

EXTRAÇÃO AUTOMÁTICA DE REDE DE DRENAGEM EM MODELOS DIGITAIS DE ELEVÇÃO DE ALTA RESOLUÇÃO ESPACIAL

Luciana da Costa Silva*, Cristiane Nunes Francisco**

*Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

** Universidade Federal Fluminense

Abstract. Drainage identification for Brazilian systematic mapping is done by photointerpretation from stereoscopic model restitution. The developments of Geotechnology allowed automatic extraction of drainage networks through algorithms applied to Digital Elevation Model (DEM). On the digital restitution, DEM may be constructed from the stereoscopic models of the aerial photographs. Examples of these models have been produced by the RJ-25 Project, developed by Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), which aims to produce 1:25.000-scale topographic maps of Rio de Janeiro state from stereoscopic models obtained by aerophotogrammetric survey in 1:30.000-scale. This paper aims to analyze drainage patterns automatically extracted from a DEM with spatial resolution greater than 20m in three different topographic areas, comparing to the analogic mapping of the 1:25.000-scale maps of the Project RJ-25. Project RJ-25 DEM with spatial resolution of 1.5m, 5m and 20m from two different test areas were used in this study. Drainage information was automatically extracted with Arc GIS Spatial Analyst extension. Results showed that the drainage networks extracted from mountainous area from DEM in the three different resolutions were similar to the drainage of Project RJ-25. The 5m-resolution model presented a better result when comparing to the conventional process of generating drainage networks for 1:25.000 scale maps. On the flat areas, the experiments with the three resolutions did not obtain good results for shape, position and density of the drainage. Photogrammetric restitution is still necessary for drainage networks extraction. Nevertheless automatic process may be useful for reviewing conventional work as well as preliminar and qualitative evaluation of the drainage patterns of the study area.

Keywords: digital elevation model, automatic extraction of drainage, aerophotogrammetric restitution

INTRODUÇÃO

A rede de drenagem é esculpida pela ação das águas sobre a superfície terrestre, sendo condicionada pelas características fisiográficas dominantes no terreno, entre elas as estruturais, litológicas e geomorfológicas. O mapeamento da drenagem é basicamente realizado por um fotointérprete a partir da interpretação de um modelo estereoscópico, que consiste na sobreposição de imagens capturadas em ângulos diferentes, possibilitando a percepção das três dimensões - altura, largura e profundidade (Coutinho et al., 2007).

Com o avanço das Geotecnologias, a extração de drenagem passa ser realizada também de forma automática a partir de algoritmos aplicados aos Modelos Digitais de Elevação (MDE). Esses modelos correspondem à representação de dados de elevação (altitude acrescida da altura dos alvos presentes no terreno) em uma superfície digital contínua, e podem ser obtidos através da interpolação de curvas de nível e pontos cotados, ou gerados por sensores remotos, como radares interferométricos e LIDAR (Light Detection and Ranging). Com a restituição digital, os MDE também podem ser gerados diretamente a partir dos modelos estereoscópicos produzidos a partir de fotografias aéreas. Exemplos desses modelos integram o projeto RJ-25 desenvolvido pelo IBGE para confecção das cartas topográficas 1: 25.000 do estado do Rio de Janeiro, gerados a partir de levantamento aerofotogramétrico em escala aproximada 1: 30.000 (IBGE, 2010).

Para extração automática da rede de drenagem em um MDE, devem ser executados os procedimentos de eliminação de ruídos, geração da grade de direção do fluxo e, a seguir, do fluxo acumulado, na qual os canais de drenagem são demarcados com base em um limiar de fluxo estabelecido pelo usuário (Mendes & Cirilo, 2001).

Estudos realizados por Santos & Francisco (2011), utilizando os modelos SRTM (90 m), TOPODATA (30 m), ASTER (30 m) e RJ-25 (20 m), demonstraram que a densidade da drenagem extraída automaticamente aumenta de acordo com a resolução espacial do MDE, considerando o mesmo valor do fluxo acumulado. No entanto, o traçado dos canais tende a retilinearidade em modelos de menor resolução espacial mesmo estabelecendo maior limiar de fluxo. Também concluíram que para os modelos de 30 m de resolução espacial, a densidade da drenagem extraída a partir do limiar de fluxo 100 é compatível com a escala 1: 50.000.

Considerando, assim, que para a extração automática da drenagem é necessário que o MDE possua uma resolução espacial compatível com a escala de trabalho, este estudo tem como objetivo avaliar a rede de drenagem extraída automaticamente de MDE em diferentes resoluções espaciais e em áreas de relevo plano a montanhoso, tendo como parâmetro de avaliação a rede de drenagem do projeto RJ-25.

MATERIAL E MÉTODOS

Foram avaliados os MDE derivados do projeto RJ-25 com resolução espacial de 1 m, 5 m e 20 m em duas áreas teste (Figura 1), correspondente ao recorte do mapeamento sistemático na escala 1: 25.000, identificadas pelas folhas 2717-3-SE e 2746-4-NE. A primeira está localizada na região serrana fluminense, entre os municípios de Nova Friburgo, Silva Jardim e Casimiro de Abreu, caracterizada por um relevo montanhoso a escarpado. Para geração do MDE dessa área, foi utilizado o modelo estereoscópico identificado pelos pares de fotografias aéreas n° 1465 e 1466 (Figura 2). A segunda área teste corresponde à folha 2746-4-NE, que apresenta um relevo plano a colinoso, situada entre os municípios de Rio Bonito e Saquarema. O MDE foi gerado utilizando o modelo estereoscópico correspondente às fotos n° 967 e 968 (Figura 3).

