

## COMPARAÇÃO ENTRE MÉTODOS DE MAPEAMENTO AUTOMÁTICO DE REDE DE DRENAGEM UTILIZANDO SIG

**RAONI WAINER DUARTE BOSQUILIA<sup>1</sup>; PETERSON RICARDO FIORIO<sup>2</sup>; SERGIO NASCIMENTO DUARTE<sup>2</sup> E RAFAEL MINGOTI<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, Câmpus Dois Vizinhos, Dois Vizinhos, PR, raonibosquilia@utfpr.edu.br

<sup>2</sup>Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" – ESALQ, Universidade de São Paulo, Piracicaba, SP, fiorio@usp.br; snduarte@usp.br

<sup>3</sup>Embrapa Gestão Territorial, Campinas, SP, rafael.mingoti@embrapa.br

### 1 RESUMO

A determinação da rede de drenagem por meio de Modelos Digitais de Terreno (MDT) vem se tornando um método cada vez mais importante e utilizado. Deste modo, o presente trabalho teve por objetivo comparar dois diferentes modelos de mapeamento automático de drenagens: D-8 e D-Infinity. Utilizou-se a rede de drenagem presente em cartas topográficas de Piracicaba-SP, escala 1:10.000, como prova de campo. O MDT foi gerado a partir das curvas de nível com equidistância de 5 metros presente nessas cartas. Para uma melhor comparação entre os métodos, foram analisados dois fatores: Comprimento das Drenagens e Número de Nascentes, sendo as análises realizadas apenas em caráter quantitativo. Para a avaliação desses fatores foram dispostas ao acaso doze amostras circulares de área 1,76 km<sup>2</sup> e realizou-se um teste de médias de Tukey. Para os dois parâmetros estudados, os modelos se apresentaram estatisticamente diferentes da prova de campo, porém as drenagens se apresentaram semelhantes visualmente às cartas topográficas. Quanto às nascentes, os métodos não apresentaram bons resultados. Mesmo assim, os modelos automáticos de mapeamento da rede de drenagem se mostraram ótimas ferramentas para determinar cursos d'água.

**Palavras-chave:** Direção de Fluxo, Fluxo Acumulado, MDT, bacia hidrográfica, TauDEM.

**BOSQUILIA, R. W. D.; FIORIO, P. R.; DUARTE, S. N.; MINGOTI, R.  
COMPARISON OF AUTOMATIC METHODS OF DRAINAGE NETWORK  
MAPPING USING GIS**

### 2 ABSTRACT

Determining drainage network by Digital Terrain Models (DTM) has become an increasingly important and used method. Thus, this study aimed to compare two different models of automatic mapping of drainage: D-8 and D-Infinity. The drainage network from topographic charts of Piracicaba-SP, 1:10.000 scale was used as field reality. DTM was generated based on 5 meter-contour lines in those charts. Two factors were analyzed for a better comparison between methods: Length of Drainage and Number of Springs. The analyses were performed just quantitatively. A total of twelve circular samples at random,

1.76 km<sup>2</sup> area, were generated to evaluate those factors. Also, means were compared using the Tukey test. For both parameters, the models were statistically different from the field reality; however, drainages were visually similar to the topographic charts. As to the springs, good results could not be found based on methods. Even so, the automatic models of drainage network mapping proved to be excellent tools to determine waterways.

**Keywords:** flow direction, accumulated flow, DTM, watershed, TauDEM.

### 3 INTRODUÇÃO

A preocupação com os recursos hídricos tem cada vez mais se materializado por meio de ações governamentais voltadas a este setor, com a elaboração de planos diretores de manejo em bacias hidrográficas, que são consideradas as unidades fundamentais de estudo para a Hidrologia e para a conservação do meio ambiente (ALVES, 2000).

Atualmente, com o emprego de novas técnicas computacionais, associadas aos modernos Sistemas de Informação Geográfica (SIG), tornou-se possível elaborar Modelos Digitais de Terreno (MDT) (COELHO, 2008), destacando a arquitetura do relevo (estruturas, modelados, redes de drenagem, entre outros) de uma determinada área (VALERIANO, 2008; SILVA, 2003).

Os mapeamentos das drenagens de uma bacia, a partir de Modelos Digitais de Terreno, apresentam-se bem semelhantes e compatíveis com aqueles obtidos por métodos manuais, que se apresentam mais trabalhosos e com uma subjetividade maior, dependendo do fotointérprete (JENSON; DOMINGUE, 1988).

Nesse contexto, Alves Sobrinho et al. (2010) consideram que, para o processo de delimitação automática de bacias hidrográficas em SIG, são utilizadas informações de relevo por meio de um MDT, que pode ser obtido pela interpolação de curvas de nível extraídas de uma carta topográfica, ou por meio de imagens de sensores remotos.

