

Avaliação dos Modelos Digitais de Elevação aplicados à extração automática de redes de drenagem

Luis Claudio da Silva dos Santos¹
Cristiane Nunes Francisco¹

¹Universidade Federal Fluminense - UFF
Departamento de Análise Geoambiental – Instituto Geociências
Campus da Praia Vermelha – Boa Viagem – Niterói - RJ, Brasil
geotricolor@gmail.com; crisnf@vm.uff.br

Abstract. Until decade of 1980, the drainage network mapping was done essentially by photo interpretation. Nowadays, with the Digital Elevation Models (DEM), the drainage network can be automatically extracted. Given the availability of DEM generated by various methods and technologies and with different spatial resolutions, this article aims to evaluate the drainage networks generated by automatic extraction using the DEM currently available: SRTM/EMBRAPA, SRTM/TOPODATA, ASTER, Projeto RJ-25/IBGE and DEM generated by the interpolation of contour lines from topographic map of scale 1:50.000. The study area is located in Macacu River basin, RJ. It was identified significant differences in the indicators used to evaluate the drainage networks. The total length of the channels ranged between 112 and 478 km, the drainage density between 0.74 to 3.76 km / km² and the hierarchical order of the basin from the 4th to 6th order. Regarding to sinuosity of drainage channels, it tends to be close in all the drainage networks extracted from DEM. However, the channels tend to have a rectilinear shape when compared with the drainage mapped on topographic map. The sinuosity channels tend to differentiate in the flat areas, due to the lower amplitude altimetric. The drainage density increases with spatial resolution of the DEM used for the extraction of drainage. The decrease of the cumulative flow also increases the number of channels. Therefore, it's necessary studies to demonstrate the spatial resolution and the accumulated flow suitable for mapping drainage network at different scales, considering the drainage density and sinuosity channels.

Palavras-chave: automatic drainage network, Digital Elevation Model, extração automática de drenagem, Modelos Digitais de Elevação

1. Introdução

A rede de drenagem de uma região geográfica define os caminhos de escoamento da água de chuva de acordo com o relevo da região. O mapeamento da rede de drenagem, até surgimento dos modelos digitais de representação da superfície, era feito pelo fotointérprete a partir da restituição aerofotogramétrica baseada em princípios da estereoscopia. Esta é uma técnica que utiliza imagens capturadas de um objeto em ângulos diferentes possibilitando a percepção das dimensões de altura, largura e profundidade (3D) (Coutinho, et al, 2007). É um ramo que surge dentro da aerofotogrametria, mas que, recentemente vem ganhando espaço com a utilização de imagens orbitais (Melgaço et al, 2005). Com a evolução das Geotecnologias, a extração de drenagem passa a ser realizada também de forma automática a partir de algoritmos que executam processamentos em Modelos Digitais de Elevação¹ (MDE).

Valeriano (2008) conceitua MDE como “arquivos que contêm registros altimétricos estruturados em linhas e colunas georreferenciadas, como uma imagem com valor de elevação em cada pixel. Os registros altimétricos devem ser valores de altitude de relevo, idealmente para que o MDE seja uma representação da topografia”. Estes modelos apresentam diversas aplicações, como: armazenamento de dados de altimétricos; análise de corte-aterro para projeto de estradas e barragens; elaboração de mapas de declividade e orientação de vertentes; representação tridimensional, dentre outras INPE (2004).

Os MDE podem ser obtidos pela interpolação de dados altimétricos (curvas de nível e pontos cotados) ou gerados por dados obtidos por sensores remotos. No primeiro caso, o processo de

¹Há autores que diferenciam Modelos Digitais de Elevação (MDE) e Modelos Digitais de Terreno (MDT) (Barros, 2006; Fernandes, 2004). Os MDT correspondem à altimetria do terreno enquanto o MDE pode incorporar aos valores altimétricos às alturas das feições presentes no terreno (prédios, árvores etc). Neste trabalho, os modelos não serão distinguidos, denominando-os todos como MDE.

geração do MDE consiste na aquisição e edição de dados altimétricos e na geração do modelo por algoritmos de interpolação. A aquisição de dados ocorre em geral por restituição fotogramétrica ou levantamento de campo direto, dependendo do tamanho do terreno a ser levantado e da escala de trabalho. Nesse último, os dados são geralmente obtidos utilizando-se instrumentos topográficos ou, mais recentemente, Sistemas Globais de Navegação por Satélite.