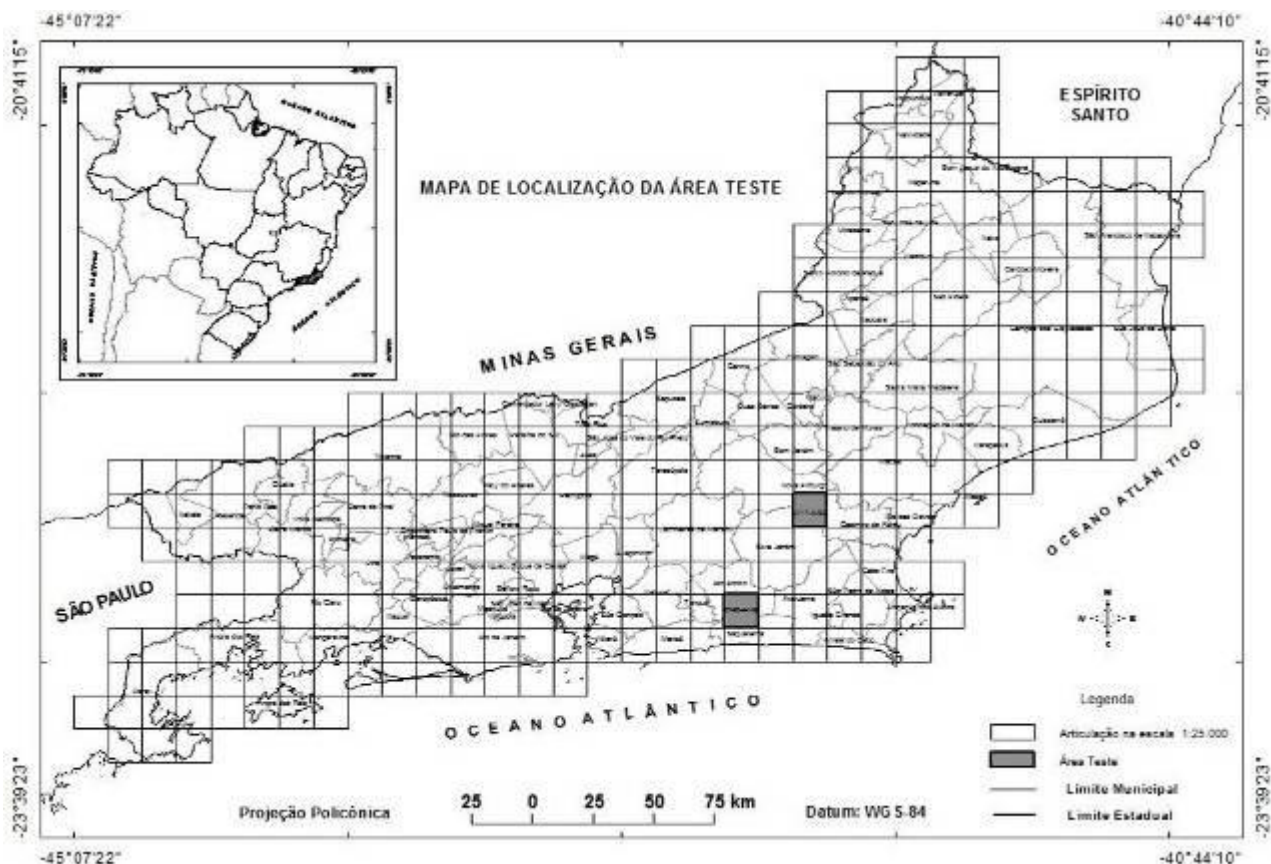


Figura 1. Mapa de localização da área teste: folhas 2717-3-SE e 2746-4-NE.

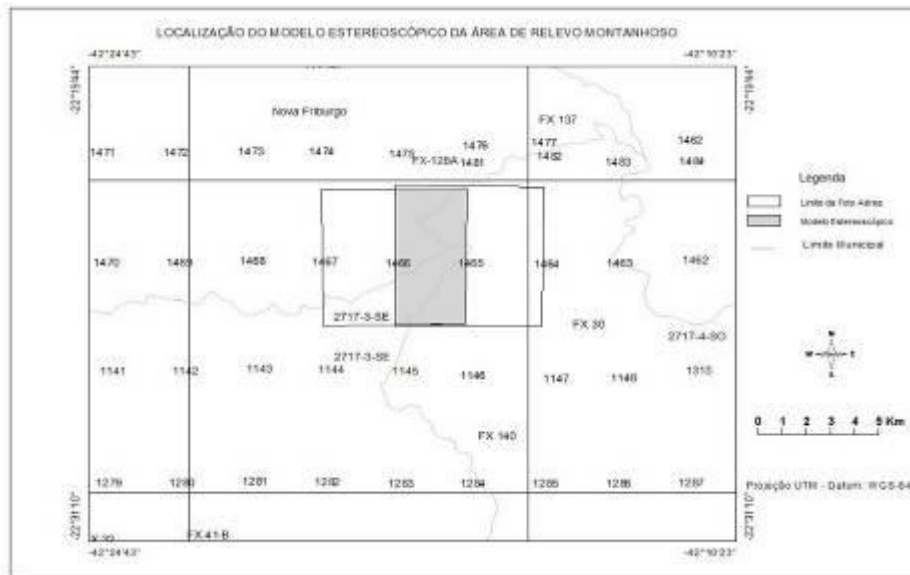


Figura 2. Localização da área teste da folha 27173se com a identificação das fotografias aéreas.

