

Avaliação de modelos numéricos do terreno na extração automática de redes de drenagem com SIG

Vinícius Guidotti de Faria¹
Pedro Paulo da Silva Barros¹
Carla Cristina Cassiano¹
Taila Fernanda Strabeli¹
Yuri Arten Forte¹
Cassio Bueno Maia¹
Raoni Wainer Duarte Bosquilia²

¹ Universidade de São Paulo - USP/ESALQ
Caixa Postal 96 - 13418-900 - Piracicaba - SP, Brasil
{viniciusgf, pedropaulo, cccassiano, tailastrabeli, yuriforte, cassio.maia}@usp.br

² Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – Câmpus Dois Vizinhos
Estrada p/ Boa Esperança, km 4 – 85660-000 – Dois Vizinhos – PR, Brasil
raonibosquilia@utfpr.edu.br

Abstract. Digital models are considered as essential information for various areas of environmental research, being considered the basis product for studies related to hydrological, geomorphological and biological processes. The analysis of digital models in GIS (Geographic Information Systems) for the characterization of watersheds is extremely practical, objective and reproducible, avoiding the subjectivity inherent to conventional manual procedures. In such studies, the drainage system is one of the main variables to be analyzed, because it is closely related to other watershed attributes as, for example, geology, type of soil and relief. This paper compared three digital models (SRTM, ASTER and EMPLASA) with regard on the automatic extraction of drainage networks. To ensure that the procedures were performed completely automatically, we adopted the tool Peuker and Douglas Stream Definition from the software TauDEM, which automatically sets the minimum threshold for the formation of drainage channels. It was found that this tool was effective in identifying the different topographical and geological compartments existing in the study area, being extremely useful for studies of morphometric characterization and discretization of watersheds in similar physiographic units, which may help in studies where the absence of data is a reality. Regarding the drainage network automatically generated for each digital model, no statistically significant differences among the quantitative attributes analyzed were observed, and all results were lower than those obtained with the drainage network from the IBGE topographical survey maps.

Palavras-chave: hydrography, geoprocessing, TauDEM, Peuker and Douglas method; hidrografia, geoprocessamento, TauDEM, método de Peuker and Douglas.

1. Introdução

A orientação do escoamento da água na paisagem é determinada preferencialmente pela topografia (OLIVEIRA et al, 2010), formando canais organizados em um padrão característico (FERNANDEZ, et al, 2011) e constituindo a rede de drenagem de uma bacia hidrográfica. Teodoro et al. (2007) afirmam que a caracterização da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica é um procedimento essencial para esclarecer sua dinâmica ambiental e regional.

No processo de caracterização hidrográfica, Modelos Digitais de Elevação (MDE) são utilizados para a extração automática de redes de drenagem (FERNANDEZ et al, 2011; TOMAZONI et al, 2011; FERNANDES et al, 2012), tornando o processo mais prático, objetivo e reproduzível, de modo a evitar a subjetividade do operador durante o processo de interpretação visual. Atualmente, a obtenção de MDE é facilitada devido à concessão de dados SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*) e ASTER (*Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection Radiometer*), ampliando sua utilização e reconhecimento como informação essencial para diversas áreas de pesquisa (BIAS et al.,2010).

Recentemente, com a conclusão do projeto “Mapeia SP” da EMPLASA (Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A), o Estado de São Paulo passou a contar com um

recobrimento aerofotogramétrico completo que, entre outros produtos, disponibilizou um Modelo Digital de Superfície (MDS) de alta resolução espacial. Juntamente com este MDS, surge um questionamento entre pesquisadores da área sobre o uso potencial e limitações destes dados, em detrimento de outros produtos já consolidados, como os próprios SRTM e ASTER.