Os dados altimétricos representados em cartas topográficas são obtidos por levantamentos aerofotogramétricos. Atualmente, com restituição digital, os MDE podem ser gerados diretamente a partir dos arquivos digitais altimétricos (curvas de nível) gerados nesta etapa. Exemplos destes modelos integram o projeto RJ-25 desenvolvido pelo IBGE com objetivo de confeccionar cartas topográficas 1:25.000 do estado do Rio de Janeiro. Os MDE do projeto RJ-25, disponíveis na resolução espacial 20m, foram gerados a partir de vôo aerofotogramétrico com escala aproximada 1:30.000 restituído para escala 1:25.000 (IBGE, 2010a).

No entanto, a partir de 1985, com lançamento do satélite SPOT 1, teve início a obtenção de pares estereoscópicos por imagens de satélite, sendo assim possível, a partir de então, a geração de dados altimétricos por sensores orbitais. O sensor ASTER (Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer) é um dos instrumentos a bordo do Satélite TERRA (EOS-AM1), em funcionamento desde 1999, que gera imagens estereoscópicas. A partir de 2009 os MDE gerados imagens ASTER foram disponibilizados com resolução espacial de 30m, ou seja, 1 arco de segundo (ASTER, 2010).

A interferometria de radar é um método alternativo ao método estereoscópico tradicional de extração de dados altimétricos, utilizando as propriedades de coerência do Radar de Abertura Sintética (SAR) e aproveitando as vantagens dos sistemas de radar e do processamento digital de imagens (Thoutin e Gray, 2000 apud Silva e Santos, 2007). “A interferometria é uma técnica de imageamento ativa em que o radar emite o sinal, através de uma antena central, e registra as características do sinal de retorno, através de duas antenas alocadas a uma determinada distância uma da outra. Através da comparação dos dois sinais pode-se criar o modelo de elevação. Por ser um sensor ativo, o radar não necessita de luz solar para o imageamento não sofrendo influência atmosférica” (Silva e Santos, 2007).

O Shuttle Radar Topography Mission (SRTM) foi uma missão espacial liderada pela NASA e NGA (National Geospatial Intelligence Agency) realizada em 2000 com objetivo mapear a superfície da Terra em três dimensões, num nível de detalhamento inédito, a partir do levantamento de dados altimétricos por radar interferométrico. Os modelos do SRTM estão disponíveis para o território brasileiro na resolução espacial de 3 arcos de segundo (90m) (EMBRAPA, 2010). Dados SRTM estão também disponíveis em 1 arco de segundo derivados do refinamento feito por krigagem pelo projeto TOPODATA (INPE, 2010).

Diante da disponibilidade de MDE gerados por diversos métodos e tecnologias e apresentando diferentes resoluções espaciais, este trabalho tem como objetivo avaliar as redes de drenagem geradas por algoritmos de extração automática utilizando os MDE atualmente disponíveis: SRTM, SRTM/TOPODATA, ASTER, Projeto RJ 25/IBGE e MDE gerado a partir da interpolação das curvas de nível da carta topográfica 1:50.000 Nova Friburgo.

A área de estudo está situada nos alto e médio cursos da bacia do Rio Macacu, contribuinte à Região Hidrográfica da Baía de Guanabara, RJ. Com 151 km² e situada na Serra do Mar, a bacia possui relevo montanhoso a escarpado, com amplitude altimétrica aproximada de 1300m, variando entre 40 e 1340m. A partir da cota 40m, há a presença de terraços e planícies fluviais, o que permite, assim, a avaliação do traçado da drenagem extraído automaticamente em área de relevo plano.

2. Metodologia de Trabalho

A metodologia do trabalho está dividida em duas etapas: preparação da base de dados e extração automática da drenagem. Na primeira etapa, os modelos foram adquiridos e recortados para área de estudo.