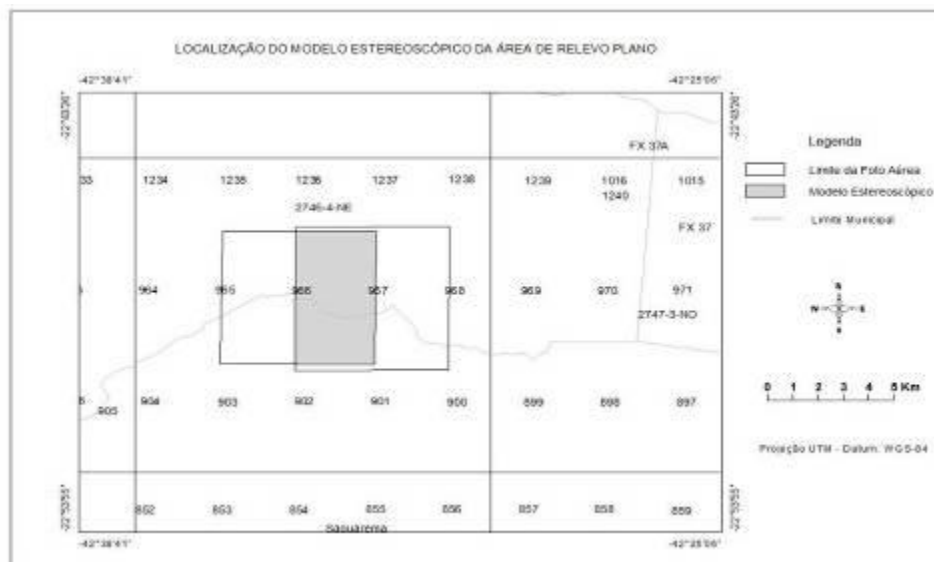


Figura 3. Localização da área teste da folha 2746-4-se com a identificação das fotografias aéreas.

A escolha das áreas teste está relacionada à metodologia de trabalho empregada na restituição aerofotogramétrica convencional. O tempo gasto por um fotointérprete experiente é de aproximadamente 1 (um) dia em média para efetuar a extração dos elementos hidrográficos em um modelo estereoscópico, considerando as dificuldades específicas de cada região trabalhada.

A geração dos MDE nas três resoluções espaciais foi realizada pelo software Erdas Imagine 2013, utilizando a ferramenta DTM Extraction do aplicativo LPS (Leica Photogrammetry Suite) em um computador HP Z 820 Workstation, com processador Intel de 2,90 Gz, 32,0 GB de memória RAM e sistema operacional de 64 Bits. Foram gerados os MDE nos modelos GRID, correspondente à rede regular de pontos, e TIN, referente à rede irregular de triângulos. Embora o TIN tenha a vantagem de representar adequadamente relevos complexos (Camara et al. 2001), o processamento exigiu mais tempo de execução, levando aproximadamente 2h para o término, principalmente na extração dos modelos de maior resolução espacial (1 e 5 m) nas áreas montanhosas. Enquanto que na área de relevo colinoso a plano, a duração do processamento consumiu 10 a 20 minutos.

De posse desses modelos, com uso do software Global Mapper 11.0, gerou-se as curvas automáticas com as equidistâncias especificadas na Tabela 1. Em seguida, foi gerado o MDE com utilização do interpolador TopoToRaster, disponível na extensão Spatial Analyst do Arc GIS 10.2.2. Esta rotina interpola valores de elevação em uma grade regular hidrológicamente corrigida utilizando técnica de interpolação baseada na diferença finita iterativa, que otimiza a eficiência computacional da interpolação local sem perder a continuidade da superfície de interpolação global.

| MDE Resolução Espacial (m) | Curvas de Nível Equidistância (m) |
|-------------------------------|--------------------------------------|
| 1 | 2 |
| 5 | 5 |
| 20 | 10 |

Tabela 1. Resolução espacial dos MDE e equidistância das curvas de nível.

Inicialmente foi aplicado um filtro visando eliminar ruídos do MDE, ou seja, pixels com valores anômalos aos seus vizinhos que propiciam a acumulação de água, no caso das depressões, ou geram linhas de escoamento incorretas, no caso de picos. Posteriormente, foi gerada a grade de direção do fluxo que indica a direção do escoamento, obtida a partir da identificação do maior desnível dos valores de elevação entre células vizinhas do MDE e, desta forma, atribuída a direção para cada pixel, compondo a grade final de direção de fluxo. Sobre essa base foi originada a grade de fluxo acumulado que contém valores correspondentes ao número de pixels direcionados para cada célula da grade. Por fim, foram traçadas as linhas de drenagem de acordo com os limiares do fluxo acumulado de cada pixel estabelecidos pelo usuário, gerando, assim, grades contendo apenas as células com valor superior ao estabelecido e que representam a rede de drenagem. Quanto menor o limiar, maior a densidade de drenagem extraída. No entanto, como os valores variam de acordo como a resolução espacial do MDE, para cada modelo foram testados alguns limiares.

Para avaliação dos resultados, foi determinada a ordem dos canais, segundo método de Strahler (1957), e calculada a densidade de drenagem (Equação 1). Esses índices foram comparados aos da rede de drenagem do mapeamento 1: 25.000 do projeto RJ-25 obtida através de interpretação visual do modelo estereoscópico.

$$DD=L/A$$

Equação 1

Onde:

DD = densidade de drenagem (km/km²)

L = comprimento total de todos os canais (km)

A = área do modelo estereoscópico (km²)

RESULTADOS

Com a análise visual das redes de drenagem extraídas automaticamente do MDE de 1 m da área de relevo montanhoso, calculadas com limiares de fluxo acumulado entre 7.500 a 10.000, observa-se que a maioria dos cursos d'água estão aderentes ao fundo de vale, e apresentam forma sinuosa compatível à trajetória do rio (Figura 4). Uma vez que, com a adoção de limiares inferiores, houve a formação de canais retilíneos, paralelos e muito próximos entre si.

Adotando-se esses limiares, ressalta-se também a elevada densidade de drenagem da rede extraída automaticamente, que resultou em 7 km/km², e a hierarquia dos canais que alcançou a sexta ordem, enquanto a densidade do projeto RJ-25 foi de 3 km/km² e a ordem máxima dos canais foi de terceira. Não há diferença significativa entre a densidade de drenagem obtida com fluxo acumulado de 7.500 e 10.000, no entanto nota-se que os canais de primeira ordem são mais longos na rede obtida com menor limiar. Por outro lado, a rede traçada por interpretação visual do projeto RJ-25 apresenta menor densidade, porém os canais de primeira ordem são mais longos alcançando às

cabeceiras do curso. Desta forma, se forem utilizados limiares de fluxo de maiores do que os valores aqui avaliados, a densidade de drenagem reduziria e, provavelmente, a quantidade de canais indevidamente traçados, no entanto, o comprimento dos canais de primeira ordem também diminuiria, não alcançando os trechos mais a montante.

