



ANÁLISE DA GERAÇÃO AUTOMÁTICA DE HIDROGRAFIA DA BACIA HIDROGRÁFICA DA LAGOA DO PERI UTILIZANDO DIFERENTES RESOLUÇÕES DE MDT

*Priscilla Veiga Bernardelli¹ & Pedro Luiz Borges Chaffe² & João Henrique Macedo Sá*³*

Resumo – O presente estudo consiste em realizar uma análise da geração automática de hidrografia da bacia hidrográfica da Lagoa do Peri. Foi verificada qual a influência da variação da resolução do Modelo Digital de Terreno (MDT) e das Áreas Mínimas de Contribuição sobre os resultados gerados de rede de drenagem. A área de estudo está situada na região sudeste do município de Florianópolis – SC. Foram gerados 4 MDTs distintos nas resoluções de 1, 5, 10 e 15 metros, e para a área mínima de contribuição foram definidos 11 valores, variando-os de 7,0 a 0,5 hectares. Como resultado para o erro total, o maior percentual obtido na análise foi de 221,82%, correspondente à resolução de 15 metros e área de 0,5 hectares. Já o menor valor obtido foi de 44,88%, correspondente à resolução de 10 metros e área de 2,0 hectares, sendo esta a resolução que, de maneira geral, apresenta a melhor resposta do estudo. Com isto, pode-se concluir que os resultados obtidos com esta metodologia foram satisfatórios, pois apontam quais são os melhores valores das variáveis analisadas para gerar hidrografias na bacia em questão.

Palavras-Chave – Geoprocessamento, Análise de Sensibilidade, Rede de drenagem.

ANALYSIS OF AN AUTOMATIC HYDROGRAPHY GENERATION FROM LAGOA DO PERI WATERSHED USING DIFFERENT DTM RESOLUTIONS

Abstract – The present study performed an analysis of an automatic hydrography generation from Lagoa do Peri watershed. It verifies how the variation of the Digital Terrain Model (DTM) Resolution and the Contributing Area Threshold modifies the generated drainage network. The study site is localized at the southeast part of Florianópolis city. For the analysis, the DTM resolutions chosen were 1, 5, 10 and 15 meters, and the contributing area threshold variates from 7,0 to 0,5 hectares. The maximum total error obtained was 221,82%, corresponding to a 15 meters resolution and 0,5 hectares of area threshold. The minimum total error obtained was 44,88%, corresponding to a 10 meters resolution and 2,0 hectares of area threshold, and this resolution presents the best answers for the study. So, the results obtained with this method were satisfactory, because they point which are the best values from the parameters analyzed to generate the drainage network.

Keywords – Geoprocessing, Sensitivity Analysis, Drainage Network.

¹ Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, priscilla.vb@hotmail.com

² Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, pedro.chaffe@ufsc.br

³ Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PPGEA, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, joao.h.sa@posgrad.ufsc.br

* Autor responsável pela submissão.



INTRODUÇÃO

As bacias hidrográficas podem ser analisadas como uma unidade geomorfológica fundamental, pelo fato de suas características governarem todo o fluxo superficial de água em seu interior (Pissarra, 1998 *apud* Tonello, 2005). Então a definição da rede de drenagem de bacias é importante, pois interfere diretamente na dinâmica dos processos hidrológicos que ali ocorrem. Além disso, segundo a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997, a bacia hidrográfica é definida como uma unidade de estudo e gestão. Desta maneira, é de grande valia a compreensão do escoamento das águas de uma bacia hidrográfica para o planejamento e a gestão de ações em seu interior.

Existem nas bacias hidrográficas dois sistemas correlacionados: o de rede de drenagem e o de encostas. Estas encostas controlam o escoamento das águas, que são transportadas pela rede de canais até o exutório, formando então a hidrografia da bacia (Rodríguez-Iturbe & Rinaldo, 2001). Para a obtenção das hidrografias de áreas de interesse, existem métodos automáticos de extração auxiliados por softwares, que se contrapõem às dificuldades existentes nos levantamentos de dados em campo. Estes métodos são executados a partir de informações de elevação da região analisada, como por exemplo as curvas de nível, e resultam em um Modelo Digital de Terreno (MDT), que gera por sua vez os cursos de água. A resolução adequada para este MDT depende da escala em que as curvas de nível se encontram, visto que existe um erro máximo associado à estas.

