção de hidroelétricas (Larentis *et al.*, 2010) e estudos para identificação de áreas potenciais para implantação de aterros sanitários (Silva e Pinheiro, 2010), erros na rede de drenagem alteram significativamente o processo de seleção das melhores áreas.

Torna-se fundamental, portanto, melhorar a identificação de erros que usualmente ocorrem ao derivar uma rede de drenagem a partir do MDE-SRTM, para que os procedimentos que venham a utilizar tal rede de drenagem como plano de informações de entrada possam considerar as incertezas existentes.

Erros típicos foram identificados quando a resolução espacial do MDE não é capaz de representar os meandros da rede de drenagem, ou quando a resolução espacial do MDE tem dimensão inferior à largura do rio (Paz *et al.*, 2007; Paz e Collischonn, 2008). Estes erros por sua vez comprometem as redes de drenagem a serem geradas, podendo produzir informações com características diferentes entre a drenagem real e a extraída computacionalmente, podendo comprometer os resultados provenientes das simulações realizadas na modelagem hidrológica (Rennó e Soares, 2001).

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. Outro motivo para a realização desse processo é tornar compatíveis os vários produtos utilizados em uma análise envolvendo vários planos de informação de diferentes resoluções espaciais. 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).

Diante deste problema, 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.

Este trabalho visa identificar erros nos traçados da rede de drenagem do rio Paraíba-PB e nos principais afluentes de forma qualitativa, extraídos dos dados topográficos do SRTM na resolução espacial de 100 m e para escalas mais grosseiras por meio de reamostragem e *upscaling* de direções de fluxo. É realizada a comparação desses traçados com a rede de drenagem vetorizada das imagens do ETM+/LANDSAT 7.

2 METODOLOGIA

2.1 Visão geral do processamento do MDE-SRTM

Os MDEs representam na forma de grade numérica a topografia do terreno e constituem uma das principais fontes de dados para a caracterização e extração de redes de drenagem (Moore *et al.*, 1991; Florenzano, 2008). Estas informações são utilizadas como base em diversos estudos na comunidade científica.

Existem dois grandes conjuntos de dados topográficos obtidos mediante sistemas orbitais, que cobrem uma grande parte da superfície terrestre. Os dados mais usados atualmente são os dados do *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM), com resolução espacial de 30 m para EUA e de 90 m para o resto do mundo, gerados pela Agência Espacial Norte Americana (NASA) e disponibilizados gratuitamente no seu portal (<http://srtm.csi.cgiar.org/selection/inputcoord.asp>). O segundo conjunto

principal de dados são as imagens do sensor *Advanced Spaceborne Thermal Emission And Reflection Radiometer* (ASTER), com resolução espacial de 30 m, desenvolvido pela Agência Espacial Japonesa (JAXA) e que se encontra a bordo do satélite TERRA (JAXA, 2011). Devido ao fácil acesso aos dados SRTM e a sua grande utilização em diversos trabalhos de pesquisa, foi analisado o MDE proveniente do SRTM neste trabalho.

Com base no MDE é possível a extração da rede de drenagem, a determinação das direções de fluxo, das áreas acumuladas de drenagem, a delimitação de bacias hidrográficas e a derivação de outras características fisiográficas. Essas informações são utilizadas para caracterizar bacias hidrográficas e servem como subsídios para inúmeros estudos ambientais que levem em conta o fator espacial e a relação com a topografia ou a rede de drenagem.

Este trabalho foi dividido em três etapas. Na primeira etapa foram utilizadas imagens ETM+/LANDSAT 7 para vetorização da rede de drenagem para posterior comparação com as redes de drenagem obtidas do SRTM em diferentes resoluções espaciais. A etapa 2 consistiu na obtenção das imagens SRTM e no processo de reamostragem dessas da sua resolução original 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 (Figura 1).

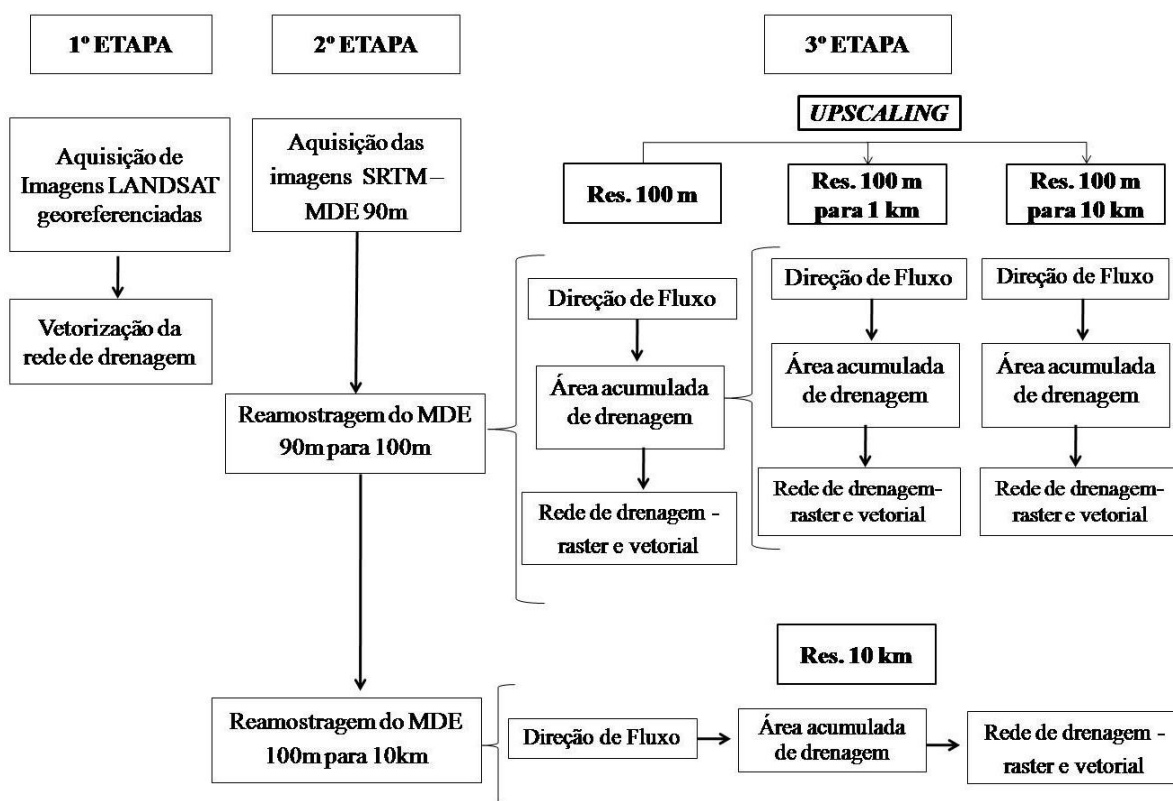


Figura 1 - Organograma da metodologia utilizada no trabalho.

2.2 Geração das direções de fluxo diretamente do MDE

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 drena o escoamento do pixel em questão.

