

COMPARAÇÃO DE QUATRO MÉTODOS PARA A DELIMITAÇÃO DE UMA MICROBACIA HIDROGRÁFICA DE 1 KM²: GRASS E EXTENSÕES SPATIAL ANALYST, ARCSWAT E HEC-GEOHMS NO ARCGIS

Hullysses Sabino^{1*}; *Gustavo M. Vasques*²; *Ricardo O. Dart*²; *Luís Carlos Hernani*²

Resumo – A correta delimitação de uma microbacia hidrográfica (MBH) é essencial para sua caracterização e gestão. Porém os métodos digitais de delimitação de bacias são pouco usados para delimitar MBH's. O trabalho comparou quatro métodos para a delimitação de uma MBH de uso agrícola de cerca de 1 km², no Paraná, a partir de um modelo digital de elevação SRTM com *pixel* de 30 m. Os métodos foram implementados nos programas GRASS e ArcGIS (usando as extensões Spatial Analyst, ArcSWAT e HEC-GeoHMS). Todas as MBH's foram satisfatoriamente delimitadas quando avaliadas usando um MDE com *pixel* de 1 m e curvas de nível extraídas dele. Entre os métodos, aquele aplicado no Spatial Analyst mostrou-se rápido e simples. O HEC-GeoHMS possui muitas etapas e detalhes, o que pode se tornar um incômodo. O GRASS utiliza o parâmetro quantidade mínima de células na bacia para delimitar, o que pode exigir muitas tentativas e erros até encontrar a quantidade correspondente à microbacia. O ArcSWAT calcula automaticamente diversos parâmetros das bacias delimitadas e dos rios, tais como área, perímetro, coordenadas geográficas e elevação. Diante disso, recomenda-se o uso do ArcSWAT por ser simples, gerar um bom delineamento e ainda calcular parâmetros das microbacias e dos rios.

Palavras-chave – Delimitação de bacias hidrográficas, Geomorfometria, SIG.

COMPARISON OF FOUR METHODS TO DELINEATE A 1-KM² CATCHMENT: GRASS AND SPATIAL ANALYST, ARCSWAT AND HEC-GEOHMS ARCGIS EXTENSIONS

Abstract – The correct delineation of a catchment is critical for its proper characterization and management. However, digital methods for the delineation of watersheds are little used for delineating catchments. The study compared four methods for the delineation of a catchment of about 1 km² under agricultural use in Paraná, southern Brazil, using a 30-m-pixel SRTM DEM. The methods were implemented in GRASS and ArcGIS (using the Spatial Analyst, ArcSWAT and HECGeoHMS extensions). All catchments were satisfactorily delineated when evaluated against a 1-m-pixel DEM and contour lines derived from it. Among the methods tested, that applied in ArcGIS is fast and simple. HEC-GeoHMS has many stages and requires many details, which may become cumbersome. GRASS uses a parameter to set the minimum number of cells to delineate in a watershed, which may take many trials and errors until the ideal number is found for the catchment. ArcSWAT calculates automatically many parameters of the delineated watersheds and its streams, such as area, perimeter, geographical coordinates and elevation. From the results, ArcSWAT is recommended because it is simple, produces good results, and also calculates parameters of the catchments and streams.

Keywords – Watershed delineation, Geomorphometry, GIS.

¹ Universidade Federal Fluminense, Niterói, RJ, hsabino@id.uff.br

² Embrapa Solos, Rio de Janeiro, RJ, gustavo.vasques@embrapa.br, gustavo.vasques@embrapa.br, luis.hernani@embrapa.br

INTRODUÇÃO

A água é um bem essencial para a conservação e prosperidade do meio ambiente e progresso socioeconômico. Toda massa d'água superficial está incluída em uma bacia hidrográfica, que, segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010), pode ser definida como uma região entre divisores de água, na qual toda água ali precipitada escoar em direção a um único exutório.

No Brasil, a Lei Federal 9.433/97 declara a bacia hidrográfica como unidade territorial para a realização a Política Nacional de Recursos Hídricos e base para o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos e também afirma que os Planos de Recursos Hídricos devem ser elaborados por bacia hidrográfica e por estado (BRASIL, 1997). Dessa forma, o conhecimento dos limites da bacia é essencial para sua caracterização e boa gestão.