Alguns algoritmos de delimitação automática dos cursos d'água já são conhecidos e consolidados, como o Método das Oito Possíveis Direções de Fluxo (D8) (O'CALLAGHAN; MARK, 1984); porém Tarboton (1997) desenvolveu um outro algoritmo, chamado de D-Infinity (Método da Direção do Fluxo Múltiplo), que tem se mostrado um modelo mais acurado na determinação da rede de drenagem de uma bacia hidrográfica.

Com a demanda crescente por dados ambientais e estudos das Áreas de Preservação Permanente, a delimitação dos cursos d'água e das nascentes de uma bacia poderia ser realizada por métodos mais rápidos, eficientes e com menor grau de subjetividade.

Deste modo, esse trabalho tem como objetivo realizar comparações entre esses dois métodos de mapeamento automático dos cursos d'água e das nascentes da Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (MHC).

### 4 MATERIAL E MÉTODOS

#### 4.1 Descrição da área

A Microbacia Hidrográfica do Córrego do Ceveiro (MHC) está localizada na margem direita do Rio Piracicaba, dentro do município de Piracicaba, Estado de São Paulo (Figura 1), possuindo uma área total de 21,8 km<sup>2</sup> (1,56% da área total do município). Está situada entre

as coordenadas de latitudes 22°37'00" S e 22°40'00" S e de longitudes 47°43'00" O e 47°47'00" O e é limitada a montante pelo bairro de Santana e a jusante pelo distrito de Ártemis, sendo o referido córrego um dos afluentes diretos do Rio Piracicaba.

**Figura 1.** Localização da Microbacia Hidrográfica do Ceveiro (MHC).



O relevo na MHC caracteriza-se por apresentar morros em cotas variando entre 460 e 580 m de altitude, com classes de relevo ondulado. A declividade predominante nas encostas é de 10 a 15% e nos topos de 5%. As áreas com declividades menores que 2% se encontram em pequenas várzeas e em topos de alguns morros, constituindo menos de 5% da área total (FIORIO; DEMATTÊ; SPAROVEK, 2000).

Como base consolidada da hidrografia da MHC, utilizaram-se seis cartas planialtimétricas na escala 1:10.000, confeccionadas pelo IGC no ano de 1979, georreferenciando-as em seu Datum original (Córrego Alegre). Posteriormente, estas cartas foram reprojctadas para o Datum SIRGAS 2000 e extraiu-se a hidrografia e os pontos onde se localizam as nascentes para formato vetorial, por meio do SIG ArcGIS 10 (ESRI, 2010).

Para elaboração do MDT, utilizaram-se as mesmas cartas planialtimétricas, extraindo-se as curvas de nível para formato vetorial, tendo essas curvas equidistância vertical de 5 metros. Posteriormente, utilizou-se a função TOPO TO RASTER do SIG, que é um interpolador especificamente desenhado para a criação de Modelos Digitais de Terreno, por intermédio de isolinhas de altimetria. Assim, gerou-se uma grade regular de 5m, ou seja, pixels de 5x5 metros.

Porém, quando um MDT é gerado, alguns pixels podem apresentar um valor muito diferente dos seus vizinhos, causado pela alta declividade local. Para se corrigir essa possível imperfeição do método de interpolação, utilizou-se a ferramenta PIT REMOVE

(preenchimento de depressões), do programa TauDEM (TARBOTON, 2010). Assim, essas depressões foram preenchidas pela média das cotas dos pixels vizinhos, gerando um MDT mais consistente.

Com o MDT pronto para aplicação dos modelos, utilizou-se a metodologia de determinação de drenagens para os dois algoritmos presentes no programa TauDEM (TARBOTON, 2010) a serem estudados (D8 e D-Infinity).

#### 4.2 Direção de fluxo (flow direction)

A Direção de Fluxo define as relações hidrológicas entre pontos diferentes dentro de uma bacia hidrográfica (RENNÓ et al., 2008). A continuidade topológica para as Direções de Fluxo é, conseqüentemente, necessária para que uma drenagem funcional possa existir (ALVES SOBRINHO et al., 2010).

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 suas células vizinhas (PAZ; COLLISCHONN; TUCCI, 2005).

