



Exatidão posicional de redes hidrográficas extraídas de MDE gerados a partir de MDE globais e de dados extraídos do OpenStreetMap

Elisabete V. MONTEIRO^{1,2}, Cidália C. FONTE^{3,2} e João L. M. PEDROSO DE LIMA^{4,5}

¹ UDI/IPG-Unidade de Desenvolvimento do Interior do Instituto Politécnico da Guarda (Portugal)

² INESC-Coimbra-Instituto de Engenharia de Sistemas de Computadores de Coimbra (Portugal)

³ Departamento de Matemática, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (Portugal)

⁴ Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (Portugal)

⁵ IMAR – Instituto do Mar e MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, c/o Dep. Ciências da Vida, Coimbra (Portugal)

(emonteiro@ipg.pt; cfonte@mat.uc.pt; plima@dec.uc.pt)

Palavras-chave: exatidão posicional, redes hidrográficas, ASTER, SRTM e *OpenStreetMap*

Resumo: A posição das linhas de água é necessária para vários tipos de análises no âmbito da Hidrologia, podendo a sua localização ser obtida a partir de dados oficiais com elevada exatidão. No entanto, por vezes, esta informação não está disponível ou pode ter custos elevados. Em alternativa, a rede hidrográfica pode ser obtida a partir de dados de acesso livre, como os Modelos Digitais de Elevação (MDE) globais ASTER e SRTM, ou ainda de dados disponibilizados por voluntários, de que é exemplo o *OpenStreetMap* (OSM) que, entre outro tipo de dados, inclui linhas de água (*waterways*). Embora a completude desta informação possa ser baixa, um estudo inicial realizado numa zona da bacia hidrográfica do rio Mondego (Portugal), mostrou que a exatidão posicional das linhas de água disponíveis no OSM é superior à exatidão posicional das linhas de água extraídas dos MDE.

O presente trabalho tem por objetivo verificar se a rede hidrográfica obtida a partir de um MDE gerado com dados extraídos dos MDE globais e das linhas de água disponíveis no OSM, apresenta maior exatidão posicional do que a rede hidrográfica gerada a partir dos MDE originais. Foi avaliada a exatidão posicional da rede hidrográfica através da comparação com a rede hidrográfica da série cartográfica M888 à escala 1/25000 do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE). O estudo foi aplicado à área acima referida. Os resultados obtidos mostram que a combinação das duas fontes de informação de acesso livre (MDE ASTER e SRTM e linhas de água do OSM) permitiu aumentar a exatidão posicional das redes hidrográficas.



1. Introdução

As redes hidrográficas são necessárias para diversos estudos de natureza hidrológica, extraindo-se delas parâmetros topográficos necessários à caracterização das bacias hidrográficas, tais como, comprimento das linhas de água, comprimento total da rede, densidade de drenagem e relações de bifurcação. As redes hidrográficas podem ser obtidas recorrendo a Modelos Digitais de Elevação (MDE). Têm sido desenvolvidos diversos sistemas de satélites e de sensores para produzir dados altimétricos em formato digital (Hirano *et al.*, 2003), de que são exemplo os modelos ASTER e SRTM. Estes MDE têm livre acesso, cobrem quase toda a superfície terrestre, e na área de estudo possuem resoluções espaciais de 30 e 90 m, respetivamente. Estes MDE são bastante úteis, nomeadamente em situações em que há dificuldade na obtenção de dados cartográficos oficiais, que apesar de normalmente possuírem uma maior exatidão, possuem custos relevantes que o utilizador poderá não ter possibilidade de suportar. Além disso, em determinadas regiões do mundo não existem dados oficiais, o que torna este tipo de modelos ainda mais úteis. Em determinados estudos, a área abrangente pode envolver zonas pertencentes a mais do que um país, pelo que, não se pode apenas utilizar dados de uma única fonte oficial. Nos últimos anos a sua vasta utilização deve-se à sua abrangência quase global (Nikolakopoulos e Chrysoulakis, 2006), permitindo estudar zonas remotas da superfície terrestre. Todavia, como qualquer fonte de dados geográficos, os MDE globais não estão isentos de erros, assim como os parâmetros deles extraídos. Diversos estudos já publicados analisam a exatidão dos MDE e dos parâmetros deles derivados (e.g., Zhang *et al.*, 2008 e Kenward *et al.*, 2000, Gopinath *et al.*, 2014).