Na segunda área teste, referente ao relevo plano a colinoso, a rede de drenagem, extraída automaticamente do MDE de 1 m utilizando limiar de fluxo no valor de 10.000, apresentou maior densidade na área de relevo plano e, na área colinosa, a densidade foi menor, quando comparadas à representação da drenagem do projeto RJ-25 (Figura 5). Apesar disso, a densidade calculada para toda área teste foi maior para drenagem extraída, correspondendo a 6 km/km², e menor para drenagem interpretada, equivalendo a 4 km/km², enquanto a hierarquia dos canais foi, respectivamente, de 6^a ordem e 3^a ordem. Nota-se também que não há diferença significativa entre a densidade de drenagem obtida com fluxo acumulado de 7.500 e 10.000, ainda assim, como no caso anterior, os canais de primeira ordem são mais longos na rede obtida com menor limiar.

Nos trechos dos cursos d'água situados em áreas planas, quando traçados por método convencional, ou seja, por interpretação visual em modelo estereoscópico, é necessário que estejam visíveis, pois não há presença de feições côncavas que definam o eixo do canal, fazendo com que, muitas vezes, o fotointérprete se valha da sua experiência técnica na definição do traçado. Visto que, nas áreas acidentadas, os cursos não necessariamente são visualizados, todavia são demarcados seguindo o eixo de concavidade. Mesmo assim, na extração automática, como o algoritmo baseia-se no desnível do terreno, pode ocorrer a representação de canais inexistentes em relevo plano. Esta é explicação para a diferença da quantidade de canais traçados nas áreas planas nos procedimentos aqui analisados. Avaliando a segunda área teste, desta forma, verifica-se que os canais de drenagem na área colinosa são coincidentes com o eixo de concavidade nos dois métodos, e a extração automática gerou menor quantidade de canais. Entretanto na área plana, os cursos d'água além de não serem coincidentes nos dois métodos, a extração automática gerou um quantitativo maior de canais.

Nos testes feitos com os MDE de 5 m de resolução espacial, os limiares de fluxo compatíveis à rede de drenagem do projeto RJ-25 situaram entre 500 a 1.500 nas áreas de relevo montanhoso (Figura 6) e colinoso a plano (Figura 7), alcançando valores de densidade de drenagem e da hierarquia dos cursos d'água próximos à rede hidrográfica do referido projeto.

Por análise visual da extração automática da área montanhosa, verifica-se que os canais de drenagem estão localizados no eixo de concavidade, como ocorreu com o teste feito para o MDE de 1 m, porém, observa-se que na drenagem extraída desse último modelo, o traçado é mais detalhado e, em alguns pontos, denotam pequenos ruídos, possivelmente por influência a altura da cobertura vegetal.

No caso da extração de drenagem na da área colinosa a plana no MDE de 5 m, verifica-se que o relevo plano apresentou uma quantidade de canais próxima à rede de drenagem do projeto RJ-25, enquanto, na área colinosa, o número apresentou-se reduzido, demonstrando, mais uma vez, que, em áreas onde há tipos diferentes de relevo, os limiares devem ser distintos.

Para a extração de drenagem do MDE com resolução espacial de 20 m, os limiares de fluxo compatíveis à rede hidrográfica do projeto RJ-25 estão entre 80 e 200 para relevo montanhoso (Figura 8) e plano a colinoso (Figura 9), alcançando valores de densidade de drenagem e da hierarquia dos cursos d'água próximos à rede hidrográfica do referido projeto. No entanto, na análise comparativa entre essas bases, verifica-se que os canais extraídos automaticamente apresentam-se de forma retilínea, principalmente, na área de relevo plano cuja rede traçada automaticamente difere daquela gerada por interpretação visual.