Para a determinação da direção de fluxo usualmente é utilizado o algoritmo D8, no qual tem-se que cada pixel drena para um de seus oito vizinhos escolhendo a direção que proporcione a maior declividade. A maior declividade é calculada pela diferença de elevação entre o pixel vizinho e o pixel central, dividida pela distância entre eles (Jenson e Domingue, 1988; Planchon e Darboux, 2001) (Figura 2). Entretanto, esse algoritmo apresenta tendência na atribuição de direções de fluxo gerando linhas paralelas irreais na drenagem quando estes são aplicados a áreas planas. Por isso, alguns autores recomendam o uso de um fator de aleatoriedade para eliminar essa tendência e consequentemente os erros a ele atribuídos (Fairfield e Leymarie, 1991). A partir do MDE de alta resolução (100 m), foi gerado o plano de informação de direções de fluxos no formato raster, na mesma resolução espacial trabalhada. A geração das direções de fluxo para as resoluções de 1 km e 10 km por *upscaling* foi realizada a partir das direções de fluxo e área acumulada na resolução de 100m.

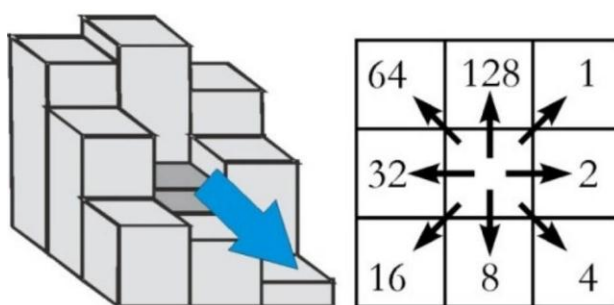


Figura 2- Escolha da direção de fluxo pela maior declividade, indicando em qual sentido ocorre a drenagem.

Possíveis direções de fluxo para um dos oito pixels ou célula. Fonte: Buarque, *et al.* (2009).

2.3 Determinação das áreas acumuladas

A área acumulada é a área de drenagem que contribui para cada pixel. Para a geração deste plano de informação cada pixel recebe um valor correspondente ao somatório das áreas de todos os pixels de montante. Esse valor pode ser expresso em quantidade de pixels ou em unidades de área propriamente (km^2). As áreas acumuladas de drenagem são calculadas geralmente em termos de área, principalmente para grandes regiões, porque à medida que se distancia do Equador e se aproxima dos pólos ocorre distorção quanto à área superficial plana dos pixels, fazendo com que cada pixel tenha uma área superficial

distinta dos demais. Foram determinados os rasters de áreas acumuladas a partir de cada imagem de direção de fluxo gerada.

2.4 Upscaling de direções de fluxo

O *upscaling* é um procedimento de derivação da rede de drenagem de baixa resolução a partir da rede de alta resolução. Este processo preserva mais as características da rede de drenagem para uma escala mais grosseira do que a reamostragem que pode produzir resultados bastante incoerentes quando feita a derivação das direções de fluxo. Diante deste problema, alguns autores sugerem a realização do *upscaling* a partir da direção de fluxo do MDE em alta resolução. Vários procedimentos de *upscaling* de direções de fluxo foram propostos na literatura (Paz *et al.*, 2006; Shaw *et al.*, 2005; Reed, 2003; Olivera *et al.*, 2002).

Neste trabalho, o algoritmo utilizado 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 o quadrado da resolução da célula, isto é, a área superficial média das células.

2.5 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 *upscaling*).

2.6 Comparação dos traçados das redes de drenagem

Estudos que trabalham com redes de drenagem derivadas de diferentes procedimentos ou comparam redes de drenagem de diferentes fontes, ou para avaliar um novo procedimento metodológico comparando-se os resultados a uma rede de drenagem considerada verdadeira, precisam avaliar o grau de similaridade entre essas redes. A avaliação realizada foi qualitativa e avaliou em termos do traçado da rede de drenagem. Essa análise comparou visualmente as várias redes de drenagem utilizadas, as de baixa resolução e a de alta resolução obtidas pelo MDE do SRTM com a drenagem vetorizada da imagem LANDSAT. O objetivo foi identificar aperfeiçoamentos ou falhas em relação às redes de drenagem comparadas. Desta forma, as redes de drenagem de baixa e alta resolução consideradas de boa qualidade foram aquelas que corresponderam bem aos traçados da drenagem tomada como verdadeira.

3 APLICAÇÃO À BACIA DO RIO PARAÍBA

A bacia do rio Paraíba é a segunda maior do Estado da Paraíba (Figura 3), com área de 20.071,83 km², 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 (Paraíba (2012)). Essa bacia está dividida em alto, médio e baixo curso e os seus principais afluentes são o rio Taperoá, Gurinhém, Paraíbaíha e o Sanhauá. A bacia do rio Paraíba abrange 38% do Estado e possui uma densidade demográfica correspondente a 52% da população total.

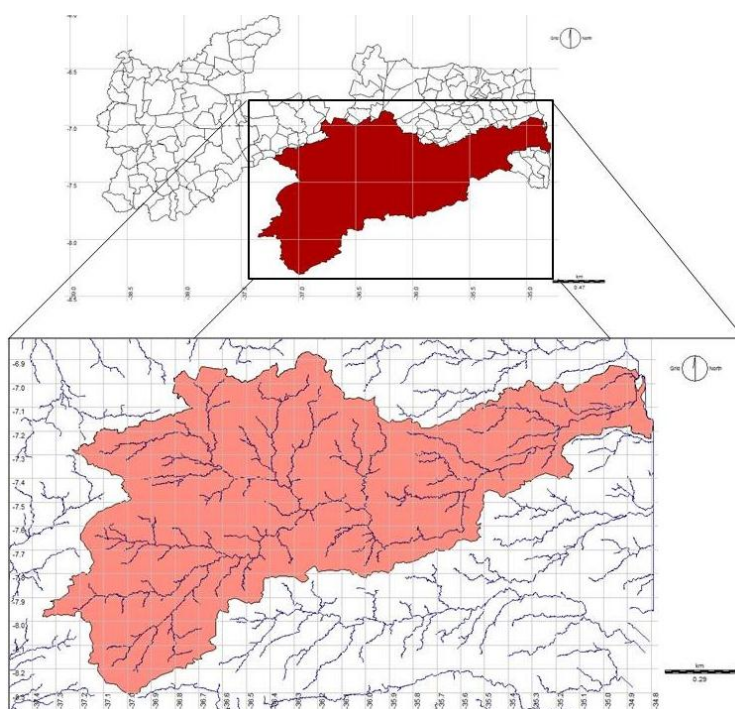


Figura 3 – Localização da bacia do rio Paraíba no Estado da Paraíba.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 4 são apresentadas as imagens LANDSAT utilizadas para vetorização do rio Paraíba e principais afluentes. Devido à grande nebulosidade presente no sudoeste da imagem referente ao litoral da Paraíba (órbita/ponto: 214/065), não foi possível a realização da vetorização da drenagem nesse trecho. As redes de drenagens obtidas foram consideradas como verdadeiras e posteriormente comparadas com a rede obtida das imagens SRTM em diferentes resoluções espaciais.