No caso do MDE gerado a partir da carta topográfica 1:50.000, foi utilizado o arquivo vetorial das curvas de nível referente à folha Nova Friburgo (IBGE, 2010b). No entanto, houve a necessidade de atribuir manualmente os valores das cotas às curvas de nível, já que este dado não acompanha o arquivo digital. Para geração do MDE com resolução espacial de 25m, foi utilizado o interpolador TOPOTORASTER, disponível na extensão 3D Analyst do Arc GIS 9, a partir das curvas de nível com equidistância de 20m.

Foram extraídas as redes de drenagem a partir dos cinco MDE utilizados no presente trabalho: SRTM, SRTM/TOPODATA, ASTER, Projeto RJ 25/IBGE e carta topográfica/IBGE. A extração automática da drenagem foi feita utilizando a extensão Spatial Analyst do Arc GIS 9 através da execução dos seguintes procedimentos:

1. Eliminação depressões do MDE – depressões correspondem aos pixels que contêm valor menor do que os seus vizinhos, gerando, assim, pontos onde a água se acumula e, assim, não há escoamento. Este procedimento visa assim substituir os valores destas células pelos dados das vizinhas.
2. Geração da direção do fluxo do MDE - consiste na geração de uma nova grade, a partir do algoritmo rodado sobre o MDE, que contém valores que indicam a possível direção do fluxo, identificada pela distribuição espacial dos valores altimétricos dos modelos (Figura 1).

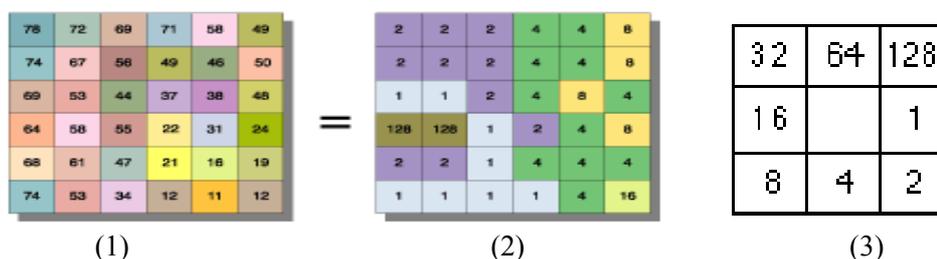


Figura 5: MDE (1), grade de fluxo (2) e valores que indicam direção de fluxo (3).
(Fonte: ESRI. 2010).

3. Determinação do fluxo acumulado - consiste na geração de uma nova grade, a partir do algoritmo rodado sobre a grade de fluxo, contendo valores que indicam a acumulação do fluxo, calculado pelo número de pixels direcionados para cada pixel da grade.

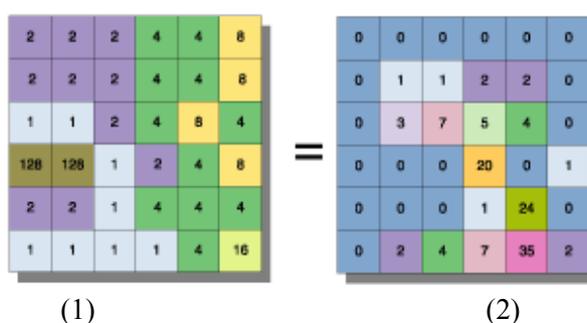


Figura 6: Direção do fluxo (1) e fluxo acumulado (Fonte: ESRI. 2010).

4. Seleção dos pixels a partir do fluxo acumulado – consiste na seleção dos pixels da grade de fluxo acumulado que contenham valores de fluxo maiores que o valor especificado pelo usuário. Desta forma, é gerada uma nova grade com pixels que demarcam os canais

drenagem. No caso do presente estudo, foram selecionados valores de fluxo maior que 100.

5. Conversão do arquivo para formato vetorial.

Para comparar a rede de drenagem extraída automaticamente dos cinco MDE utilizados, foi determinada a hierarquia dos canais de drenagem segundo método de Strahler (1957) para cada rede extraída de um respectivo modelo, bem como calculadas a densidade de drenagem e a extensão dos canais.

