EFEITO DA ESCALA NA OBTENÇÃO DE PARÂMETROS MORFOMÉTRICOS EM PEQUENA BACIA EXPERIMENTAL

Aline de Almeida Mota[1]; Masato Kobiyama[2]; Roberto Fabris Goerl[3]; Fernando Grison[4]; Joana Nery Giglio[5]; Albert Teixeira Cardoso[6] & Gean Paulo Michel[7]*

Resumo – O presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência da escala da base cartográfica e da resolução do MDE na estimativa de alguns parâmetros morfométricos na bacia do rio Araponga (ARA) (5,3 ha). Foram identificadas duas bases cartográficas disponíveis até aquele momento. Na primeira base cartográfica não é possível observar o rio Araponga, e na segunda o detalhe não era suficiente. Por isso realizou-se levantamento topográfico com uso de GPS e estação total de toda a área da bacia. A rede de drenagem foi extraída com o uso do Arc Hydro e apoiada nas observações de campo. A primeira diferença que pode ser notada entre os MDEs derivados do levantamento topográfico e o da SEPLAN é a delimitação da bacia, que mudou drasticamente aumentando a área da bacia. As observações de campo se mostraram muito úteis na extração da rede de drenagem. As diferenças entre valores de parâmetros morfométricos estimados chegaram a 27,9%. O levantamento topográfico mais detalhado se mostrou muito importante para o estudo hidrológico de pequenas bacias. As diferenças identificadas na estimativa de parâmetros morfométricos da bacia são significativas e podem influenciar outros cálculos.

Palavras-Chave – escala da base topográfica; levantamento topográfico; bacia do rio Araponga

MAP SCALE EFFECT ON MORFOMETRIC PARAMETERS ESTIMATION IN A SMALL EXPERIMENTAL BASIN

Abstract – This study aimed to assess the influence of map scale and DEM resolution on some morphometric parameters estimation in Araponga river basin (ARA) (5.3 ha). Up to that time, two available cartographic bases were identified. It is not possible to observe Araponga river on the first cartographic basis, and the second was not enough detailed. So, the entire basin area was surveyed by using GPS and total station. The drainage network was extracted by using Arc Hydro and information of the field observations. The first difference that can be noticed between the DEMs derived from surveying and SEPLAN is the delineation of the basin, which has drastically changed with the increasing of the basin area. The field observations came about to be very useful on drainage network extracting. The differences between the estimated morphometric parameters reached 27.9%. The most detailed survey proved to be very important for the hydrological studies of small basins. The differences identified on the estimation of morphometric parameters are significant and can influence other calculations.

Keywords – cartographic base scale; survey; Araponga river basin

[1]Bolsista do CNPq, Doutoranda do PPG - Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH/UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Caixa Postal 15029, Porto Alegre/RS, 91501-970, Brasil. E-mail: alinemota10@gmail.com

[2]Bolsista do CNPq, Professor associado IV, IPH/UFRGS. E-mail: masato.kobiyama@ufrgs.br

[3]Bolsista Reuni, Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia, UFPR. E-mail: roberto.fabris@gmail.com

[4]Professor Assistente I, Engenharia Hídrica, CDTec/UFPel, E-mail: fernando.grison@ufpel.edu.br

[5]Mestre em Engenharia Ambiental, PPGEA/ENS/UFSC. E-mail: joana_n_g@yahoo.com.br

[6]Mestre em Engenharia Ambiental, PPGEA/ENS/UFSC. E-mail: albertcardoso@hotmail.com

[7]Bolsista do CNPq, Doutorando do PPG - Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental, IPH/UFRGS. E-mail: geanpmichel@gmail.com

*Autor Correspondente

1. INTRODUÇÃO

A significativa contribuição científica de estudos de monitoramento hidrológico em pequenas bacias experimentais para o avanço da hidrologia física é indiscutível (Whitehead & Robinson, 1993; Jones & Swanson, 2001). A maioria destes estudos foi realizada nas décadas de 60 e 70, e envolviam a questão dos mecanismos de geração de vazão (Hewlett & Hibbert, 1961; Ragan, 1967; Tsukamoto, 1963). Mesmo após mais de cinquenta anos, este tema configura entre as pesquisas que estão na fronteira da ciência hidrológica.