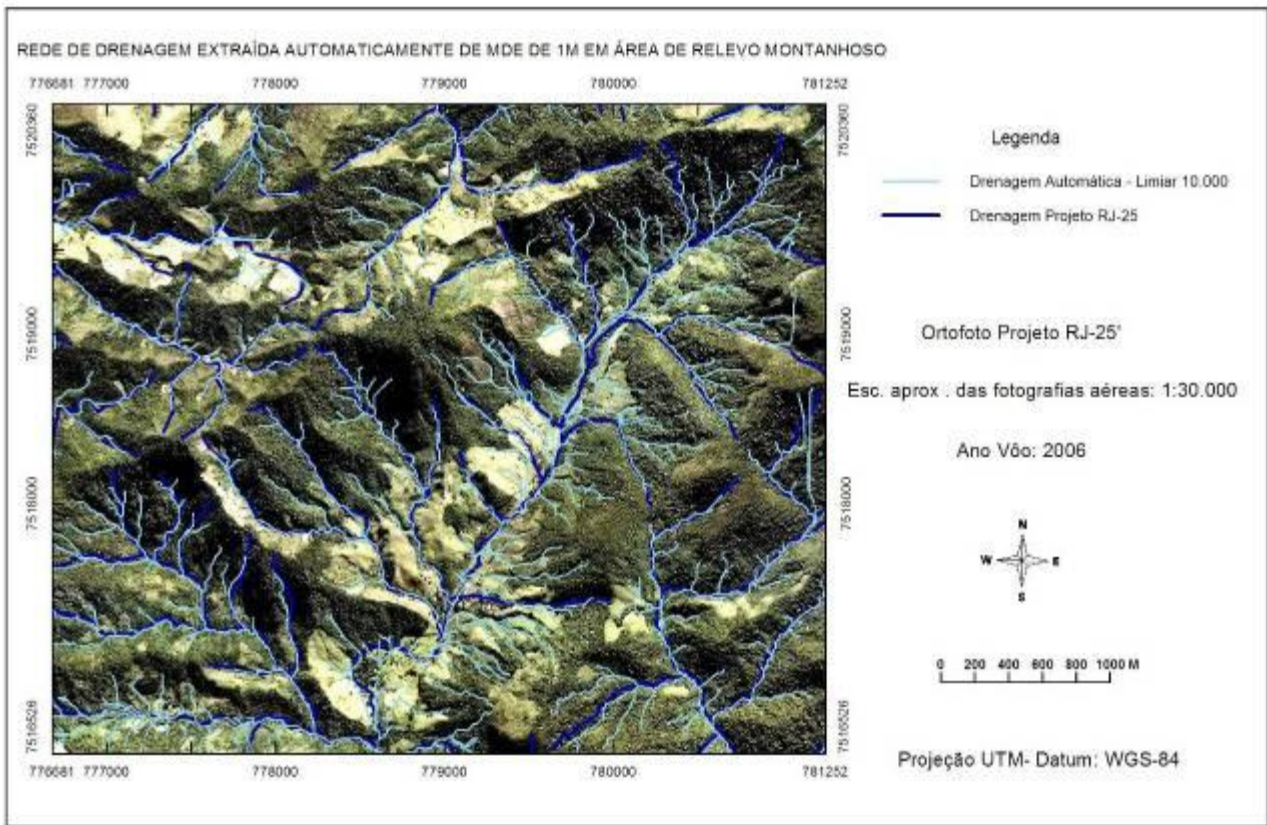


Figura 4. Rede de drenagem extraída de modo automático em MDE de 1 m - relevo montanhoso

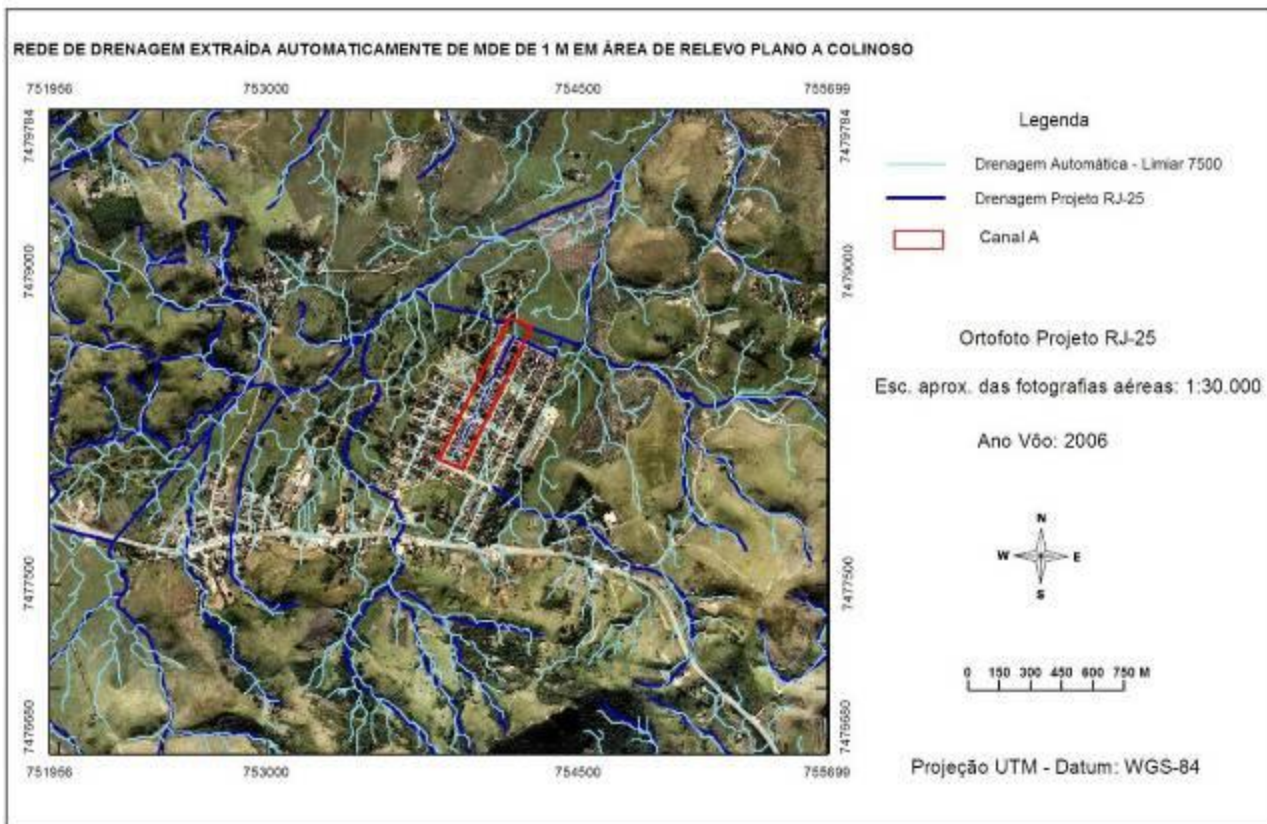


Figura 5. Rede de drenagem extraída de modo automático em MDE de 1 m - relevo plano a colinoso.