Apesar das diferenças inerentes a cada produto, tanto MDE como MDS são representações matemáticas computacionais da distribuição de um mesmo fenômeno - no caso a superfície terrestre - sendo ambos considerados como Modelos Numéricos do Terreno (MNT) e, em situações específicas, suas informações podem ser utilizadas para finalidades similares. Assim, o objetivo deste trabalho é comparar estas três fontes de dados disponíveis (SRTM, ASTER, EMPLASA), no que diz respeito à extração automática de redes de drenagem, de modo a identificar as potencialidades e limitações de cada uma. Como objetivo indireto, este trabalho pretende avaliar a eficiência do método de Peuker and Douglas (PEUKER e DOUGLAS, 1975) em identificar unidades fisiográficas na paisagem.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 Área de estudo

A bacia hidrográfica do rio Corumbataí está localizada na região centro-este do Estado de São Paulo, Brasil, com uma área de aproximadamente 1.700 km² que abrange oito municípios. Esta bacia situa-se na Depressão Periférica Paulista e possui comportamento interplanáltico, com extensas áreas suavemente onduladas interrompidas por escarpas areníticas-basálticas (CEAPLA, 2014). Seu relevo distingue-se em duas modalidades: uma na região norte, com Morretes Alongados e Espigões, onde há o predomínio da drenagem em média a alta densidade, em padrão dendrítico e vales fechados; outra dominando o restante da bacia, com Colinas Médias e Amplas, com predominância da drenagem em média e baixa densidade, padrão sub-angular, vales abertos e fechados e planícies interiores que se restringem às presenças de lagoas perenes e intermitentes (KOFFLER, 1993). Estas modalidades de relevo definiram o delineamento experimental considerado na área de estudo, com uma sub-bacia representando a região norte, e o restante da área representando a região sul (Figura 1).

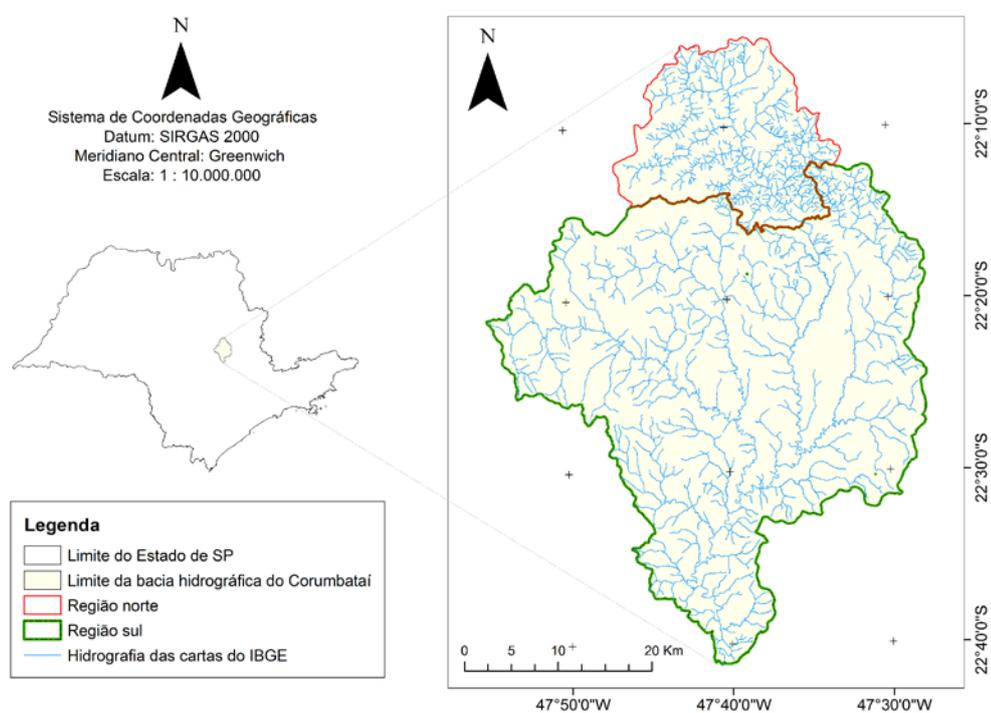


Figura 1. Localização da área de estudo, bacia do rio Corumbataí - SP.