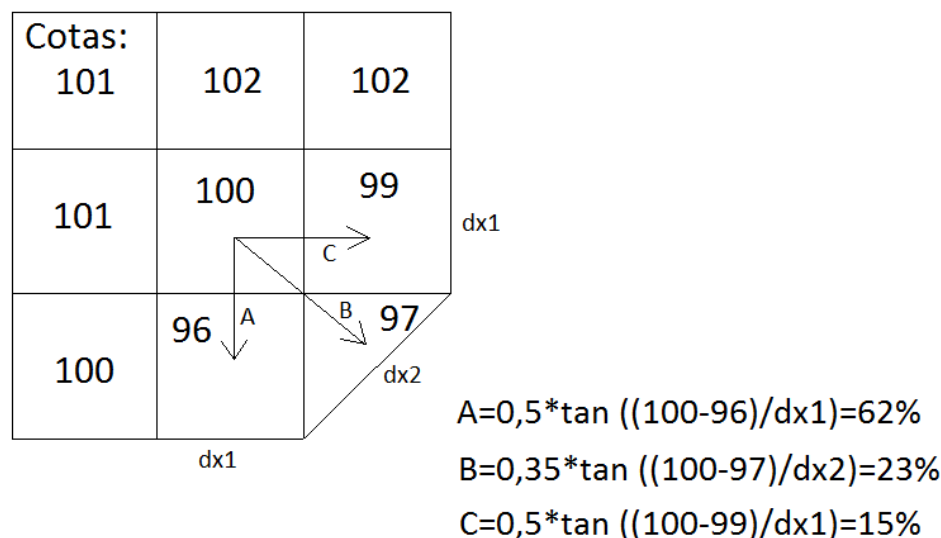
No modelo D8 (Figura 2) a obtenção da direção de fluxo em cada pixel pode ser realizada por procedimentos automatizados, o qual atribui o sentido do escoamento de um pixel para um de seus oito vizinhos, com base na diferença de cota ponderada pela distância entre eles. Como resultado, a cada pixel é atribuído um número indicativo de uma das oito direções de fluxo possíveis.

**Figura 2.** Modelo D8: (a) Direções possíveis de um pixel; (b) Cota de cada pixel, em metros; (c) Direção do escoamento para a célula com menor cota. Fonte: Adaptado de Turcote et al. (2001).



Já no modelo D-Infinity (Figura 3), o algoritmo obtém infinitas possibilidades de direção de fluxo, que supera a limitação do D8, já que este apenas considera uma possibilidade entre as oito vizinhas para a água escoar.

O D-Infinity calcula as infinitas possibilidades de direções de fluxo da água a partir de facetas triangulares, em uma janela de 3x3 pixels. Dessa forma, a distribuição do fluxo é proporcional, entre os pixels subjacentes, de acordo com a declividade de cada faceta triangular.

**Figura 3.** Método D-Infinity proposto por Tarboton (1997). Fonte: Tarboton (1997).

Assim, as direções de fluxo foram calculadas pelos dois métodos, e, a partir desses mapas, foi possível obter-se o Fluxo Acumulado, para cada modelo.

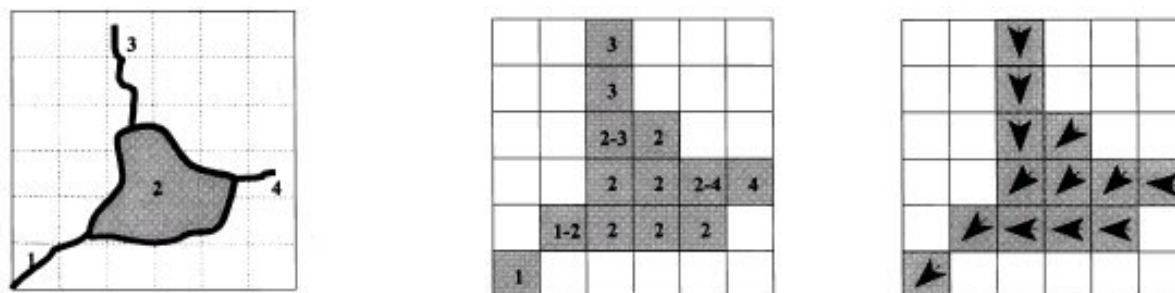
### 4.3 Fluxo acumulado (flow accumulation)

O Fluxo Acumulado é o parâmetro que determina por onde o fluxo direcionado se acumulará, permitindo a locação da rede de drenagem e a delimitação automática da bacia hidrográfica. Este processo compara cada pixel com seus oito vizinhos e determina, por meio da Direção de Fluxo, quantas células drenam para a célula à jusante, acumulando os dados para cada pixel do raster, e determinando por onde haverá um maior acúmulo de água, até o exutório da bacia. Geralmente, o exutório de uma bacia hidrográfica é a sua foz, mas também pode ser uma barragem, uma estação de coleta de dados hidrológicos ou qualquer ponto de interesse a ser estudado.

Para Valeriano (2008), o Fluxo Acumulado, também conhecido como Área de Contribuição, apresenta obtenção complexa, seja de forma manual ou computacional, uma vez que reúne, além de características do comprimento de rampa (conexão com divisores de água a montante), a curvatura horizontal (confluência e divergência das linhas de fluxo).