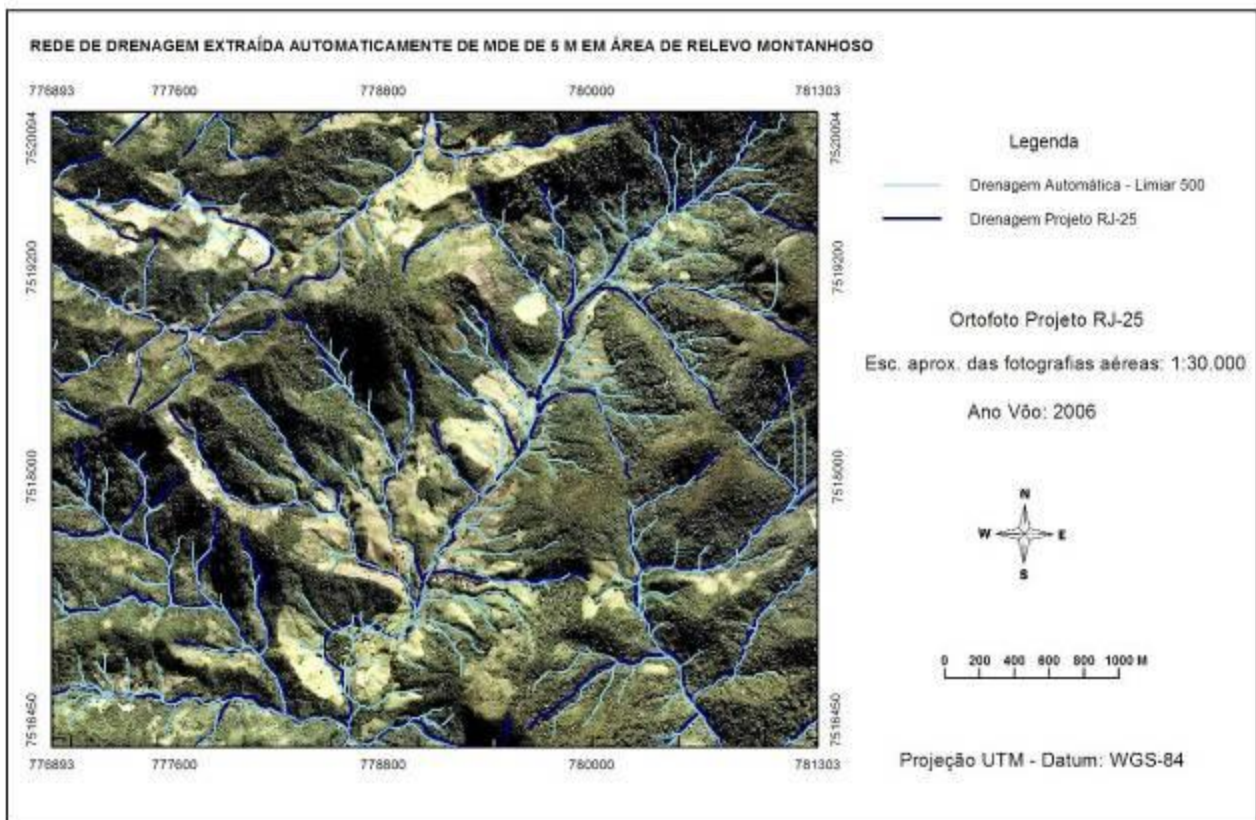


Figura 6 .Rede de drenagem extraída de modo automático em MDE de 5 m - relevo montanhoso

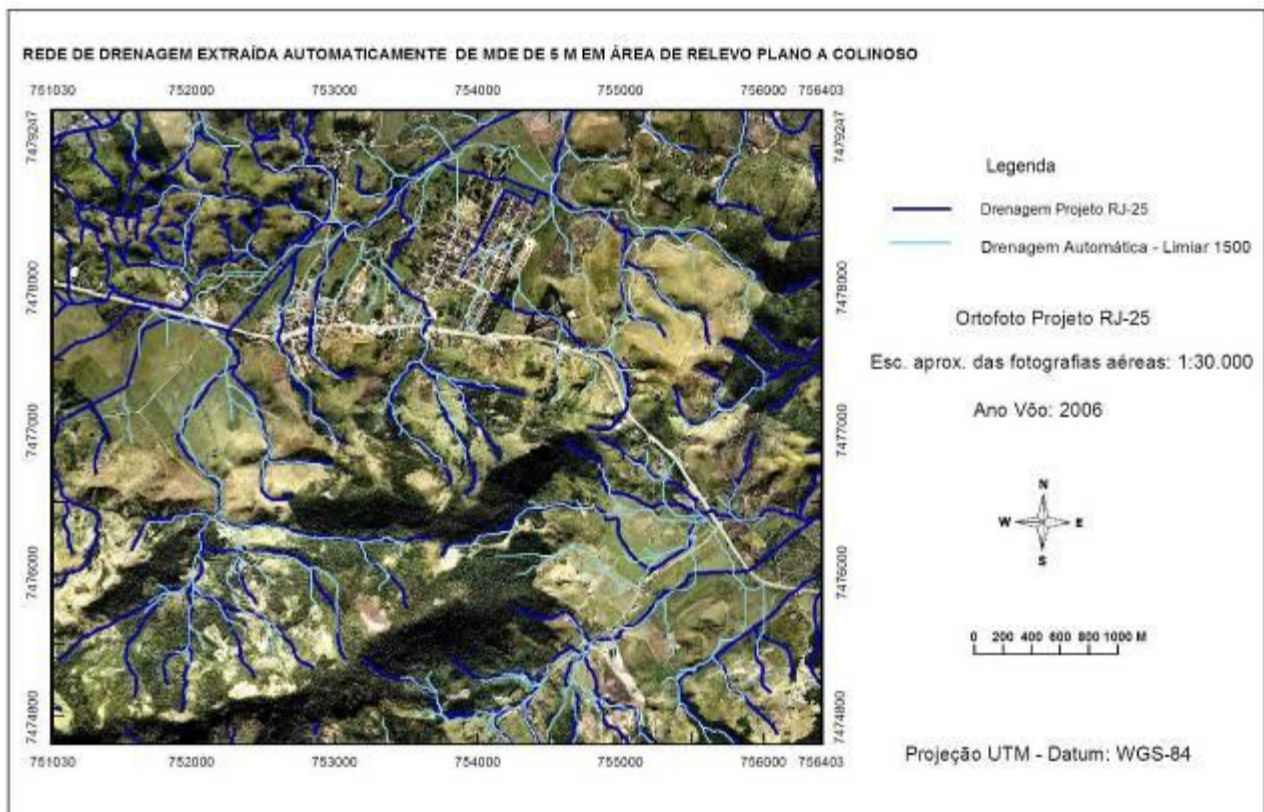


Figura 7 .Rede de drenagem extraída de modo automático em MDE de 5 m - relevo plano a colinoso.