2.2 Fonte de dados

Os produtos da missão SRTM correspondem aos dados de altimetria da superfície terrestre, em uma resolução espacial de 3 arc-segundos (aproximadamente 90 m), obtidos a partir do sistema de radar instalado a bordo do ônibus espacial Endeavour, que realizou a varredura da superfície do planeta no ano de 2000, cobrindo aproximadamente 80% do globo terrestre. Os dados SRTM foram obtidos diretamente no site do Projeto TOPODATA (<http://www.dsr.inpe.br/topodata/>), que possui um MDE refinado em comparação ao original, com resolução espacial de aproximadamente 30 metros (VALERIANO, 2008).

O sensor ASTER corresponde à uma ação conjunta dos governos dos Estados Unidos e Japão, produzindo dados de altimetria a partir de estereoscopia das bandas 3N (Nadir) e 3B (Off-Nadir), ambas responsivas ao comprimento de onda do infravermelho próximo (0.78 a 0.86 micrometros). Os produtos ASTER foram obtidos no site do USGS - United States Geological Survey (<http://earthexplorer.usgs.gov/>), que disponibiliza gratuitamente um MDE com resolução espacial de 1 arc-segundo (aproximadamente 30 m), apesar do par estereoscópico ser coletado com 15 metros de resolução espacial.

Por sua vez, o MDS da EMPLASA constitui-se de um produto associado ao levantamento aerofotogramétrico do Estado de São Paulo realizado nos anos de 2010 e 2011, sendo obtido por meio de estereoscopia de fotografias aéreas na escala 1:25.000, com superposição lateral de 60% e 30% entre as faixas de vôo. O MDS foi produzido a partir de ortofotos com 1 metro de resolução espacial, mas o produto final é disponibilizado aos usuários com 5 metros de resolução. Para facilitar as discussões, daqui em diante os três produtos serão tratados como MNT.

2.3 Extração automática de redes de drenagem

Os procedimentos para extração automática de redes de drenagem (Figura 2) foram realizados em ambiente SIG, por meio dos softwares ArcGIS 9.3 (ESRI, 2010) e TauDEM (TARBOTON, 2010).

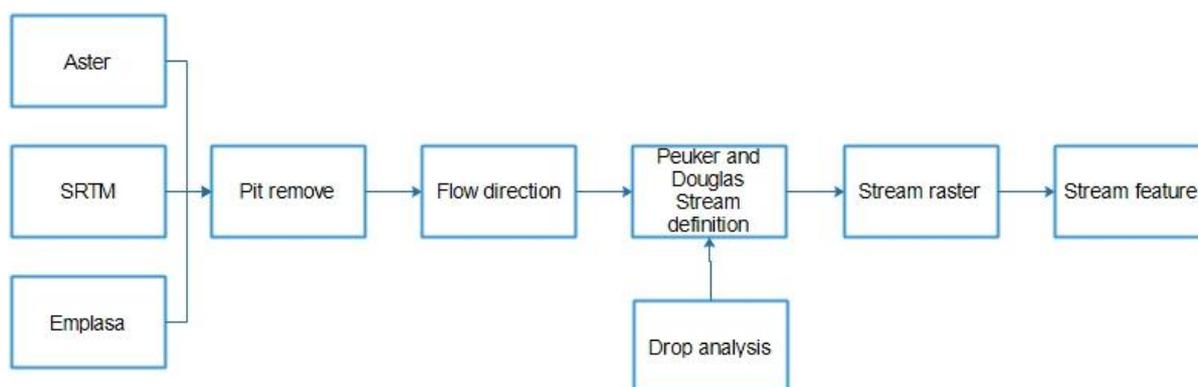


Figura 2. Procedimentos para extração automática de redes de drenagem pela ferramenta Peuker and Douglas Stream Definition.