A eficiência do monitoramento e entendimento dos processos hidrológicos está condicionada a utilização de uma escala espaço-temporal adequada de observação. Por exemplo, a escala do fluxo subsuperficial não-saturado é relativa a 1 m de perfil de solo, (Blöschl & Sivapalan, 1995). Por isso, a escala de pequenas bacias, e até apenas encostas destas bacias é essencial para o desenvolvimento da hidrologia. No Brasil, Rocha & Kurtz (2001) definiram microbacia desde a perspectiva do planejamento integrado com enfoque em atividades de reflorestamento. Segundo esses autores, pequena bacia é aquela que tem área menor que 20.000 ha em cartas na escala de 1:50.000. Para Toebes & Ouryvaev (1970), as pequenas bacias tem área de no máximo 4 km^2. Na área da hidrologia urbana, Ponce (1989) define pequena bacia como sendo aquela na qual a vazão pode ser modelada considerando que a chuva seja constante no tempo e no espaço. Para os autores do presente trabalho, pequenas bacias são aquelas de no máximo 1 km^2 e com sistema fluvial de no máximo 2ª ordem.

No Brasil, há grande carência de dados hidrológicos de pequenas bacias. A instalação e coleta de dados tiveram como seu principal agente o setor de geração de energia hidrelétrica. Desta forma, há poucas estações em bacias com área menor que 500 km^2. O monitoramento das pequenas bacias reveste-se, portanto, de fundamental importância para complementação da rede de informações hidrológicas, além de sua natural vocação para o estudo detalhado dos processos físicos, químicos e biológicos atuantes no ciclo hidrológico (Paiva & Paiva, 2001).

No início do estudo de determinada bacia hidrográfica, os parâmetros morfométricos da mesma devem ser analisados. Para isto é necessário ter bases cartográficas. Além disso, a partir das bases topográficas também é possível extrair informações hidrológicas como a rede drenagem com a aplicação de algoritmos como o D8 proposto por (O'Callaghan & Mark, 1984), ou D∞ proposto por (Tarboton, 1997).

Diversos autores (por exemplo, Wise, 2000; Thompson *et al*., 2001; Chaplot, 2005; Sørensen & Seibert, 2007; Aryal & Bates, 2008) mostraram que a escala da base topográfica, assim como a resolução do Modelo Digital de Elevação (MDE) influenciam tanto na obtenção de parâmetros morfométricos como em simulações hidrológicas baseadas na topografia da bacia.

Wang & Yin (1998) comprovaram que a área da bacia também é uma das causas de erros associados à extração da rede de drenagem. Porém, eles trabalharam em uma variação de 150 a 1000 km^2, e alertam sobre a necessidade de uma investigação sobre o efeito de escala na obtenção desses parâmetros em bacias menores. Em concordância, McMaster (2002) verificou que rios de primeira e segunda ordem não são identificados em bases derivadas da interpretação de fotografias aéreas por conta da copa da vegetação impedir a visualização desses rios. Por conta desta dificuldade, esse autor recomendou então, a combinação de visitas a campo para localização adequada desses rios de menor ordem. Assim, na tendência de detalhar ainda mais a escala, Taufique & Vivoni (2011) realizaram o primeiro estudo buscando identificar estes mesmos impactos da resolução do MDE na escala de encosta, porém com o foco em variação da umidade do solo.

Diante do exposto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a influência da escala da base cartográfica e da resolução do MDE na estimativa de alguns parâmetros morfométricos de uma pequena bacia experimental localizada no norte do estado de Santa Catarina.

2. ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Araponga (ARA) está localizada na zona rural do município de Rio Negrinho, norte do estado de Santa Catarina (Mota, 2012). A bacia dista cerca de 25 km do seu centro urbano do município. Com respeito ao seu posicionamento geográfico, a bacia está 49° 29' 44'' W e 26° 29' 27'' S. O rio Araponga drena na direção sudeste até o rio do Salto, que a jusante recebe contribuição do rio Feio e deságua no rio Corredeiras (Figura 1). Assim, a ARA está nas cabeceiras da bacia do rio Corredeiras (BHRC), e passou a integrar a Rede de Bacias-escola proposta por Kobiyama *et al*. (2008) a partir de 2011.