3. Resultados e Discussão

Foram identificadas diferenças expressivas nos indicadores utilizados para avaliar as redes de drenagem obtidas pelos distintos MDE utilizados no trabalho. A extensão total dos canais variou entre 112 e 478 km, a densidade de drenagem entre 0,74 a 3,76 km/km² e a ordem hierárquica da bacia de 4^a a 6^a ordem (Tabela 1 – Figura 1). A rede de drenagem da carta topográfica 1:50.000 (IBGE,1974), gerada por restituição analógica, possui extensão de 241 km e densidade de drenagem de 1,59 km/km². As redes de drenagem com indicadores morfométricos aproximados foram demarcadas a partir de MDE com mesma resolução espacial - SRTM /TOPODATA e ASTER. Verifica-se, também, que os indicadores da rede de drenagem aumentam de acordo a resolução espacial do MDE utilizado para extração da respectiva rede de drenagem.

Tabela 1: Características morfométricas da rede de drenagem extraídas automaticamente.

MDE	Resolução espacial do MDE (m)	Extensão dos canais (km)	Densidade de drenagem (km/km ²)	Ordem da bacia hidrográfica
SRTM EMBRAPA	90	112	0,74	4 ^a
SRTM TOPODATA	30	297	1,96	5 ^a
ASTER	30	293	1,93	5 ^a
Carta topográfica	25	369	2,44	6 ^a
Projeto RJ-25	20	478	3,16	6 ^a

Quanto aos traçados dos canais de drenagem, verifica-se que tendem a ser próximos em todas as redes de drenagem extraídas dos MDE. No entanto, eles tendem a ter um formato retilíneo quando comparados com a drenagem mapeada por restituição analógica presente na cartatopográfica. Verifica-se, também, que o número de canais menos extensos e de menor ordem hierárquica aumenta de acordo com o aumento da resolução espacial dos MDE.

No entanto, o traçado dos canais tende a se diferenciar nas áreas planas, em função da menor amplitude altimétrica nestas áreas, resultado também alcançado por Andrades Filho et al (2009), quando comparou as redes de drenagem extraídas pelos MDE SRTM e ASTER em áreas de planície e de planalto em no Pantanal de Aquidauana. Ao comparar a rede de drenagem extraída do MDE gerado pela interpolação das curvas de nível com a drenagem restituída presente na carta (Figura 3), verifica-se uma grande discordância. No entanto quando esta última é comparada com a rede de drenagem extraída do ASTER, verifica-se menor discordância. Este fato se deve a equidistância das curvas de nível utilizadas na interpolação. Assim, no caso de MDE gerados por curvas de nível, estas devem ter menor equidistância e a densidade de pontos cotados deve ser maior nas áreas planas. Nos modelos gerados por sensores remotos, a resolução espacial deve ser maior.

Por fim, foi extraída a drenagem do SRTM utilizando o fluxo acumulado maior que 10. Objetiva-se, assim, comparar a rede de drenagem gerada por MDE de menor resolução espacial, no entanto com valores menores de fluxo acumulado A densidade de drenagem atingida na nova

rede correspondeu a 2,1 km/km² e a extensão dos canais de drenagem 300 km, valores próximos a drenagem extraída dos modelos SRTM/TOPODATA e ASTER. No entanto, o traçado dos canais tende a ser mais retilíneo do que na drenagem extraída nos dois últimos modelos devido à maior resolução espacial destes (Figura 4). Logo traçado dos canais é dependente da resolução espacial, enquanto a quantidade de canais depende tanto da resolução quanto do fluxo acumulado.

4. Conclusões

Verifica-se que a densidade de drenagem aumenta com aumento da resolução espacial dos MDE utilizados para a extração da drenagem, considerando o mesmo valor do fluxo acumulado. Este resultado é esperado, pois quanto maior a resolução, maior a quantidade de pixels na grade, logo maior quantidade de pixels que um modelo possui a montante de um ponto, originando, desta forma, maiores valores de fluxo acumulado nos MDE de maior resolução. Por outro lado, quando se aumenta o fluxo acumulado, o número de canais também aumenta, no entanto os canais tendem a ficar retilíneos. Logo, são necessários estudos que demonstrem a resolução espacial e o fluxo acumulado adequados para demarcação da rede de drenagem em diferentes escalas, considerando a sinuosidade e a densidade dos canais.