O procedimento inicial na extração automática de redes de drenagem consiste em corrigir eventuais imperfeições existentes na superfície digital, especialmente depressões e artefatos inconsistentes com a realidade da área (O'CALLAGHAN e MARK, 1984). Deste modo, utilizou-se a ferramenta *Pit Remove* do programa TauDEM, que preenche tais depressões com um valor de altitude que elimine os empoçamentos de água no terreno, permitindo o seu fluxo contínuo.

A determinação da rede de drenagem no modelo hidrológico é realizada com a definição da direção de fluxo em cada célula, assumindo-se que o escoamento da água segue da célula considerada para uma de suas células vizinhas (PAZ et al., 2005). Assim, o passo seguinte foi

determinar a direção de fluxo por meio da ferramenta *D8 Flow Directions*, também do software TauDEM. Foi adotada a ferramenta *Peuker and Douglas Stream Definition* (TARBOTON, 2010) para definição automática da área mínima necessária (*threshold*) da bacia de contribuição para que o fluxo direcionado se acumule, permitindo a formação de canais de drenagem. Este limite é determinado por meio de um procedimento estatístico conhecido como *Drop Analysis* - onde o menor limite com estatística T significante é selecionado.

O método de *Peuker and Douglas* (PEUKER e DOUGLAS, 1975) é utilizado para identificar no MNT células que tenham curvatura ascendente e que, portanto, se encontram em pontos mais baixos do terreno. Os procedimentos internos necessários para definição dos canais de drenagem consistem em: (i) reclassificar o MNT em um único valor; (ii) utilização de uma janela móvel 4 x 4 para identificar a célula de maior altitude, a qual tem seu valor modificado; (iii) classificação preliminar das 3 células remanescentes como células de curvatura ascendente; (iv) após a passagem da janela móvel por todo o MNT, apenas as células mais baixas do terreno permanecerão como células de curvatura ascendente, sendo então consideradas como partes integrantes da rede de drenagem; e (v) refinamento e conexão de partes desconexas da rede de drenagem.

O método de *Peuker and Douglas* parte da premissa que todo ponto na superfície do terreno pode ser caracterizado em função da análise de seus vizinhos, o que implica na assunção de uma superfície altamente correlacionada espacialmente (PEUKER e DOUGLAS, 1975). Os mesmos autores concluíram a eficiência do método em determinar talvegues e Band (1986) destaca como vantagem a ausência de subjetividade do procedimento, o qual é estritamente baseado nas características físicas da área sob análise.

Após a definição do *threshold* ótimo para formação de canais de drenagem, a própria ferramenta cria um *raster* (*Stream raster*) com valores 1 e 0, os quais representam, respectivamente, canais de drenagem e células sem informação. O último passo, consiste em transformar o arquivo *raster* em um arquivo vetorial (*Stream feature*), que é mais apropriado para a representação da rede de drenagem e, também, para a análise quantitativa da mesma.

Devido às diferenças geológicas presentes na área de estudo, optou-se por realizar os procedimentos descritos na Figura 2 em duas etapas, sendo realizado primeiro para a região norte apenas e, posteriormente, para toda a bacia. O intuito deste parcelamento foi de avaliar a potencialidade do método de *Peuker and Douglas* em identificar as variações existentes nas características físicas da paisagem e, conseqüentemente, as variações no padrão e densidade de drenagem.

2.4 Análise dos atributos quantitativos da rede de drenagem

Para a caracterização da rede de drenagem foram definidas 16 amostras circulares de 10 km² de área, as quais foram distribuídas aleatoriamente pela bacia, conforme procedimento descrito por França (1968), o que permitiu que fosse realizada uma análise dos atributos quantitativos das redes de drenagem obtidas para cada MNT. A rede de drenagem das cartas topográficas do IBGE, na escala 1:50.000, foi utilizada como referência (verdade de campo) para o estudo.