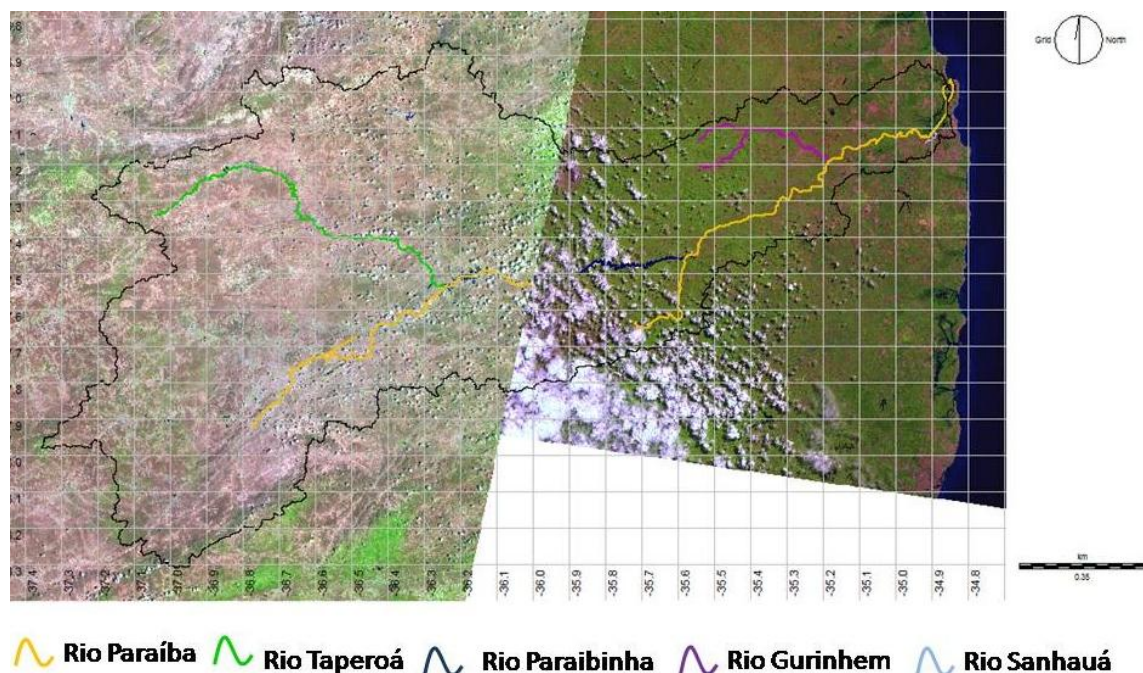


Figura 4. Imagens LANDSAT utilizadas na vetorização do rio Paraíba e principais afluentes.

4.1 Rede de drenagem obtida do MDE-SRTM na resolução 100m

A rede de drenagem extraída do MDE-SRTM na resolução espacial de 100m foi analisada com base na rede vetorizada da imagem LANDSAT referente aos rios Paraíba (Figura 5) e Taperoá (Figura 6). Observou-se que as linhas não são coincidentes em muitos pontos, mas há aproximação em outros. Verificou-se que no baixo curso do rio principal, onde a região é mais plana, a diferença entre as redes comparadas foram bem maiores do que outros trechos comparados ao longo da bacia (Figura 5b). Isso se deve ao fato de que o aumento da largura dos rios em regiões mais planas será representado por um maior número de células do MDE, o que leva a um aumento na sinuosidade do rio, dificultando também a definição do traçado do rio pelo algoritmo. Essas diferenças nos traçados podem provocar alterações nos comprimentos, quando este procedimento é realizado.

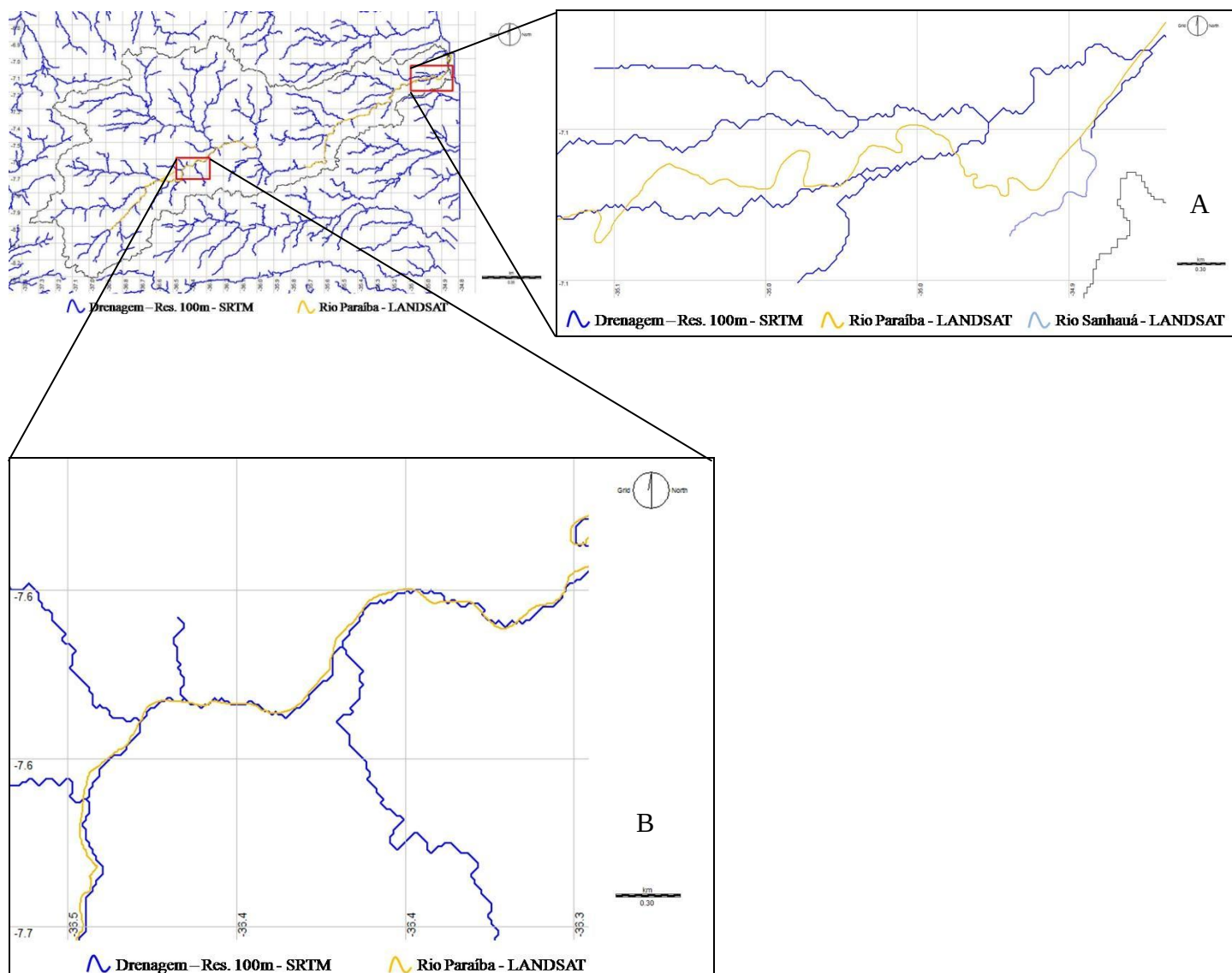


Figura 5 - Comparação dos traçados do rio Paraíba obtido por vetorização e extraídos do MDE do SRTM na resolução 100m. Redes de drenagem comparadas no baixo curso do rio (A), e alto curso do rio Paraíba (B).