Referências Bibliográficas

ANDRADES FILHO, C.O.A.; ZANI, H.; GRADELLA, F.S. (2009). **Compatibilidade da rede de drenagem obtida através de dados SRTM, ASTER e carta topográfica DSG: estudo de caso no Pantanal de Aquidauana**. In: Anais 2º Simpósio de Geotecnologias no Pantanal, Corumbá, 7-11 novembro 2009, Embrapa Informática Agropecuária/INPE, p.51-61.

ASTER. ASTER GDEM. Disponível em: <http://www.gdem.aster.ersdac.or.jp/> Acesso: em 19.nov.2010a.

BARROS, RAFAEL SILVA DE. (2006). **Avaliação da Altimetria de Modelos Digitais de Elevação Obtidos a Partir de Sensores Orbitais** [Rio de Janeiro], 2006. XIX, 172p. (IGEO/ UFRJ), Tese de Doutorado, Geografia, 2006.

COUTINHO, H.J.S.; PETRY, A.; CARDOSO, F.C. Avaliação da utilização de técnicas de estereoscopia para apresentação de conceitos de geometria descritiva. **Graphica Curitiba**, Paraná, Brasil 2007.

EMBRAPA. Brasil em Relevo. Disponível em: www.relevobr.cnpm.embrapa.br/download/rj/sf-23-z-b.htm. Acesso: em 19.nov.2010.

ENVIRONMENTAL SYSTEMS RESEARCH INSTITUTE (ESRI). **ArcGIS 9.2 Desktop Help**. Disponível em: <<http://webhelp.esri.com/arcgisdesktop/9.2/index.cfm?TopicName=welcome>>. Acesso em: 13 nov. 2010.

FERNANDES, M. C. (2004). **Desenvolvimento de Rotina de Obtenção de Observações em superfície Real: uma Aplicação em Análises Geoecológicas**. [Rio de Janeiro], 2004, 263 p. (IGEO/ UFRJ, D.Sc. GEOGRAFIA, 2004). Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, IGEO.

IBGE. Disponível em: ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/MDE/Projeto_RJ25/. Acesso: em 19.nov.2010.

IBGE. Disponível em: <ftp://geoftp.ibge.gov.br/mapas/topograficos/>. Acesso: em 19.nov.2010b.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). **Introdução ao SPRING-TUTORIAL (Apostila Teórica)**. INPE, São Jose dos Campos, SP, 265 pp, 2004.

INPE. TOPODATA. Banco de dados geomorfométricos do Brasil. Disponível em: <http://www.dsr.inpe.br/topodata/index.php>. Acesso: em 19.nov.2010.

MELGAÇO, L.M.; FILHO, C.R.S.; STEINMAYER, M. **Comparação entre Modelos Digitais de Elevação Gerados por Sensores Ópticos e por Radar**. In: Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril de 2005, INPE, p 1215-1220.

SILVA, J.E.B.; SANTOS, P.R.A. **A utilização dos Modelos SRTM na interpretação geomorfológica: técnicas e tecnologias aplicadas ao mapeamento geomorfológico do território brasileiro.** In: Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 4261- 4266.

STRAHLER, A.N. **Quantitative analysis of watershed geomorphology.** New Halen: Transactions: American Geophysical Union, 1957. v.38. p. 913-920.

VALERIANO, MÁRCIO MORISSON. **TOPODATA: guia de utilização de dados geomorfométricos locais.** São José dos Campos: INPE, 2008.