Assim, Turcotte et al. (2001 adaptado por ALVES SOBRINHO et al., 2010), apresentaram um exemplo do método utilizado para a determinação do Fluxo Acumulado utilizado no presente trabalho (Figura 4), onde foi possível observar a formação dos caminhos preferenciais de fluxo da água que originam a rede hidrográfica.

**Figura 4.** Exemplo de determinação do Fluxo Acumulado, apresentado por Alves Sobrinho et al. (2010 adaptado de Turcote et al., 2001).



Utilizando o método acima apresentado, calculou-se o Fluxo Acumulado (Área de Contribuição) para os dois métodos, pela função Contribution Area, no software TauDEM (TARBOTON, 2010). A partir disso, pode-se delimitar as drenagens pelo “Threshold”.

#### 4.4 Delimitação das drenagens pelo threshold (stream definition by threshold)

A ferramenta Delimitação das Drenagens pelo “Threshold” (Limiar) utiliza o mapa resultante do Fluxo Acumulado e transforma todo pixel que apresentar seu valor acumulado maior que o determinado pelo usuário (“Threshold”) para o valor 1 do novo mapa. Todos os pixels que tiverem um valor menor que o “Threshold” foram automaticamente transformados para o valor 0, sendo dessa forma considerados como o fundo preto do mapa final.

Para o presente estudo, utilizou-se a hidrografia presente nas cartas topográficas do IGC, em escala 1:10.000, como verdade de campo para se determinar onde as drenagens se iniciam, o que chamou-se de nascente.

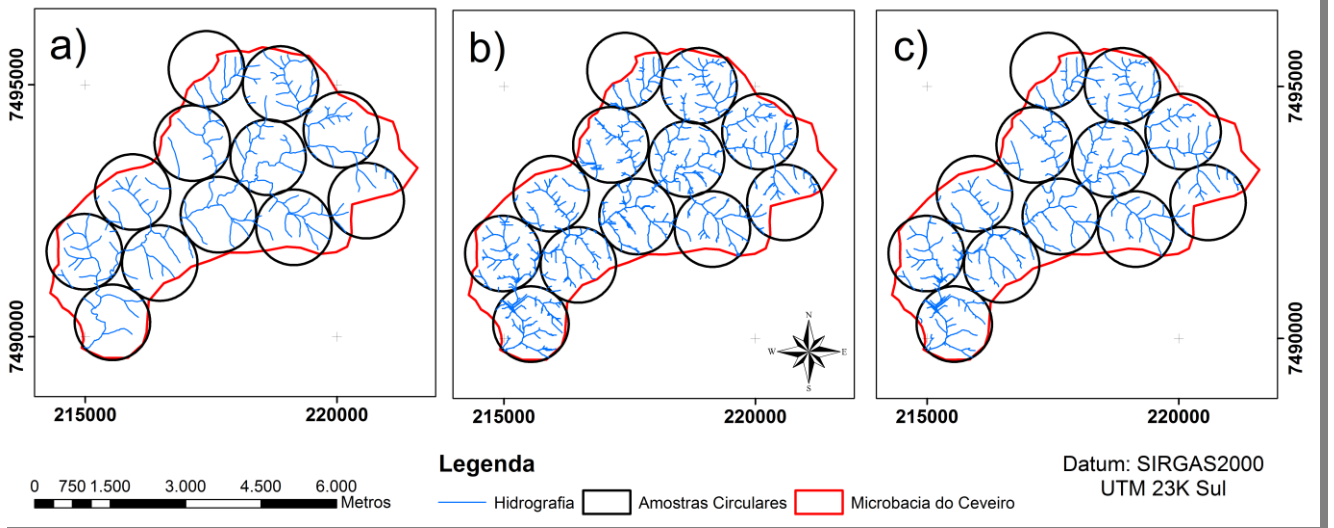
Assim, ao se realizar o cruzamento da camada das nascentes das cartas topográficas com os mapas de Fluxo Acumulado, obteve-se a média de acúmulo de água nos pixels onde se encontram as nascentes. Esse valor é denominado de “Threshold”, e é diferente para cada método, já que apresentam metodologias diferentes de obtenção.

#### 4.5 Elaboração de amostras circulares e teste de tukey

Para uma melhor comparação entre os métodos, foram analisados dois fatores quantitativos: Comprimento das Drenagens (CD) e Número de Nascentes (NN).