Portanto, o objetivo deste trabalho foi realizar a análise da geração automática de hidrografia da bacia hidrográfica da Lagoa do Peri. Foi verificada qual a influência da variação da resolução do Modelo Digital de Terreno e das Áreas Mínimas de Contribuição sobre os resultados de rede de drenagem gerados.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A bacia hidrográfica da Lagoa do Peri esta localizada ao sul do Brasil no estado de Santa Catarina, na região sudeste do município de Florianópolis (Figura 1). Apresenta uma área total de aproximadamente 19,4 km², e em sua porção centro-nordeste esta situada a Lagoa do Peri. Diferentemente da maioria das lagoas costeiras, que são rasas e sofrem influência marinha (Kjerfve, 1994), ela por estar situada acima do nível do mar não é afetada pelas oscilações da maré. Por isso a Lagoa do Peri é caracterizada como uma lagoa costeira de água doce (Hennemann, 2010), e representa o maior manancial de água do município (Sbroglia & Beltrame, 2012). Visto isso, existe na bacia a Estação de Tratamento de Água da Lagoa do Peri, operada pela Companhia Catarinense de Água e Saneamento (CASAN), abastecendo a população da costa leste/sul de Florianópolis.

Nos arredores da lagoa, as porções norte, oeste e sul são margeadas por encostas com altitudes médias de 300 metros, e estão cobertas por remanescentes de Mata Atlântica. À leste, encontra-se uma superfície plana ou suavemente ondulada, coberta por vegetação de restinga (Sbroglia & Beltrame, 2012). Os limites da bacia hidrográfica em questão delimitam o Parque Municipal da Lagoa do Peri, instaurado em 1981 com o objetivo de proteger o manancial, preservar o patrimônio natural da região e propiciar o desenvolvimento de atividades educativas, de lazer e recreação.