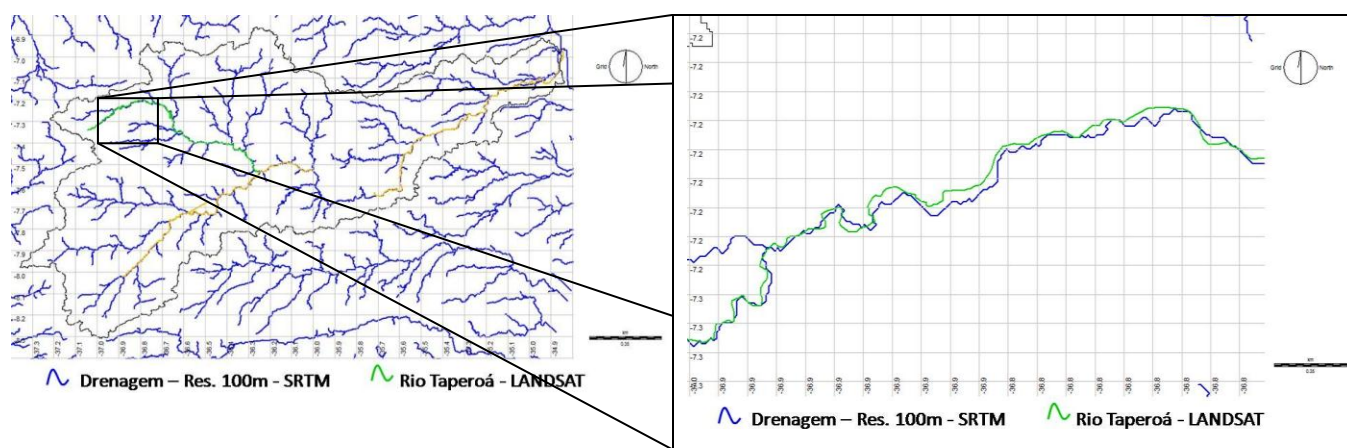


Figura 6 – Comparação dos traçados do rio Taperoá obtido por vetorização e extraídos do MDE-SRTM na resolução 100m.

4.2 Rede de drenagem obtida pelo *upscaling* (1km e 10km direto) de direções de fluxo e reamostragem

4.2.1 Resolução 1km

Com base nos critérios qualitativos foram comparados os resultados do *upscaling* e da reamostragem, ambos na resolução de 1km, com a rede de drenagem extraída do MDE do SRTM na resolução 100m para verificar a representação da drenagem. Foi possível verificar que com a aplicação do *upscaling* conseguiu representar melhor a rede em relação ao procedimento de reamostragem (Figura 7) como comprovado na literatura. Na figura 7A, a drenagem obtida por reamostragem não representou bem a drenagem principal, com células drenando para outros afluentes em vez de drenar para rio Paraíba, o que é considerado um erro grave de representação. O que não acontece na figura 7B, drenagem obtida pelo método de *upscaling*, onde é possível verificar que a drenagem principal está correspondendo à drenagem extraída do MDE do SRTM na resolução 100m. Esses casos onde ocorreram diferenças relevantes na representação da drenagem entre os métodos avaliados são indicados por retângulos vermelhos.

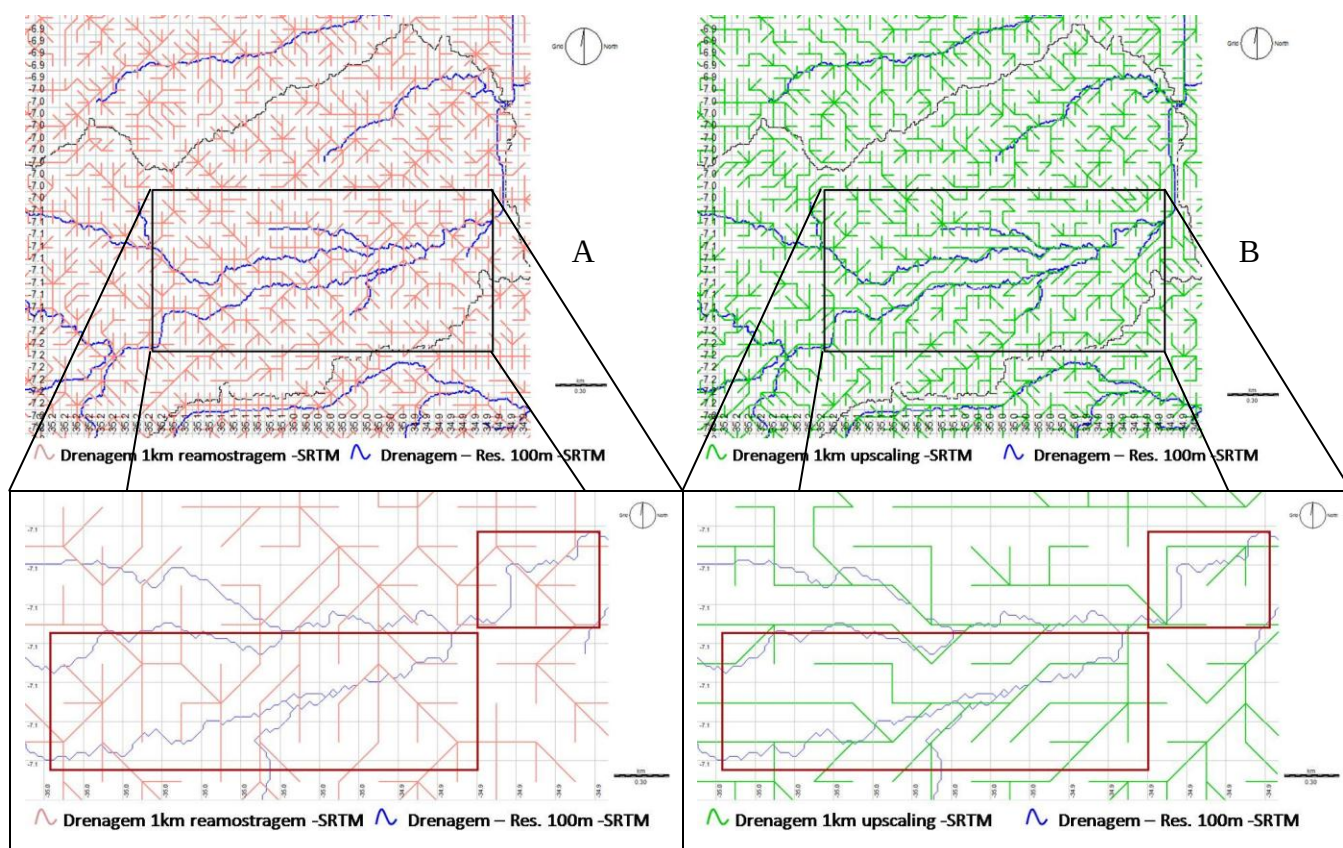


Figura 7 - Comparação dos traçados do rio Paraíba extraídos do MDE do SRTM na resolução 100m com a drenagem reamostrada para 1km (A) e *upscaling* para 1km (B).