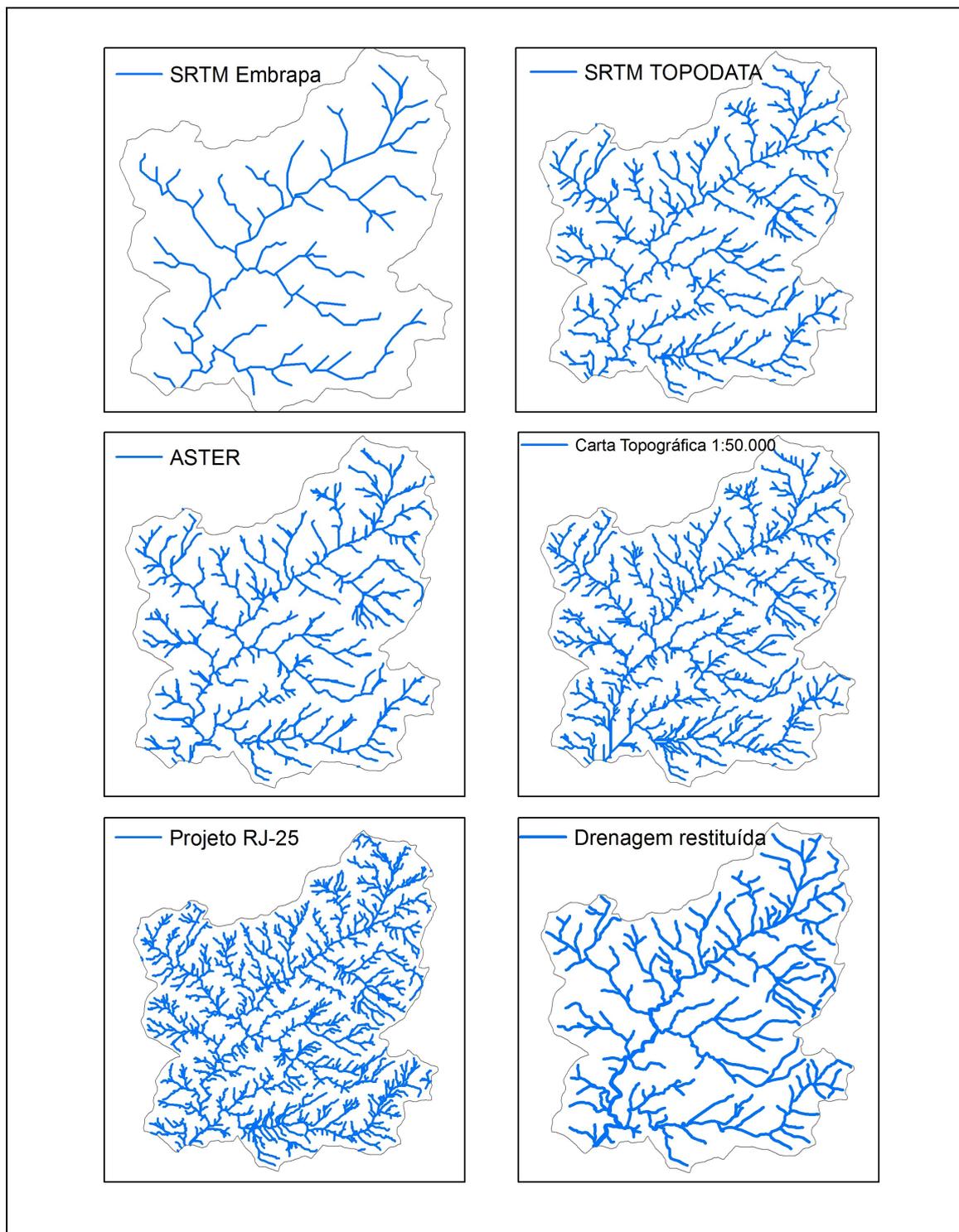


Figura 1: Comparação entre redes de drenagem extraídas de MDE.