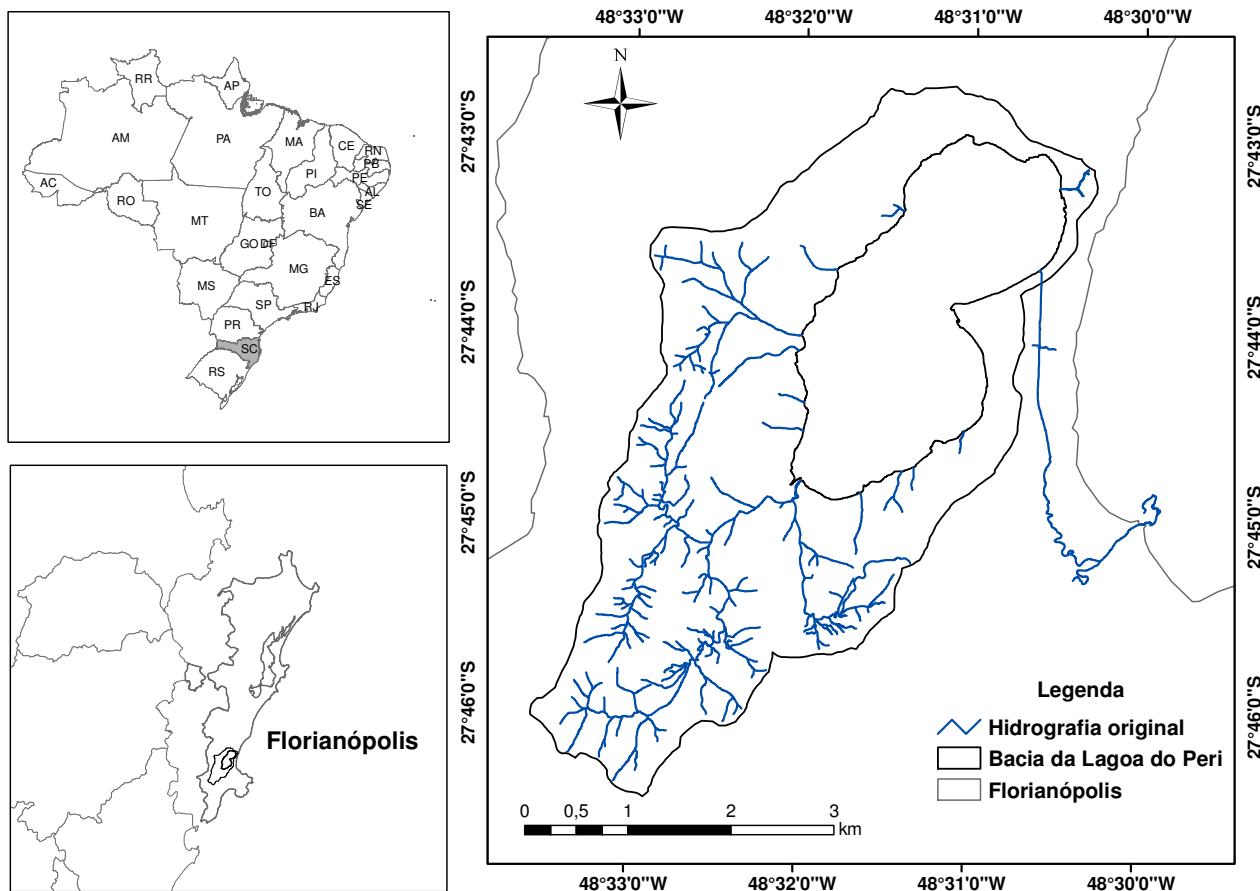


Figura 1 – Mapa de localização da bacia hidrográfica da Lagoa do Peri.

Modelo Digital de Terreno (MDT)

O Modelo Digital de Terreno (MDT) é a representação de uma superfície contínua, onde é gerado um raster com informações de elevação para todas as células do modelo (Schwanghart & Kuhn, 2009). Para isto, cria-se previamente um mapa com células em formato triangular (*TIN* - *Triangulated Irregular Network*) a partir das curvas de nível da região, com o auxílio da ferramenta *Create TIN* do software de geoprocessamento. As curvas utilizadas possuem um espaçamento de 10 metros entre si. Feito isto, juntamente com a ferramenta *TIN to Raster*, esta superfície é transformada em um Modelo Digital de Terreno. Para o desenvolvimento deste trabalho foram gerados quatro MDTs distintos, variando-se o tamanho padrão das células de cada um, e obtendo, por fim, as resoluções de 1, 5, 10 e 15 metros.

Os MDTs foram recondicionados usando a delineação já existente de hidrografia da bacia. Este processo é uma adaptação do método *Agree* e resulta em um MDT com a hidrografia de base marcada em seu raster, servindo como guia para as células do mapa (Zhao *et al.*, 2009).

Extração da rede de drenagem

A partir do MDT recondicionado, extraiu-se a rede de drenagem da bacia. Para isto, foi utilizada a ferramenta *Flow Direction*, que usa um algoritmo de oito direções para definir o sentido de fluxo de água que cada célula do raster apresentará, adotando por conseguinte aquele que apresentar o maior valor de declividade dentre os oito calculados. Em sequência, foi utilizada a ferramenta *Flow Accumulation*, que é baseada no modelo gerado pela ferramenta de direção de



fluxo, e gera um raster representando o acúmulo das células de fluxo que existe em cada célula analisada (Schwanghart & Kuhn, 2009).

A extração das redes de drenagem foi feita com a ferramenta *Stream Definition* e realizada nas diferentes resoluções dos MDTs gerados. Ao aplicar esta ferramenta, pode-se definir qual a área mínima de contribuição que será considerada para ser gerado um curso de água. Quanto menor este requisito de área mínima de contribuição, mais densa é a hidrografia que se forma. Para este estudo foram extraídas 11 redes de drenagem em cada resolução de MDT, totalizando 44 hidrografias geradas. A área mínima de contribuição aplicada em cada MDT seguiu uma lógica de diminuição de restrição, sendo adotados os seguintes valores: 7,0; 6,0; 5,0; 4,0; 3,0; 2,5; 2,0; 1,5; 1,0; 0,75 e 0,50 hectares.