Na figura 8, a comparação entre as redes de drenagem obtidas por reamostragem (A) e *upsampling* (B) foi realizada com a drenagem vetorizada da imagem LANDSAT. O trecho analisado foi em região plana o que indicou que nenhum dos métodos avaliados mostrou resultado satisfatório em relação aos traçados da rede de drenagem comparada com a rede vetorizada, tomada como verdadeira. No entanto, quando os traçados obtidos pelos métodos estudados foram comparados com a rede vetorizada de uma região de médio curso do rio Paraíba, observou-se uma maior aproximação entre as redes observadas, sendo a rede obtida pelo *upsampling* a considerada de melhor resultado (Figuras 9A e B).

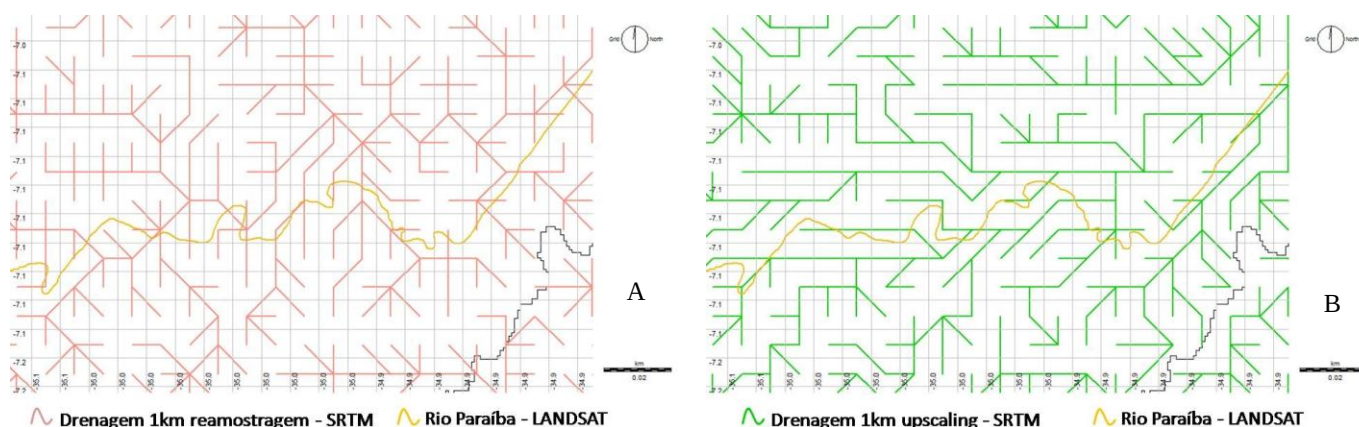


Figura 8 - Comparação dos traçados do rio Paraíba obtido da vetorização da imagem LANDSAT com a drenagem reamostrada para 1km (A) e via *upsampling* para 1km (B) na região baixa da bacia.

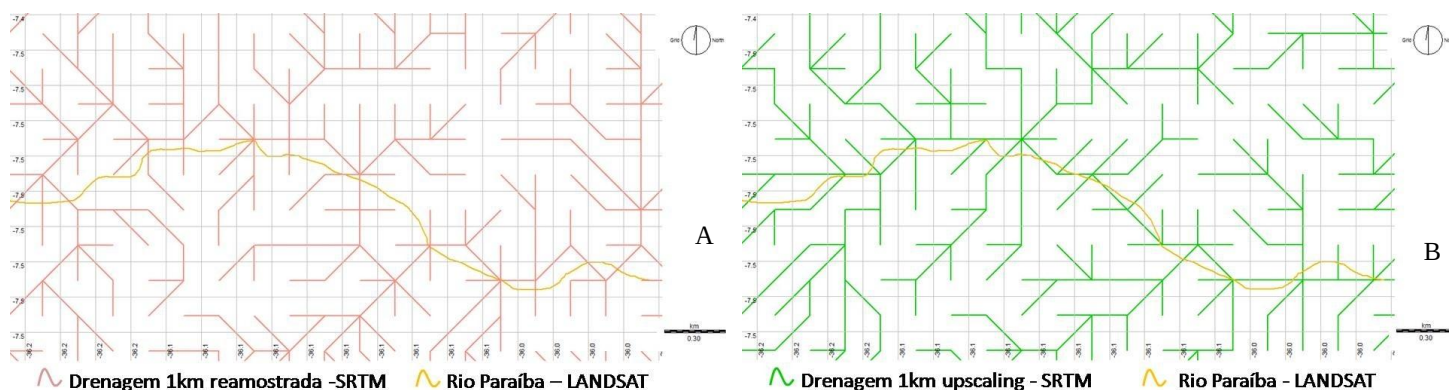


Figura 9 - Comparação dos traçados do rio Paraíba obtido da vetorização da imagem LANDSAT com a drenagem reamostrada para 1km (A) e via *upsampling* para 1km (B), médio curso do rio Paraíba.

O traçado do rio Sanhauá, afluente do rio Paraíba na região de baixo curso, obtido por vetorização de imagens LANDSAT foi comparado com a rede extraída do MDE por reamostragem e pelo método de *upsampling*. Na figura 10 é possível verificar que o traçado da drenagem obtido por *upsampling* (B) foi o que obteve melhor aproximação com a drenagem vetorizada do Sanhauá.