Nos últimos anos surge uma nova forma de informação geográfica, designada de “Informação Geográfica Voluntária-IGV”. A IGV representa um recurso crescente de dados potencialmente valiosos para muitas aplicações (Fonte *et al.*, 2015) onde os utilizadores produzem e publicam essa informação. A IGV, segundo Goodchild (2007) é um fenómeno que rompe com todas as formas mais convencionais de informação geográfica, enfatizando também o esforço dos voluntários que a recolhem, a processam e a publicam. O *OpenStreetMap* (OSM) é um exemplo de IGV e consiste num projeto colaborativo onde os voluntários recolhem, processam e publicam dados geográficos de diverso tipo, como cartografia, imagens, atributos descritivos, entre outros. É uma fonte de dados geográficos de acesso livre, com a representação cartográfica de diversas entidades geográficas. Uma dessas entidades é designada “*waterways*” e corresponde a linhas que representam cursos de água, tendo sido esta a informação utilizada no presente estudo.

Um assunto chave relacionado com IGV é a qualidade dos dados produzidos (e.g., Fonte *et al.*, 2015, Girres e Touya, 2010 e Cipeluch *et al.*, 2010). Alguns autores tem avaliado a exatidão da IGV comparando com outras fontes de dados usados como referência (e.g., Haklay, 2010 e Girres e Touya, 2010) e também com mapas disponíveis na internet, tal como, o *Google Maps* e *Bing Maps* (Cipeluch *et al.*, 2010). Relativamente à cobertura dos dados OSM, apresenta-se variável em função da região, sendo normalmente nas zonas urbanas, onde reside mais população, que existe maior completude.

Num estudo previamente realizado (Monteiro *et al.*, 2015) e aplicado a uma área inserida na bacia hidrográfica do Rio Mondego (Portugal) foi analisada a exatidão posicional das redes hidrográficas extraídas dos MDE ASTER e SRTM e das linhas de água disponibilizadas no OSM, tendo-se concluído que as linhas de água do OSM possuem uma maior exatidão posicional que as redes hidrográficas extraídas dos MDE globais. As redes hidrográficas extraídas dos MDE globais e do OSM foram comparadas com a rede hidrográfica da carta 1/25 000 do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE), que serviu de referência. Neste contexto, propõe-se a realização de um estudo que permita analisar se os MDE globais ASTER e SRTM obtidos a partir da integração de dados do OSM (linhas de água) com dados extraídos dos MDE globais (pontos com cota associada), permitem a extração de linhas de água com maior exatidão posicional que as linhas de água extraídas dos MDE originais.

2. Metodologia

2.1 Transformação dos MDE globais

A extração das redes hidrográficas geradas depende essencialmente da qualidade do MDE (Gopinath *et al.*, 2014). Por isso, uma melhoria na exatidão de MDE traduz-se normalmente na melhoria da exatidão dos parâmetros deles extraídos.

A melhoria da exatidão do MDE pode ser conseguida com a integração de informação de melhor qualidade. O desafio para este estudo sustentou-se na ideia de que, visto que em trabalho anteriormente desenvolvido (Monteiro *et al.*, 2015) provou-se que, na região em estudo, as linhas de água extraídas do OSM possuíam uma maior exatidão posicional que as linhas de água extraídas dos MDE globais, julgou-se oportuno analisar se, os MDE resultantes da integração das linhas de água do OSM com uma amostra de pontos derivados dos MDE originais, produzem linhas de água com maior exatidão posicional que a exatidão posicional obtida para as linhas de água extraídas dos MDE originais. Assim, os MDE globais originais foram convertidos em informação vetorial do tipo ponto. A conversão dos MDE originais do modelo matricial para pontos no modelo vetorial permite obter uma amostra regular de pontos, onde cada píxel da matriz de elevações origina um ponto localizado no centro do píxel com valor de elevação associado. De seguida, utilizou-se um método de interpolação baseado no algoritmo de ANUDEM (Hutchinson *et al.*, 2011) que utiliza como dados de entrada, pontos com valor de cota e linhas. Considerou-se este método o mais apropriado, em função dos dados a utilizar. A Figura 1 ilustra o processo de reconstrução do MDE com introdução de informação sobre a posição dos cursos de água (linhas de água extraídas do OSM).