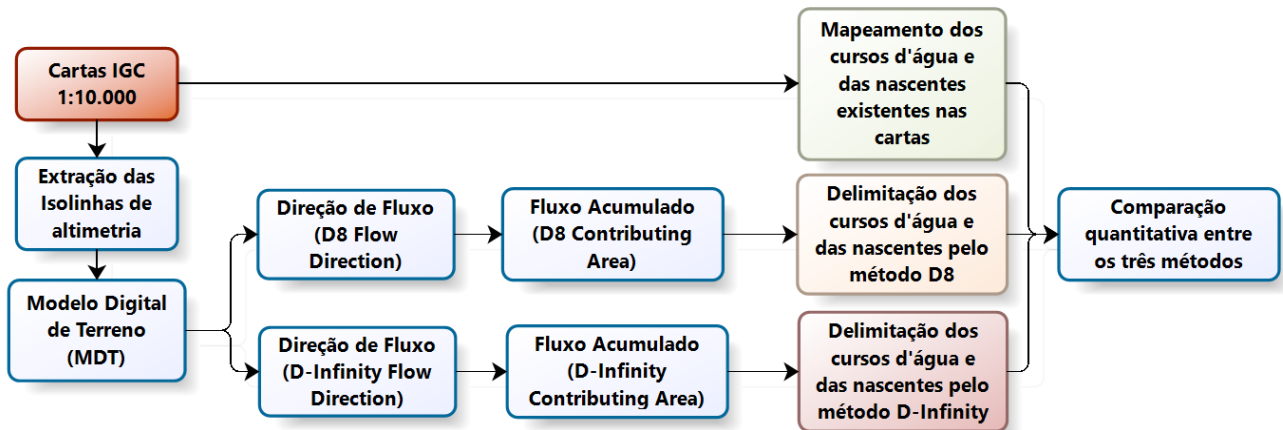
Foram dispostas ao acaso, manualmente, dentro do programa ArcGIS (ESRI, 2010) utilizando a função *editor*, 12 amostras circulares de 0,75 km de raio (Figura 5), cada uma com 1,76 km<sup>2</sup> de área, totalizando 18,12 km<sup>2</sup> (83,12 % da área total da MHC). Para o presente trabalho, determinou-se um valor médio representativo de uma bacia hidrográfica para cada amostra (DEMATTE; DEMÉTRIO, 1995) e com esse valor foram alocadas o maior número de amostras circulares que cobrissem toda a microbacia, para assim ser possível ter um grau de liberdade suficiente para a estatística. Assim, com os resultados das amostras, realizou-se o Teste de Médias de Tukey, que se apresenta como um teste de médias que complementa o estudo da análise de variância.

**Figura 5.** Amostras circulares realizadas para cada método analisado: (a) Cartas Topográficas IGC; (b) Método D8; (c) Método D-Infinity.



Assim, o fluxograma apresentado na Figura 6 resume todas as etapas realizadas no trabalho.