Órgãos como a Agência Nacional de Águas, o IBGE e Comitês de Bacias Hidrográficas são alguns dos responsáveis pela delimitação e divisão do território brasileiro em bacias hidrográficas. Contudo, por conta da dimensão territorial do país, microbacias, que são bacias que abrangem rios de pequena ordem e extensão, não são amplamente conhecidas, pois há uma carência de dados disponíveis a respeito desse tipo de bacia, apesar da sua importância para a gestão territorial.

Os Modelos Digitais de Elevação (MDE's) são arquivos que possuem dados altimétricos que permitem a delimitação de bacias hidrográficas. Os MDE's são utilizados em estudos de monitoramento ambiental e hidrologia, em atividades como: análise de processos erosivos, delimitação e caracterização de bacias hidrográficas, entre outros. No ano de 2000, a NASA lançou a *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM) para gerar MDE's com resoluções espaciais (*pixels*) de 30 e 90 metros de 80% da superfície terrestre e disponibilizou gratuitamente esses dados *online*.

Na literatura encontram-se diversos trabalhos que utilizam MDE's na delimitação de bacias hidrográficas. Grande parte dos trabalhos envolve bacias com grande extensão territorial, como Cecílio *et al.* (2013), Zamfir e Simulescu (2011) e Seyler *et al.* (2009), que delimitaram bacias hidrográficas com cerca de 137, 2485 e entre 2778 e 22.444 km², respectivamente. Por outro lado, é difícil encontrar trabalhos que aplicam essas metodologias para delimitar microbacias de menores extensões (cerca de 1 km²), como o caso da bacia estudada no presente trabalho.

O objetivo deste trabalho é comparar quatro metodologias para a delimitação de uma microbacia de aproximadamente 1 km² a partir de um MDE da SRTM com *pixel* de 30 m, sendo uma no programa GRASS e três no programa ArcGIS usando as extensões Spatial Analyst, ArcSWAT e HEC-GeoHMS, respectivamente.

METODOLOGIA

Trabalhou-se em uma microbacia hidrográfica no município de Toledo, Paraná, com aproximadamente de 1 km² de extensão, 6% de declividade e que se encontra sob uso agrícola em sistema de plantio direto. Nesta microbacia foi instalada uma estação hidrossedimentológica em uma região retilínea de um córrego. O local em que essa estação foi instalada definiu o ponto de exutório dessa bacia para fins de delimitação da área de contribuição e limites da microbacia.

Utilizou-se para a delimitação um MDE da SRTM de resolução espacial de 30 m, baixado gratuitamente no sítio *EarthExplorer* do *United States Geological Survey* (<https://earthexplorer.usgs.gov>). Os modelos hidrológicos utilizados encontram-se no programa GRASS (*Geographic Resources Analysis Support System*) versão 7.2.0 (GRASS Development Team, 2016), que é um Sistema de Informação Geográfica (SIG) de código aberto e gratuitamente disponível para *download* (<https://grass.osgeo.org/download/>). No *software* ArcGIS versão 10.2 (ESRI, Redlands, EUA) foram usadas as ferramentas das extensões Spatial Analyst, ArcSWAT e HECGeoHMS. As duas últimas estão disponíveis para *download* gratuitamente, na devida ordem, no sítio da *Soil & Water Assessment Tool* (<http://swat.tamu.edu/software/arcswat/>) e no sítio da *United States Army Corps of Engineers* (USACE) (<http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/>).

Em nenhuma delimitação foi utilizado processo de suavização dos limites da bacia, para que, assim, fosse possível a comparação das delimitações sem qualquer modificação. Com isso, se preservou o formato retilíneo dos contornos dos *pixels* oriundos dos arquivos do tipo *raster*. A qualidade das delimitações da microbacia obtidas foi verificada com base em um MDE de alta resolução espacial (*pixel* de 1 m), feita pela empresa GeoJá Mapas Digitais (São Paulo, SP), obtido a partir da aerotriangulação (geração de pontos fotogramétricos, inserção dos pontos de controle e ajuste do bloco) feita no aplicativo Inpho (Trimble Navigation Limited, Califórnia, EUA), com a fototriangulação dos pontos de controle obtidos no terreno e por estéreo modelos (pares de fotos) de estações fotogramétricas, e baseado em curvas de nível de 5 m de equidistância extraídas desse MDE.