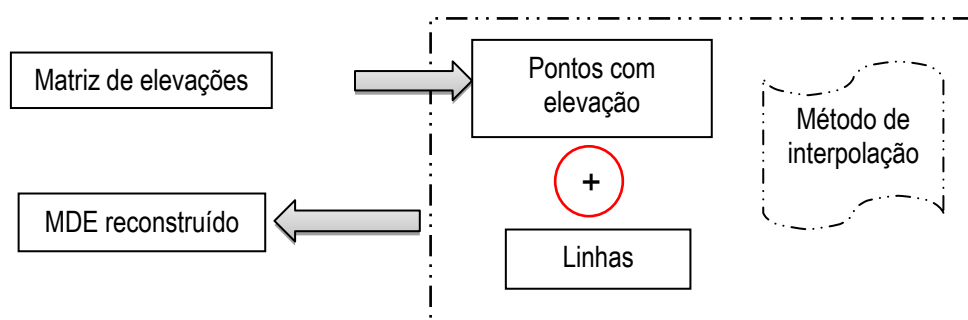


Figura 1 – Fluxograma de reconstrução do MDE integrando informação de pontos com cota associada e linhas (linhas de água do OSM)

2.2 Extração das redes hidrográficas

A extração das redes hidrográficas foi efetuada aplicando o algoritmo D8 (e.g., Mark, 1984, O'Callaghan e Mark, 1984; Tarboton, 1997). O processo tem início com a remoção das depressões artificiais que ocorrem durante os métodos de geração dos MDE e de seguida, tendo por base a matriz das elevações gera-se a matriz de direção do escoamento. Nesta matriz o atributo de cada píxel, define uma das oito direções de escoamento possíveis. Tendo por base a matriz de direção do escoamento, gera-se a matriz de acumulação de escoamento. Nesta matriz cada píxel tem um valor que indica o número de píxeis que para ele drenam. Por último, extraem-se as redes hidrográficas impondo uma condição à matriz de acumulação de escoamento. A condição diz que o valor do píxel deve ser superior a um valor (nível crítico) que define se o píxel pertence ou não à linha de água.

2.3 Exatidão posicional das redes hidrográficas

Após a extração das redes hidrográficas interessa saber a sua exatidão posicional. Para isso, é necessário determinar a distância horizontal (desvio) que separa as redes extraídas dos MDE modificados e a rede de referência. Em termos de geometria plana consiste em resolver o problema da distância horizontal entre duas linhas que não são paralelas. Assim, optou-se por transformar uma das linhas em pontos (ponto médio de cada segmento que forma a linha) e de seguida determinar a distância de cada um desses pontos ao ponto mais próximo da linha tomada como referência, tendo um raio de abrangência pré-definido. Traduzindo-se assim o processo num problema de determinação da distância entre pontos e uma linha, constituída por segmentos. A distância de cada ponto à linha de referência considerada é o mínimo da distância entre o ponto e a extremidade do segmento mais próximo da linha de referência e a distância da perpendicular baixada do ponto ao segmento da linha de referência mais próximo, de acordo com a Figura 2. Obtendo-se para cada

ponto o valor da distância do ponto à linha de referência. Determinou-se em seguida, a média das distâncias (M) de cada rede hidrográfica em análise à rede de referência e também o desvio padrão (σ).