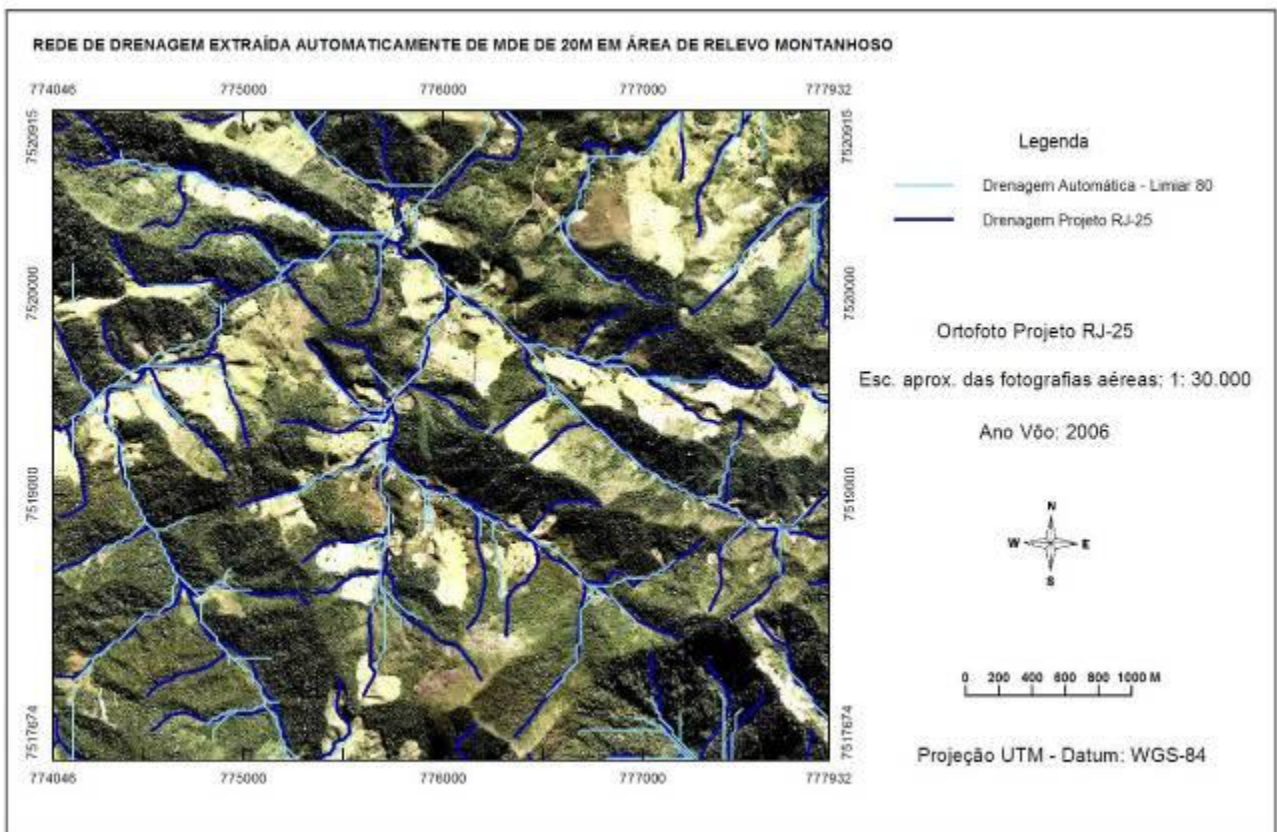


Figura 8. Rede de drenagem extraída de modo automático em MDE de 20 m - relevo montanhoso

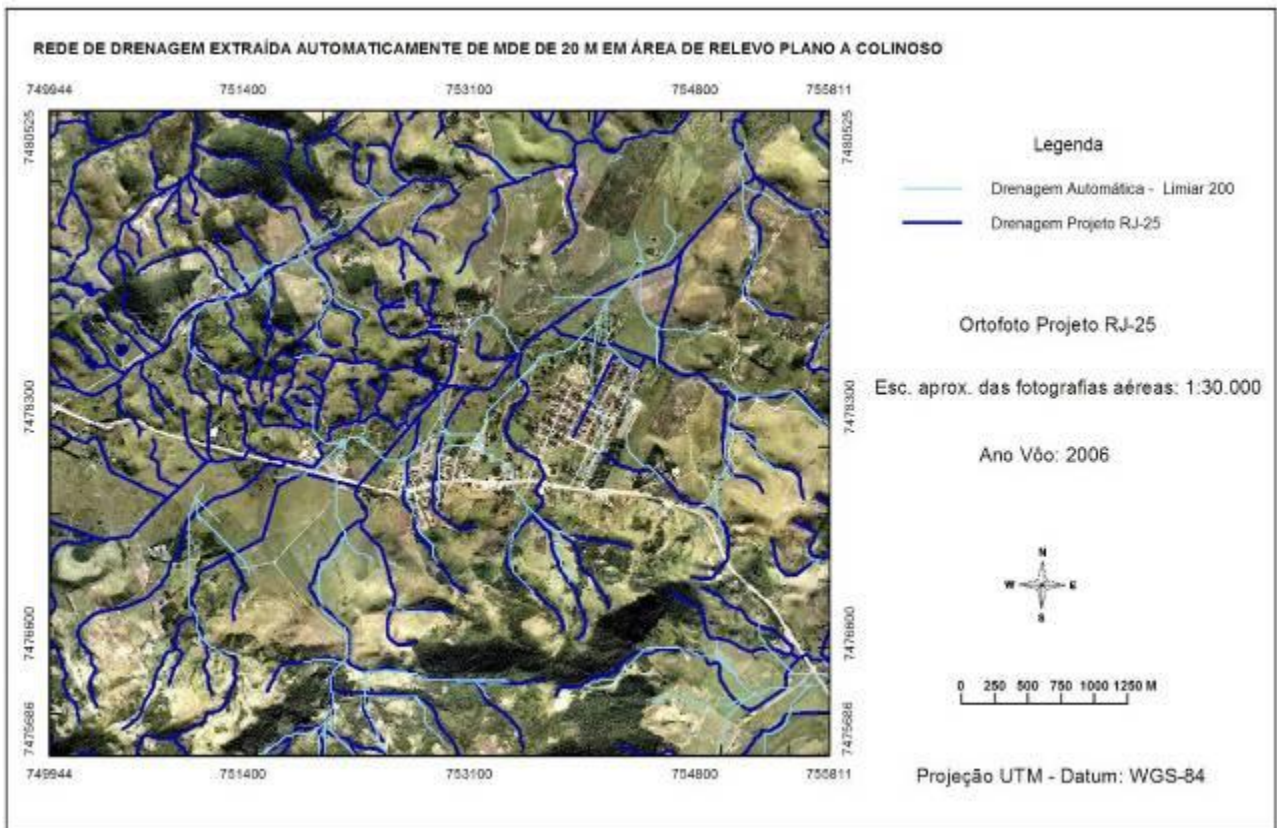


Figura 9. Rede de drenagem extraída de modo automático em MDE de 20 m - relevo plano a colinoso.