Delimitação usando a extensão Spatial Analyst no ArcGIS

O método de delimitação aplicado utilizando as ferramentas da extensão Spatial Analyst estão descritos detalhadamente em Sabino *et al.* (2017) e seu algoritmo foi fundamentado em Jenson e Dominique (1988). De forma abreviada, a metodologia consistiu em: preencher depressões espúrias (*Fill*); calcular a direção de fluxo (*Flow Direction*) e o fluxo acumulado (*Flow Accumulation*); extrair a rede de hidrográfica usando a ferramenta *Raster Calculator* e posicionar o ponto de exutório sobre

a rede criada; delimitar a bacia hidrográfica usando o ponto de exutório como *pour point* na ferramenta *Watershed*; converter o formato do arquivo da bacia delimitada de *raster* para *shapefile*.

Delimitação usando a extensão ArcSWAT no ArcGIS

Esta extensão foi desenvolvida pelo *Agricultural Research Service* do *United States Department of Agriculture, Blackland Research and Extension Center* da *Texas A&M University* e também se baseia no algoritmo apresentado por Jenson e Dominique (1988). Segundo *Texas A&M University* (2017), a delimitação a partir do ArcSWAT segue os seguintes passos: calcular a direção e acumulação de fluxo; definir o parâmetro para a definição da rede de drenagem, o qual deve ser escolhido em função da extensão aproximada da bacia que se deseja delimitar; extrair a rede de drenagem; no painel *Outlet and inlet definition*, escolher o método *Subbasin Outlet* de delimitação; posicionar o ponto de exutório sobre a rede de drenagem criada; delimitar a bacia usando a função *Delineate watershed*; se desejar, a extensão calcula diversos parâmetros das sub-bacias da microbacia acionando-se o botão *Calculate subbasin parameters*.

Delimitação usando a extensão HEC-GeoHMS no ArcGIS

A metodologia usada pela extensão HEC-GeoHMS (*Hydrologic Engineering Center – Geospatial Hydrologic Modeling Extension*) para ArcGIS, segundo USACE (2013), consiste em: preencher depressões espúrias (*Fill*); calcular o fluxo de direção e fluxo acumulado; definir a rede de drenagem e segmentá-la; dividir a área de cada rede de drenagem em microbacias e convertê-las para *shapefile*; gerar a rede de drenagem; definir um ponto de exutório e gerar a delimitação a partir dele; agregar as áreas das sub-bacias delimitadas para formar a bacia desejada.

Delimitação usando o GRASS

A metodologia de delimitação de bacias usada no GRASS, segundo GRASS Development Team (2016), utiliza o algoritmo *A^T least-cost search* (Ehlschlaeger, 1989). Basicamente, a metodologia pode ser descrita como: preencher depressões espúrias; calcular a direção e acumulação de fluxo; extrair a rede hídrica; inserir um valor mínimo de células contidas na bacia; selecionar, entre todas as bacias delineadas, a microbacia desejada no *raster* gerado; exportar os limites da microbacia e convertê-los para *shapefile*.

RESULTADOS

Os resultados de delimitação da microbacia em Toledo, Paraná, obtidos pelas diferentes metodologias aplicadas foram similares quanto à forma da bacia, bem como a sua área e perímetro, com coeficientes de variação de 0,57% para a área e de 0,94% para o perímetro (Tabela 1). Um dos

motivos da origem da diferença entre os valores pode ser o fato da microbacia ao noroeste, norte e sudeste apresentar uma menor variação altimétrica entre os *pixels*, por serem regiões mais planas. Com isso, a análise de fluxo hidrológico é afetada, a localização dos divisores de drenagem fica mais difusa e, conseqüentemente, a delimitação da área de abrangência da bacia é alterada.

Em relação à forma da bacia, a delimitação que mais difere é a produzida pelo GRASS, como observado na Figura 1. Isso ocorre provavelmente porque esta é a única metodologia que não utiliza um ponto de exutório; ao invés, é utilizado um valor para determinar a extensão mínima da bacia a ser delineada. Ademais, o GRASS utiliza o algoritmo *A^T least-cost search*, que, de acordo com GRASS Development Team (2016), foi projetado para minimizar os erros em MDE's e produzir resultados mais precisos em áreas planas do que a abordagem de Jenson e Dominique (1988), utilizada pelas três extensões no ArcGIS.

Tabela 1. Área e perímetro da microbacia em Toledo delimitada pelos diferentes métodos.