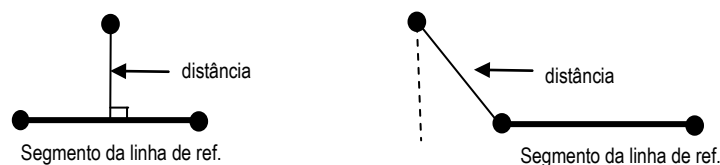


Figura 2 – Determinação da distância entre um ponto e um segmento da linha de referência

3. Caso de estudo

3.1 Caracterização e localização da área de estudo

A área de estudo localiza-se na bacia hidrográfica do rio Mondego, na região de Gouveia, distrito da Guarda, Portugal. É uma região declivosa e de vales encaixados, onde o rio Mondego serpenteia e contorna as montanhas, possui aproximadamente 160 km² de área e uma altitude média de 690 metros. A rede hidrográfica de referência utilizada no estudo pertence à folha nº 201 da carta topográfica à escala 1/25 000 da série cartográfica M888 do IGeoE que se apresenta na Figura 3.

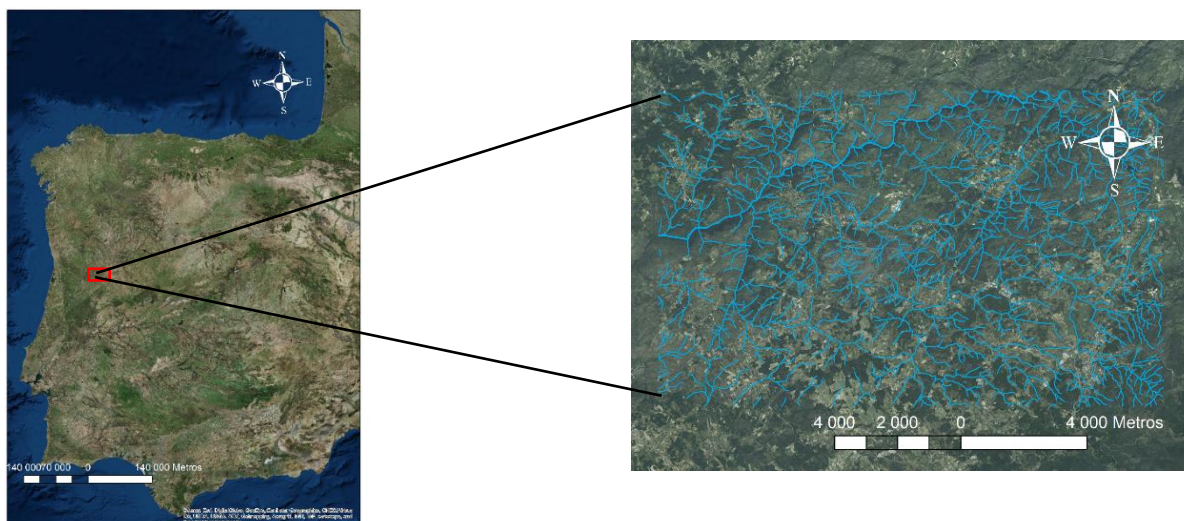


Figura 3 – Localização da área de estudo (concelho de Gouveia, Guarda, Portugal)

3.2 Dados

Foram utilizadas três fontes de dados de acesso livre, os MDE globais ASTER e SRTM, respetivamente com resoluções espaciais de 30 e 90m e também a entidade geográfica “waterways”, correspondente à rede hidrográfica disponível no *OpenStreetMap*, onde apenas estão cartografados os rios principais (Mondego e três afluentes da margem Sul) e que se apresentam na Figura 4. Os MDE estavam originalmente no sistema de coordenadas geográficas WGS 84 (*World Geodetic System*, 1984). Como dados de referência foi utilizada a rede hidrográfica cedida pelo IGeoE apresentada na Figura 3.