Avaliação dos erros

Na análise feita nas redes de drenagem extraídas, pode-se perceber que conforme a área mínima de contribuição é variada, e por consequência a densidade de cursos de água, o erro associado à geração destes também varia. Quanto mais densa é a hidrografia, maior é a probabilidade de trechos serem gerados de forma demasiada. Porém, quanto mais densa ela for, mais ela consegue se equiparar à hidrografia original, que é utilizada como parâmetro de comparação neste estudo. Visto isso, foram definidos dois tipos de erros existentes ao gerar-se uma hidrografia: a) aquele que representa o conjunto de trechos que são gerados em demasia (Erro de hidrografia excedente), e b) aquele que representa o conjunto de trechos da hidrografia original que não conseguiram ser alcançados pela hidrografia gerada (Erro de hidrografia não gerada).

Para que as redes de drenagem possam ser trabalhadas e os erros contabilizados, as hidrografias foram alteradas do formato raster (células) para shapefile (linhas). Aplicou-se a ferramenta *Buffer*, tanto na hidrografia original quanto nas hidrografias geradas. Isto faz com que seja estabelecido um limite, e que nas operações de comparação das hidrografias original e gerada, as linhas situadas dentro deste *buffer* sejam consideradas corretas, e as demais, situadas fora do mesmo, sejam consideradas como um erro. Como a maior resolução de MDT escolhida para as células foi de 15 metros, o valor definido para o *buffer* foi então de 20 metros, visto que o menor erro possível para este MDT de células 15x15 é de 15 metros, não podendo então ser estabelecido um limite de *buffer* menor que este valor.

Para facilitar a análise, optou-se por trabalhar com os comprimentos das redes de drenagem. Desta forma, comparando-se as hidrografias: original com *buffer* e as geradas (Figura 2a), por meio da ferramenta *Erase*, obtém-se o comprimento de hidrografia excedente; e por meio da ferramenta *Clip*, obtém-se o comprimento de hidrografia gerada de acordo com a hidrografia original. De forma contrária, comparando-se a hidrografia original com as hidrografias geradas com *buffer* (Figura 2b), por meio da ferramenta *Erase*, obtém-se o comprimento de hidrografia original que não conseguiu ser alcançado pela hidrografia gerada, sendo então chamado de hidrografia não gerada.