Método	Área (km ²)	Perímetro (km)
Spatial Analyst	0,939	5,35
ArcSWAT	0,950	5,33
HEC-GeoHMS	0,947	5,27
GRASS	0,951	5,39
<i>Coefficiente de variação</i>	<i>0,57%</i>	<i>0,94%</i>

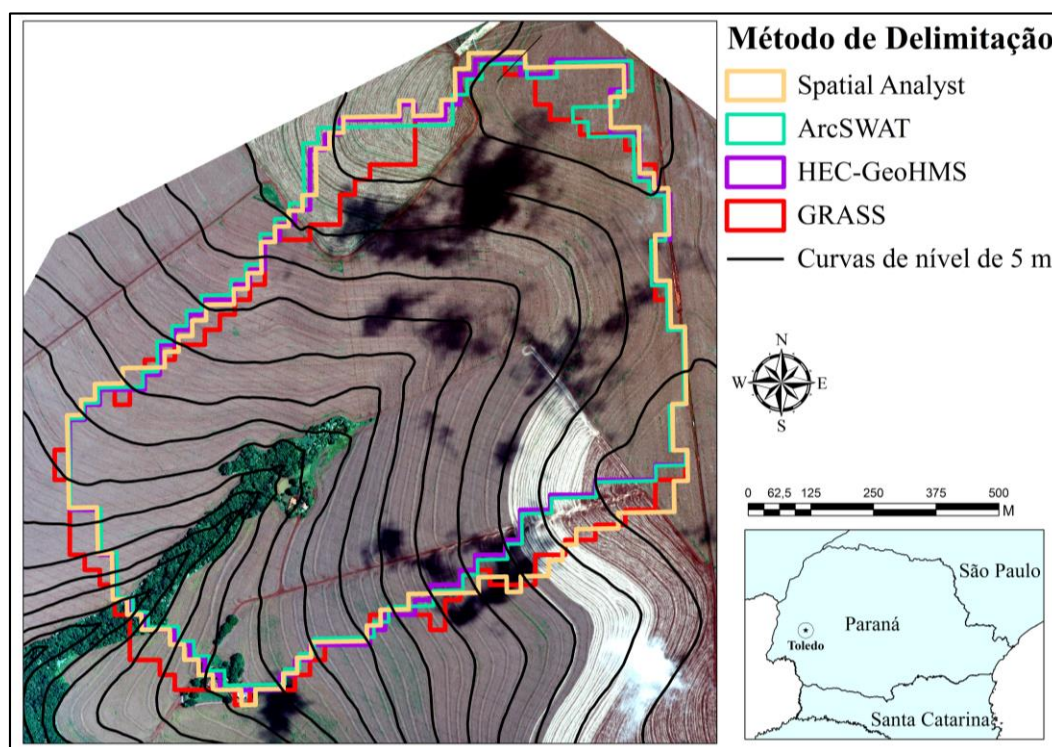


Figura 1. Microbacia em Toledo delimitada pelos diferentes métodos, mostrando curvas de nível a cada 5 m e imagem multiespectral em composição pseudo-cor da câmera Ultracam D ao fundo.

A extensão Spatial Analyst do ArcGIS delimitou apenas a microbacia desejada a partir do ponto de exutório. A extensão ArcSWAT delimitou a microbacia desejada, bem como suas cinco sub-bacias. Similar à ArcSWAT, a extensão HEC-GeoHMS também delimitou as sub-bacias contidas na microbacia em Toledo, contudo foram geradas mais de 30 sub-bacias, sendo algumas com apenas 1 *pixel* de área. O GRASS delimitou todas as microbacias existentes dentro da extensão do MDE utilizado, de acordo com o número mínimo de células por bacia definido, o que produziu uma grande quantidade de bacias, tendo a microbacia desejada que ser selecionada entre as demais e exportada.

Todos os métodos extraíram a rede de drenagem a partir do mesmo MDE, mas os resultados foram um pouco divergentes entre si, principalmente nos traçados dos rios, sendo que somente as extensões ArcSWAT e HEC-GeoHMS calculam o comprimento dos rios automaticamente. Os produtos obtidos pelas diferentes ferramentas de delimitação podem ser comparados na Figura 2.