Adotou-se o método de interpretação por análise de elementos para o estudo das amostras circulares, conforme realizado em Ferreira et al. (2013) e Demattê et al. (2011). Para cada amostra foram calculadas seis variáveis, a saber, o comprimento total de drenagem (Lt), a densidade de drenagem (Dd), o número de canais de primeira ordem (Nc), a frequência de rios (Fr), a textura topográfica (Tt) e a declividade equivalente dos canais (Ieq), conforme as equações descritas na Tabela 1.

Tabela 1. Descrição dos atributos quantitativos da rede de drenagem.

Atributos quantitativos	Equação	Legenda
Densidade de drenagem	$Dd = \frac{Lt}{A}$	D é densidade de drenagem Lt é comprimento total de rios A é área da bacia ou da amostra circular
Frequência de rios	$Fr = \frac{Nc}{A}$	F é frequência de rios Nc é número de segmentos de canais de primeira ordem A é área da bacia ou da amostra circular
Textura topográfica	$Tt = \frac{Nc}{P}$	T é razão de textura topográfica Nc é número de segmentos de canais de primeira ordem P é comprimento do perímetro da amostra circular
Declividade equivalente do talvegue	$Ieq = \frac{\Delta H}{\Delta L}$	Ieq é declividade equivalente do talvegue ΔH é variação de altitude entre ponto inicial e final de um segmento de rio ΔL é distância entre ponto inicial e final de um segmento de rio

Para avaliar as diferenças entre os atributos quantitativos das redes de drenagem geradas a partir dos diferentes MNT e aquela digitalizada a partir das cartas do IBGE foram realizados testes estatísticos de análise de variância e comparação de médias por meio do software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2008). Adotou-se como efeito fixo (tratamento) os diferentes MNT e como efeito aleatório as amostras circulares.

Para definir se os testes seriam conduzidos no campo paramétrico ou não, foram avaliados os resíduos das análises de variância, especialmente quanto o atendimento dos pressupostos de normalidade e homogeneidade de variâncias, bem como os coeficientes de assimetria e curtose. Todos os testes estatísticos foram interpretados com base no nível de significância de 5%.

3. Resultados e Discussão

A seguir, a Figura 3 apresenta as amostras circulares geradas para área de estudo, bem como as redes de drenagem obtidas para cada MNT.

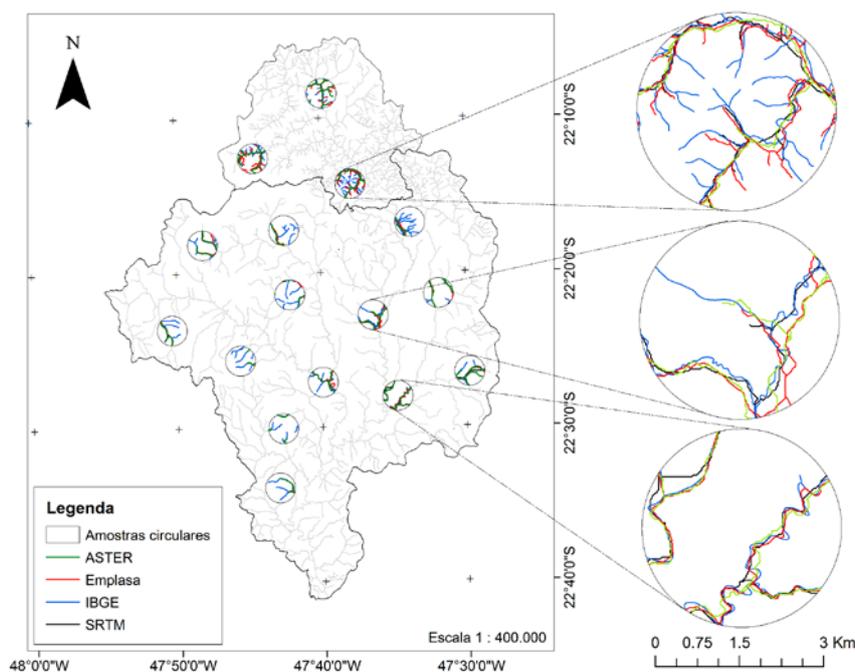


Figura 3. Amostras circulares e respectivas redes de drenagem, obtidas com a ferramenta *Peuker and Douglas Stream Definiton* para diferentes MNT.