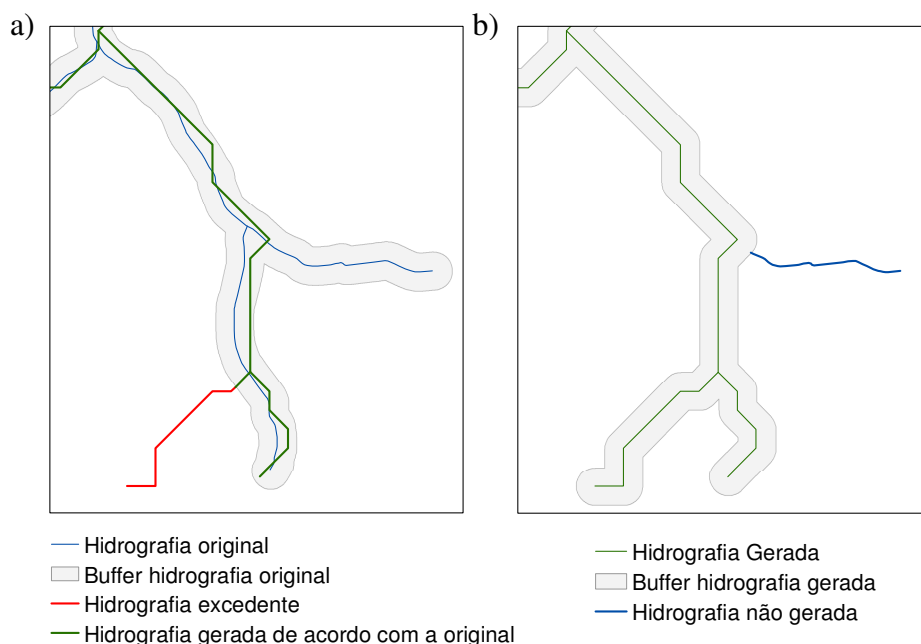


Figura 2: Demonstrativo da operação com *buffer* e representação dos tipos de comprimento de hidrografia. a) *Buffer* na hidrografia original, b) *Buffer* na hidrografia gerada.

Desta forma, são gerados 44 valores de comprimento de hidrografia excedente, e 44 valores de comprimento de hidrografia não gerada. Para o cálculo dos erros, foi feita a relação desses valores com o comprimento da hidrografia original, conforme demonstrado nas equações a seguir:

$$E_e = \frac{L_e}{L_o} * 100 \quad (1)$$

$$E_g = \frac{L_g}{L_o} * 100 \quad (2)$$

onde, E_e é o erro de hidrografia excedente (%), L_e é o comprimento de hidrografia excedente (km), L_o é o comprimento de hidrografia original (km), E_g é o erro de hidrografia não gerada (%) e L_g é o comprimento de hidrografia não gerada (km).

Para uma visão global do processo pode-se analisar de maneira conjunta os erros de hidrografia excedente e não gerada, a partir da soma destes valores, obtendo por fim o erro total ao gerar a rede de drenagem.

RESULTADOS

Os valores de erro de hidrografia excedente podem ser visualizados na Figura 3a. A distribuição dos pontos mostra que quanto menor for a área mínima de contribuição escolhida, maior será o erro associado a esta variável, por consequência do aumento da densidade da rede de drenagem. Em áreas de contribuição abaixo de 1,0 hectare, podem-se perceber erros superiores a 100%. A resolução de MDT 15 metros em uma área de contribuição de 0,5 hectare, apresenta um valor máximo de erro igual a 216,41%. Isto ocorre porque nestes casos o comprimento de hidrografia gerada excedente é superior ao comprimento total da hidrografia original, fato que justifica estes valores estarem acima de 100%.



De mesmo modo, os valores de erro de hidrografia não gerada podem ser visualizados na Figura 3b. A distribuição dos pontos mostra que quanto menor for a área mínima de contribuição escolhida, menor será o erro associado a esta variável, chegando a um valor mínimo de 2,79% na resolução de MDT de 5 metros e área de contribuição de 0,5 hectare. Dentre os MDTs analisados, a resolução de 1 metro foi a que menos alcançou a demarcação da hidrografia original, apresentando o maior erro em todos os pontos de área de acúmulo.