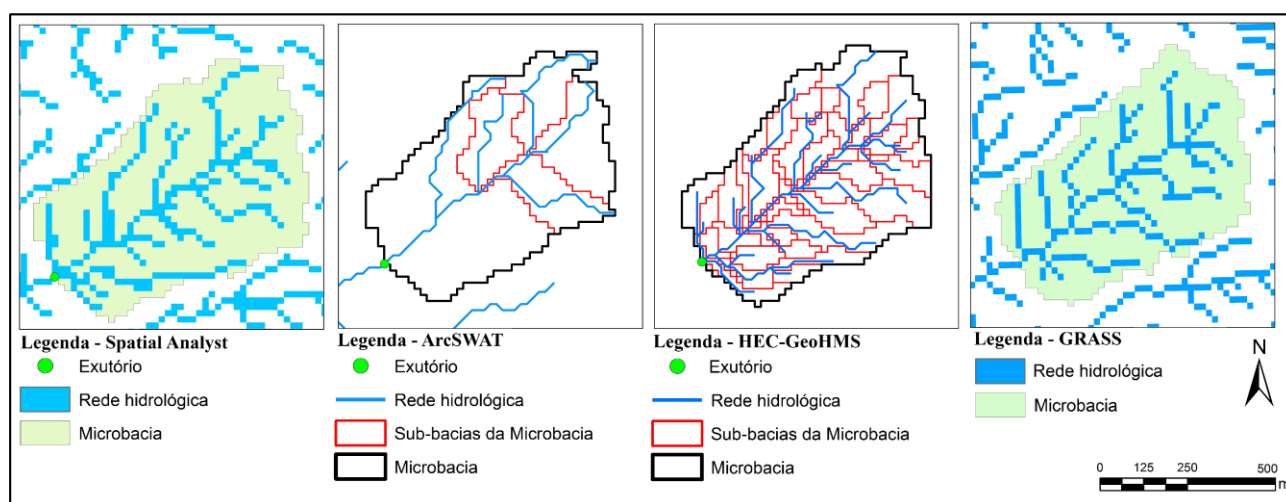


Figura 2. Produtos obtidos pelas diferentes ferramentas de delimitação de bacias hidrográficas.

Além do cálculo do comprimento da rede hidrológica produzida, a extensão ArcSWAT calcula e insere na tabela de atributos do *shapefile* das sub-bacias os seguintes parâmetros: área, perímetro, declividade, latitude e longitude, elevação mínima, média e máxima, além de outros. A HEC-GeoHMS calculou apenas os valores de área e perímetro. A extensão Spatial Analyst e o GRASS não adicionam informações desse tipo automaticamente, sendo necessário o uso de outras ferramentas para obtê-las.

DISCUSSÃO E CONCLUSÕES

As quatro metodologias testadas produziram delimitações da microbacia em Toledo similares entre si, com a área da microbacia variando menos do que 1% (coeficiente de variação), variação esta que não afeta ou afeta muito pouco a caracterização morfométrica da microbacia e sua gestão.

Tomazoni *et al.* (2011) sugere que não sejam utilizados dados da SRTM com *pixel* de 90 m em escalas mais detalhadas do que 1:100.000 para a extração da rede hidrológica. Contudo, o uso do MDE da SRTM com *pixel* de 30 m gerou resultados de rede de drenagem e limites da microbacia satisfatórios quando validados com base nos padrões do relevo apresentados pelo MDE e curvas de nível de alta resolução espacial, compatíveis com a escala de 1:10.000.

Entre as ferramentas testadas, o processo de delimitação usando a extensão ArcSWAT do ArcGIS é o mais rápido e simples, além de ser capaz de calcular automaticamente diversos parâmetros da bacia, entre os quais: área, perímetro, declividade, latitude, longitude, e elevação mínima, média e máxima. As extensões Spatial Analyst e HEC-GeoHMS do ArcGIS apresentaram mais etapas para delimitar a microbacia hidrográfica, com isso, produziram mais arquivos. Sendo assim, estas extensões podem exigir mais tempo e capacidade de memória do computador.

Todas as metodologias, excluindo a do GRASS, apresentam a opção de escolha do ponto de exutório da bacia (*pour point*), o que é muito importante, tendo em vista que a ausência dessa opção dificulta o controle do tamanho da bacia delineada. Ao invés de um ponto de exutório para determinar a abrangência da bacia, o GRASS usa um valor mínimo de células que devem compor a área da bacia. Foram necessárias diversas tentativas até que se encontrasse o valor mínimo capaz de abranger a área da bacia almejada. Assim sendo, para estudos com um grande número de bacias hidrográficas, o GRASS pode exigir mais tempo do analista, principalmente se as bacias tiverem áreas diferentes.