A utilização da ferramenta *Peuker and Douglas Stream Definiton*, por meio de seu módulo de *Drop Analysis*, resultou em valores distintos de *thresholds* de formação de canais entre as regiões norte e sul da bacia (Tabela 2), para todas as bases de dados utilizadas, evidenciando a efetividade do algoritmo em identificar as diferenças topográficas existentes na área de estudo e permitindo uma delimitação da rede de drenagem mais aproximada com a realidade da área.

Tabela 2. *Thresholds* de formação de canais obtidos para cada MNT a partir da aplicação da ferramenta *Peuker and Douglas Stream Definiton*, por meio do teste de *Drop Analysis*.

MNT	Região da bacia	<i>Threshold</i> (pixels)	<i>Threshold</i> (ha)
EMPLASA	Norte	360,66	0,90
	Sul	4644,47	11,61
ASTER	Norte	33,67	3,03
	Sul	164,83	14,83
SRTM	Norte	117,30	10,56
	Sul	455,84	41,03

Observa-se na Tabela 2 que os menores *thresholds* foram obtidos com os dados da EMPLASA, seguido por ASTER e depois SRTM. Esse resultado evidencia as diferenças entre cada MNT, especialmente no que diz respeito à discretização do terreno durante a aquisição de dados, uma vez que representam também uma escala crescente na resolução espacial horizontal, com 1 metro para EMPLASA, 15 metros para ASTER e 90 metros para SRTM.

Apesar das diferenças de limites mínimos para a geração automática da rede de drenagem, os resultados não mostraram diferenças estatísticas significativas entre os atributos quantitativos obtidos para cada MNT, e todos diferiram estatisticamente dos atributos obtidos para a rede do IBGE, que apresentou resultados significativamente maiores (Tabela 3). Como os resíduos das análises de variância não se adequaram aos pressupostos exigidos pelo campo paramétrico, optou-se pela não exclusão e não transformação de dados, de modo que as análises foram conduzidas por meio do teste não paramétrico de Kruskal-Wallis e comparação de médias *a posteriori*.

Tabela 3. Atributos quantitativos médios das redes de drenagem, obtidos para as 16 amostras circulares em função das diferentes fontes de dados.

Fonte de dados	Dd	Lt	Nc	Fr	Tt	Ieq
IBGE	1,17 a	11,68 a	5,25 a	0,53 a	0,47 a	NA
EMPLASA	0,75 b	7,46 b	3,69 b	0,37 b	0,33 b	0,06 a
ASTER	0,67 b	6,72 b	2,19 b	0,22 b	0,20 b	0,16 a
SRTM	0,60 b	6,04 b	2,44 b	0,24 b	0,22 b	0,04 a

Nota: Médias seguidas de mesma letra na coluna não diferem entre si ao nível de 5% de significância pelo teste de Kruskal-Wallis, com comparação de médias *a posteriori*.

Os resultados encontrados evidenciam que a maior resolução do produto da EMPLASA não trouxe benefícios estatisticamente significativos no que diz respeito a geração automática de redes de drenagem, tendo o seu resultado comparável aqueles obtidos com os produtos ASTER e SRTM. Destaca-se que os resultados obtidos são influenciados pela metodologia adotada neste trabalho, ou seja, pela definição do *threshold* de maneira automática pela

ferramenta *Peuker and Douglas Stream Definition*. Este procedimento difere um pouco do que é feito normalmente em estudos semelhantes, quando o *threshold* é definido pelo operador por tentativa e erro, de maneira visual e extremamente subjetiva. Assim, ao adotar uma delimitação completamente automática, pode-se averiguar a resposta do algoritmo de extração de drenagem em função, apenas, das características intrínsecas de cada MNT, especialmente no que diz respeito ao detalhamento do relevo e/ou superfície.