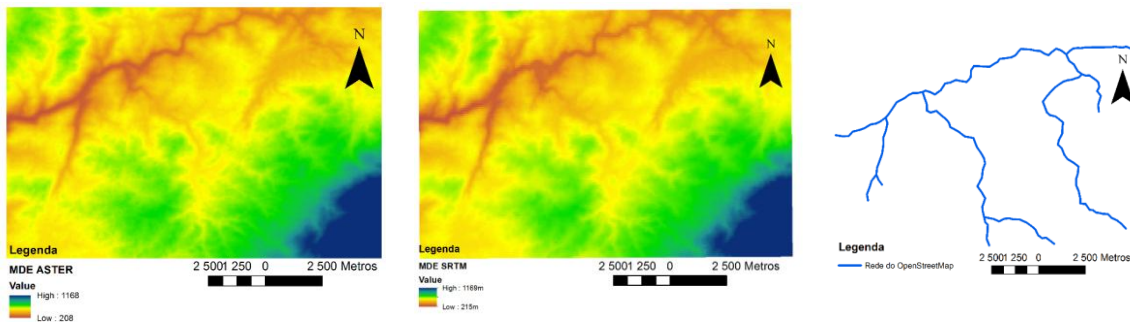


Figura 4 – MDE ASTER e SRTM e rede hidrográfica do OSM

3.3 Exatidão posicional das redes hidrográficas

Os MDE globais foram convertidos num ficheiro de pontos com valor de elevação associado, pontos esses posicionados no centróide de cada píxel que o gerou, originando assim uma amostra regular de pontos de elevação. A Figura 5a) mostra uma porção do MDE convertido em pontos. De seguida, de acordo com a metodologia descrita, foi feita uma interpolação utilizando os respetivos pontos de elevação conhecida e as linhas de água do OSM, obtendo-se dois novos modelos, respetivamente com os dados provenientes do ASTER e do SRTM e do OSM. A Figura 5b) mostra os dados utilizados no método de interpolação para a reconstrução dos MDE.

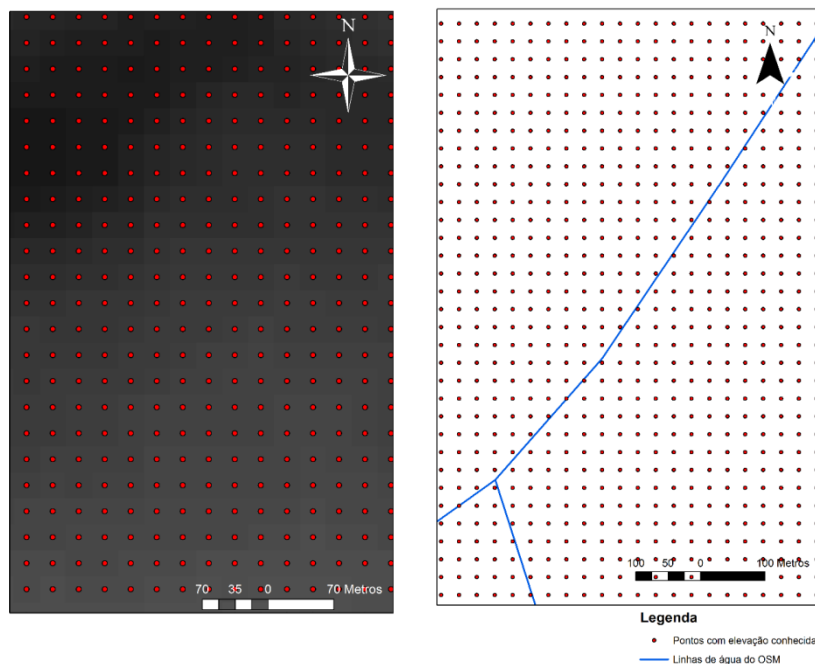


Figura 5 – a) MDE convertido em pontos com elevação conhecida; b) Extrato de uma das zonas da área de estudo com os pontos de elevação conhecida extraídos de um dos MDE e as linhas de água do OSM

Para a extração das redes de drenagem dos MDE, como já foi mencionado anteriormente, foi necessário definir um nível crítico (nc) que corresponde a um valor inteiro de píxeis que valida as linhas de água. Foram escolhidos os níveis críticos utilizados em estudo anterior (Monteiro *et al.*, 2015). Para o MDE ASTER, foram escolhidos os níveis críticos de 45, 63 e 90 píxeis, já para o MDE SRTM foram escolhidos os níveis críticos de 5, 7 e 10 píxeis. A escolha dos níveis críticos teve em conta dois fatores: produzir redes hidrográficas com um nível de detalhe similar à rede hidrográfica de referência e também a diferente resolução espacial dos dois MDE. Por conseguinte, os níveis críticos definidos para o MDE ASTER resultam da multiplicação por nove dos níveis críticos escolhidos para o MDE SRTM. As redes hidrográficas são



extraídas impondo uma condição à matriz de acumulação de escoamento que diz que, o valor do píxel deverá ser superior ao nível crítico definido.