**Figura 6.** Etapas executadas na realização do trabalho.

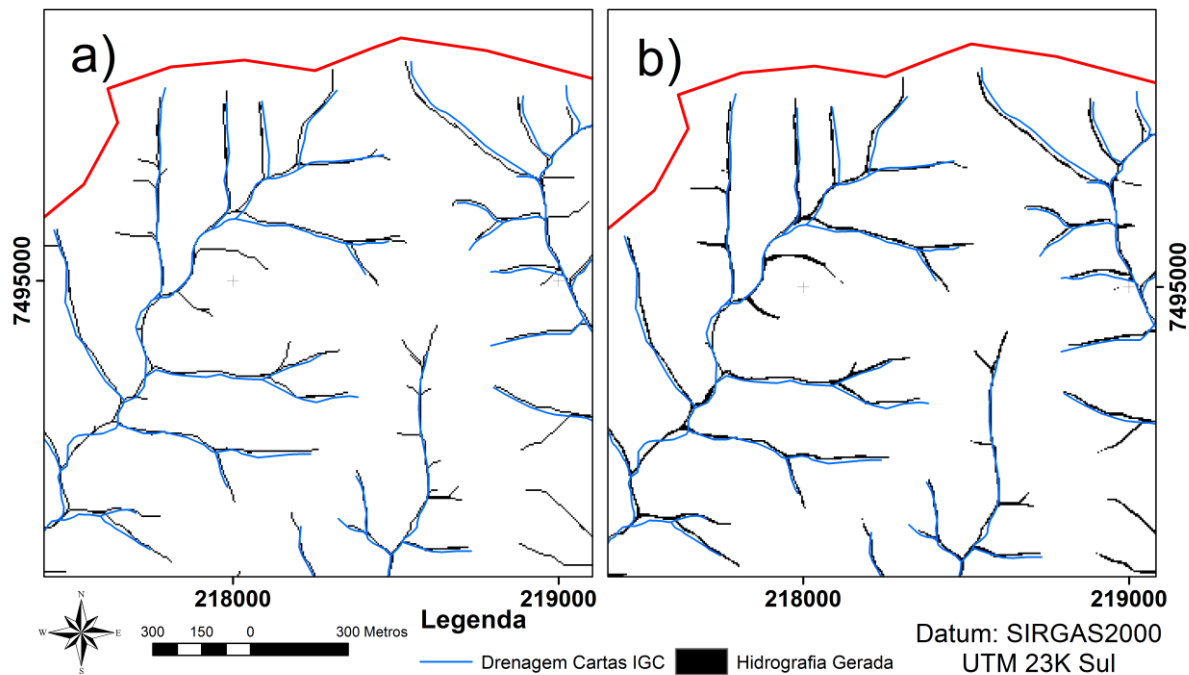


## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Ao se realizar o cruzamento da camada das nascentes das cartas topográficas com os mapas de Fluxo Acumulado, obteve-se a média de acúmulo de água (“Threshold”) de 200 para o método D8. Já o método D-Infinity apresentou um “Threshold” médio de 800.

A partir dos “Thresholds” determinados para cada método, obteve-se o raster final para os dois métodos, conforme é apresentado na Figura 7.

**Figura 7.** Detalhe da comparação entre as drenagens delimitadas usando Threshold: (a) Método D8; (b) Método D-Infinity, tendo como base as drenagens das cartas topográficas do IGC 1:10.000.



O comprimento das drenagens obtido pela aplicação de cada método apresenta-se na Tabela 1. Com esses dados, foi possível aplicar o teste de Tukey (Tabela 2).

**Tabela 1.** Comprimento das drenagens (CD), em metros, para cada Amostra Circular.

Amostras Circulares	Método		
	Cartas IGC	D-Infinity	D8
1	4.157,34	9.463,02	11.752,09
2	7.040,32	8.183,00	10.076,50
3	4.658,73	7.108,70	8.194,33
4	4.512,49	5.394,38	6.656,46
5	5.912,20	8.137,28	10.420,80
6	4.366,25	6.400,11	8.515,68
7	6.873,19	9.691,60	11.086,45
8	5.786,85	6.354,40	7.184,38
9	2.966,54	4.480,08	5.531,75
10	5.933,09	8.228,71	10.053,55
11	7.061,21	8.777,30	9.824,01
12	3.760,41	4.480,08	5.141,54
Média*	5.252,38 a	7.224,89 b	8.703,13 b

\*Médias acompanhadas de mesma letra não diferem entre si em nível de 5% de significância.



**Tabela 2.** Resultado do Teste de Tukey para avaliação do Comprimento de Drenagens (CD) para as quatro Amostras Circulares.

Níveis	Variação (m)	P-valor
D8-Cartas	3450,745	0,00015047409
D-Infinity-Cartas	1972,504	0,03155527827
D-Infinity-D8	-1478,241	0,13034682358

Interpretando-se os resultados de CD, observa-se que os dois métodos estudados (D8 e D-Infinity) são estatisticamente semelhantes em nível de 5% de significância (para as amostras ao acaso). Já o comprimento das drenagens obtido pelas cartas topográficas apresentou-se estatisticamente diferente dos dois métodos automáticos de determinação das drenagens.

Uma das explicações plausíveis para esse resultado é que as cartas topográficas foram elaboradas a partir de fotografias aéreas no ano de 1979, utilizando uma escala com menor riqueza de detalhes. Por isso, este método apresentou uma média de comprimento dos canais de drenagem menor. Também, pelo fato deste método ser feito manualmente, ele é susceptível à experiência e à subjetividade do fotointérprete. Quando os modelos determinam automaticamente as drenagens, a água acumulada teoricamente formaria um curso d'água (perene, efêmero ou intermitente), o que pode não ter ocorrido no campo, já que muitos outros fatores contribuem para a formação e caminhamento dos cursos d'água, como o uso do solo e outras interferências naturais e antrópicas (VANZELA; HERNANDEZ; FRANCO, 2010). Fiorio, Demattê e Sparovek (2000) estudaram a cronologia do uso do solo na MHC e constataram que a cultura da cana-de-açúcar passou de 16% da área em 1965 para 66% da área em 1995, podendo, assim, ter interferido no caminhamento dos cursos d'água e nascentes, já que houve uma grande mudança no uso do solo da MHC. Também, nas cartas topográficas 1:10.000 do IGC são consideradas apenas as drenagens perenes do local. Nos modelos, todo local onde há um acúmulo de água é considerado um curso d'água, independente da época do ano.

Comparando-se os dois modelos, o modelo D-Infinity apresentou uma média de CD menor que o D8, principalmente pelo fato do modelo D-Infinity realizar as direções de drenagem não retilíneas, fazendo com que muitos cursos d'água, que pelo modelo D8 mostraram-se paralelos, se unissem em um único curso; assim, considerando esse aspecto, o D-Infinity mostra-se mais fidedigno à realidade, como pode ser observado na Figura 6.