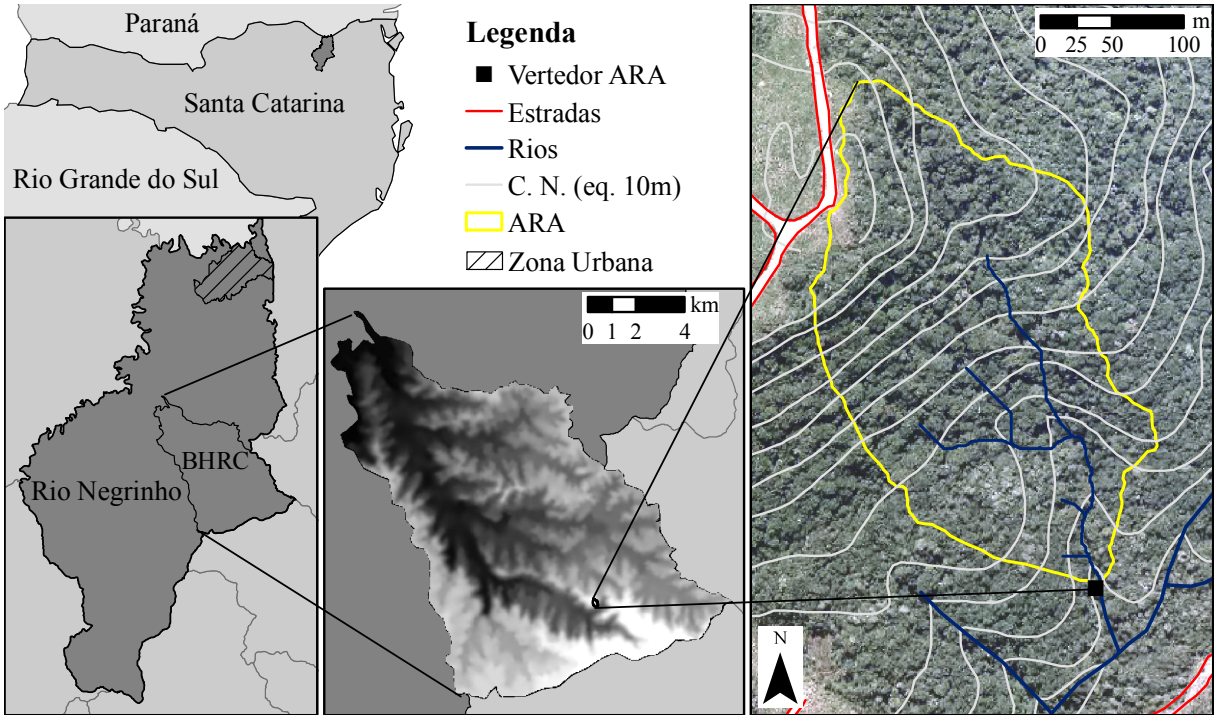


Figura 1 – Localização da bacia hidrográfica do rio Araponga.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Identificação das informações geográficas disponíveis

O primeiro passo consistiu em coletar pontos na exutória da ARA para sua localização prévia em bases cartográficas existentes. Estes pontos foram coletados com uso de GPS de navegação da marca Garmin modelo GPSmap 76CSx. As bases cartográficas disponíveis até aquele momento eram duas: (1) Carta topográfica digital São Bento do Sul (SG-22-Z B-I-3) na escala 1:50000, disponível no sítio da Epagri/Ciram (Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina) que resultado de uma parceria deste centro com o IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). (2) Ortofotocarta digital resultado de um

levantamento contratado pela SEPLAN (Secretaria de Planejamento e Meio Ambiente) da Prefeitura Municipal de Rio Negrinho, em escala 1:10.000. A escala da cobertura aerofotogamétrica é 1:20.000, o vôo foi realizado em 04/2005 e a restituição em 07/2006. Nesta base cartográfica é possível visualizar o rio Araponga. Porém, observações em campo permitiram concluir que o detalhe apresentado nesta base cartográfica não é suficiente para estudos hidrológicos em escala de detalhe.