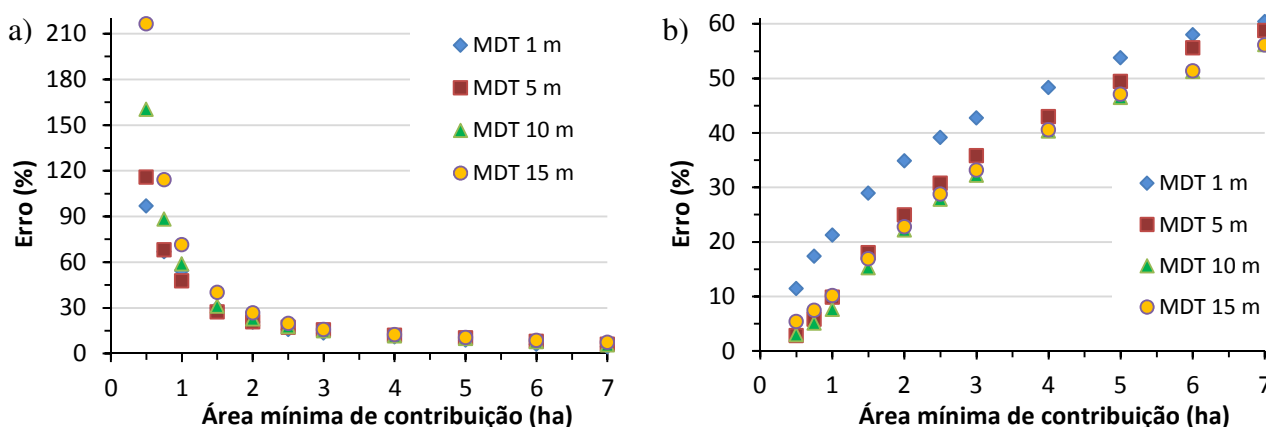


Figura 3: a) Erro de hidrografia excedente, b) Erro de hidrografia não gerada.

Na Tabela 1 são apresentados os valores de erro total das hidrografias geradas, associados aos respectivos valores de resolução de MDT e área de acúmulo. O menor erro total obtido é de 44,88%, correspondente à resolução de 10 metros e área de contribuição de 2,0 hectares. Esta resolução de MDT é a que, de maneira geral, apresenta a melhor resposta ao gerar as hidrografias, e na faixa de 7,0 a 2,0 hectares, possui os menores valores de erro total (destacado em verde na Tabela 1). De forma contrária, a resolução de 1 metro é a que apresenta as piores respostas ao gerar as hidrografias, e na faixa de 7,0 a 1,5 hectare, possui os maiores valores de erro total (destacado em vermelho na Tabela 1). Porém o maior erro total obtido é de 221,82%, correspondente à resolução de 15 metros e área de contribuição de 0,5 hectare.

Tabela 1: Valores do erro total. Os menores erros estão destacados em verde, e os maiores erros estão destacados em vermelho.

Área mínima de acúmulo (ha)	Resolução do Modelo Digital de Terreno			
	1 m	5 m	10 m	15 m
7,0	64,90	64,82	61,80	63,42
6,0	64,17	63,59	58,94	59,91
5,0	62,66	59,62	56,41	57,52
4,0	59,26	54,90	51,76	53,01
3,0	56,07	51,31	47,13	48,93
2,5	54,84	48,04	45,46	48,50
2,0	55,32	45,68	44,88	49,36
1,5	58,78	45,33	46,26	57,03
1,0	75,68	57,61	66,34	81,57
0,75	84,24	73,94	93,31	121,41
0,50	108,27	118,56	163,27	221,82

A superfície 3D apresentada na Figura 4 a seguir demonstra a distribuição dos valores de erro total associados às hidrografias geradas. Nos eixos do gráfico são representadas as variáveis: Resolução de MDT (m), Área mínima de contribuição (ha) e o Erro total (%).

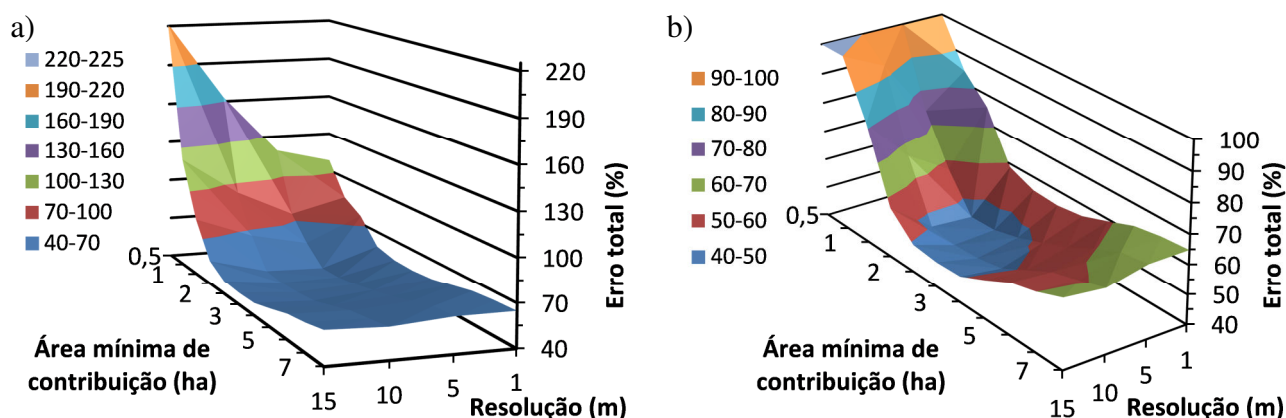


Figura 4: Superfície 3D do erro total. a) Erro variando de 40 a 220%, b) Erro variando de 40 a 100%.