Para avaliar a exatidão posicional das redes hidrográficas originais e as obtidas com os novos modelos, foi determinada a distância horizontal das redes extraídas dos MDE modificados e a rede de referência, utilizando-se a metodologia descrita anteriormente. A determinação da distância horizontal que separa a rede derivada de um MDE e a rede de referência é dada pelo comprimento entre os pontos médios de cada segmento que forma a linha dos MDE até ao ponto mais próximo da rede de referência, considerando um raio de abrangência máximo e que neste estudo foi considerado de 200m. Determinaram-se os parâmetros estatísticos média das distâncias (M) e o desvio padrão (σ), para cada rede gerada pelo nível crítico considerado e para cada MDE.

4. Resultados e discussão

Os resultados obtidos mostram que a exatidão posicional das linhas de água extraídas dos MDE transformados é maior que a exatidão posicional das redes hidrográficas extraídas dos MDE originais. O Quadro 1 apresenta os resultados obtidos para cada nível crítico considerado para os MDE originais e para os MDE transformados. Globalmente, observa-se uma diminuição dos valores do desvio padrão e da média aritmética da distância que separa a rede hidrográfica extraída dos MDE transformados e a linha de referência, relativamente aos correspondentes valores obtidos para os MDE originais, em todos os casos analisados.

Quadro 1 – Valores da média e do desvio padrão da distância horizontal entre as linhas de água extraídas dos MDE originais e MDE transformados, e a rede hidrográfica de referência

MDE	nc	MED originais		MDE transformados		Variações	
		M_o [m]	σ_o [m]	M_t [m]	σ_t [m]	ΔM [m]	$\Delta \sigma$ [m]
ASTER	45	41,3	41,8	34,8	37,0	6,5	4,8
	63	39,4	40,0	34,1	36,3	5,3	3,7
	90	37,8	37,8	33,3	36,3	3,5	1,5
SRTM	5	40,8	43,0	40,4	39,1	0,4	3,9
	7	38,7	40,2	37,0	37,7	1,7	2,5
	10	35,4	37,9	35,4	36,7	0,0	1,2

Observa-se ainda que para os mesmos níveis críticos essas variações são de maior amplitude para os MDE ASTER que para os MDE SRTM, o que nos leva a concluir que a transformação dos MDE com a inclusão da informação do *OpenStreetMap* é mais vantajosa para o MDE ASTER do que para o MDE SRTM. No estudo previamente realizado (Monteiro *et al.*, 2015) concluiu-se que as redes derivadas do MDE SRTM apresentavam uma maior exatidão posicional que as redes derivadas do MDE ASTER. Assim, pode concluir-se que neste caso, a introdução de informação adicional sobre a posição de alguns cursos de água (linhas de água do OSM) melhorou mais o MDE que produzia redes com menor exatidão posicional (MDE ASTER).

Observando a coluna 3 e 5 do Quadro1, onde se apresenta a média das distâncias das linhas de água extraídas dos MDE originais (coluna 3) e dos MDE transformados (coluna 5), constata-se que as linhas de água derivadas do MDE originais que apresentavam os piores resultados, com a transformação dos modelos passaram a produzir os melhores resultados. E isto acontece para os dados ASTER. Analisando ainda o Quadro 1 observa-se que o valor mais elevado das diferenças do desvio padrão para o MDE ASTER é obtido para o nível crítico 45, com um valor de 4,8 m, enquanto a variação para nível crítico correspondente do MDE SRTM foi menor, com um valor de 3,9m. Em relação à variação obtida para a média aritmética, verifica-se que as maiores variações também se obtêm para as linhas de água extraídas do

MDE ASTER, obtendo-se o maior valor para o nível crítico de 45 píxeis, onde a variação foi de 6,5m. Já a variação obtida para o nível crítico corresponde no MDE SRTM foi apenas de 0,4m.