Quanto ao fator Número de Nascentes (NN) (Tabela 3), o comportamento apresentado foi diferente: os três métodos apresentaram-se diferentes estatisticamente em nível de 5% de significância (Tabela 4).

**Tabela 3.** Número de Nascentes (NN) para cada Amostra Circular.

Amostras Circulares	Método		
	Cartas	D-Infinity	D8
1	2	26	50
2	14	33	52
3	7	19	32
4	10	17	35
5	3	17	45
6	7	21	45
7	5	25	45
8	9	15	23
9	7	11	23
10	10	20	36
11	19	30	44
12	6	10	17
Média*	8.25 a	20.33 b	37.25 c

\*Médias acompanhadas de mesma letra não diferem entre si em nível de 5% de significância.

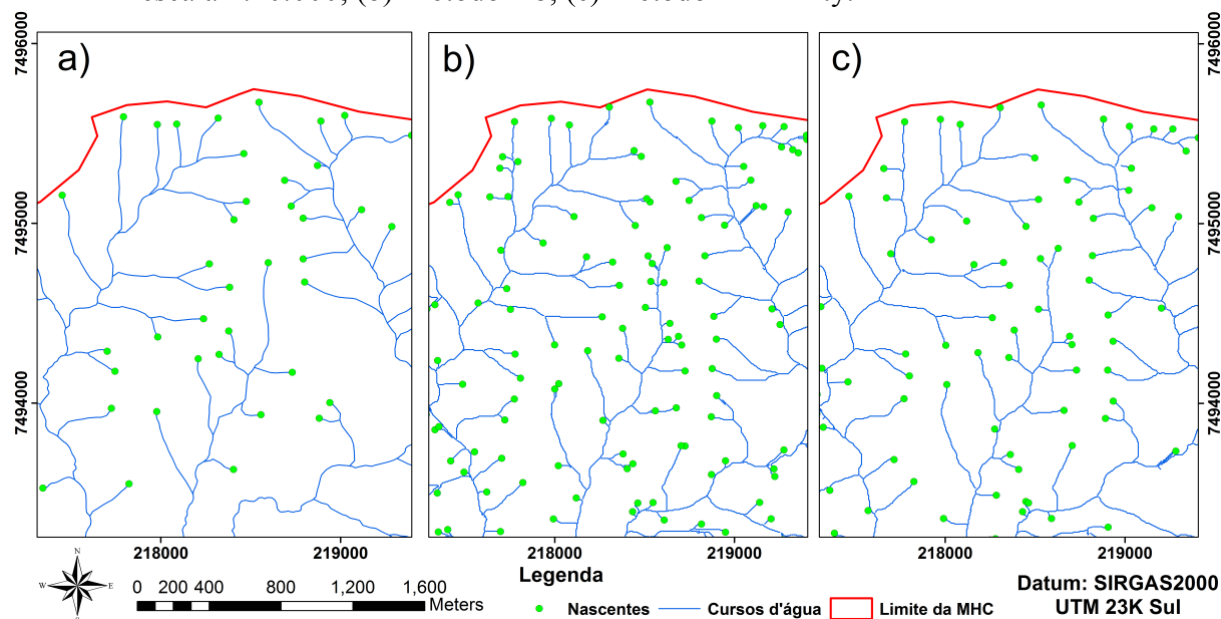
**Tabela 4.** Resultado do Teste de Tukey para avaliação do NN das quatro Amostras Circulares.

Níveis	Varição	P-valor
D8-Cartas	29,000	0,00000000184
D-Infinity-Cartas	12,083	0,00302969362
D-Infinity-D8	-16,916	0,00005147273

Interpretando-se os resultados de NN, foi possível concluir que, para quantificar o número de nascentes em uma bacia, nenhum dos dois métodos automáticos se assemelhou, quantitativamente, às cartas, como se observa na Figura 8.

Os métodos automáticos de determinação apresentaram muitas nascentes e drenagens que não são observadas nas cartas topográficas do IGC. Isso se deve ao fato dos modelos não considerarem diferença entre épocas chuvosas e secas, apresentando, assim, todas as nascentes perenes (contínuas durante todo o ano), intermitentes (existem apenas na estação chuvosa do ano) e efêmeras (surgem apenas durante uma chuva, permanecendo por apenas alguns dias) que deveriam existir naquele relevo. Já nas cartas topográficas, apenas as nascentes perenes normalmente são consideradas. Outro motivo dessa diferença, quanto ao número de nascentes, se deve ao fato dos modelos terem apresentado escoamentos laterais em cursos d'água mais espessos, contabilizando um maior número de nascentes do que realmente deveria ser obtido, conforme observa-se na Figura 8.

**Figura 8.** Detalhe do mapa final dos três métodos estudados: (a) Cartas Topográficas IGC escala 1:10.000; (b) Método D8; (c) Método D-Infinity.