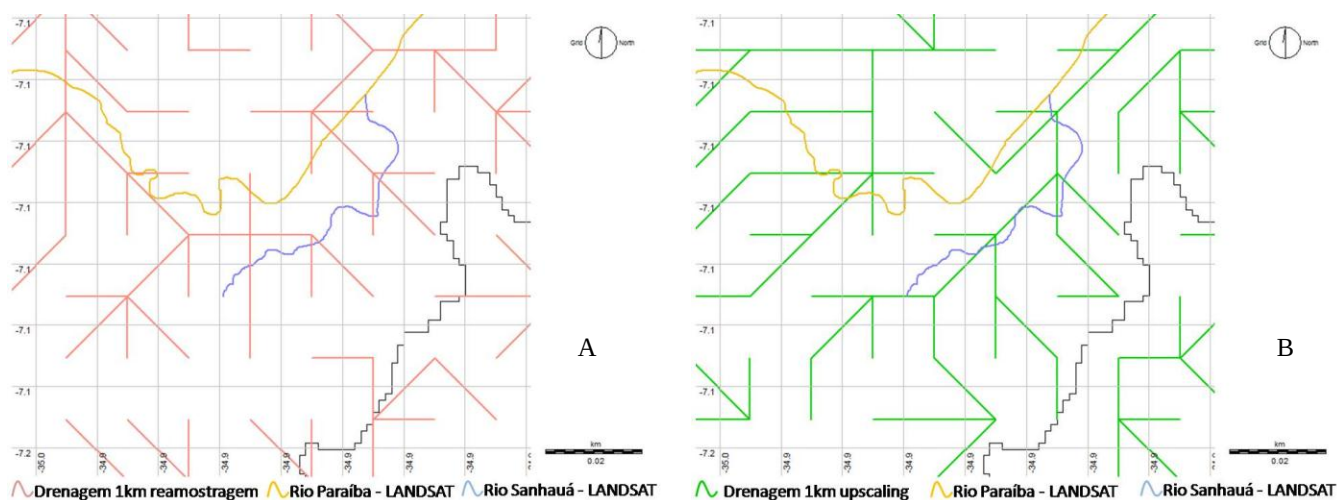


Figura 10 - Comparação dos traçados do rio Sanhauá obtido da vetorização da imagem LANDSAT com a drenagem reamostrada para 1km (A) e *upsampling* para 1km (B), baixo curso do rio Paraíba.

4.2.2 Resolução de 10km

O Rio Taperoá, principal afluente do alto curso do rio Paraíba, também foi vetorizado a partir da imagem LANDSAT e comparado com os traçados obtidos por reamostragem (Figura 11 A) e *upsampling* (Figura 11 B) na resolução de 10 km. A rede de drenagem obtida por reamostragem não representou bem o rio Taperoá, tendo células drenando para fora da bacia (retângulo vermelho), enquanto deveriam formar o traçado desse afluente, o que é considerado um erro grave de representação. Já pelo método de *upsampling*, esse problema não ocorreu sendo a drenagem melhor representada por se aproximar mais da rede vetorizada, tomada como verdadeira. Quando confrontados os dois métodos analisados é perceptível notar que o rio Taperoá obtido por *upsampling* obteve melhor resultado do que o reamostrado.

O rio Paraibinha, afluente do médio curso do rio Paraíba, também apresentou melhor traçado da rede de drenagem pelo método de *upsampling* para mudança de escala de 10km, representando exatamente o traçado desse afluente quando comparado com a rede vetorizada do LANDSAT (Figura 12 B). No entanto, a drenagem obtida por reamostragem (Figura 12 A) se perde quando células drenam para o rio Paraibinha (retângulo vermelho) enquanto deveriam representar outro afluente do rio principal, erro considerado grave por não conseguir representar a drenagem real. Erro dessa magnitude não ocorreu para o mesmo afluente quando a mudança de escala foi de 1km, indicando que a medida que se trabalha com resoluções mais grosseiras, mais susceptíveis a erros a drenagem estará submetida e estes erros poderão ser mais bruscos dependendo do método de extração adotado.

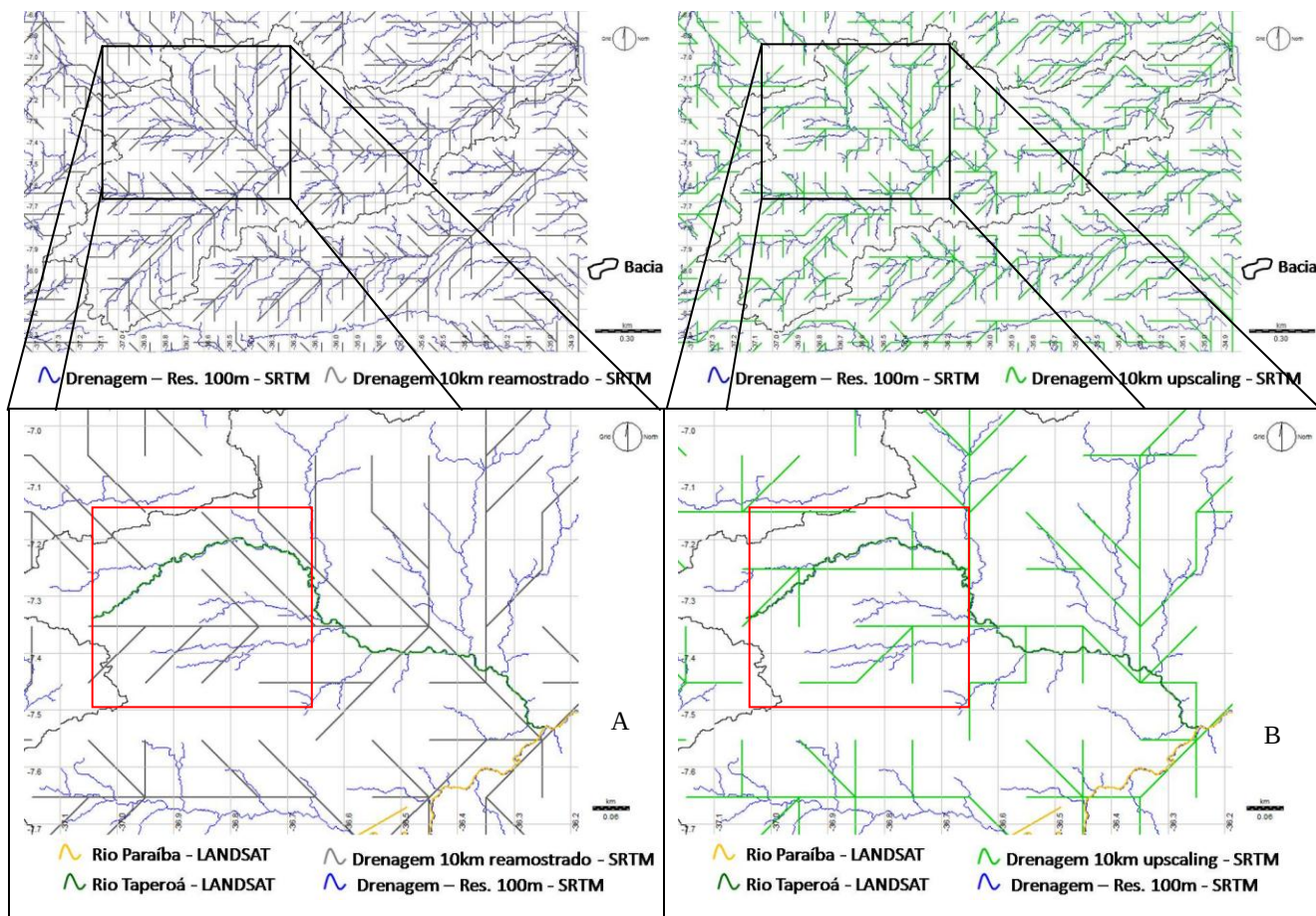


Figura11 - Comparação dos traçados do rio Taperoá obtido da vetorização da imagem LANDSAT, alto curso do rio Paraíba, com a drenagem reamostrada para 10km (A) e *upscaling* para 10km (B).