Apesar do presente estudo não ter encontrado diferenças significativas entre as redes de drenagem geradas em cada tratamento, o fato do algoritmo de *Peuker and Douglas* ter identificado diferentes *thresholds* para as regiões norte e sul - as quais possuem modalidades distintas de relevo e geologia - indica que esta ferramenta pode ser utilizada para identificação de unidades fisiográficas em bacias hidrográficas, pois sempre que houver grande variação no *threshold* ótimo entre duas sub-bacias, para mais ou para menos, pode-se dizer que as áreas sob análise possuem padrões de drenagem distintos, os quais podem estar ligados à diferenças no material de origem e solos.

Um ponto negativo dos dados da EMPLASA em relação aos produtos ASTER e SRTM é o tamanho de armazenamento de cada arquivo, sendo que para a área de estudo em questão, o MDS da EMPLASA apresentou um tamanho de 862 MB, contra 15 MB do ASTER e 14 MB do SRTM, de modo que o processamento dos dados por meio da ferramenta *Peuker and Douglas Stream Definition* foi de 30 minutos para o primeiro e de aproximadamente 1 minuto para os outros dois. Além disso, a facilidade de aquisição dos produtos oriundos de sensoriamento remoto traz mais um ponto negativo ao produto da EMPLASA, cuja aquisição deve ser realizada mediante formalização de contrato. Apesar de não trazer vantagens no que diz respeito à extração automática de drenagens, ressalva-se que o MDS da EMPLASA pode ser utilizado para outros fins que não foram contemplados por este trabalho como, por exemplo: (i) a modelagem do campo de visada, uma variável importantíssima para planejamento de alocação de torres de monitoramento de incêndios florestais; (ii) valoração da beleza cênica em estudos de ecologia da paisagem, possibilitando que se determine a visibilidade de fragmentos florestais em algum ponto específico de áreas urbanas; (iii) demais estudos onde a variável “altura do dossel” seja requerida.

4. Conclusões

Os resultados indicaram que as drenagens obtidas por extração automática foram significativamente diferentes daquela referente às cartas do IBGE, sendo que não houveram diferenças estatísticas entre os tratamentos analisados. Assim, conclui-se que apesar da melhor resolução do produto da EMPLASA, o mesmo não trouxe benefícios aos atributos quantitativos da rede de drenagem analisados por este trabalho.

No entanto, destaca-se a eficiência do método de *Peuker and Douglas* em identificar diferentes compartimentos geológicos e geomorfológicos em bacias hidrográficas, podendo ser utilizado em locais com escassez de dados, onde uma primeira aproximação com essa ferramenta pode facilitar o planejamento de estudos subsequentes mais detalhados.

Agradecimentos

À Empresa Paulista de Planejamento Metropolitano S/A (EMPLASA) que gentilmente cedeu os arquivos digitais, sem ônus (CLU N° 076/14).

Referências Bibliográficas

BAND, Lawrence E. Topographic partition of watersheds with digital elevation models. **Water resources research**, v. 22, n. 1, p. 15-24, 1986.

BIAS, E. de S.; RIBEIRO, R.J. da C.; BAPTISTA, G. M. de M.; BERNARDI, J. V. E. Avaliação da exatidão do MDE obtido por meio do srtm e pela de carta do IBGE na escala 1:100.000. **Revista Brasileira de Cartografia** n. 63/01, 2010.