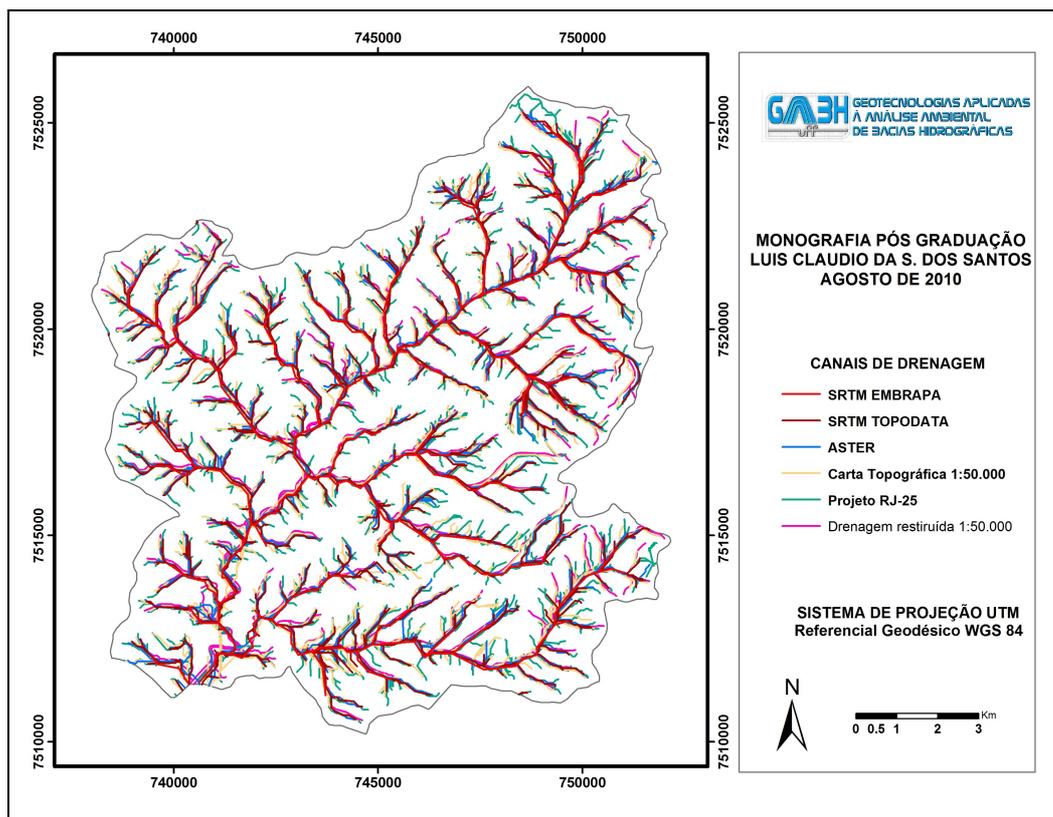


Figura 2: Comparação entre redes de drenagem extraídas de MDE.