Percebe-se que nos menores valores de área de contribuição, existe uma influência demasiada do erro de hidrografia excedente na contabilização do erro total, o que justifica o pico máximo de 221,82% (Figura 4a). A Figura 4b representa os mesmos dados, mas com ênfase nos valores de erro até 100%. Com isto, fica nítida a tendência que a superfície segue ao serem modificadas as variáveis analisadas. A faixa central do eixo da área de contribuição (3,0 a 1,5 hectares) é a região ideal para gerar as hidrografias, pois assim não são contabilizados de forma demasiada no cálculo do erro total, os erros de hidrografias excedentes e não gerada. Para o MDT, os erros variam de acordo com a resolução utilizada, mas fica claro pelo delineado da superfície que a resolução de 1 metro é a que apresenta os maiores erros.

CONCLUSÕES

Com base nos resultados deste estudo, percebe-se que a variação da resolução do MDT e da área de acúmulo interferiu no erro associado à geração das hidrografias. Na superfície 3D do erro total é possível visualizar com facilidade que a faixa de área de contribuição mais adequada para gerar as hidrografias neste caso esta entre os valores de 3,0 e 1,5 hectares, pois nela não estão inseridos de forma demasiada os erros de hidrografia excedente e não gerada. Já a análise dos MDTs mostra que a resolução de 10 metros é a que apresenta de maneira geral os menores valores de erro total, sendo esta a mais indicada para aplicação nesta bacia.

Com isto, colclui-se que os resultados alcançados com esta metodologia foram satisfatórios, pois apontam quais são os melhores valores de área de contribuição e resolução de MDT para gerar hidrografias na bacia em questão. Porém o modelo aplicado pode ser melhorado, gerando valores menores de erro. Para isto, pode-se utilizar curvas de nível com menor espaçamento e melhor resolução, e uma hidrografia de base mais precisa, interferindo então nos cursos de água gerados pelo software e no erro resultante.



REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acesso em: 10 de junho de 2015.

HENNEMANN, M.C. (2010). *Dinâmica da qualidade da água em uma lagoa costeira: o caso peculiar da Lagoa do Peri, Ilha de Santa Catarina, Brasil*. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 112p.

KJERFVE, B. (1994). Coastal Lagoons. In: *Costal Lagoon Processes*. Org. por Kjerfve, B., ed. Elsevier Science Publishers B.V., Amsterdam, pp. 1–8.

PISSARRA, T.C.T. (1998). *Avaliação quantitativa das características geomorfológicas de microbacias hidrográficas 1º ordem de magnitude em quatro posições do sistema natural de drenagem*. Dissertação – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 124p.

RODRÍGUEZ-ITURBE I.; RINALDO A. (2001). *Fractal river basins: chance and self-organization*. Cambridge University Press, Cambridge, 547p.

SBROGLIA, R.M.; BELTRAME, A.V. (2012). O zoneamento, conflitos e recategorização do Parque Municipal da Lagoa do Peri. *Boletim de Geografia*. 30(1), pp. 5 - 18.

SCHWANGHART, W.; KUHN, N.J. (2009). TopoToolbox: A set of Matlab functions for topographic analysis. *Environmental Modelling & Software* 25, pp. 770 - 781.

TONELLO, K.C. (2005). Análise hidroambiental da bacia hidrográfica da Cachoeira das Pombas, Guanhães, MG. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 69p.

ZHAO, G.; GAO, J.; TIAN, P.; TIAN, K. (2009). Comparison of two different methods for determining flow direction in catchment hydrological modeling. *Water Science and Engineering* 2(4), pp. 1 – 15.