Não é possível observar o rio Araponga na carta topográfica digital do IBGE/EPAGRI. Mesmo quando se utilizam ferramentas como o Arc Hydro (ESRI, 2011), em que se pode gerar a rede de drenagem utilizando a base topográfica, o rio Araponga não aparece. Então esta base cartográfica foi excluída da análise. Este também é o caso para os dados obtidos do SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*)

3.2 Levantamento topográfico

Como as bases cartográficas existentes não apresentavam detalhe satisfatório para o estudo foi realizado um levantamento topográfico em campo. O primeiro passo para o levantamento topográfico foi levantar 2 pontos utilizando o receptor L1/L2 modelo Trimble® GPS 5700 e antena ZephyrTM, com precisão nominal estática horizontal de 5 mm + 0,5 ppm e vertical de 5 mm + 1 ppm (Trimble, 2001). Os pontos foram materializados com piquetes de madeira. Os locais escolhidos para instalação dos pontos de base fixa ficam livres de obstáculos que impeçam ou dificultem o rastreio do sinal pelo GPS, bem como garantem a visibilidade necessária para posterior levantamento com estação total. O método de levantamento foi o estático pós-processado, sendo que o período de rastreamento de cada ponto foi de 6 horas.

Em seguida, os dados do GPS foram pós-processados no Trimble Geomatics Office, v 1.63. juntamente com informações de estações da rede brasileira monitoramento contínuo (RBMC), disponibilizadas pelo IBGE em seu sítio. O processamento constituiu da triangulação dos dados obtidos em campo com as estações instaladas nas cidades de Curitiba/PR (UFPR), Imbituba/SC (IMBT) e Lages (SCLA).

As coordenadas planialtimétricas pós processadas dos 2 pontos foram utilizadas como estação e ré iniciais do levantamento topográfico com a estação total modelo Leica® TCR407. O levantamento foi feito em 13 dias distribuídos ao longo de 4 meses de trabalho. Foram coletados 1690 pontos, incluindo estações e os pontos irradiados, sendo a densidade média de pontos na área levantada de 2,5 pontos/100 m^2 (Figura 2(a)).

3.3 Extração da rede de drenagem e estimativa dos parâmetros morfométricos

A rede de drenagem em ambas as bases cartográficas foi extraída com o uso do algoritmo D8 proposto por O'Callaghan & Mark (1984), disponível no Arc Hydro (extensão do ArcGIS). Em geral, considera-se que justamente por ser mais avançado, a estimativa da rede de drenagem gerada pelo algoritmo D_∞, proposto por Tarboton (1997), tem melhor qualidade. Porém, como mostrou McMaster (2002), em bacias declivosas e com a rede de drenagem bem determinada, a aplicação do algoritmo D8 não prejudica a qualidade da rede de drenagem extraída.

Um dos parâmetros utilizados para extração da rede de drenagem é o valor mínimo de área de acumulação a partir do qual se estabelece o início do rio. É evidente que este parâmetro influencia significativamente na rede de drenagem resultante (Usul & Pasaogullari, 2004; Fernández *et al.*, 2012). Por isso, a adoção de valor para este parâmetro tem que ser muito cautelosa. Durante o

levantamento de campo, e em outras visitas à bacia foram levantados também pontos com GPS nos locais de nascentes e cursos d'água. Então, o procedimento consistiu em testar diversos valores para o limiar até que se obtivesse a rede de drenagem mais próxima àquela levantada em campo (Figura 2(b)). O valor utilizado para ambas as bases corresponde a 7% do valor máximo apresentado no mapa de acumulação.

Os demais parâmetros foram estimados diretamente dos modelos digitais do terreno gerados com as duas bases cartográficas, e das respectivas redes de drenagem extraídas.