## 6 CONCLUSÕES

Apesar de, quantitativamente, os métodos automáticos terem apresentado diferenças em relação à prova de campo utilizada no presente trabalho (Cartas Topográficas IGC), esta metodologia pode ser considerada uma ferramenta de grande utilidade na determinação de drenagens em regiões onde não se dispõe de outro método para tal uso.

Para a quantificação do Número de Nascentes, houve uma maior diferença entre os métodos, sendo esse fator muito difícil de ser obtido pelos métodos automáticos estudados, já que muitos fatores antrópicos e naturais influem sobre essa determinação. Os métodos estudados delimitam alguns escoamentos laterais em cursos d'água maiores, causando, assim, um aumento do número de nascentes.

O método D-Infinity se mostrou mais próximo dos resultados obtidos por intermédio das cartas topográficas do que o método D8; assim, dentre os métodos automáticos testados, o primeiro é o mais indicado para este tipo de trabalho.

## 7 REFERÊNCIAS

ALVES, S. C. A água como elemento fundamental da paisagem em microbacias. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 21, n. 207, p. 9-14, 2000.

ALVES SOBRINHO, T.; OLIVEIRA, P. T. S.; RODRIGUES, D. B. B.; AYRES, F. M. Delimitação automática de bacias hidrográficas utilizando dados SRTM. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 1, p. 46-57, 2010.

COELHO, A. L. N. Uso de dados SRTM como ferramenta de apoio ao mapeamento geomorfológico de bacia de médio grande porte. **Revista Geográfica Acadêmica**, Boa Vista, v. 2, n. 2, p. 138-153, 2008.

DEMATTE, J. A. M.; DEMETRIO, V. A. Fotointerpretação de padrões de drenagem de bacias hidrográficas na caracterização de solos desenvolvidos de rochas eruptivas básicas no estado do Paraná. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 52, n. 3, p. 569-577, 1995.

ESRI. **ArcGIS Professional GIS for the desktop**: version 10. Redlands: Environmental Systems Research Institute, 2010. Software.

FIORIO, P. R.; DEMATTE, J. A. M.; SPAROVEK, G. Cronologia do uso da terra seu impacto ambiental na microbacia hidrográfica do Córrego do Ceveiro, Piracicaba (SP). **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, DF, v. 35, n. 4, p. 671-679, 2000.

JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. **Photogrammetric Engineering Remote Sensing**, Bethesda, v. 54, n. 11, p. 1593-1600, 1988.

O'CALLAGHAN, J. F.; MARK, D. M. The extraction of drainage networks from digital elevation data. **Computer Vision, Graphics and Image Processing**, New York, v. 28, p. 323-344, 1984.

PAZ, A. R.; COLLISCHONN, W.; TUCCI, C. E. M. Geração de direções de fluxo para modelagem hidrológica de grande escala. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 16., 2005, João Pessoa. **Anais...** Disponível em: <[http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/Paz\\_et\\_al\\_SBRH\\_2005c.pdf](http://www.ct.ufpb.br/~adrianorpaz/artigos/Paz_et_al_SBRH_2005c.pdf)>. Acesso em: 1 nov. 2012.

RENNÓ, C. D.; NOBRE, A. D.; CUARTAS, L. A.; SOARES, J. V.; HODNETT, M. G.; TOMASELLA, J.; WATERLOO, M. J. Hand, a new terrain descriptor using SRTM-DEM: mapping terra-firme rainforest environments in Amazonia. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 112, n. 9, p. 3469-3481, 2008.

SILVA, A. B. **Sistemas de informações geo-referenciadas**: conceitos e fundamentos. Campinas: Editora UNICAMP, 2003.

TARBOTON, D. A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. **Water Resources Research**, Washington, v. 33, n. 2, p. 309-319, 1997.

TARBOTON, D. **TAUDEM**: terrain analysis using digital elevation models: ArcGIS extension: version 5.1. Utah State University, 2010. Disponível em: <<http://hydrology.usu.edu/taudem/taudem5.0/index.html>>. Acesso em: 1 nov. 2012.

TURCOTTE, R.; FORTIN, J. P.; ROUSSEAU, A. N.; MASSICOTTE, S.; VILLENEUVE, J. P. Determination of the drainage structure of a watershed using a digital elevation model and

a digital river and lake network. **Journal of Hydrology**, Amsterdam, v. 240, n. 3, p. 225-242, 2001.

VALERIANO, M. M. Dados topográficos. In: Florenzano, T. G. (Org.). **Geomorfologia, conceitos e tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p.72-104.

VANZELA, L. S.; HERNANDEZ, F. B. T.; FRANCO, R. A. M. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.14, n.1, p.55-64, 2010.