CEAPLA – Centro de Análise e Planejamento Ambiental. **Atlas Ambiental da Bacia do Rio Corumbataí**. Rio Claro, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Disponível em: < <http://ceapla2.rc.unesp.br/atlas/apresentacao.php>>. Acesso em: 18 Out. 2014.

DEMATTÊ, J. A. M, FERREIRA, F. P., ALVES, M. R., CAMPOS, R. C.; Fotopedologia e pedologia espectral orbital associadas no estudo de solos desenvolvidos de basalto, **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 3, p. 122-131, 2011.

ESRI. Environmental Systems Research Institute. ArcGIS Desktop: versão 9.3. Redlands, CA. 2010.

FERREIRA, G. A., FERREIRA, V. O., BRITO, J. L. F., Fisiografia da sub-bacia do rio das pedras, em Uberlândia e Tupaciguara/MG/ Subsídio para gestão de recursos naturais, **Revista Caminhos de Geografia**, v. 14, n. 5, p. 81-99, 2013.

FERNANDEZ, D. C. J., VALERIANO, M. M., ZANI, H., FILHO, C. O. A., Algoritmos de fluxo para extração de redes de drenagem por processo automático a partir de modelo digitais de elevação, Anais XV Simpósio de Sensoriamento Remoto, Curitiba, p. 5163-5170, 2011.

FERNANDEZ, D. C. J., VALERIANO, M. M., ZANI, H., FILHO, C. O. A., Extração automática de redes de drenagem a partir de modelos digitais de elevação, **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 64, p. 619-634, 2012.

FRANÇA, G.V. de. Interpretação fotográfica de bacias e de redes de drenagem aplicada a solos da região de Piracicaba. Piracicaba: ESALQ-USP, 1968. 151p. Tese de Doutorado.

KOFFLER, N.F. Uso das terras da bacia do Rio Corumbataí em 1990. **Geografia**, v. 18, n. 1, p. 135-150, 1993.

O'CALLAGHAN, John F.; MARK, David M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer vision, graphics, and image processing**, v. 28, n. 3, p. 323-344, 1984.

OLIVEIRA, P. T. S., SOBRINHO, T. A., STEFFEN, J. L., RODRIGUES, D. B. B., **Caracterização morfológica de bacias hidrográficas através de dados SRTM**, Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 14, n.8, p.819-825, 2010.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Geração de direções de fluxo para modelagem hidrológica de grande escala. In: XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, João Pessoa. 2005. Anais... XVI Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 2005, On-line. Disponível em: < http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/Paz_et_al_SBRH_2005c.pdf>. Acesso em: 01 Nov. 2012.

PEUCKER TK, DOUGLAS DH. 1975. Detection of surface-specific points by local parallel processing of discrete terrain elevation data. **Computer Vision, Graphics and Image Processing**. v. 4: 375–387.

R Development Core Team (2008). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. ISBN 3-900051-07-0. Disponível em: <<http://www.R-project.org>>. Acesso em 09 Nov. 2014.

TARBOTON, D. TAUDDEM: Terrain Analysis Using Digital Elevation Models. ArcGIS Extension. Versão 5.1. Utah State University. 2010. On-line. Disponível em: <<http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5.0/index.html>>. Acesso em: 16 Out. 2014.

TEODORO, V. L. I., TEIXEIRA, D., COSTA, D. J. L., FULLER, B. B., O conceito de bacia hidrográfica e a importância da caracterização morfológica para o entendimento da dinâmica ambiental local, **Revista Uniara**, n. 20, p. 137-156, 2007

TOMAZONI, J. C., GUIMARÃES, E., GOMES, T. C., SILVA, T. G.; Uso de modelo digital de elevação gerados a partir do ASTER GDEM e SRTM para caracterização de rede de drenagem, **Revista Brasileira de Geografia Física**, p. 365-376, 2011.

VALERIANO, M. M. **Topodata: guia de utilização de dados geomorfológicos locais**. São José dos Campos: INPE, 2008.