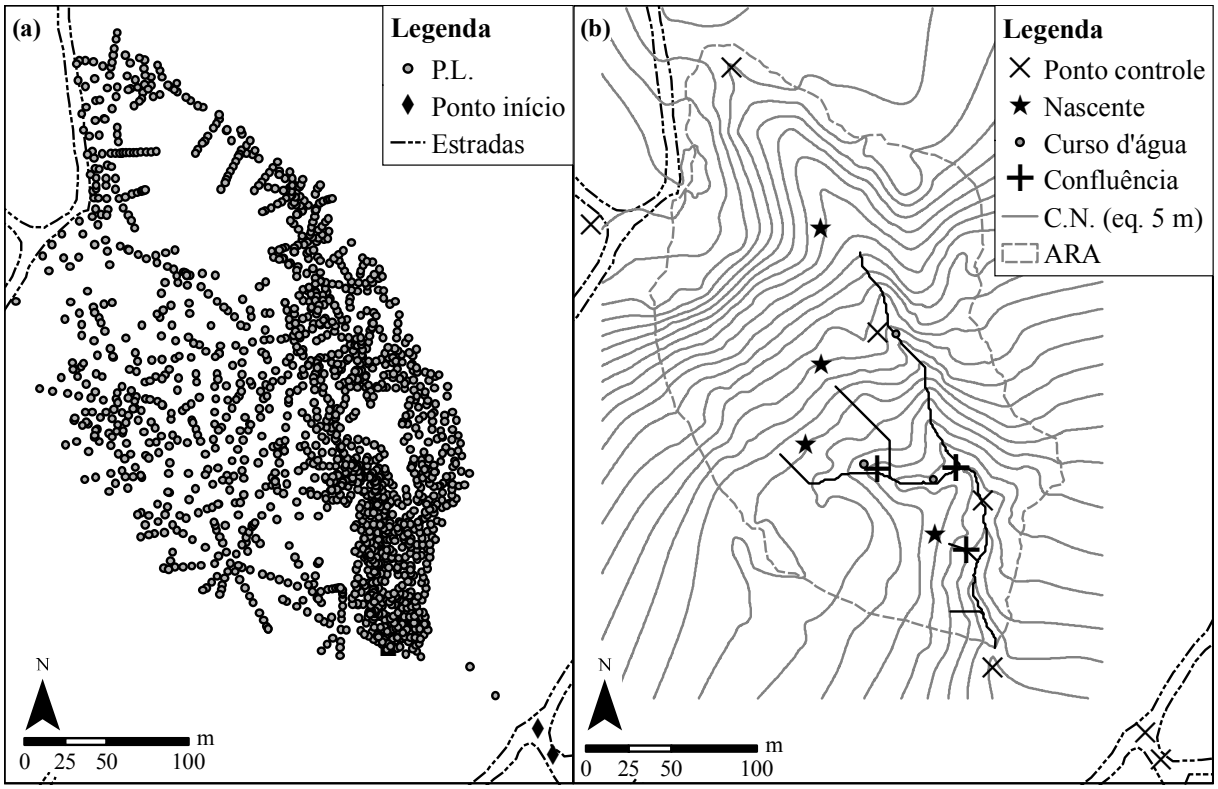


Figura 2 – Coleta de dados durante o levantamento topográfico. (a) pontos de início localizados na estrada e todos os pontos resultantes do levantamento topográfico; e (b) pontos coletados com GPS e utilizados como referência para a extração da rede de drenagem e pontos de controle do levantamento.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O MDE obtido da interpolação dos pontos do levantamento topográfico revela um grau de detalhe que não podia ser observado quando no MDE gerado da interpolação das curvas de nível da base cartográfica SEPLAN. A primeira diferença que pode ser notada é a delimitação da bacia, que mudou drasticamente aumentando a área da bacia (Figura 3). Além disso, o levantamento topográfico possibilitou a identificação de encostas muito mais declivosas do que aquelas apresentadas no MDE da base SEPLAN.