Visualmente também se pode observar que a posição das linhas de água melhorou particularmente nas zonas onde existia informação OSM, essas zonas correspondem aos rios principais da área de estudo, rio Mondego e respetivos afluentes. Na Figura 6a) observa-se um melhor posicionamento da linha de água do MDE ASTER transformado (a vermelho) que a linha derivada do MDE ASTER original (violeta). Na Figura 6b), observa-se o posicionamento das linhas derivadas dos MDE transformados ASTER (vermelho) e SRTM (verde) relativamente à rede de referência (azul). Verifica-se um melhor posicionamento da linha de água extraída do MDE ASTER transformado, o que está de acordo com a análise estatística efetuada.

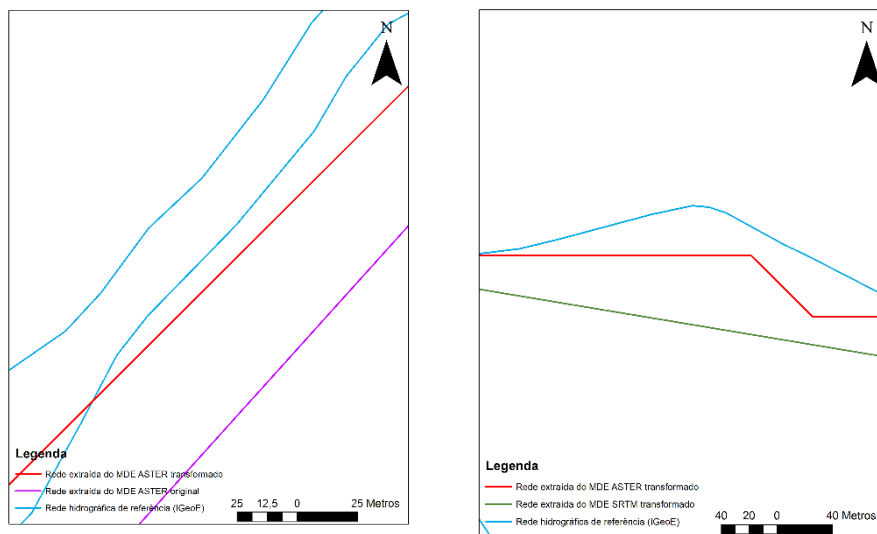


Figura 6 – a) Linhas de água derivadas dos MDE ASTER original (violeta) e transformado (vermelho); b) Comparação das linhas de águas derivadas dos MDE transformados ASTER (vermelho) e SRTM (verde)

5. Conclusões

O estudo desenvolvido permite concluir que na área estudada a inserção das linhas de água extraídas do OSM nos MDE globais melhoram a exatidão posicional das linhas de água extraídas dos modelos que resultam da combinação dessas duas fontes de dados de livre acesso. Para os níveis críticos utilizados conclui-se que o MDE ASTER consegue tirar maior vantagem da transformação do modelo que o MDE SRTM pois o desvio padrão obtido para o MDE ASTER transformado é quase sempre de menor valor que o desvio padrão obtido para o MDE SRTM transformado. Visto que em estudo anterior (Monteiro *et al.*, 2015) as linhas de água derivadas do MDE ASTER tinham menor exatidão posicional que as linhas derivadas do MDE SRTM, com a reconstrução dos modelos, aquele que apresentava os piores resultados (ASTER), passou a ser o que apresentou os melhores pois teve mais a melhorar em termos de exatidão posicional.