Diante dos resultados obtidos, para a delimitação de microbacias como essa em Toledo, com aproximadamente 1 km² de extensão, recomenda-se como melhor metodologia a extensão ArcSWAT do ArcGIS, devido a sua simplicidade, qualidade de resultados e possibilidade de geração automática de diversos parâmetros das bacias e dos rios, que conferem a essa metodologia vantagem competitiva diante das outras testadas, já que todas geraram delimitações muito similares. Adicionalmente, outras fontes de dados altimétrico e hidrográficos, como cartas topográficas, pontos cotados e imagens de satélite, podem complementar a análise buscando melhores resultados de delimitação.

AGRADECIMENTOS

Ao Núcleo de Geomática (NGeo) da Embrapa Solos, pelo apoio. À Embrapa e à Itaipu Binacional, pelo suporte financeiro via projeto “Aprimoramento de Processos para a Qualificação do Manejo de Terras no Centro-Sul do Brasil” (No. 02.12.12.004.00.01).

REFERÊNCIAS

- BRASIL. (1997). *Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997*. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos e cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Disponível em http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm. Acesso em 15 fev. 2017.
- EHSCHLAEGER, C. R. (1989). Using the A^T search algorithm to develop hydrologic models from digital elevation data. In *Anais do Proceedings of the International Geographic Information Systems Symposium '89*, Baltimore, EUA, Mar. 1989, pp. 275-281.
- GRASS DEVELOPMENT TEAM (2016). Geographic Resources Analysis Support System (GRASS) Software, Version 7.2.0. Open Source Geospatial Foundation. GONÇALVES, G. M. S. (2015). *User's guide to GIS GRASS 7.0 for Watershed Morphology*. Disponível em http://www.lh.fec.unicamp.br/manuais/grass_01.pdf. Acesso em 10 mar. 2017.
- IBGE (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA) (2010). *Atlas do Censo Demográfico de 2010*. Disponível em http://censo2010.ibge.gov.br/apps/atlas/pdf/209_213_Glossario_ATLASDEMO%202010.pdf. Acesso em 16 fev. 2017.
- JENSON, S. K.; DOMINGUE, J. O. (1988). Extracting topographic structure from digital elevation data for geographic information system analysis. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing* 54, pp. 1593-1600.
- TOMAZONI, J. C.; GUIMARÃES, E.; GOMES, T. C.; SILVA, T. G. (2011). 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* 4, pp. 365-376.
- CECÍLIO, R. A.; COUTINHO, L. M.; XAVIER, A. C.; MOREIRA, M. C.; ZANETTI, S. S.; GARCIA, G. O. (2013). Delimitação de bacia hidrográfica em região montanhosa a partir de diferentes modelos digitais de elevação. *Semina: Ciências Agrárias* 34, pp. 2007-2023.
- SABINO, H.; VASQUES, G. M.; DART, R. O.; HERNANI, L. C. (2017). Delimitação de microbacias hidrográficas a partir de um ponto de exutório específico (*pour point*) utilizando dados SRTM. In *Anais do XVII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada*, SP, Jun. 2017. No prelo.
- SEYLER, F.; MULLER, F.; COCHONNEAU, G.; GUIMARÃES, L.; GUYOT, J. L. (2009). Watershed delineation for the Amazon sub-basin system using GTOPO30 DEM and drainage network extracted from JERS SAR images. *Hydrological Processes* 23, pp. 3173-3185.
- TEXAS A&M UNIVERSITY. (2017). *Instructional vídeos: watershed delineation*. Disponível em: <http://swat.tamu.edu/workshops/instructional-videos>. Acesso em 8 mar. 2017.
- USACE (UNITED STATES ARMY CORPS OF ENGINEERS). (2013). HEC-GeoHMS Geospatial Hydrologic Modeling Extension: User's Manual, Version 10.1. Disponível em http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-geohms/documentation/HEC-GeoHMS_Users_Manual_10.1.pdf. Acesso em 20 mar. 2017.
- ZAMFIR, A.; SIMULESCU, D. (2011) Automatic delineation of a watershed using a DEM. Case study – the Olteț watershed. *Georeview* 20, pp. 83-92.