Na Figura 3(b) são apresentadas a rede de drenagem que estava disponível na base da SEPLAN e aquela extraída no MDE gerado com as mesmas curvas, porém foi adotado o valor mínimo de área de acumulação como explicado na seção 3.3 de maneira que a rede de drenagem respeitasse as observações em campo. Então, utilizando os mesmos dados de altimetria foi possível

obter uma rede de drenagem muito mais próxima aquela do levantamento topográfico apenas ajustando o limiar com a observação da rede de drenagem em campo.

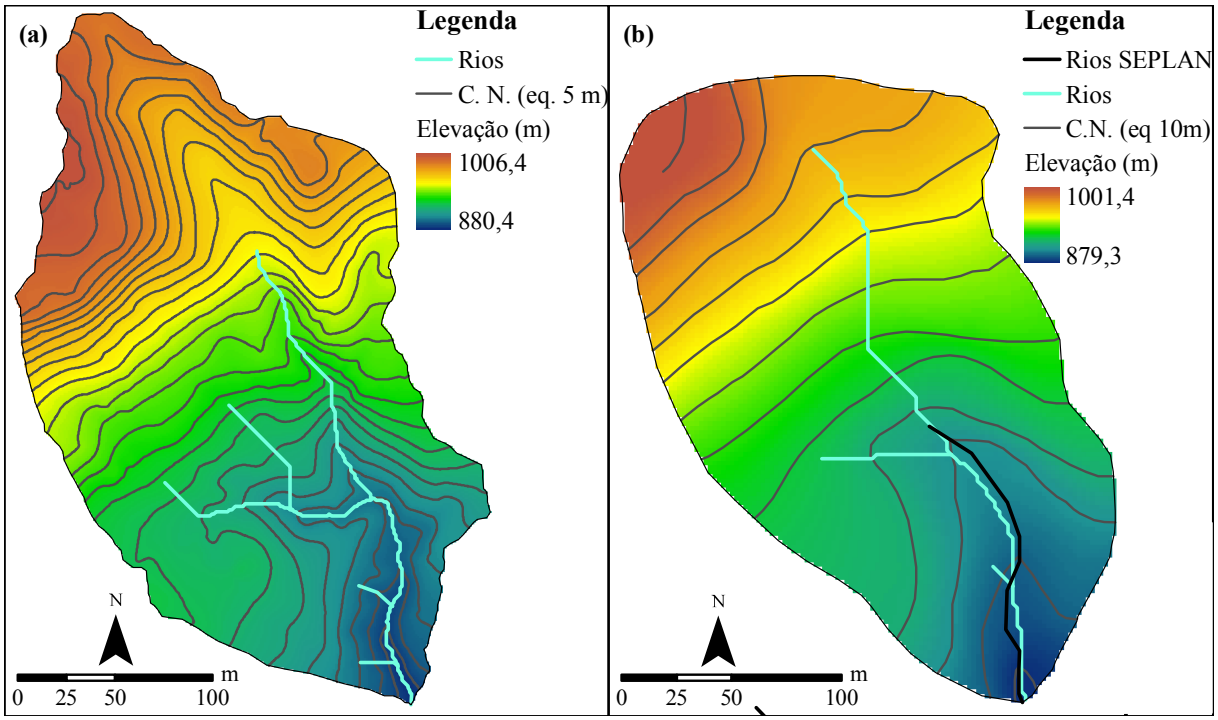


Figura 3 – Modelos Digitais de Elevação ARA. (a) Base cartográfica obtida a partir do levantamento topográfico, escala 1:5.000, resolução do MDE: 1 m; e (b) Base cartográfica do levantamento aéreo da Prefeitura Municipal de Rio Negrinho, escala 1:10.000, resolução do MDE 2 m.

Na Tabela 1 são apresentados alguns parâmetros morfométricos estimados no intuito de comparar as 2 bases. Pela verificação da diferença, percebe-se que a maioria estava subestimada com a base de menor detalhe. Os parâmetros relacionados ao comprimento da drenagem e à área da bacia foram os que apresentaram maiores diferenças, seguidos pela diferença aproximada de 18% no perímetro.

Tabela 1 – Parâmetros morfométricos e comparação das duas escalas.