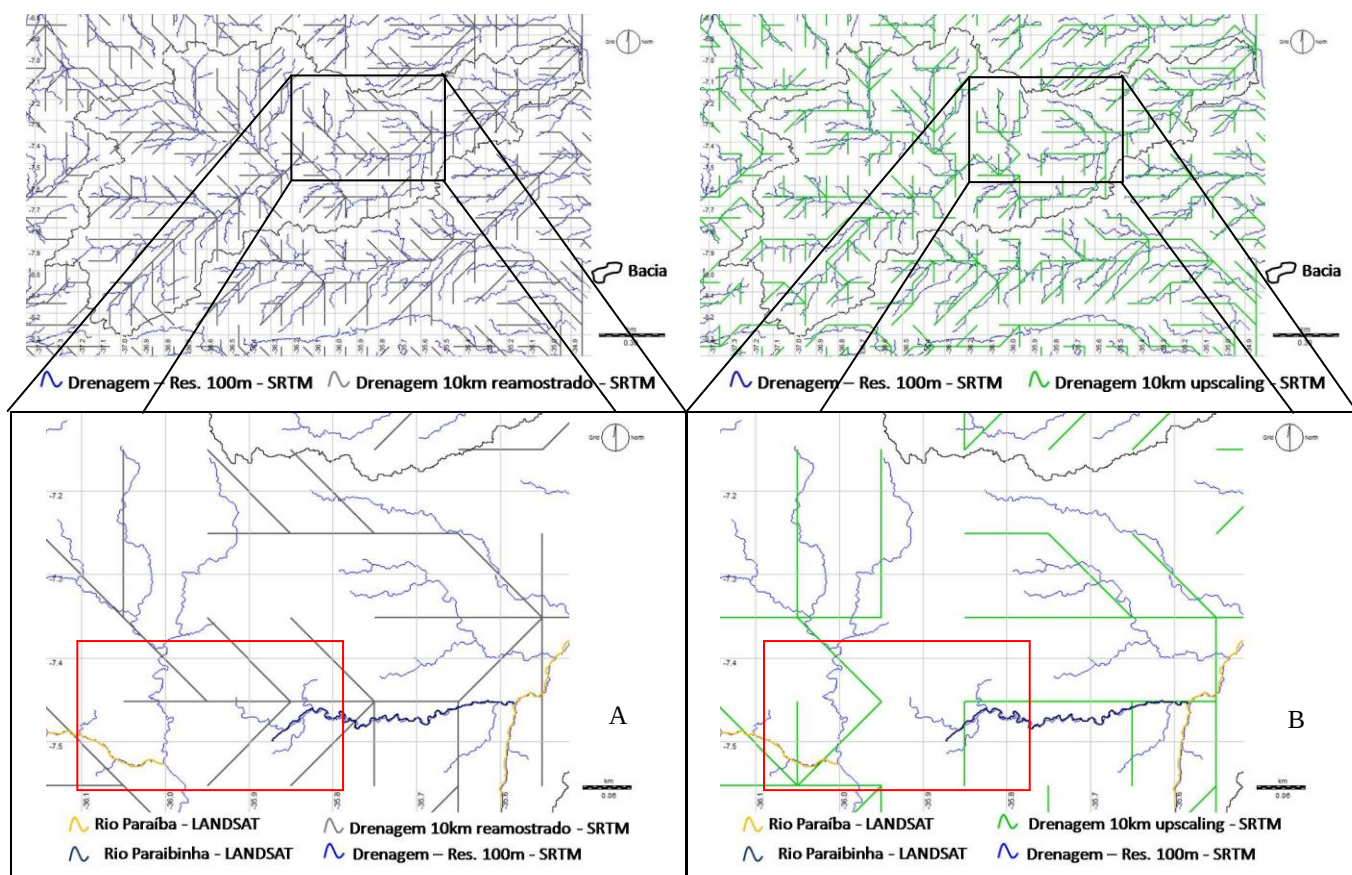


Figura 12 - Comparação dos traçados do rio Paraíba obtido da vetorização da imagem LANDSAT, médio curso do rio Paraíba, com a drenagem reamostrada para 10km (A) e *upscaling* para 10km (B)

O Rio Gurinhém, afluente localizado no baixo curso do rio Paraíba, praticamente não conseguiu ser representado pelo método de reamostragem na resolução de 10km (Figura 13 A) por ter células drenando para fora da bacia (retângulo vermelho). Na resolução de 1km apenas parte da rede reamostrada drenou para fora da bacia, no entanto quando trabalhou-se com a rede em uma escala mais grosseira esse problema agravou-se. Isso foi evitado pelo método de *upscaling* na resolução 10km (Figura 13 B), se aproximando mais da rede de drenagem tomada como verdadeira.