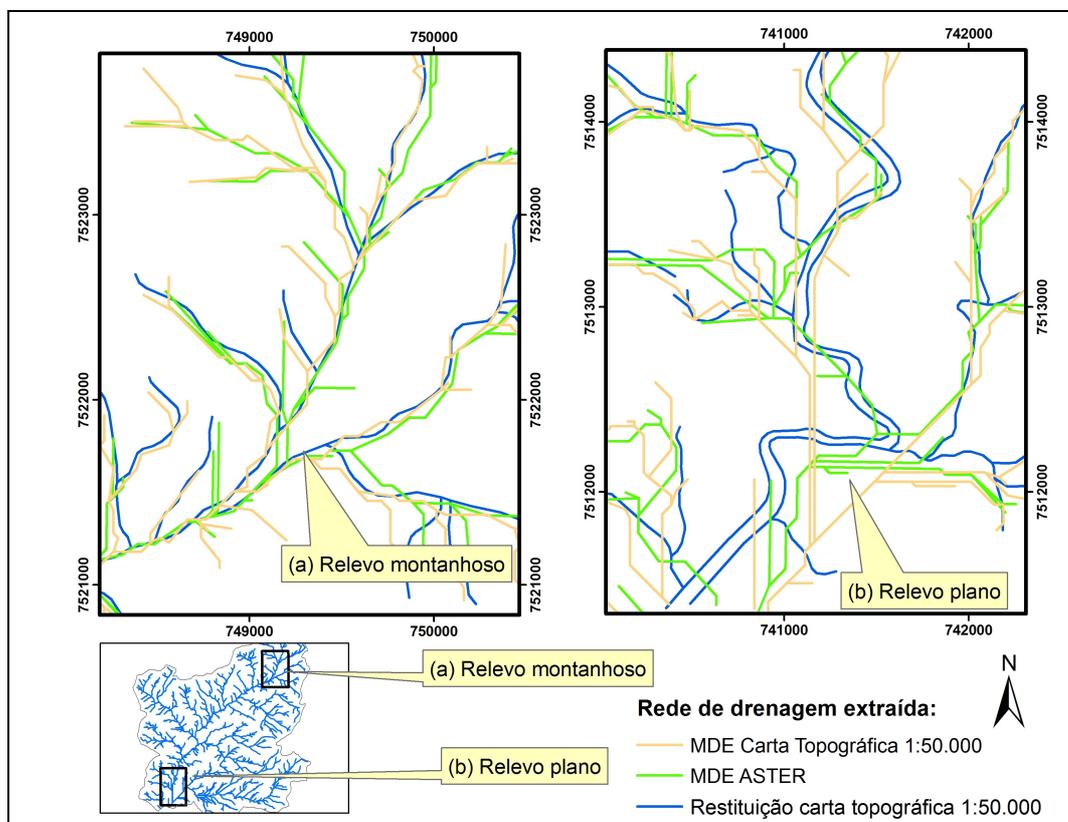


Figura 3: Comparação entre redes de drenagem extraídas de MDE situadas em encosta e área plana.

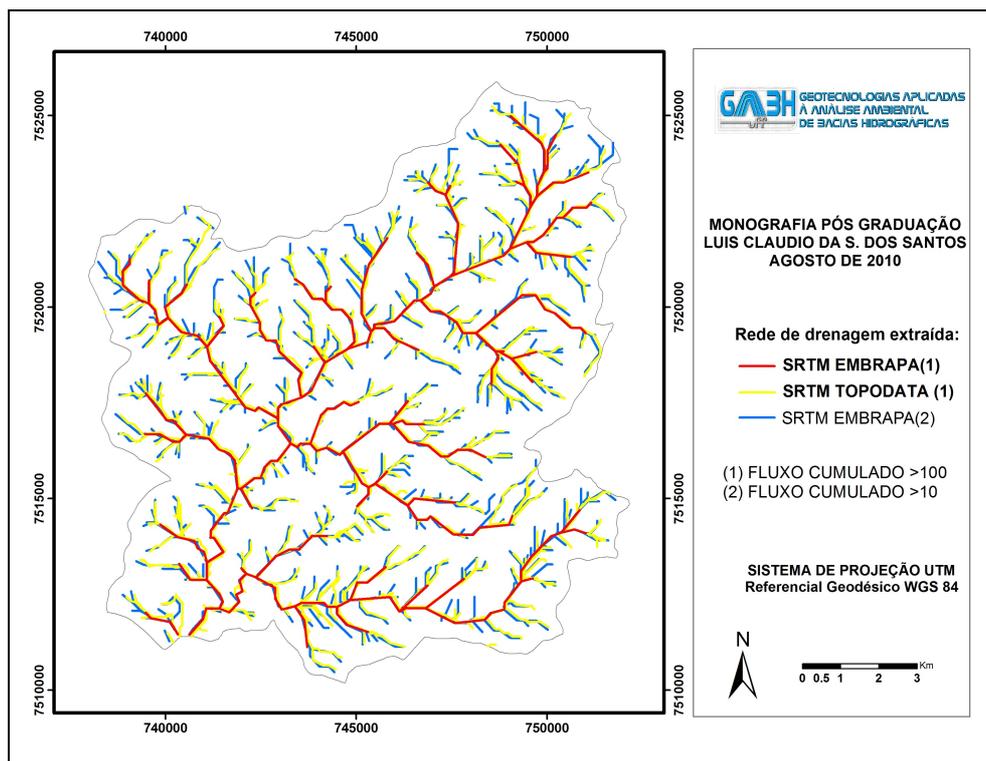


Figura 4: Comparação entre redes de drenagem extraídas de MDE com diferentes valores de fluxo acumulado.