Parâmetro	unidade	1:10.000	1:5.000	Diferença (%)
Área	(ha)	4,24	5,26	-19,5
Comprimento da drenagem	(m)	364,80	506,25	-27,9
Densidade de drenagem	(m/m^2)	0,00860	0,00962	-10,5
Perímetro	(m)	817,57	994,21	-17,8
Cota nascente	(m)	969,97	964,05	0,6
Cota exultória	(m)	879,31	880,67	-0,2
Comprimento do rio principal	(m)	292,25	276,62	5,7
Declividade média do canal	(m/m)	0,31	0,30	2,9

5. CONCLUSÕES

Após a constatação de que as bases cartográficas disponíveis não apresentavam grau de detalhe suficiente para o estudo proposto na pequena bacia experimental do rio Araponga, concluiu-se que um levantamento topográfico mais detalhado seria necessário. Esta atividade se mostrou muito importante para o estudo hidrológico de pequenas bacias. Isso porque foram identificadas diferenças significativas na estimativa de parâmetros morfométricos da bacia. O parâmetro relativo ao comprimento da rede de drenagem foi o que apresentou maior diferença, sendo 27,9% menor na base com menos detalhe do que na base mais detalhada. Além disso, a área da bacia, estimada em aproximadamente 4,2 ha, passou a ser 5,3 ha, o que representa uma diferença de 19,5%. É importante notar que a delimitação da bacia se alterou significativamente.

O reconhecimento e levantamento detalhado das características fisiográficas das pequenas bacias são fundamentais no estudo das mesmas. Apesar de pequenas bacias tenderem a ser mais homogêneas, uma pequena heterogeneidade pode ter um efeito relativamente maior do que teria se a bacia fosse maior.

Os parâmetros morfométricos de bacias hidrográficas são importantes não apenas para caracterização do objeto de estudo, mas também para aplicação de diversos modelos e métodos hidrológicos. Um exemplo de parâmetro hidrológico que pode ser estimado a partir de parâmetros morfológicos da bacia é o tempo de concentração. Mota (2012) verificou que o tempo de concentração é bastante sensível aos parâmetros morfométricos da bacia.

Assim, é extremamente importante que se tenha o detalhamento adequado para análises hidrológicas em pequenas bacias. Este detalhamento está relacionado inicialmente com o reconhecimento da área em campo. Conforme resultado da Figura 3(b), após a simples inspeção em campo das características da rede de drenagem e coleta de dados de GPS já foi possível extrair a rede de drenagem mais fidedigna. A importância da observação destes limites em campo, principalmente em bacias de primeira e segunda ordem, também é evidenciada por McMaster (2002).

A influência da escala da base cartográfica foi comprovada a partir da diferença obtida nos parâmetros morfométricos. Além disso, como a resolução do MDE depende da escala dos dados altimétricos utilizados, a rede de drenagem extraída também foi influenciada. Assim como também alertaram Sørensen & Seibert (2007), no caso deste trabalho o MDE mais detalhado se fez necessário, mas é importante observar que nem sempre o MDE de maior resolução é o mais útil. Isto depende muito do estudo ou análise que se pretende realizar. Por exemplo, para estudar mecanismos de geração de vazão, a informação de topografia deve ser em uma resolução mais refinada. Portanto, uma das principais conclusões deste trabalho, que está em concordância com Wise (2000), é que tanto a qualidade do MDE deve ser analisada para cada caso, de forma que os resultados obtidos sejam coerentes.

REFERÊNCIAS

ARYAL, S.K. & BATES, B.C. (2008) Effects of catchment discretization on topographic index distributions. *Journal of Hydrology* 359(1-2), pp. 150 – 163.

BLÖSCHL, G. & SIVAPALAN, M. (1995) Scale issues in hydrological modelling: a review. *Hydrological Processes* 9(3-4), pp. 251 – 290.

CHAPLOT, V. (2005) Impact of DEM mesh size and soil map scale on SWAT runoff, sediment, and NO3–N loads predictions. *Journal of Hydrology* 312(1–4), pp. 207 – 222.

ESRI (2011) *Arc Hydro Tools Overview*. Redlands: ESRI, 15p.