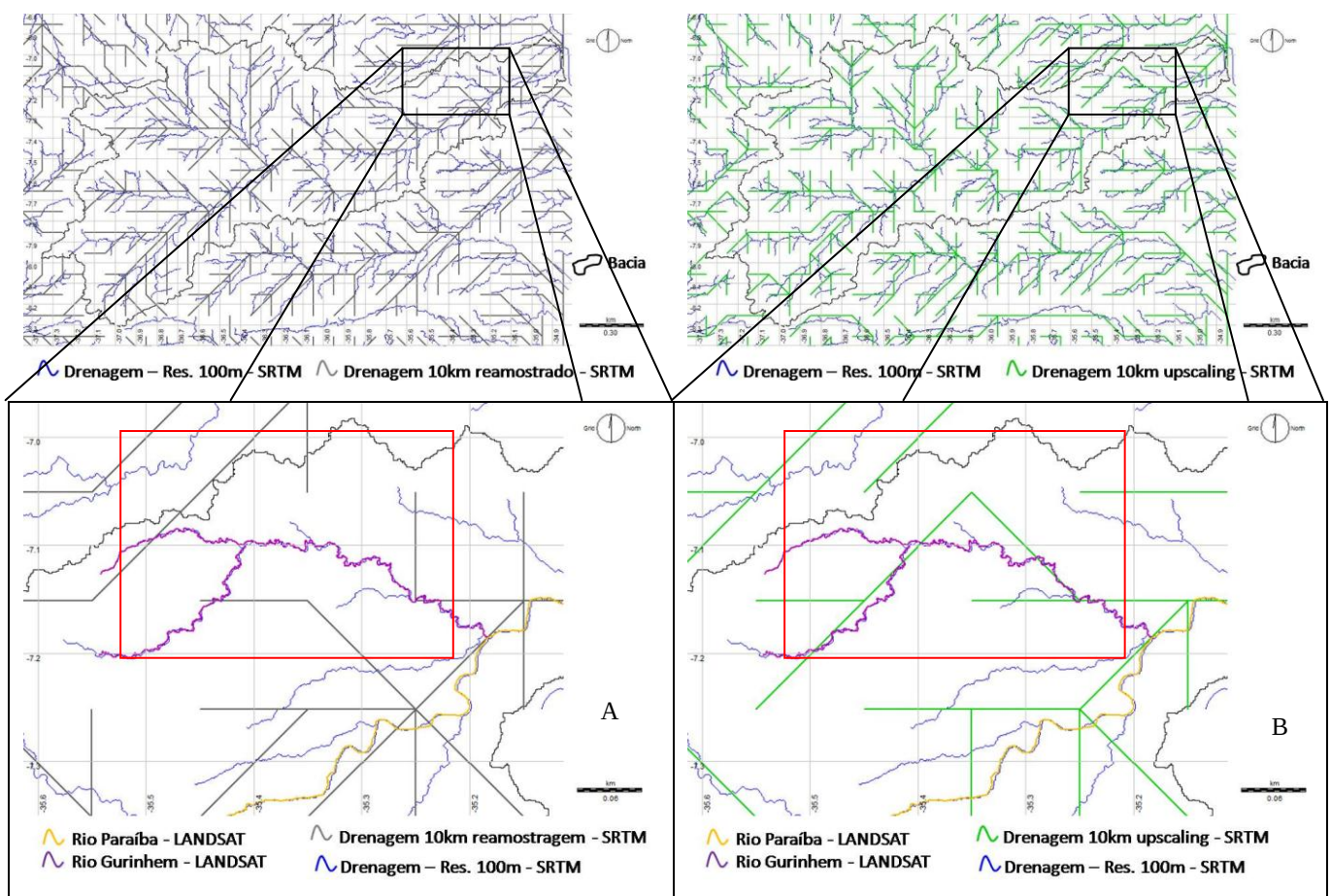


Figura 13 - Comparação dos traçados do rio Gurinhém obtido da vetorização da imagem LANDSAT, baixo curso do rio Paraíba, com a drenagem reamostrada para 10km (A) e *upscaling* para 10km (B)

5 CONCLUSÃO

Neste artigo foi realizada uma análise qualitativa do uso do algoritmo de *upscaling* de direções de fluxo proposto por Paz et al. (2006) comparativamente ao processo de reamostragem, considerando as resoluções espaciais de 1km e 10km. Essas redes de drenagens foram derivadas a partir do MDE com

resolução de 100m. As comparações foram realizadas com base na rede vetorizada da imagem LANDSAT, tomada como verdadeira, e entre os dois métodos de derivação adotados.

Quando os métodos de reamostragem e o *upsampling* foram comparados verificou-se uma diferença de mais de 58% na determinação das direções de fluxo das células pertencentes à bacia do rio Paraíba, na resolução de 10km. Com isso e pela comparação visual dos traçados das redes de drenagem, conclui-se que o método de *upsampling* permitiu uma maior representação da rede de drenagem tomada como verdadeira. Já a rede obtida pelo método de reamostragem por muitas vezes não conseguiu representar o traçado do rio analisado, por acabar drenando para fora da bacia ou até mesmo para outro afluente, o que foi considerado um erro grave de representação.

Pode-se verificar também que as condições de altimetria do terreno também interferiram no resultado de extração da rede de drenagem. Os traçados das redes obtidas nas áreas de baixo curso do rio Paraíba, nos dois métodos adotados, não foram satisfatórios quando comparados com a rede vetorizada. Nas áreas de médio e alto curso em ambos os métodos os traçados da rede apresentaram-se mais próximos da drenagem obtida da imagem LANDSAT por vetorização.

As mudanças de escalas para resoluções mais grosseiras refletiram sobre os traçados da rede de drenagem, principalmente no método de reamostragem, no qual se observou que erros considerados como mais sutis na resolução de 1km tornaram-se mais bruscos quando o pulo de escala foi de 10m para 10km não se mostrando coerente com a rede vetorizada.

AGRADECIMENTOS: A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - CAPES pelo apoio fornecido no desenvolvimento dessa pesquisa. E ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – (PIBIC-EM/CNPq), por fornecer bolsa ao segundo autor.

BIBLIOGRAFIA

AUGUSTO, A. A. Z.; VIADANA. M. I. C. de F. (1998). “A atualização cartográfica da rede de drenagem e a análise morfométrica do relevo” in Anais do IX Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Santos, Brasil, 11 a 18 de Setembro 1998, INPE, pp. 473-485.

BUARQUE, D. C. *et al.* (2009). “Comparação de Métodos para Definir Direções de Escoamento a partir de Modelos Digitais de Elevação”. RBRH — Revista Brasileira de Recursos Hídricos. v. 14 n.2 Abr/Jun 2009, pp. 91-103.

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.

FAIRFIELD, J., LEYMARIE, P. (1991). “Drainage networks from grid digital elevation models”. *Water Resources Research*, 27(5), pp. 709-717, doi:0043-1397/91/90WR02658.

FLORENZANO, T. G. (Org.) (2008). Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias Atuais. São Paulo: Oficina de Textos.

JAXA: ASTER Global Digital Elevation Model (2011). Disponível em: <<http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/>>. Acesso em 9 de outubro de 2011

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.

MOORE, I.D., *et al.* (1991). “*Digital terrain modelling: a review of hydrological, geomorphological, and biological applications*”. *Hydrol. Process.* 5, pp. 3–30.

MOURA, A. C. M. *et al.* (2005). “*Atualização de mapa de drenagem como subsídio para montagem de SIG para a análise da distribuição da esquistossomose em Minas Gerais*” in *Anais do XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*. 8p. 2005.

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.; COLLISCHONN, W.; SILVEIRA, A. L. L. (2006). “*Improvements in large scale drainage networks derived from digital elevation models*”. *Water Resources Research*, 42 (8), doi: 10.1029/2005WR004544.

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. (2007). “*Rede de drenagem para modelagem hidrológica distribuída*” in *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos*. 20p. 2007.

PAZ, A. R. E COLLISCHONN, W. (2007). “*River reach length and slope estimates for large-scale hydrological models based on relatively high-resolution digital elevation model*”. *Journal of Hydrology*.

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.

RENNÓ, C. D.; SOARES, J. V. (2001). “*Discretização espacial de bacias hidrográficas*” in Anais do X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. 8p. 2001.

ROSA, R. (2005). “*Geotecnologias na Geografia Aplicada*”. Revista do Departamento de Geografia, 16, pp. 81-90.

SÁ, J. de F. de, et al. (1993). “*Uma Avaliação de Distintas Metodologias para Extração de Informações Topográficas Utilizando um Modelo Numérico do Terreno e o Algoritmo de um Modelo Hidrológico Distribuído*” in Anais do VII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE, pp. 252-260. 1993.

SANTOS, I. M. ; ZEILHOFER, P. (2003). “*Integração do modelo hidrológico NGFLOW no sistema integrado de monitoramento ambiental da bacia do rio Cuiabá – SIBAC*” in Anais do GIS BRASIL – 9º SHOW DE GEOTECNOLOGIAS – 3ª MOSTRA DO TALENTO CIENTÍFICO. 8p. 2003.

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.