O estudo também permitiu verificar que a melhoria na posição das linhas de água é mais notória nas zonas onde existe informação OSM, ou seja, junto aos rios principais da área de estudo. Em abordagens posteriores será interessante analisar se com amostras semelhantes em número de pontos para os dois modelos digitais de elevação, os resultados produzidos seriam semelhantes. A aplicação do presente estudo a outras áreas de maior dimensão, com outro tipo de características de relevo vai permitir averiguar se a fusão destas duas fontes de dados de livre acesso (MDE ASTER e SRTM e dados do OSM) é também vantajosa e se a melhoria conseguida é variável em função das características e dimensão da área de estudo, tendo presente que, essa melhoria estará sempre dependente da exatidão posicional das linhas de água disponíveis no *OpenStreetMap* para a área estudada e também da completude, ou seja, a qualidade da informação disponível no OSM é determinante para a utilidade deste processo.



Agradecimentos

Agradece-se Instituto Geográfico do Exército (IGeoE) a cedência da rede hidrográfica correspondente à folha nº 201 da série cartográfica M888 à escala 1/25 000.

Referências Bibliográficas

- Cipeluch, B., Jacob, R., Winstanley, A. e Mooney, P. (2010). Comparison of the accuracy of OpenStreetMap for Ireland with Google Maps and Bing Maps. In: N. J. Tate and P. F. Fisher (eds.), *Proceedings, Ninth International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences, Accuracy 2010*, Leicester, UK, July 20-23, 337-340, 2.
- Fonte, C.C., Bastin, L., See, L., Foody, G. e Lupia, F. (2015). Usability of VGI for Validation of Land Cover Maps. *International Journal of Geographic Information Science*. 29 (7), 1260-1291.
- Girres, J.E. e Touya, G. (2010). Quality assessment of the French OpenStreetMap dataset, *Transactions in GIS*, 14 (4), 435-459.
- Goodchild, Michael F. (2007). Citizens as Sensors: The World of Volunteered Geography. *GeoJournal* 69 (4): 211-21. doi:10.1007/s10708-007-9111-y.
- Gopinath, G., Swetha, T.V. e Ashitha, M.K. (2014). Automated extraction of watershed boundary and drainage network from SRTM and comparison with survey of India Toposheet, *Arab Journal. Geosci.*, 7, 2625-2632.
- Haklay, M. (2010). How good volunteered geographical information? A comparative study of OpenStreetMap and Ordnance Survey datasets, *Environment and Planning B: Planning and Design*, 37 (4), 682-703.
- Hirano, A., Welch, R. e Lang, H. (2003). Mapping from ASTER stereo image data: DEM validation and accuracy assessment. *Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 57, 356-370.
- Hutchinson, M.F., Xu, T. e Stein, J.A. (2011). Recent Progress in the ANUDEM Elevation Gridding Procedure. In: *Geomorphometry 2011*, edited by T. Hengel, I.S. Evans, J.P. Wilson and M. Gould, Redlands, California, 19-22.
- Kenward, T., Lettenmaier, D.P., Wood, E.F. e Fielding, E. (2000). Effects of digital elevation model accuracy on hydrologic predictions. *Remote Sensing of Environment*, 74 (3), 432-444.
- Mark, D.M. (1984). Automated detection of drainage networks from digital elevation models. *Cartographica* 21, 168-178.
- Monteiro, E.V., Fonte, C.C. e Pedroso de Lima, J.L.M. (2015). Assessing positional accuracy of drainage networks extracted from ASTER, SRTM and OpenStreetMap, *Proceedings of AGILE 2015*, Lisbon, Portugal, June 9-12.
- Nikolakopoulos, K.G. e Chrysoulakis, N. (2006). Updating the 1:50 000 topographic maps using ASTER and SRTM DEM: the case of Athens, Greece. *Remote Sensing for Ehlens, Ulrich Michel, Proceedings of SPIE Vol. 6366* 636606-1.
- O'Callaghan, J. e Mark, D. (1984). The extraction of drainage networks from digital elevation data. *Computer Vision, Graphics & Image Processing*, 28, 323-344.
- Tarboton, D.G. (1997). A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models, *Water Resour. Res.*, 33(2), 309-319.
- Zhang, J.X., Chang, K.T. e Wu, J.Q. (2008). Effects of DEM resolution and source on soil erosion modelling: a case study using the WEPP model. *International Journal of Geographical Science*, 22 (8), 925-942.