FERNÁNDEZ, D.C.J.; VALERIANO, M.M.; ZANI, H.; ANDRADES FILHO, C.O. (2012) Extração automática de redes de drenagem a partir de modelos digitais de elevação. *Revista Brasileira de Cartografia* 64/5, pp. 619 – 634.

HEWLETT, J.D. & HIBBERT, A.R. (1961) Increases in water yield after several types of forest cutting. *International Association of Scientific Hydrology. Bulletin*, 6(3), pp. 5 – 17.

JONES, J.A. & SWANSON, F.J. (2001) Hydrologic inferences from comparisons among small basin experiments. *Hydrological Processes* 15(12), pp. 2363 – 2366.

KOBIYAMA, M.; MOTA, A.A.; CORSEUIL, C.W. (2008) *Recursos hídricos e saneamento*. 1. ed. Curitiba: Organic Trading, 160p.

MAHMOOD, T.H. & VIVONI, E.R. (2011) Breakdown of hydrologic patterns upon model coarsening at hillslope scales and implications for experimental design. *Journal of Hydrology* 411(3–4), pp. 309 – 321.

MCMASTER, K.J. (2002) Effects of digital elevation model resolution on derived stream network positions. *Water Resources Research* 38(4), pp. 13-1–13-8.

MOTA, A.A. (2012) *Tempo de concentração em pequena bacia experimental*. Florianópolis: UFSC/CTC/ENS,. 131f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina.

O'CALLAGHAN, J., & MARK, D. (1984) The extraction of drainage networks from digital elevation data, *Computer Vision, Graphics and Image Processing* 28, pp. 328 – 344.

PAIVA, J.B.D. & PAIVA, E.M.C.D. (2001) *Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas*. Porto Alegre: Editora ABRH, 628 p.

PONCE, V.M. (1989) *Engineering hydrology, principles and practices*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall. 640 p.

RAGAN, R.M. (1967) An experimental investigation of partial area contributions, Inter. Ass. Sci. Hydrol. *In:* Proc. Berne Symposium, pp. 241 – 251.

ROCHA, J.S.M. & KURTZ, S.M.J.M. (2001) *Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas*. 4. ed. Santa Maria: Edições UFSM CCR/UFSM, 302 p.

SØRENSEN, R. & SEIBERT, J. (2007) Effects of DEM resolution on the calculation of topographical indices: TWI and its components. *Journal of Hydrology* 347(1-2), pp. 79 – 89.

TARBOTON, D. (1997) A new method for the determination of flow directions and upslope areas in grid digital elevation models. *Water Resources Research* 33, pp. 309 – 319.

THOMPSON, J.A.; BELL, J.C.; BUTLER, C.A. (2001) Digital elevation model resolution: effects on terrain attribute calculation and quantitative soil-landscape modeling. *Geoderma* 100(1–2), pp. 67 – 89.

TOEBES, C. & OURYVAEV, V. (1970) *Representative and experimental basins, an international guide for research and practice*. Paris: UNESCO. 348 p.

TRIMBLE. (2001) *5700 GPS Receiver: User Guide*. Sunnyvale, CA. 168 p.

TSUKAMOTO, Y. (1963) Storm discharge from an experimental watershed. *Journal of the Japanese Forestry Society*, 45, pp. 186 – 190.

USUL, N. & PAŞAOĞULLARI, O. (2004) Effect of map scale and grid size for hydrological modeling. In *GIS and Remote Sensing in Hydrology, Water Resources and Environment* IAHS Publ. 289. pp. 91 – 100.

WANG, X. & YIN, Z. (1998) A comparison of drainage networks derived from digital elevation models at two scales. *Journal of Hydrology* 210(1–4), pp. 221 – 241.

WHITEHEAD, P.G. & ROBINSON, M. (1993) Experimental basin studies - an international and historical perspective of forest impacts. *Journal of Hydrology* 145(3-4), pp. 217 – 230.

WISE, S. (2000) Assessing the quality for hydrological applications of digital elevation models derived from contours. *Hydrological Processes* 14, pp.1909 – 1929.