CONCLUSÕES

Os procedimentos executados neste trabalho apontaram como resultado satisfatório a rede de drenagem automaticamente extraída do MDE de 5 m de resolução espacial, principalmente no relevo montanhoso. Apesar do fato dos canais gerados pelos MDE de 5 m e 1 m terem forma semelhante e estarem encaixados no eixo de concavidade, deve-se ressaltar que os gerados pelo MDE de maior resolução apresentaram pequenos ruídos, possivelmente em função da altura da cobertura vegetal. Vale, também, destacar que o tempo gasto de processamento do MDE de 1 m da área montanhosa foi muito maior do que do MDE de 5 m.

Em geral, a extração automática de canais meândricos, presentes em relevos planos, não apresenta resultados satisfatórios, conforme já registrado em trabalhos desenvolvidos por Santos & Francisco (2011) e Pereira & Francisco (2013). Nesta situação, ou seja, quando o desnível é nulo, há a criação de canais retilíneos, pois são construídos fluxos de menor caminho. Isto ocorre porque, como a amplitude altimétrica é nula, a grade de direção fluxo, da qual é extraída a drenagem, não é gerada corretamente.

No entanto, é importante ressaltar que os próprios fotointérpretes, com bastante experiência técnica, relatam sobre a dificuldade de traçar a drenagem nesse tipo de terreno. Para realizarem essa tarefa, através da restituição convencional, fazem uso da sua intuição e conhecimento técnico. Atualmente, nos bancos de dados digitais, é inserido o atributo “geometria aproximada” às feições localizadas neste tipo de terreno.

O MDE com maior resolução pode aumentar a possibilidade de traçar os cursos d'água corretamente em terreno plano por poder representar pequenos desníveis altimétricos. Apesar disso, os MDE utilizados neste trabalho apresentam uma precisão geométrica compatível à escala 1/10.000, de acordo com os metadados do projeto RJ-25, e não foram eficientes para traçar corretamente os canais nas áreas planas. No entanto, verifica-se que na extração feita no MDE de 1 m da área de relevo plano, foi representado corretamente um canal retificado na área urbana (Figura 5 - Canal A), o que não ocorreu na extração feita com os MDE de resolução de 5 m e 20 m.

Além da forma retilínea dos canais, a extração automática de drenagem nas áreas planas gera maior densidade de canais do que a identificada pelo método convencional. Nestas áreas, os canais são delineados quando o fotointérprete visualiza os cursos d'água ou interpreta utilizando os elementos de reconhecimento (cor, tonalidade, textura etc) presentes na imagem, enquanto, nas áreas de relevo acidentado, os canais são traçados, principalmente, utilizando como parâmetro a forma do relevo. Assim, o método automático utiliza somente o desnível do terreno obtido pelo MDE, não se mostrando eficiente em terrenos planos, conforme já comentado.

Por fim, deve-se também relatar a dificuldade no estabelecimento de um limiar fluxo adequado para representar a rede de drenagem satisfatoriamente. Ao diminuir o limiar, criam-se redes de drenagem muito densas e, ao aumentá-lo, a densidade diminui, no entanto o comprimento dos canais de drenagem fica menor, não atingindo as cabeceiras, quando comparado com o traçado obtido pelo método convencional do projeto RJ-25. O problema é agravado em áreas onde há diversos tipos de relevo, quando seria necessário o estabelecimento de limiares distintos para cada tipologia.

Desta forma, até o momento, os procedimentos de extração automática de drenagem não podem ser adotados na totalidade da produção cartográfica. Ainda que, estudos testando outros algoritmos de extração automática devem ser melhor elaborados, entre eles, aqueles disponíveis em sistemas gratuitos como o GvSig, QGIS, SagaGis, HidroSig, GisWater e TerraHidro. Este último vem sendo desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE/Brasil) e apresenta um algoritmo para cavar o MDE nas áreas planas, objetivando resolver a extração em canais de drenagem largos.

Por enquanto, assim, a restituição aerofotogramétrica ainda é o método mais eficaz na representação dos elementos hidrográficos. Mas também, a automatização pode ser muito útil na revisão dos traçados dos trechos de drenagem realizados pelos procedimentos convencionais, assim como, no auxílio à tomada de decisão nos estudos de geociências relacionados às características fisiográficas da drenagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, V. Introdução à ciência da geoinformação. INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, SP, 2001.

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.

MENDES, B.; CIRILO, A. Geoprocessamento em recursos hídricos: princípios, integração e aplicação. Porto Alegre, RS, 2001.

Santos, L.C.S.; FRANCISCO, C.N. Avaliação dos modelos digitais de elevação aplicados à extração automática de redes de drenagem. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 2011, Curitiba. XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto. São José dos Campos: INPE, 2011.

Pereira, V.F.; FRANCISCO, C.N. Mapeamento da rede de drenagem por extração automática: avaliação de algoritmos. In: Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, 2013, Rio de Janeiro. Congresso Brasileiro de Geoprocessamento, 2013.

STHALER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. Trans. American Geophysical Union, 38:913 a 920, 1957.

<http://www.metadados.geo.ibge.gov.br/geonetwork/srv/br/main.home>. Acessado em julho de 2010.